



ВВМУ „НИКОЛА ЙОНКОВ ВАПЦАРОВ”

ФАКУЛТЕТ "НАВИГАЦИОНЕН"

Катедра " Корабоводене "

ДИЛЯН СВЕТОСЛАВОВ ДИМИТРАНОВ

**ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА МОДЕЛИТЕ ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ НА
ПЛАНА ЗА ПРЕХОД НА КОРАБА ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА МУ
ЕФЕКТИВНОСТ**

АВТОРЕФЕРАТ

на

ДИСЕРТАЦИОНЕН ТРУД

За придобиване на образователна и научна степен

"ДОКТОР"

Професионално направление:5.5 " Транспорт, корабоплаване и авиация "

Докторска програма:" Управление на кораби и корабоводене "

Научен ръководител:

Проф. д-р инж. к.д.п. Благовест Белев

Варна 2020 г.

Дисертационният труд съдържа 173 страници, включително 3 таблици и 50 фигури. Цитирани са 104 литературни източника, от които 3 на кирилица, 98 на латиница и 3 електронни документа от Интернет-ресурси. Номерата на главите, формулите, фигурите, таблиците и цитираната литература в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

Дисертантът работи като асистент в катедра "Корабоводене" на ВВМУ "Н. Й. Вапцаров" и е зачислен в задочна форма на обучение, в същата катедра при факултет "Навигационен" на ВВМУ "Н. Й. Вапцаров".

Изследванията по дисертационния труд са извършени във ВВМУ "Н.Й. Вапцаров", както и на корабите „California Highway” и „Dalian Highway” през 2018г. и 2019г. съответно от дисертанта, който плава на длъжност старши-помощник капитан.

Дисертационният труд е насочен за защита от съвета на Факултет „Навигационен“ при ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“ в съответствие на чл. 5, ал. 1 от ЗРАС.

Рецензиите, становищата на членовете на научното жури и авторефератът са публикувани в сайта на училището www.naval-acad.bg

Материалите по защитата (дисертация и автореферат) са на разположение на интересувалите се във Факултет: "Навигационен", катедра "Корабоводене".

ВВМУ Адрес : Варна, ул."Васил Друмев " No-73.

Автор: Дилян Светославов Димитранов

Заглавие: **Оценка на ефективността на моделите за оптимизиране на плана за преход на кораба за повишаване на енергийната му ефективност.**

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Въведение

Безопасната експлоатация на кораба е принцип, на който се основава моряшката професия. Като един от водещите принципи в корабоплаването, темата за енергийна ефективност на корабите остава актуална и днес. Ефективното използване на енергия, означава използването на по-малко енергия, за да се получи същото ниво на услуги. Това е удобна концепция в погледа на много морски предприятия, защото тази концепция спестява гориво и финансови средства. Освен това ефективното използване на енергия има и положително отражение в борбата с промяна на климата.

ИМО започва да залага критерии за енергийна ефективност на корабите още през 2013г., когато влиза в сила нова глава към Анекс VI на MARPOL, която включва пакет от задължителни технически и оперативни мерки за ограничаване на парниковите газове от международното корабоплаване. Това се извършва с цел подобряване на енергийната ефективност на новите кораби, чрез подобрен дизайн и системи за задвижване на всички кораби. Следващите правила с неблагоприятни финансови последици за много корабни оператори влязоха в сила на 01 Януари 2020, когато съгласно Анекс VI глобалният лимит на сяра в горивото, използвано по корабите в световен мащаб намаля от 3.5% на 0.5% съдържание на сяра.

Морската индустрия навлезе в период на силна нестабилност през 2020г., когато бе прието правилото всички използвани горива да бъдат със сярно съдържание под 0.5%. Анализите сочат, че цените на бункерованото гориво биха могли да скочат с над 50% заради това решение на Комитета по морска безопасност.

По-високата цена на горивата с ниско съдържание на сяра, както и изискванията на ИМО за енергийна ефективност, принуждават корабните оператори да въвеждат нови методи, които да доведат до икономии на гориво. Сред най-ефективните методи се отличават: ограничаване на скоростта и оптимизиране на плана за преход на кораба.

Системите за оптимизиране на маршрута на корабите стават възможни, благодарение на появата на широк обхват от различни източници за прогнозиране на метеорологичната обстановка и развитието на избирателна климатология. Солидните компютърни техники за моделиране на времето също дават своя принос в този процес.

Безопасността на кораба и екипажа, консумацията на гориво, енергийната ефективност, комфорта на екипажа, времето за изпълнение на прехода, контрола върху забавянията - това са различните аспекти, които трябва да се имат предвид при минимизиране на функцията на разхода. Оптимален преход е този, който се свързва с минималната стойност на разходите, предвид посочените аспекти.

Едновременното адресиране на енергийната ефективност, оптимизирането на маршрута на кораба и безопасността може да се изпълни посредством използването на математични алгоритми в реално време.

Планът на прехода, географската позиция и времето за пристигане на кораба във всяка поворотна точка могат да бъдат оптимизирани, чрез въвеждането на алгоритми за определяне на маршрута и скоростна оптимизация. Качеството на работа на алгоритмите зависи от точността на хидродинамичния модел на кораба, точността на прогнозата на времето и на избора на математичния модел и алгоритъм. Голяма част от начините за решение варират от методи, от теорията за оптимален контрол и динамично програмиране, до алгоритъма на Dijkstra. Тези методи могат да бъдат използвани за намиране на най-добрите локални или глобални корабни маршрути. При голяма част от алгоритмите за определяне на маршрут, контролните променливи за оптимизация са курса на кораба или изходната мощност на главния двигател.

Целта на настоящата дисертация е да изследва възможностите за оптимизиране на плана на преход на кораба, чрез изготвяне на алгоритъм, основан върху линейното програмиране и аналитичната геометрия, за автоматично изготвяне на плана на прехода, с цел да се повиши енергийната ефективност в крайбрежно и каботажно плаване.

Обект на изследване в настоящата разработка са съществуващите алгоритми за оптимизиране на план за преход според различни критерии.

Предмет на изследване са валидността и приложимостта на съществуващите алгоритми за оптимизиране на план за преход в модерното крайбрежно корабоплаване. Въпреки че тези алгоритми се използват от много години, някои от тях могат и имат нужда да бъдат модернизирани, докато други могат да се окажат неподходящи за използване при кратки преходи и в териориални води.

Това изследване се базира на **хипотезата**, че съществуващите алгоритми за оптимизиране на маршрута са тясно насочени към оптимизиране само на океански

преходи и са неприложими при плаване на кратки разстояния и в близост до брега. Освен това използването на математичен модел за изготвяне и оптимизиране на маршрута ще намали значително фактора „човешка грешка” в етапите на изготвяне на плана.

За постигането на целта ще бъдат изпълнени следните **задачи**:

- Въвеждане в съществуващите правила свързани с корабната енергийна ефективност;
- Изследване на използваните алгоритми за водене на кораба според метеорологичните условия или според други критерии;
- Изследване на приложимостта на линейното програмиране и аналитичната геометрия за изготвяне на алгоритъм за съставяне на преход в близост до брега;
- Изготвяне на математичен модел за автоматично начертаване на план на преход в крайбрежни води;
- Представяне на пример за употребата на математичния модел в реални условия.

Настоящата дисертация е структурирана в четири глави.

В първа глава е направен обзор на изискванията към енергийната ефективност на корабите. Представени са основните алгоритми, които се използват за водене на кораба според метеорологичните условия или други критерии и са посочени техните слаби страни.

Във втора глава са направени теоретични изследвания на алгоритмите и математическия апарат, необходими за създаване на математичен модел. Обоснован е математическият апарат на алгоритъма за автоматично начертаване на плана на прехода.

В трета глава е представен подробен пример за план на преход между пилотските места на пристанищата Jacksonville (USA) и Cartagena (Colombia), за което е използван предложеният алгоритъм. Разгледани са подробно етапите и уравненията за създаване на плана, с помощта на този алгоритъм.

В четвърта глава е описан предложеният алгоритъм в табличен вид и са изведени приносите на дисертацията.

Научно-практическата новост на дисертационния труд се състои в установяване на възможността за прилагане на принципа на линейното програмиране и аналитичната

геометрия в изготвянето на план за преход на кораба в зоната на териториално море, както и съставянето на математичен модел, способен самостоятелно да изчисли и начертае план за преход в крайбрежни води.

Глава I

Влияние на алгоритмите за оптимизиране на плана на преход на кораба върху повишаването на енергийната му ефективност и тяхното приложение в модерното корабоплаване

1.1 Енергийна ефективност и нейното влияние върху корабоплаването

1.1.1 Замърсяване на околната среда

Промените в климата е един от най-сериозните проблеми, пред които е изправено човечеството през двадесет и първи век. Климатичните промени влияят върху живота на земята, което ги прави широко обсъждана тема в медийното пространство и проблем, на който се търси решение на глобално ниво. Изменението на климата се изследва от висококвалифицирани учени, работещи заедно в Международното бюро за промяна на климата. Международното бюро определя промяната на климата като „всяка промяна в климата в течение на времето, била тя естествена или като резултат от човешка дейност“.

Основния парников газ отделян от корабите е Въглеродният диоксид, който се получава при изгарянето на гориво. През 2007г. международното корабоплаване е отговорно за 2.7% от глобалните CO₂ емисии. Предвид, че корабоплаването представлява 90% от световната търговия, това е сравнително малък процент, сравнено с другите транспортни алтернативи: въздушен или железопътен транспорт. Затова корабите произвеждат сравнително малко CO₂ за проплавана миля. Въпреки това ММО - Международната Морска Организация (ИМО - International Maritime Organization) очаква приноса на корабоплаването да се увеличи значително, заради увеличаването на световната търговия. Общественото и политическо внимание към промените в климата са значителни, поради което от корабоплаването ще се очаква да изпълнява поставените задачи при по-ниски нива на отделени въглеродни емисии. Общественото и политическо внимание към промяната на клима се увеличава значително и от корабите ще се очаква да намалят емисиите на CO₂.

1.1.2 Мястото на корабоплаването в замърсяването на околната среда

Макар замърсяването на въздуха от корабите да няма същите последици като например един нефтен разлив, замърсяването има натрупващ се ефект, който допринася за качеството на въздуха в много райони. Друг негативен ефект от отделените корабни емисии са появата на смог и киселинен дъжд в пристанищните акватории.

Анекс VI на MARPOL 73/78, приет през 1997г. и влязъл в сила на 19 Май 2005г. ограничава основните замърсители на въздуха в корабните емисии, включително серните и азотни окиси. Анексът забранява преднамерените емисии на озоно-разрушаващи вещества. Той регулира и използването на инсинератора на борда, както и емисиите на летливите органични съединения от танкери.[7]

Съгласно Анекс VI глобалният лимит на сяра в горивото използвано по корабите в световен мащаб намаля от 3.5% съдържание на сяра на 0.5% съдържание на сяра след 01 Януари 2020г.

Когато през 2020г. е прието изискването всички използвани горива да бъдат със сярно съдържание под 0,5%, анализите прогнозираят, че цените на бункерованото гориво биха могли да скочат с над 50% заради това решение на Комитета по морска безопасност. Извън Зоните с Контролирани Емисии (Emission Control Areas) горната граница на съдържание на сяра е 0.5%, а вътре в тези зони допустимото съдържание на сяра е 0.1%. Към този момент такива зони са Северно и Балтийско море, както и териториалните води около Съединените Американски Щати и Канада.

Поглеждайки отвъд 2020г., следващата значителна стъпка към намаляване на негативния ефект на корабоплаването върху морската среда, ще е въвеждането на стандарт за морски горива с ниско съдържание на въглерод през 2023г. Очаква се този стандарт да донесе нови предизвикателства на петролната индустрия, особено при смазочните масла. Много корабособственици вече монтират системи за ограничаване на вредните емисии от кораби преди навлизането на новия стандарт. Корабните оператори могат да преминат на по-чистия, но по-скъп газьол или да инсталират скрубърни системи, които да филтрират сярата от тежкото гориво. Една скруберна система или система за почистване на изходящите газове от кораба се използва, за да се премахнат фините прахови частици и вредните компоненти като серни и азотни окиси от изходящите газове на кораба, получени

след изгарянето на гориво в корабния двигател. Скруберните системи могат да струват на един корабособственик между един и шест милиона долара на кораб.

1.1.3 Изисквания на MARPOL Анекс VI

През юли 2011г. ИМО приема нова глава към Анекс VI, която включва пакет от задължителни технически и оперативни мерки за ограничаване на парниковите газове от международното корабоплаване. Целта е подобряване на енергийната ефективност на новите кораби, чрез подобрен дизайн и системи за задвижване на всички кораби. Въвеждат се също и подобрени оперативни практики. Мерките влизат в сила през 2013г.

От 2013г. всички кораби трябва да имат план за управление на енергийната ефективност, включително и наблюдения над използваното гориво и всички нови кораби построени след 2013г. трябва да могат да посрещнат специфично изискване за енергийна ефективност измервано в грамове CO₂ на тон миля, което постепенно ще се затяга на всеки пет години.

През Юли 2011г., Международната Морска Организация одобрява Конструктивния Индекс за Енергийна Ефективност (EEDI), който задава минимални изисквания за енергийна ефективност на нови кораби, построени след 2013г. Целта е да бъдат реализирани поетапни подобрения от 10% до 30% между 2013г. и 2025г.. Индексът е първата глобално задължаваща мярка, която задава параметри за енергийна ефективност за конструкцията на нови кораби. Тази мярка е отдавна закъсняла, защото конструктивната скорост, ширината на кораба и Фруд числото на корабите построени през последните десетилетия се увеличават непрекъснато. Тези промени водят до увеличаване на ефективността единствено от икономическа гледна точка. [1]

Съществува важен нюанс, който разграничава конструктивната ефективност и оперативната ефективност, тъй като при определянето им се използват различни замервания. Конструктивната ефективност (също известна като техническа ефективност) се основава на заводското състояние на двигателите и оборудването, включително и конструкцията на кораба. Оперативната ефективност варира в зависимост от действителната консумация на гориво и извършена транспортна работа. Двата различни подхода за измерване на ефективността не само отразяват методологични различия в

установяването на ефективността на кораба, но и представят фундаментални разлики в измерванията и в последващото им сравняване.

Международната морска организация е разработила също и Индикатор за оперативна енергийна ефективност – Energy Efficiency Operational Indicator. Това е индикатор, който дава информация относно ефективността на кораба в оперативни условия. Изчисляването му се основава на измервания на консумацията на гориво на определен кораб и данните за постигната транспортна работа (маса на товара, брой пътници и други). Резултатът показва CO₂ емисиите за тон морска миля. Индикаторът може да бъде подобрен като се приложи всяка мярка, свързана с намаляването на консумацията на гориво. Въпреки това, Индикаторът варира значително, в зависимост от корабните операции, в продължение на времето и между преходите.

1.1.4 Приложение на мерките за енергийна ефективност.

По време на MERC 63, няколко групи от хора и компании приемат силна позиция против въвеждането на Индекса за съществуващи кораби и тяхната гледна точка бе одобрена от Комитета. Въвеждането на Индикаторът остана като незадължително, но бе включено в Корабният План за Управление на Енергийна Ефективност (SEEMP) като възможен показател за измерване на ефективността на Планът.

Интересно е да се отбележи, че и Индексът и Индикаторът са изразени в грамове CO₂ за тон морска миля (g/tnm). Те се отнасят за консумацията на гориво (или CO₂ емисии) и по един или друг начин са свързани с дистанцията и вместимостта. Въпреки това приликите свършват дотук, защото съществуват значителни разлики и при двата в начина на пресмятане на консумацията на гориво, дистанция и вместимост. Разликите при изчисляването им са следните:

Консумация на гориво – При Индекса консумацията се изчислява посредством използване на данни от типичната консумация на определени видове двигатели, в зависимост от възрастта и мощността на двигателя при определени натоварвания. Индикаторът е базиран на докладите за действителната консумация на кораба.

Вместимост – Корабната вместимост се разглежда различно между Индекса и Индикатора. Вместимостта, пресметната при Индикатора е използваната вместимост на

кораба (количеството превозен товар или фактор на натоварване), докато вместимостта при Индекса е свързана единствено с цялата налична вместимост на кораба.

Разстояние – Индикаторът се основава на реалното изминато разстояние. Индексът не директно пресмята разстоянието, като използва конструктивната скорост на кораба. С информацията от емисиите на двигателя при определено натоварване за определено време (gCO_2/h) и конструктивната скорост е възможно да се пресметнат и емисиите за определена дистанция ($\text{gCO}_2/\text{distance}$).

Един математичен модел за пресмятане и изготвяне на плана на прехода може да повлияе значително на фактора разстояние в изчисляването на оперативната ефективност на кораба. По този начин, намаляването на разстоянието, изминато между преходите на кораба значително повишава неговата оперативна и енергийна ефективност.

1.1.6 Изследване на енергийната ефективност

От известно време корабната енергийна ефективност е обект на фокусирано изследване: Figari и Soares [32] предлагат нови контролни стратегии за ограничаване на консумацията на гориво; Geertsma [38] представя обновен поглед и дискусия върху най-използваните дизайни и методи за контрол на системите за задвижване; Coraddu [23] адресира подобрието на ЕЕОІ чрез статистики от реални данни и симулации; Altosole [7] разглежда абсорбирането на топлинната енергия за подобряване на корабната ефективност. Повечето от изследванията са насочени за подобряването на ефективността от техническа гледна точка, независимо от оперативния профил на кораба.

Симулациите със системите за задвижване на кораба са изключително важни при работата за подобряване на енергийната ефективност. Авторите, постигнали сравнително голям опит в моделирането на корабни системи за задвижване в статични и динамични условия са Altosole [8], [6], [5] и Coraddu [25], а в сферата на моделирането на четиритактови дизелови двигатели и такива, които използват природен газ - Altosole, [4]. Vrijdag и Stapersma [101] представят детайлен труд относно обобщаването на динамичните модели за корабно задвижване. Baldi [13] адресира симулациите на големите двутактови дизелови двигатели за задвижване на кораба.

1.4 Допълнителни средства за план на прехода

Метеорологичните системи за водене на корабите разработват оптимален маршрут, който се основава на прогнозите на времето и на състоянието на морето, както и на индивидуалните характеристики на кораба за определен преход. В установени граници на състоянието на морето и времето, терминът оптималност се използва за максимална безопасност за кораба и екипажа, минимална консумация на гориво, минимално време за преход или за желана комбинация от тези фактори.

Агенциите за определяне на маршрута на корабите предлагат услуги и съвети, с цел да бъдат избегнати или намалени ефектите на неблагоприятните условия на времето и морето. Те издават първоначални препоръки за маршрут преди отплаване и препоръчват промени по време на прехода, като същевременно предоставят на вниманието на капитана или командира метеорологични бюлетени за приближаващи неблагоприятни морски условия, които не могат да бъдат ефективно избегнати с промяна в курса. Като неблагоприятни условия се дефинират тези условия, които биха причинили значително намаляване на скоростта, щети или загуба на време.

Ако прогнозата позволява, корабът може да бъде отклонен от първоначалния маршрут, за да се възползва от благоприятни ветрове и морски условия. Ефектът от напътствията се увеличава значително, когато:

1. Преходът е значително дълъг, около 1500 мили или повече;
2. Морското пространство е свободно за навигация, така че да предлага избор за движение;
3. Метеорологичните условия са определящ фактор в избора на маршрут.

Техниките за определяне на маршрута на кораба и достъпа до съветите на различни агенции са все по-финансово изгодни. По този начин те вече са налични и за крайбрежно плаване, малки търговски кораби и дори яхти.

1.5 Методология за оптимизация на маршрута

Една модерна система за оптимизация и подпомагане на решенията, трябва да се фокусира върху оптимизацията на безопасността на кораба и намаляване на разходите. За да се постигне това, системата събира от околната среда реални данни за времето и предсказва движението на кораба според тях, като същевременно предоставя оптимална

производителност. Тя се основава на компютърно-базирана платформа за подпомагане на решенията, която да бъде използвана от капитана в корабните операции.

Системата трябва да предоставя адекватни насоки и информация, като предлага оценка на последиците и да представи яснота в несигурността на параметрите на околната среда (вятър, вълнение и други), състоянието на натоварване на кораба и направлението на основната посоката на вълните, чрез използването на детерминистични или вероятностни модели, както е приложимо [91].

1.6 Приноси към подобряването на системите за определяне на маршрута на корабите

Условията на времето по протежението на маршрута, изключително много влияят на морските преходи. Нарастващото наличие на благонадеждни метеорологични прогнози в последните години, значително е подобрило безопасността на морските преходи, което позволява на операторите да избират удобни маршрути, за да избегнат неблагоприятните условия и дори - по-добре да пресметнат очакваното време на пристигане на кораба и свързаните с това разходи. Също така, все повече внимание се обръща на мореходните качества на корабите за повишаване на безопасността в лошо време.

От друга страна, метеорологични условия от средна интензивност не влияят на корабната безопасност, но сравнително увеличават консумацията на гориво и комфорта на борда.

Едновременното адресиране на енергийната ефективност, определянето на маршрута на кораба, безопасността и комфорта може да се изпълни посредством използването на математични алгоритми в реално време.

Безопасността на кораба и екипажа, консумацията на гориво, енергийната ефективност, комфорта на екипажа, времето за изпълнение на прехода, контрола върху забавянията - това са различните аспекти, които трябва да се имат предвид за минимизиране на функцията на разхода. Оптимален преход е този, който се свързва с минималната стойност на разходите, предвид посочените аспекти.

Традиционно, взаимодействието между кораба и преобладаващото състояние на времето се моделира чрез неумишлено и съзнателно намаляване на скоростта. Този подход, който е основан на скалата за сила на вятъра на Бофорт се използва също и в по-

модерни разработки [88], [61], въпреки изключително ниво на приблизителност. Chen [19] предлага по-подробно моделиране на корабното взаимодействие с околните фактори като ключова точка в оптимизацията на прехода; целта е по-добре да се съпоставят различните типове кораби, техните форми и размери, които по-принцип се държат по различен начин в различните условия на времето. Няколко автора предлагат съвременни подходи, които са съсредоточени в различните аспекти на взаимодействието на кораба с околната среда, по отношение на корабното задвижване и движение във водата. Marie и Courteille [70] представят оптимизационен подход с двойна цел, използвайки FRONTIER изпълнението на генетичният алгоритъм MOGA: оптимизацията се извършва по отношение на консумацията на гориво и време на преход, а допълнителното корабно съпротивление се взема предвид, за да се пресметне консумацията на гориво по маршрута. Maki [68] публикува многоцелеви генетичен подход за оптимизацията на преходите на контейнеровози, който пресмята цялата енергия използвана по време на прехода, параметричното клатене и добавя наказателна функция за вертикалното преместване на кораба. Lin [60] и Fang и Lin [31] представят модифициран изохронен метод, който минимизира средното използване на гориво и времето на пристигане. Safaei [82] представя оригинален подход, който се основава на квази-Нютонов локален метод на търсене. Coraddu [24] разглежда подобряването на ЕЕОІ посредством определяне на маршрута на корабите от брега.

Скоростта на кораба се влияе от мощността на корабния двигател. Различните степени на вълнение на морето и допълнителното съпротивление обаче потенциално водят до ограничаване на скоростта. От друга страна умишленото ограничаване на скоростта води до повишаване на безопасността. Затова могат да бъдат въведени ограничаващи условия свързани с наличната мощност на корабния двигател или с намаляване на скоростта. Метеорологичните условия също играят своята роля. Те могат да бъдат характеризирани като постоянни или стохастични. Стохастичните метеорологични условия се получават чрез разглеждането не само на прогнозираната информация, но и разглеждане на анализирани исторически данни, за да се ограничи вероятността за грешки в прогнозата. В подобен аспект постоянните времеви условия могат да включват, както липсата на вятър или океански течения, така и приемането, че прогнозираната информация е вярна за всяка локация за времето на преминаване на кораба през

съответното място. В допълнение, изискванията към безопасността като максимално допустима височина на вълната или критични периоди и ъгли на посрещане на вълнението са от изключителна важност за избягването на критични явления като слеминг (Slamming е ударът на дъното на кораба върху морската повърхност) или параметрично клатене.

Ограничаващите фактори и целевата функция, географската позиция и времето за пристигане във всяка поворотна точка могат да бъдат оптимизирани чрез въвеждането на алгоритми за определяне на маршрута и скоростна оптимизация. Въпреки това, всички произлизащи планове на прехода са само предвиждания. Тяхното качество зависи от точността на хидродинамичния модел на кораба, точността на прогнозата на времето и на избора на математичния модел и алгоритъм. Задачите за определяне на маршрута могат да бъдат моделирани като нелинейни, непрекъснати оптимизационни задачи или като абстрактни оптимизационни задачи, чрез разделянето им по време или пространство. Голяма част от начините за решение варират от методи, основани на теорията за оптимален контрол и динамично програмиране, до алгоритъма на Dijkstra. Всички те могат да бъдат използвани за намирането на най-добрите локални или глобални корабни маршрути. Предложените методи използват едноцелева или многоцелева оптимизация. Освен това методите се различават по броя на контролираните променливи. Обикновено тези променливи, които се използват за оптимизирането на целевата функция (разход на гориво или време за преход) са курса на кораба или изходната мощност на главния двигател.

Изводи по първа глава:

Енергийната ефективност на корабите е обект на усилено внимание през последното десетилетие. Изискванията на ИМО към предразполагат промени в модерното корабоплаване, както в конструктивен, така и в оперативен план. Разработеният Индикатор за оперативна енергийна ефективност дава информация относно ефективността на корабите в оперативни условия. Той може да бъде подобрен като се приложи всяка мярка, свързана с намаляването на консумацията на гориво. Най-ефективния метод за това е оптимизирането на плана за преход на кораба, посредством алгоритми за оптимизация според определени критерии.

Литературният обзор направен в тази глава показва, че алгоритмите, които се използват в навигацията за определяне на плана на прехода намират най-голямо

приложение при планиране на преходи на големи разстояния. Тъй като специализацията на разгледаните алгоритми е тясно насочена към оптимизиране на презокеански преходи, това не им позволява да бъдат приложими при планиране на маршрути на къси разстояния. Тази тясна специализация също така не позволява на голяма част от алгоритмите да бъдат използвани при планиране на преходи в близост до брега. Това ги прави и непрактични при избягване на навигационни опасности при планиране.

Дори и да бъдат използвани за крайбрежно плаване, алгоритмите предназначени за океански преходи не биха могли да представят математична обосновка при заобикалянето на морски препятствия, навигационни опасности или плитчини.

В следващата глава се разглеждат формули и уравнения от сферата на линейното програмиране и аналитичната геометрия, които биха могли да послужат за създаването на математично обоснован алгоритъм, който може да се използва за полагане на основата при планиране на маршрут покрай брега на кратки разстояния. Алгоритъмът би могъл да представи и възможност за автоматично заобикаляне на навигационни опасности. Въпреки че този алгоритъм в някои случаи може и да не предоставя възможно най-ефективният път, неговите резултати могат да бъдат използват съвместно с еволюционните алгоритми за допълнително оптимизиране на вече изчисленият и безопасен маршрут.

Глава II

Математична обосновка на алгоритъм за оптимизиране на плана на преход на кораба, с цел повишаване на неговата безопасност и енергийна ефективност

2.1 Обща задача на линейното програмиране

Линейното програмиране се занимава със задачи, при които критерият за оптималност и ограничаващите условия се изразяват чрез линейна функция на независимите променливи. Математическата формулировка на общата задача на линейното програмиране е следната.

Да се намери вектор $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, за който се получава минимална стойност на линейната функция:

$$(2.1) \quad L(X) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

При следните ограничаващи условия за неизвестните:

$$(2.9.7) \quad c_1x_1 + c_2x_2 = \text{const}$$

Посоката на вектора $C(c_1, c_2)$ показва направлението, в което стойността на $L(X)$ се увеличава, а обратната му посока – направлението, в което стойността намалява.

Геометричната интерпретация на задачата на линейното програмиране се състои в определянето на точка от множеството D , за която стойността на линейната функция е минимална (максимална). Следователно съгласно казаното по-горе, когато се търсят максимум, правата $c_1x_1 + c_2x_2 = \text{const}$ се движи по посока на вектор градиента и се търси най-крайната обща точка на правата и областта D , а при търсене на минимум – правата се движи в обратна посока на вектор градиента. Ако се окаже, че крайната обща точка на правата и областта D е една, то координатите на тази точка определят единственото решение на задачата на линейното програмиране.

Ако правата $L(X) = \text{const}$ е успоредна на някоя от граничните прави на областта D то всички точки от отсечката върху тази права ще бъдат решения на задачата на линейното програмиране.

2.4 Вписан триъгълник с най-голяма площ в произволен многоъгълник

В своя труд [53], авторите разглеждат класическата задача в изчислителната геометрия: при даден конвексен многоъгълник P , да се намери вписаният триъгълник, който има най-голяма площ. Също така те представят алгоритъм от вида „Разделяй-и-Владей“ за време $O(n \log n)$. Тази задача попада в по-широка среда от задачи за геометрична оптимизация, където целта да се намери вписан обект в друг обект. Техният алгоритъм „Разделяй-и-Владей“ е следният:

Algorithm 3: Divide-and-Conquer triangle algorithm

Procedure Largest-Triangle(P)

Input P : a convex polygon

Output The largest-area triangle in P

if $|P| = 3$ then

| return P

end

else

| a = an arbitrary root on P

```

|   Ta = largest-area triangle rooted at a
|   m = median point on the largest interval on P between two vertices of Ta
|   Tm = largest-area triangle rooted at m
|   P0,P00=sub-polygons constructed by interleaving intervals using Ta and Tm
|   if Ta and Tm are interleaving then
|       |   return max (Largest-Triangle(P0), Largest-Triangle(P00))
|   end
|   else if P0 can include the largest-area triangle then
|       |   return Largest-Triangle(P0)
|   end
|   else
|       |   return Largest-Triangle(P00)
|   end
end

```

2.7 Елипса на Щайнер

В геометрията, елипсата на Щайнер [54], [100], описана около триъгълник е единствената описана елипса, на която центъра съвпада с медицентъра на триъгълника. За сравнение описаният кръг около триъгълник е друго конично сечение, което допира върховете на триъгълника, но неговият център не съвпада с медицентъра на триъгълника освен ако самият триъгълник не е равноностранен.

Площта на елипсата на Щайнер се равнява на площта на триъгълника умножена по $\frac{4\pi}{3\sqrt{3}}$. Също така това е най-малката елипса, която може да се опише около произволен триъгълник.

За елипсата на Щайнер могат да се ползват и следните уравнения. Нека се разглежда триъгълник ABC , координатите на върховете, на който спрямо произволна Декартова координатна система Oxy са следните:

$$(2.53) \quad A(a_1, a_2), B(b_1, b_2), C(c_1, c_2)$$

От (2.53) следва, че координатното представяне на медицентъра G на $\triangle ABC$ спрямо Oxy е следното: $G\left(\frac{a_1+b_1+c_1}{3}, \frac{a_2+b_2+c_2}{3}\right)$. Нека точките A_1 , B_1 и C_1 са симетрични спрямо медицентъра G съответно на A , B и C . Като се вземе предвид, че G е среда на отсечките AA_1 , BB_1 и CC_1 (това означава, че координатите на G са полусумите на съответните координати на всяка от двойките точки (A, A_1) , (B, B_1) и (C, C_1)), за координатните представяния на точките A_1 , B_1 и C_1 се получава че:

$$(2.54) \quad \begin{aligned} A_1 & \left(\frac{-a_1 + 2b_1 + 2c_1}{3}, \frac{-a_2 + 2b_2 + 2c_2}{3} \right), \\ B_1 & \left(\frac{2a_1 - b_1 + 2c_1}{3}, \frac{2a_2 - b_2 + 2c_2}{3} \right), \\ C_1 & \left(\frac{2a_1 + 2b_1 - c_1}{3}, \frac{2a_2 + 2b_2 - c_2}{3} \right). \end{aligned}$$

Произволна крива от втора степен в равнината на координатната система Oxy има уравнение от вида:

$$(2.55) \quad a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{12}xy + a_{13}x + a_{23}y + a_{33} = 0.$$

Като се заместят координатите (2.53) и (2.54) в уравнението (2.55) за коефициентите a_{11} , a_{22} , a_{12} , a_{13} , a_{23} и a_{33} се получават равенствата:

$$(2.56) \quad \begin{aligned} a_{11} & = a_2^2 + b_2^2 + c_2^2 - b_2c_2 - c_2a_2 - a_2b_2, \\ a_{22} & = a_1^2 + b_1^2 + c_1^2 - b_1c_1 - c_1a_1 - a_1b_1, \\ a_{12} & = b_1c_2 + b_2c_1 + c_1a_2 + c_2a_1 + a_1b_2 + a_2b_1 - 2(a_1a_2 + b_1b_2 + c_1c_2), \\ a_{13} & = (b_2c_2 - a_2^2)(b_1 + c_1) + (c_2a_2 - b_2^2)(c_1 + a_1) + (a_2b_2 - c_2^2)(a_1 + b_1), \\ a_{23} & = (b_1c_1 - a_1^2)(b_2 + c_2) + (c_1a_1 - b_1^2)(c_2 + a_2) + (a_1b_1 - c_1^2)(a_2 + b_2), \\ a_{33} & = a_2^2b_1c_1 + a_1b_2^2c_1 + a_1b_1c_2^2 - a_1b_2c_2(-a_1 + b_1 + c_1) - a_2b_1c_2(a_1 - b_1 + c_1) - a_2b_2c_1(a_1 + b_1 - c_1). \end{aligned}$$

Уравнението (2.55), коефициентите в което се изразяват чрез равенствата (2.56), е уравнението на елипсата на Щайнер E за $\triangle ABC$ спрямо координатната система Oxy .

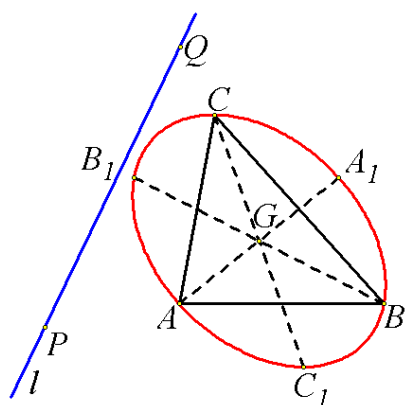
2.8 Общи точки на права с елипса на Щайнер

Ако правата l минава през точките $P(x_1, y_1)$ и $Q(x_2, y_2)$, нейното общо уравнение спрямо Oxy е следното:

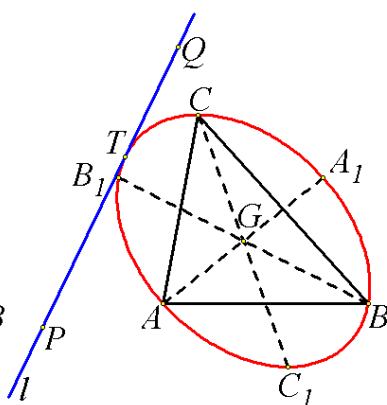
$$(2.57) \quad (y_1 - y_2)x - (x_1 - x_2)y + x_1y_2 - x_2y_1 = 0.$$

Координатите на общите точки на правата l и елипсата на Щайнер E за $\triangle ABC$ са решения на системата, образувана от уравненията (2.55) и (2.57). За решенията на тази система има три възможности:

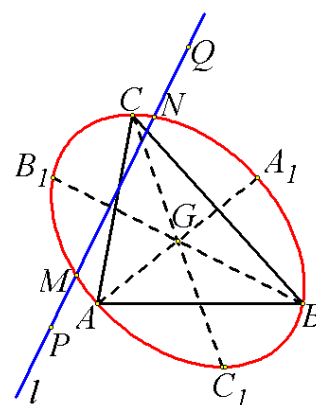
- 1) Системата няма реални решения, когато l няма нито една обща точка с елипсата E (Фиг. 2.7);
- 2) Системата има едно реално решение, когато l се допира до елипсата E в точка T (Фиг. 2.8);
- 3) Системата има две реални решения, когато l има две общи точки M и N с елипсата E (Фиг. 2.9).



Фиг. 2.7



Фиг. 2.8



Фиг. 2.9

2.9 Изграждане на база данни на опасности за навигацията, която да съдържа уравненията на описани елипси.

По време на своята работа, алгоритъмът на линейното програмиране проверява дали линията на маршрута между две пристанища или между кръстопътни точки пресича правите, които ограждат различните навигационни опасности, като съпоставя уравнението на линията на маршрута с уравнението на всяка една ограждаща права.

Ако трябва да се съпоставят уравнението на линията на маршрута с всички уравнения на ограждащи линии от целия свят, този процес ще бъде непосилен за

изчислителната мощ на модерните компютри. За да се намалят компютърните изчисления се предлага следният подход.

Нека навигационните опасности, разположени в близост едни до други да бъдат групирани и оградени от геометрична фигура, която максимално да наподобява формата на групата обекти. Най-гъвкавата геометрична фигура с единствено уравнение, която може да се използва в двуизмерното пространство е тази на елипсата. Фигурата на елипсата може най-добре ограда различните групи от опасности за навигацията.

Ще бъде представен нагледен пример как една елипса може да опише Канарските острови.

От всеки един остров се намират най-крайните кардинални точки – най-северната, най-южната, най-източната и най-западната.

Техните координати се въвеждат в алгоритъм за начертаване на конвексна обвивка (Convex Hull). Алгоритъмът избира всички крайни точки на фигурата, за да се създаде полигон около островите. Това се случва по следният начин:

1. Избира се най-южната точка за стартова. Това е южната точка с координати $(27.637^\circ, -17.988^\circ)$ от остров Ел Йеро. След това се проверява всяка друга точка около нея, за да се намери тази, която се намира най-близко до пеленг 090° , спрямо първата. Пеленгът към всяка следваща точка се пресмята по следната формула:

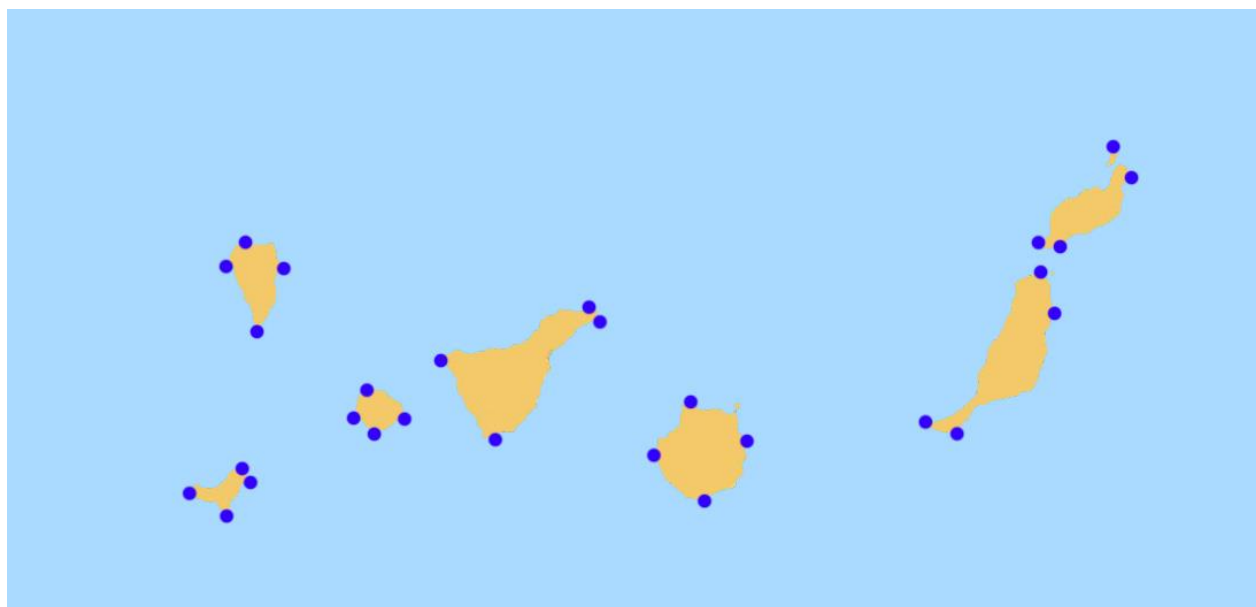
$$(2.58) \quad P = \tan^{-1}[\cos \varphi_1 \times \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 \times \cos \varphi_2 \times \cos(\lambda_2 - \lambda_1); \sin(\lambda_2 - \lambda_1) \times \cos \varphi_2]$$

Пеленгът, най-близък по стойност до 090° е 086.8° и е към най-южната точка на остров Гран Канариа. Тази точка се запаметява като втора точка.

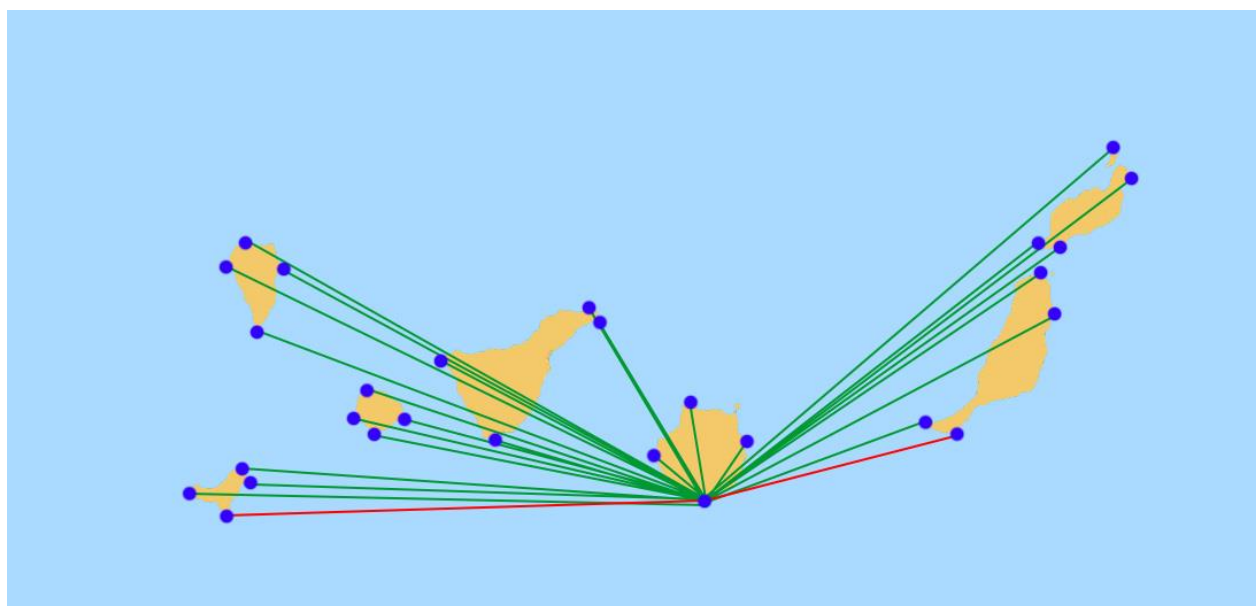
2. От втората точка се проверява всяка друга точка, за да се намери тази, която ще доведе до минимално изменение на пеленга от предишната точка към сегашната. В този случай това е най-южната точка на остров Фуертевентура, която се намира на пеленг 074.2° . Разликата между двата пеленга е:

$$(2.59) \quad 086.8^\circ - 074.2^\circ = 012.6^\circ$$

Като 012.6° е минималното изменение на стойността на пеленга.



Фиг. 2.11 – Канарските острови с техните кардинални точки



Фиг 2.13 Избор на трета точка от полигона на пеленг максимално близък до предишния

3. Алгоритъмът продължава тази работа и изчислява нови ограждащи точки докато не срещне отново първата точка. По този начин алгоритъмът за конвексната обвивка работи докато не се образува многоъгълник. Координатите на точките от получения многоъгълник са:

1. ф: 27.637° λ: -17.988°	4. ф: 28.590° λ: -13.822°	7. ф: 28.855° λ: -17.912°
2. ф: 27.733° λ: -15.599°	5. ф: 29.196° λ: -13.418°	8. ф: 28.755° λ: -18.004°
3. ф: 28.043° λ: -14.332°	6. ф: 29.290° λ: -13.509°	9. ф: 27.717° λ: -18.160°

Таблица 2.2 Координати на точките, които образуват многоъгълник около островите

Чрез използване на представения алгоритъм „Разделяй и Владей“, разгледан по-нагоре се определя вписания триъгълник с най-голяма площ.

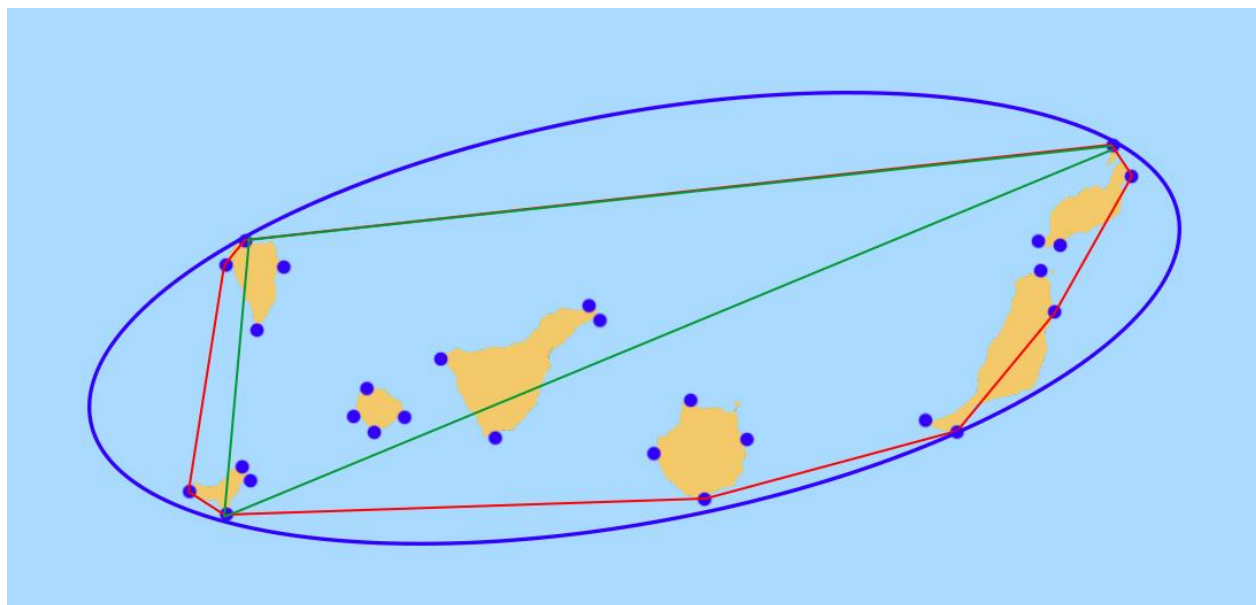
След това, по формулите за елипса на Щайнер (най-малка описана елипса около триъгълник) се начертава елипсата, която ще обхване всички точки в многоъгълника и ще съответства за съвкупността от съответните опасности за навигацията.

Нека триъгълника с най-голяма площ бъде ABC , а страните му a, b, c . Координатите на точките A, B, C ще бъдат съответно $A(\varphi_A \lambda_A), B(\varphi_B \lambda_B), C(\varphi_C \lambda_C)$.

Ще се използва косинусовата формула, за да се намерят разстоянията между върховете на триъгълника.

$$(2.60) \quad d = \cos^{-1}(\sin \varphi_1 \times \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \times \cos \varphi_2 \times \cos \Delta\lambda) \times r$$

Където r е радиусът на Земята $r = 6371km$



Фиг. 2.16 Описана елипса около най-големия триъгълник

Центърът на елипсата ще съвпада с медицентъра на триъгълника ABC и ще има координати:

$$(2.41) \quad S = \left(\frac{\varphi_A + \varphi_B + \varphi_C}{3}, \frac{\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C}{3} \right)$$

Като се заместят координатите на точките в уравнението за коефициентите на елипсата на Щайнер $a_{11}, a_{22}, a_{12}, a_{13}, a_{23}$ и a_{33} се получават равенствата:

$$\begin{aligned}
a_{11} &= a_2^2 + b_2^2 + c_2^2 - b_2c_2 - c_2a_2 - a_2b_2, \\
a_{22} &= a_1^2 + b_1^2 + c_1^2 - b_1c_1 - c_1a_1 - a_1b_1, \\
a_{12} &= b_1c_2 + b_2c_1 + c_1a_2 + c_2a_1 + a_1b_2 + a_2b_1 - 2(a_1a_2 + b_1b_2 + c_1c_2), \\
(2.56) \quad a_{13} &= (b_2c_2 - a_2^2)(b_1 + c_1) + (c_2a_2 - b_2^2)(c_1 + a_1) + (a_2b_2 - c_2^2)(a_1 + b_1), \\
a_{23} &= (b_1c_1 - a_1^2)(b_2 + c_2) + (c_1a_1 - b_1^2)(c_2 + a_2) + (a_1b_1 - c_1^2)(a_2 + b_2), \\
a_{33} &= a_2^2b_1c_1 + a_1b_2^2c_1 + a_1b_1c_2^2 - a_1b_2c_2(-a_1 + b_1 + c_1) - a_2b_1c_2(a_1 - b_1 + c_1) - a_2b_2c_1(a_1 + b_1 - c_1). \\
(2.55) \quad & a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{12}xy + a_{13}x + a_{23}y + a_{33} = 0.
\end{aligned}$$

Уравнението, коефициентите в което се изразяват чрез равенствата, е уравнението на елипсата на Щайнер.

Съпоставя се уравнението на маршрутната линия с уравнението на елипсата на Щайнер.

Ако системата уравнения има две общи решения, това означава, че маршрутната линия пресича елипсата в две точки. При това положение е много вероятно маршрутната линия да пресича границите на навигационната опасност.

Ако системата уравнения има едно единствено решение, това означава, че маршрутната линия тангира с елипсата. При това положение е вероятно маршрутната линия да тангира с границата на навигационната опасност.

Ако системата уравнения няма решение, това означава, че маршрутната линия няма общи точки с елипсата. При това положение маршрутната линия със сигурност не пресича навигационната опасност.

Ако маршрутна линия тангира или пресича елипсата на опасностите, тогава се задейства алгоритъма на линейното програмиране (описан по-долу) за отбягване на опасността.

Нека корабът тръгва от пристанище точка A с координати (φ_1, λ_1) за пристанище B с координати (φ_2, λ_2) .

Нека бъде прието, че между тези две пристанища няма навигационни опасности. Тогава линията между двете пристанища има каноничното уравнение:

$$(2.65) \quad g: \frac{\varphi - \varphi_1}{\varphi_2 - \varphi_1} = \frac{\lambda - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

Коеето се преобразува в общото уравнение на правата:

$$(2.56) \quad g: a\varphi + b\lambda + c = 0$$

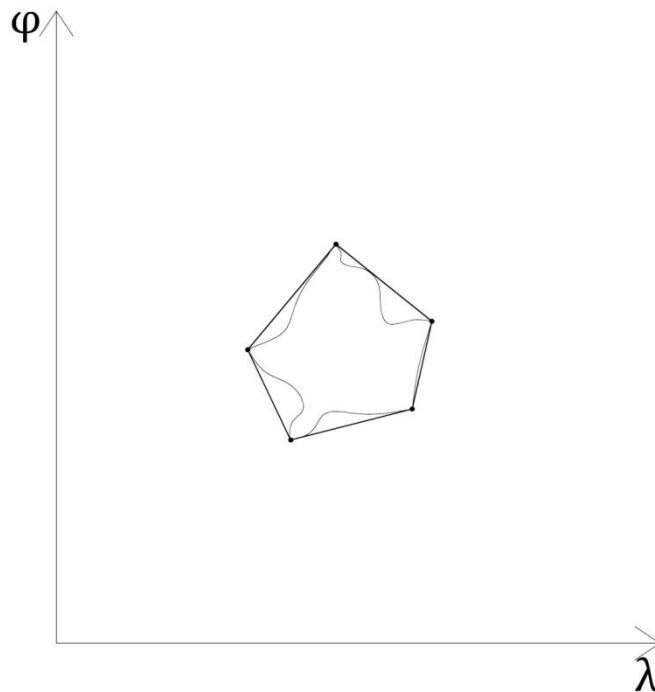
Курсът на от точка А към точка В е:

$$(2.57) \quad \tan \alpha = -\frac{a}{b}$$

$$(2.58) \quad \alpha = \arctan -\frac{a}{b}$$

Нека бъде разгледана същата ситуация, но със наличие на навигационна опасност.

В алгоритъма предварително се въвеждат навигационните опасности с координатите на крайните им точки.



Фиг. 2.24 Навигационна опасност с линиите, които я ограждат

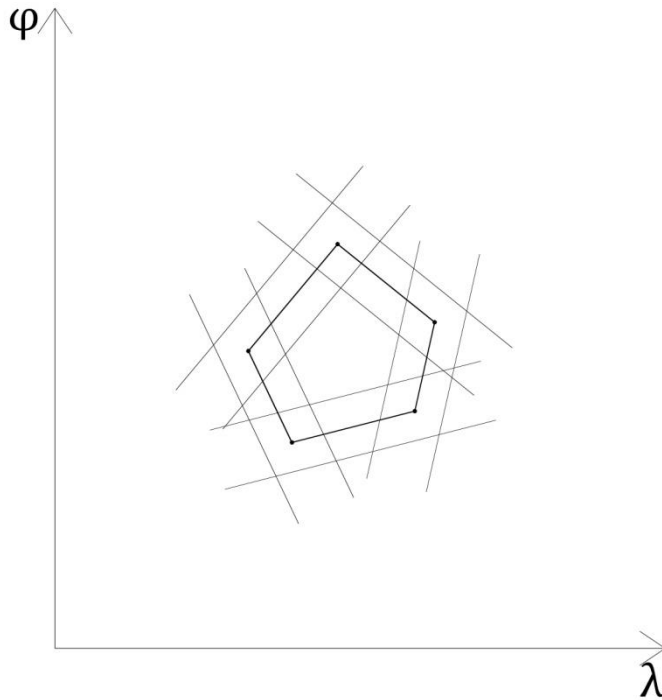
Крайните точки се свързват с прави линии (Фиг. 2.24), след което по формулата

$$(2.66) \quad g: \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

се изчисляват уравненията на правите. Тогава:

$$(2.67) \quad g: \frac{\lambda - \lambda_{11}}{\lambda_{12} - \lambda_{11}} = \frac{\varphi - \varphi_{11}}{\varphi_{12} - \varphi_{11}}$$

Откъдето:



Фиг. 2.25 Успоредни прави, отстоящи на зададено разстояние

За всяка една права k'_n се решава следната система уравнения:

$$(2.72) \quad \begin{cases} k'_n: \lambda(\varphi_{n2} - \varphi_{n1}) - \varphi(\lambda_{n2} - \lambda_{n1}) - (\lambda_{n1}\varphi_{n2} - \varphi_{n1}\lambda_{n2}) \\ \quad \mp d \left[\sqrt{(\varphi_{n2} - \varphi_{n1})^2 + (\lambda_{n2} - \lambda_{n1})^2} \right] = 0 \\ g_1: \lambda(\varphi_{n2} - \varphi_{n1}) - \varphi(\lambda_{n2} - \lambda_{n1}) - (\lambda_{n1}\varphi_{n2} - \varphi_{n1}\lambda_{n2}) = 0 \\ \quad \varphi \in [\varphi_{n1}, \varphi_{n2}]; \lambda \in [\lambda_{n1}, \lambda_{n2}] \end{cases}$$

Ако двете уравнения имат общи решения уравнението на правата k'_n няма да се зачита в следващите сметки.

Правите, които нямат общи точки с границите на опасността, или „зачетените“ прави, с уравненията си образуват фигурата, към която се допира курса на кораба.

Въвеждат се пристанищата А и В с техните координати.

Правата AB представлява най-краткото разстояние между двете пристанища. Понеже тя е образувана от точките $A(\varphi_A, \lambda_A)$ и $B(\varphi_B, \lambda_B)$ правата има уравнение:

$$(2.73) \quad p: \frac{\varphi - \varphi_A}{\varphi_B - \varphi_A} = \frac{\lambda - \lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A}$$

Откъдето:

$$(2.74) \quad p: \lambda(\varphi_B - \varphi_A) - \varphi(\lambda_B - \lambda_A) - (\lambda_A \varphi_B - \varphi_A \lambda_B) = 0$$

Е уравнението на правата, която свързва пристанище A с пристанище B .

Проверява се дали правата p пресича някоя от правите k'_n като се търсят общи решения между тях.

$$(2.75) \quad \left\{ \begin{array}{l} p: \lambda(\varphi_B - \varphi_A) - \varphi(\lambda_B - \lambda_A) - (\lambda_A \varphi_B - \varphi_A \lambda_B) = 0 \\ k'_n: \lambda(\varphi_{n2} - \varphi_{n1}) - \varphi(\lambda_{n2} - \lambda_{n1}) - (\lambda_{n1} \varphi_{n2} - \varphi_{n1} \lambda_{n2}) \\ \quad \mp d \left[\sqrt{(\varphi_{n2} - \varphi_{n1})^2 + (\lambda_{n2} - \lambda_{n1})^2} \right] = 0 \end{array} \right.$$

$$\varphi \in [\varphi_A, \varphi_B]; \varphi \in [\varphi_{n1}, \varphi_{n2}]$$

$$\lambda \in [\lambda_A, \lambda_B]; \lambda \in [\lambda_{n1}, \lambda_{n2}]$$

Ако има налични общи решения между правата p и правите k'_n тогава правата AB пресича граничните линии на опасността и не преминава на зададеното безопасно разстояние от нея.

Тогава се задейства алгоритъмът на линейното програмиране. Правите:

$$(2.76) \quad \left\{ \begin{array}{l} k'_n: \lambda(\varphi_{12} - \varphi_{11}) - \varphi(\lambda_{12} - \lambda_{11}) - (\lambda_{11} \varphi_{12} - \varphi_{11} \lambda_{12}) \\ \quad \mp d \left[\sqrt{(\varphi_{12} - \varphi_{11})^2 + (\lambda_{12} - \lambda_{11})^2} \right] = 0 \\ k'_n: \lambda(\varphi_{22} - \varphi_{21}) - \varphi(\lambda_{22} - \lambda_{21}) - (\lambda_{21} \varphi_{22} - \varphi_{21} \lambda_{22}) \\ \quad \mp d \left[\sqrt{(\varphi_{22} - \varphi_{21})^2 + (\lambda_{22} - \lambda_{21})^2} \right] = 0 \\ k'_n: \lambda(\varphi_{32} - \varphi_{31}) - \varphi(\lambda_{32} - \lambda_{31}) - (\lambda_{31} \varphi_{32} - \varphi_{31} \lambda_{32}) \\ \quad \mp d \left[\sqrt{(\varphi_{32} - \varphi_{31})^2 + (\lambda_{32} - \lambda_{31})^2} \right] = 0 \\ \dots \dots \dots \\ k'_n: \lambda(\varphi_{n2} - \varphi_{n1}) - \varphi(\lambda_{n2} - \lambda_{n1}) - (\lambda_{n1} \varphi_{n2} - \varphi_{n1} \lambda_{n2}) \\ \quad \mp d \left[\sqrt{(\varphi_{n2} - \varphi_{n1})^2 + (\lambda_{n2} - \lambda_{n1})^2} \right] = 0 \end{array} \right.$$

представяват условия ограждащи дадена област в координатната система.

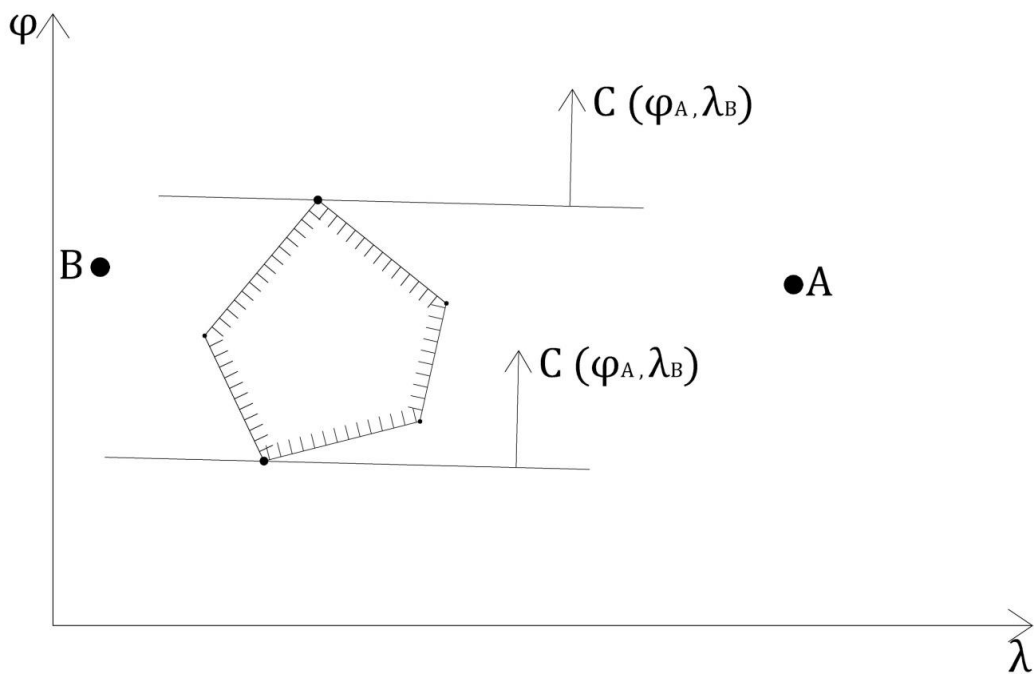
Търси се минималната и максималната стойност на линейната функция:

$$(2.77) \quad L(X) = c_1 x_1 + c_2 x_2$$

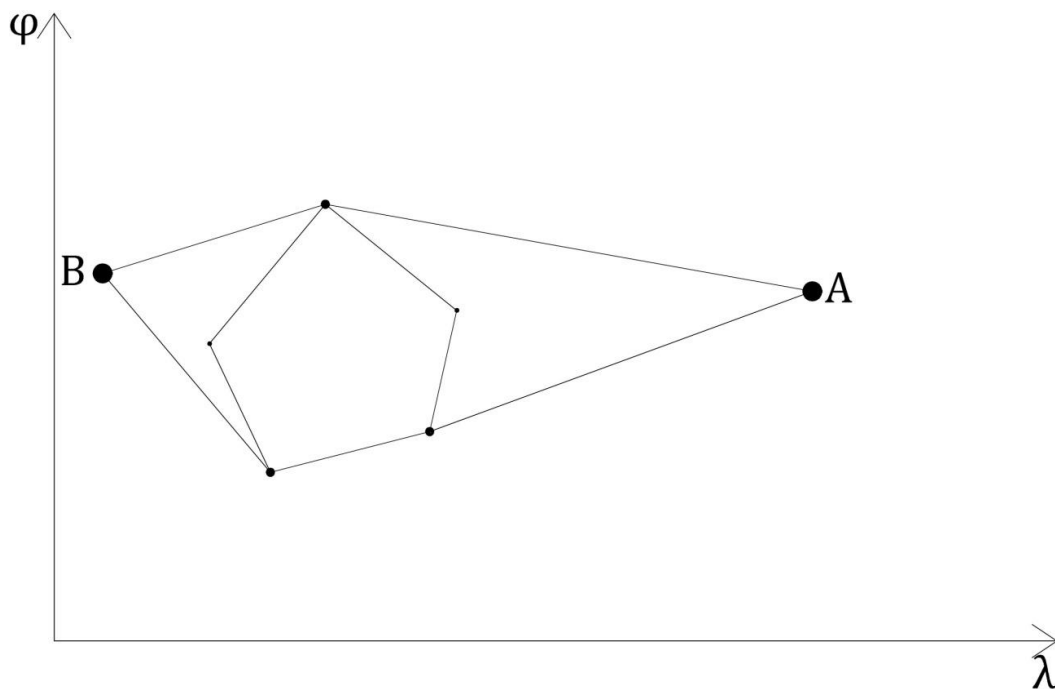
При гореописаните условия.

Координатите на вектор градиента C са (φ_A, λ_B) . По този начин се намират MAX и MIN на областта, която представлява опасността и безопасното разстояние около нея. Този максимум и минимум на линейната функция показват точките, през които трябва да мине новия курс на кораба, за да може той да се размине на зададеното безопасно разстояние от областта. Координатите на тези две точки са съответно общите решения на уравненията на двойката прави, от ограничаващите условия, които се пресичат. Търси се MAX и MIN на

функцията, за да се определи впоследствие, от коя страна на опасността, пътят е по-кратък. Съответно тези точки са кръстени M и N и те имат координати $M (\varphi_{MAX}, \lambda_{MAX})$ и $N (\varphi_{MIN}, \lambda_{MIN})$



Фиг. 2.28 Вектор-градиенти на затворената фигура



Фиг. 2.30 Изобразяване на окончателните безопасни курсове

Проверява се дали новите прави пресичат някъде областта на опасността, като се съпоставят техните уравнения и уравненията на границите на опасността и се търсят общи решения. От тук следват два случая:

Случай 1: Ако общи решения не съществуват, приема се, че правите минават на зададено безопасно разстояние от опасността и по тях може да се определи курса на кораба от точка A до точка B .

Случай 2: Ако една от новите прави пресича още веднъж областта на опасността, за съответната права се задейства отново механизма на линейното програмиране, като този път в зависимост от това дали правата е била от MAX или MIN на предишната функция, се търси само нов MAX или MIN , вместо нови MAX и MIN .

Ако например правата AN пресича областта на опасността, то тогава координатите на вектор градиента са (φ_A, λ_N) и се търси само минимума на тази функция. След като се намери новия минимум на функцията – точка N' , се построяват правите NN' и AN' и се преминава отново към алгоритъма на Случай 2.

Изводи по втора глава:

Разгледаните формули и уравнения от линейното програмиране демонстрират, че е възможно да се създаде математичен модел способен за заобикаля навигационни опасности при зададено разстояние. Уравненията от аналитичната геометрия показват, че е как може да се състави математичен алгоритъм за автоматично начертване на план за преход на кораба, като се съпостави уравнението на правата между началното и крайното пристанище със уравненията на правите ограждащи навигационни опасности. Групирането на навигационните опасности под формата на елипса, значително намалява времето, необходимо за изчисления. Геометричната интерпретация на линейното програмиране може да се използва за разминаване с навигационни опасности на разстояние, зададено от навигатора.

Съвкупността от уравненията е тясно насочена към начертване на план с оглед на разминаване и заобикаляне на неподвижни навигационни опасности. Поради естеството на работата си, алгоритъмът би могъл да намира приложение при планиране на кратки преходи в крайбрежни региони. Използваният формулен апарат не предполага употребата на алгоритъма при планиране на презокеански преходи, защото не се взимат под внимание ефектите на метеорологичните условия.

Глава III

Демонстрация на работата на алгоритъм за оптимизиране на плана на преход на кораба, с цел повишаване на неговата безопасност и енергийна ефективност

В тази глава е представен математичния алгоритъм разработен във втора глава. За демонстрация се използва района на Карибският басейн. Маршрутът, който се определя е от пилотското място на Jacksonville, Florida, USA до пилотското място на Cartagena, Colombia.

Потенциалните опасности са Бахамските острови и островите Куба, Испаньола и Ямайка. Около тези зони се начертават елипси. От островната група на Бахамите се избират най-северната, най-южната, най-източната и най-западната точки на всеки по-голям остров и островна група, а от островите Куба, Испаньола и Ямайка – най-издадените кардинални точки.

Координатите на крайните точки на островите от Бахамската група се въвеждат в алгоритъм за начертаване на конвексна обвивка (Convex Hull). Алгоритъма избира всички най-издадени точки, за да създаде многоъгълник около островите.

Многоъгълниците около Куба, Испаньола и Ямайка не включват отделни острови, затова за техните многоъгълници няма да се задейства същия алгоритъм.



Фиг 3.2 Многоъгълници около основните навигационни опасности

От всеки многоъгълник се избират вертексите, които образуват триъгълник с най-голяма площ. С координатите на върховете на всеки един от тези триъгълници се начертават елипсите около островите.



Фиг 3.4 Описани елипси на Щайнер около островите

В алгоритъм се въвеждат островите с координатите на най-издадените им точки. Най-издадените точки на всеки остров се свързват с прави линии, на които се извеждат уравненията.

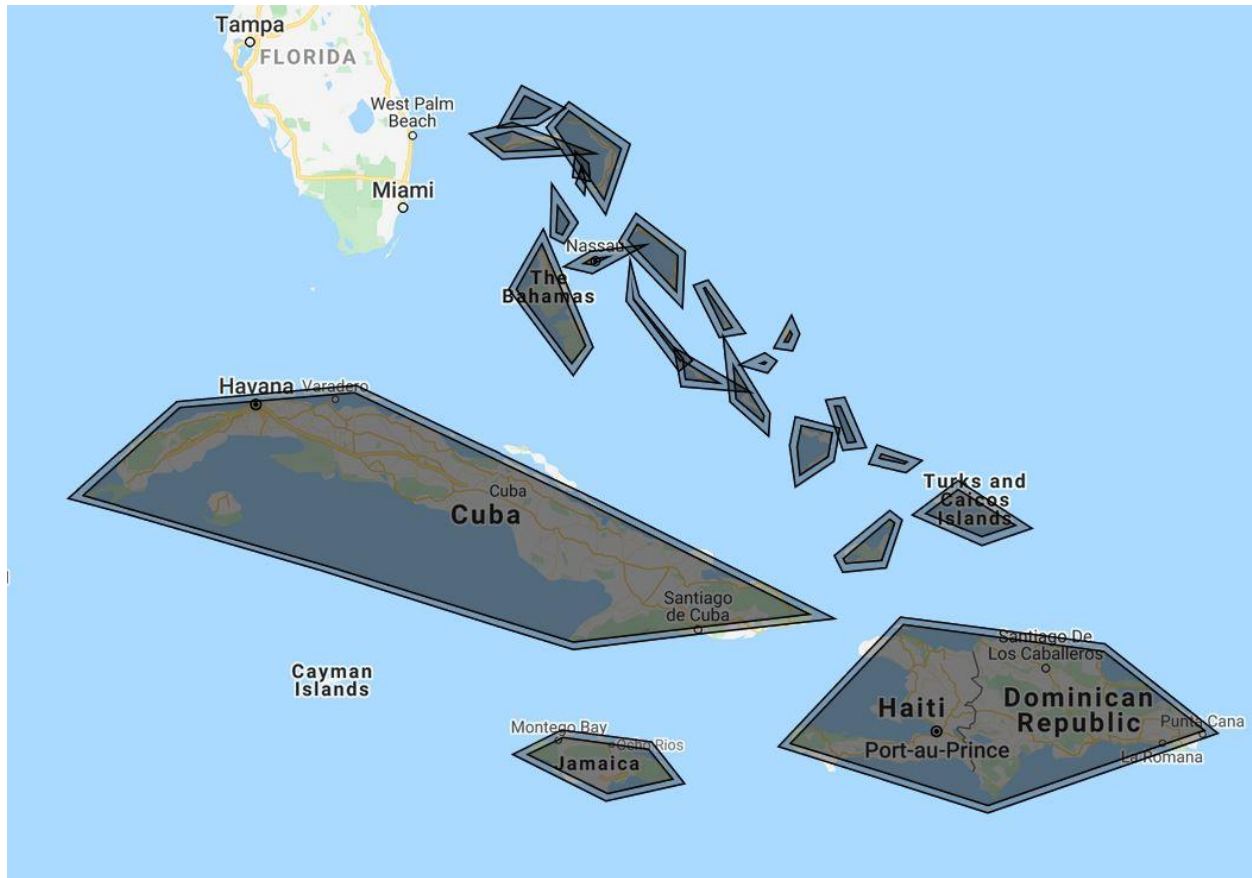
След това се определят уравненията на прави, успоредни на ограждащите линии около всяка опасност и отстоящи на разстояние една десета от дъговата минута. По тези прави се определя маршрута на кораба.

При съставянето на маршрута се започва с проверка дали маршрутната линия между началната и крайната точка пресича някоя от елипсите.

Координатите на началната и крайната точка са:

$$Pilot\ St.\ Jacksonville: \varphi = 30.33945^\circ; \lambda = -81.26993333333333^\circ$$

$$Pilot\ St.\ Cartagena: \varphi = 10.36865^\circ; \lambda = -75.70713333333333^\circ$$



Фиг 3.5 Ограждащи прави и Отстоящи прави около островите

Уравнението на правата между двете точки е:

$$p: 5.5628\varphi + 19.9708\lambda + 1454.25329215333 = 0$$

След съпоставката между уравнението на правата и уравненията на елипсата се вижда, че правата пресича единствено елипсата на Куба в точки с координати:

$$M: \varphi = 20.2023878^\circ; \lambda = -78.44628828^\circ$$

$$N: \varphi = 22.9721643^\circ; \lambda = -79.21780034^\circ$$

След като се установи, че маршрутната права пресича елипсата на Куба се проверява дали същата права пресича отстоящите прави около остров Куба.

Задейства се алгоритъма на линейното програмиране, където правите отстоящи от остров Куба на зададено отстояние представляват условия ограждащи дадена област в координатната система. Търси се минимална и максимална стойност на линейната функция. Максимумът и минимумът показват точките, през които трябва да премине новият курс на кораба на безопасно разстояние. За съответните условия те са:

$$MAX: \varphi = 20.1518140269167^\circ; \lambda = -73.7571751269104^\circ$$

$$MIN: \varphi = 21.8228029275953^\circ; \lambda = -85.1622764143485^\circ$$

За тази опасност се използва максимумът на функцията, за да се определи първата поворотна точка.

$$WP01: \varphi = 20.1518140269167^\circ; \lambda = -73.7571751269104^\circ$$

Правата между нулевата и първата поворотна точка има уравнение:

$$WP00: \varphi = 30.33945^\circ; \lambda = -81.2699333333333^\circ$$

$$WP01: \varphi = 20.1518140269167^\circ; \lambda = -73.7571751269104^\circ$$

$$p: 7.51275820642296\varphi + 10.1876359730833\lambda + 600.015544390887 = 0$$

Правата пресича елипсата на Бахамските острови.

Проверява се дали правата пресича линии ограждащи опасности в елипсата на Бахамските острови. За улеснение на сметките се приема, че опасностите, чиито зони се сливат, формират обща област за целите на линейното програмиране.

Проверяват се първо най-близките опасности.

Задейства се алгоритъма на линейното програмиране, където правите отстоящи от островите Great Albaco, Great Sale Cay и Grand Bahama на зададено отстояние представляват условия ограждащи дадена област в координатната система. Максимумът и минимумът показват точките, през които трябва да премине новият курс на кораба на безопасно разстояние. За съответните условия те са:

$$MAX: \varphi = 26.5892869555467^\circ; \lambda = -76.8350033617708^\circ$$

$$MIN: \varphi = 26.7367842995983^\circ; \lambda = -79.2425338178712^\circ$$

За тези опасности се използва максимумът на функцията, за да се определи нова първа поворотна точка, а поворотната точка източно от остров Куба остава следваща (втора).

$$WP01: \varphi = 26.5892869555467^\circ; \lambda = -76.8350033617708^\circ$$

Правата между нулевата и първата поворотна точка има уравнение:

$$WP00: \varphi = 30.33945^\circ; \lambda = -81.2699333333333^\circ$$

$$WP01: \varphi = 26.5892869555467^\circ; \lambda = -76.8350033617708^\circ$$

$$p: 4.43492997156254\varphi + 3.75016304445335\lambda + 170.222164486131 = 0$$

Проверява се дали правата между първата и втората поворотна точка пресича елипсата на Бахамските острови.

$$WP01: \varphi = 26.5892869555467^\circ; \lambda = -76.8350033617708^\circ$$

$$WP02: \varphi = 20.1518140269167^\circ; \lambda = -73.7571751269104^\circ$$

$$p: 3.07782823486042\varphi + 6.43747292862992\lambda + 412.785995976001 = 0$$

Правата между първата и втората поворотна точка пресича елипсата на Бахамските острови.

Проверява се дали правата пресича линии ограждащи опасности в елипсата на Бахамските острови.

Задейства се алгоритъма на линейното програмиране, където правите отстоящи от островите Bahamas, Nassau и Eleuthera на зададено отстояние представляват условия ограждащи дадена област в координатната система. Максимумът и минимумът показват точките, през които трябва да премине новият курс на кораба на безопасно разстояние. За съответните условия те са:

$$MAX: \varphi = 25.1779541725992^\circ; \lambda = -76.0101065229248^\circ$$

$$MIN: \varphi = 24.6572382400319^\circ; \lambda = -78.6500633343943^\circ$$

За тези опасности се използва максимумът на функцията, за да се определи нова втора поворотна точка, а поворотната точка източно от остров Куба остава следваща (трета).

$$WP02 = \varphi = 25.1779541725992^\circ; \lambda = -76.0101065229248^\circ$$

Правата между първата и втората поворотна точка има уравнение:

$$WP01: \varphi = 26.5892869555467^\circ; \lambda = -76.8350033617708^\circ$$

$$WP02: \varphi = 25.1779541725992^\circ; \lambda = -76.0101065229248^\circ$$

$$p: 0.824896838846016\varphi + 1.4113327829475\lambda + 86.5063403655485 = 0$$

Проверява се дали правата между първата и втората поворотна точка пресича същите опасности.

Проверява се дали правата между втората и третата поворотна точка пресича елипсата на Бахамските острови.

$$WP02: \varphi = 25.1779541725992^\circ; \lambda = -76.0101065229248^\circ$$

$$WP03: \varphi = 20.1518140269167^\circ; \lambda = -73.7571751269104^\circ$$

$$p: 2.2529313960144\varphi + 5.02614014568242\lambda + 325.313244429609 = 0$$

Правата между втората и третата поворотна точка пресича елипсата на Бахамските острови.

Проверява се дали правата пресича линии ограждащи опасности в елипсата на Бахамските острови

Задейства се алгоритъма на линейното програмиране, където правите отстоящи от островите Great Guana Cay и Cat Island на зададено отстояние представляват условия ограждащи дадена област в координатната система. Максимумът и минимумът показват точките, през които трябва да премине новият курс на кораба на безопасно разстояние. За съответните условия те са:

$$MAX: \varphi = 24.0625613303357^\circ; \lambda = -75.1130856538553^\circ$$

$$MIN: \varphi = 24.4998698601699^\circ; \lambda = -76.9009534319279^\circ$$

За тези опасности се използва максимумът на функцията, за да се определи нова трета поворотна точка, а поворотната точка източно от остров Куба остава следваща (четвърта).

$$WP03 = \varphi = 24.0625613303357^\circ; \lambda = -75.1130856538553^\circ$$

Правата между втората и третата поворотна точка има уравнение:

$$WP02: \varphi = 25.1779541725992^\circ; \lambda = -76.0101065229248^\circ$$

$$WP03: \varphi = 24.0625613303357^\circ; \lambda = -75.1130856538553^\circ$$

$$p: -0.897020869069479\varphi - 1.11539284226349\lambda - 62.195978422059 = 0$$

Проверява се дали правата между втората и третата поворотна точка пресича същите опасности.

Правата пресича същите опасности, затова се избира нов максимум на функцията. Новият максимум е със следните координати:

$$MAX: \varphi = 24.8149706542338^\circ; \lambda = -75.670284208687^\circ$$

Това представлява и третата поворотна точка:

$$WP03: \varphi = 24.8149706542338^\circ; \lambda = -75.670284208687^\circ$$

След това, маршрутната линия продължава по протежението на опасността, като следващата четвърта поворотна точка е на мястото на предишният максимум на функцията.

$$WP04: \varphi = 24.0625613303357^\circ; \lambda = -75.1130856538553^\circ$$

Правата между третата и четвъртата поворотна точка има уравнение:

$$WP03: \varphi = 24.8149706542338^\circ; \lambda = -75.670284208687^\circ$$

$$WP04: \varphi = 24.0625613303357^\circ; \lambda = -75.1130856538553^\circ$$

$$p: 0.557198554831729\varphi + 0.752409323898185\lambda + 43.1081615939108 = 0$$

Проверява се дали правата между третата и четвъртата поворотна точка пресича същата опасност.

Правата не пресича същата опасност, а върви по протежението на външната ограждаща права.

Проверява се дали правата между четвъртата и петата поворотна точка пресича елипсата на Бахамските острови.

$$WP04: \varphi = 24.0625613303357^\circ; \lambda = -75.1130856538553^\circ$$

$$WP05: \varphi = 20.1518140269167^\circ; \lambda = -73.7571751269104^\circ$$

$$p: 1.35591052694492\varphi + 3.91074730341894\lambda + 261.12161695923 = 0$$

Правата между четвъртата и петата поворотна точка пресича елипсата на Бахамските острови.

Проверява се дали правата пресича линии ограждащи опасности в елипсата на Бахамските острови.

Задейства се алгоритъма на линейното програмиране, където правите отстоящи от островите Long Island, Rum Cay Island и San Salvador на зададено отстояние представляват условия ограждащи дадена област в координатната система. Максимумът и минимумът показват точките, през които трябва да премине новият курс на кораба на безопасно разстояние. За съответните условия те са:

$$MAX: \varphi = 23.714530326338^\circ; \lambda = -74.6397842410205^\circ$$

$$MIN: \varphi = 23.6495101580296^\circ; \lambda = -75.2604632380892^\circ$$

За тези опасности се използва максимумът на функцията, за да се определи нова пета поворотна точка, а поворотната точка източно от остров Куба остава следваща (шеста).

$$WP05: \varphi = 23.714530326338^\circ; \lambda = -74.6397842410205^\circ$$

Правата между четвъртата и петата поворотна точка има уравнение:

$$WP04: \varphi = 24.0625613303357^\circ; \lambda = -75.1130856538553^\circ$$

$$WP05: \varphi = 23.714530326338^\circ; \lambda = -74.6397842410205^\circ$$

$$p: 0.473301412834743\varphi + 0.348031003997637\lambda + 14.7528383394012 = 0$$

Проверява се дали правата между петата и шестата поворотна точка пресича елипсата на Бахамските острови.

$$WP05: \varphi = 23.714530326338^\circ; \lambda = -74.6397842410205^\circ$$

$$WP06: \varphi = 20.1518140269167^\circ; \lambda = -73.7571751269104^\circ$$

$$p: 0.882609114110181\varphi + 3.5627162994213\lambda + 244.989715297905 = 0$$

Правата между петата и шестата поворотна точка пресича елипсата на Бахамските острови.

Проверява се дали правата пресича линии ограждащи опасности в елипсата на Бахамските острови.

Задейства се алгоритъма на линейното програмиране, където правите отстоящи от островите Samana & Plana Cays и Crooked Islands на зададено отстояние представляват условия ограждащи дадена област в координатната система. Максимумът и минимумът показват точките, през които трябва да премине новият курс на кораба на безопасно разстояние. За съответните условия те са:

$$MAX: \varphi = 21.9557804699517^\circ; \lambda = -74.4103356678186^\circ$$

$$MIN: \varphi = 22.8042921536017^\circ; \lambda = -73.7191808943662^\circ$$

За тези опасности ще се използва максимумът на функцията, за да се определи нова шеста поворотна точка, а поворотната точка източно от остров Куба остава следваща (седма).

$$WP06: \varphi = 21.9557804699517^\circ; \lambda = -74.4103356678186^\circ$$

Правата между петата и шестата поворотна точка има уравнение:

$$WP05: \varphi = 23.714530326338^\circ; \lambda = -74.6397842410205^\circ$$

$$WP06: \varphi = 21.9557804699517^\circ; \lambda = -74.4103356678186^\circ$$

$$p: 0.22944857320195\varphi + 1.75874985638638\lambda + 125.831444667072 = 0$$

Проверява се дали правата между шестата и седмата поворотна точка пресича елипсата на Бахамските острови.

$$WP06: \varphi = 21.9557804699517^\circ; \lambda = -74.4103356678186^\circ$$

$$WP07: \varphi = 20.1518140269167^\circ; \lambda = -73.7571751269104^\circ$$

$$p: 0.653160540908232\varphi + 1.80396644303492\lambda + 119.893099111893 = 0$$

Правата между шестата и седмата поворотна точка пресича елипсата на Бахамските острови.

Проверява се дали правата пресича линии ограждащи опасности в елипсата на Бахамските острови.

Правата между шестата и седмата поворотна точка не пресича други опасности.

Тогава седмата поворотна точка източно от Куба остава окончателна.

Правата между седмата и осмата поворотна точка има уравнение.

$$WP07: \varphi = 20.1518140269167^\circ; \lambda = -73.7571751269104^\circ$$

$$Pilot\ St.\ Cartagena: \varphi = 10.36865^\circ; \lambda = -75.7071333333333^\circ$$

$$p: -1.94995820642296\varphi + 9.78316402691673\lambda + 760.873737564682 = 0$$

Проверява се дали маршрутната права пресича други елипси.

Маршрутната права пресича елипсите на Куба и Испаньола.

Проверява се дали правата между седмата и осмата поворотна точка пресича някой от островите Куба или Испаньола.

Правата между седмата и осмата поворотна точка пресича остров Испаньола.

Задейства се алгоритъма на линейното програмиране, където правите отстоящи от остров Испаньола на зададено отстояние представляват условия ограждащи дадена област в координатната система. Максимумът и минимумът показват точките, през които трябва да премине новият курс на кораба на безопасно разстояние. За съответните условия те са:

$$MAX: \varphi = 18.5627494739896^\circ; \lambda = -68.1088436322374^\circ$$

$$MIN: \varphi = 18.3674058479778^\circ; \lambda = -74.6699399740068^\circ$$

За тази опасност се използва минимумът на функцията, за да се определи нова осма поворотна точка.

Правата между седмата и осмата поворотна точка има уравнение.

$$WP07: \varphi = 20.1518140269167^\circ; \lambda = -73.7571751269104^\circ$$

$$WP08: \varphi = 18.3674058479778^\circ; \lambda = -74.6699399740068^\circ$$

$$p: -0.912764847096383\varphi + 1.78440817893896\lambda + 150.006774000886 = 0$$

Правата между осмата и деветата поворотна точка има уравнение.

$$WP08: \varphi = 18.3674058479778^\circ; \lambda = -74.6699399740068^\circ$$

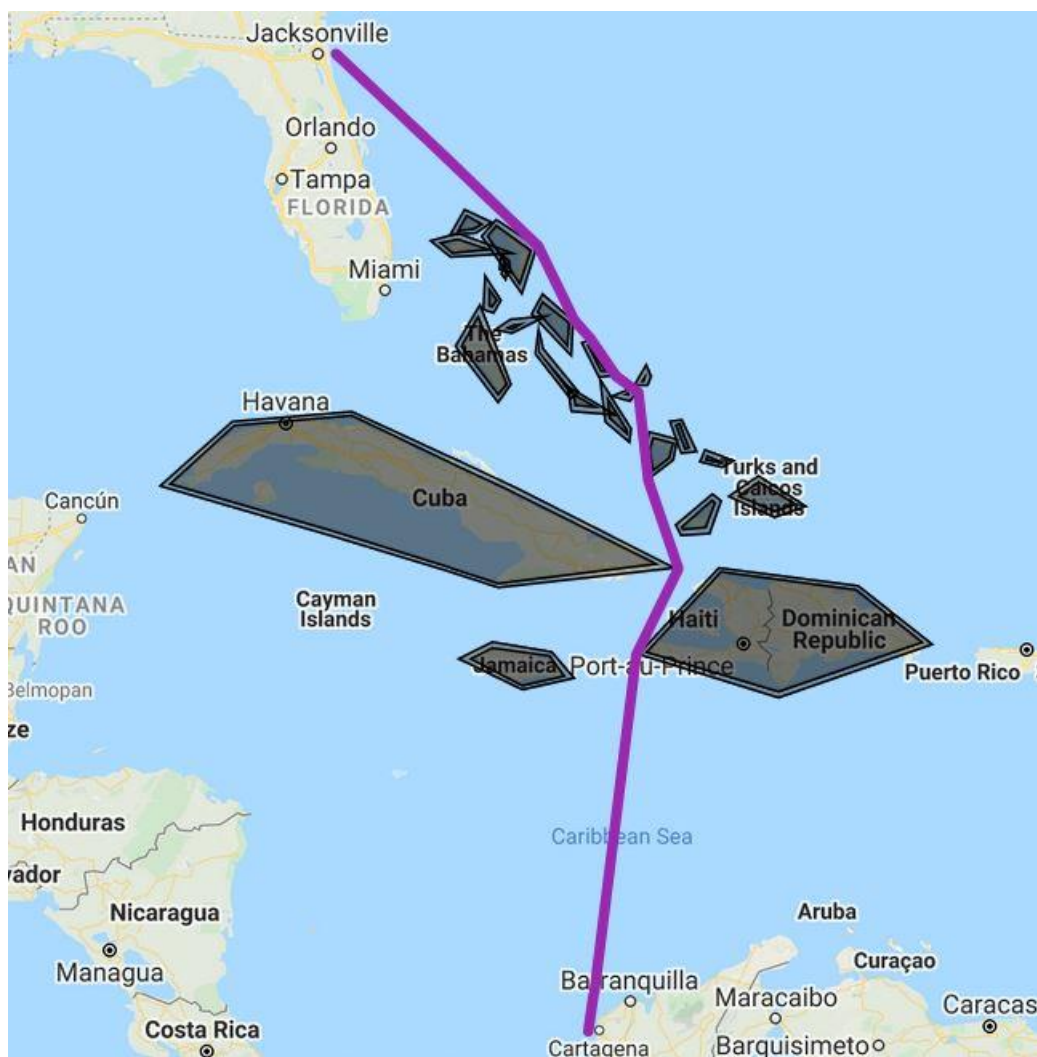
$$Pilot\ St.\ Cartagena: \varphi = 10.36865^\circ; \lambda = -75.7071333333333^\circ$$

$$p: -1.03719335932658\varphi + 7.99875584797776\lambda + 616.317170408814 = 0$$

Проверява се дали правата между осмата и деветата поворотна точка пресича други елипси.

Правата не пресича други елипси следователно и не преминава през други опасности.

Финалният маршрут представлява съвкупност от деветте разгледани отсечки, краищата на които оформят поворотните точки. Линиите на маршрута минават на разстояние поне една десета от дъговата минута от всяка една навигационна опасност. По този начин алгоритъма изпълни поставената задача и създаде план за преход според наложените критерии.



Фиг. 3.16 Финален маршрут

Изводи по трета глава:

Въведените в алгоритъма ограждащи и отстоящи прави служат единствено за демонстрация на работата на алгоритъма. Ограждащите прави около островите и островните групи са избрани с цел ясно да се покаже начина на работа на математичния модел. В едно реално, практическо изпълнение на алгоритъма, всяка една навигационна опасност трябва да бъде въведена в база данни, с достатъчен на брой ограждащи прави,

които напълно и изцяло да описват опасността. Получените маршрути може да не отговаря на всички изисквания на ИМО за съставяне на план за преход на кораба.

Направените изчисления в трета глава доказват възможността да бъде съставен алгоритъм, основан на формулите от линейното програмиране и аналитичната геометрия, който да състави маршрут между начална и крайна точка, като същевременно отбягва на зададено от навигатора разстояние всички неподвижни навигационни опасности, заложи в базата данни. Посредством избора на минимума или максимума на линейната функция, за заобикаляне на неподвижните навигационни опасности, алгоритъмът може да предложи набор от маршрути, от които навигаторът може да избира.

Глава IV

Приложение, обобщения и приноси

4.1 Приложение на предложения алгоритъм

Представеният алгоритъм може да намери широко приложение в модерната корабна индустрия. Алгоритъмът се основава на математични зависимости и би могъл да се имплементира в съвременните ECDIS системи, където може да се окаже сериозно помощно средство на офицерите, натоварени със задачата за начертване на план за преход на кораба. Подобно имплементиране в ECDIS, или в друг софтуер за планиране на маршрута, значително би намалил времето за съставяне на план на преход, като същевременно се оптимизира плана и се повишава неговата безопасност.

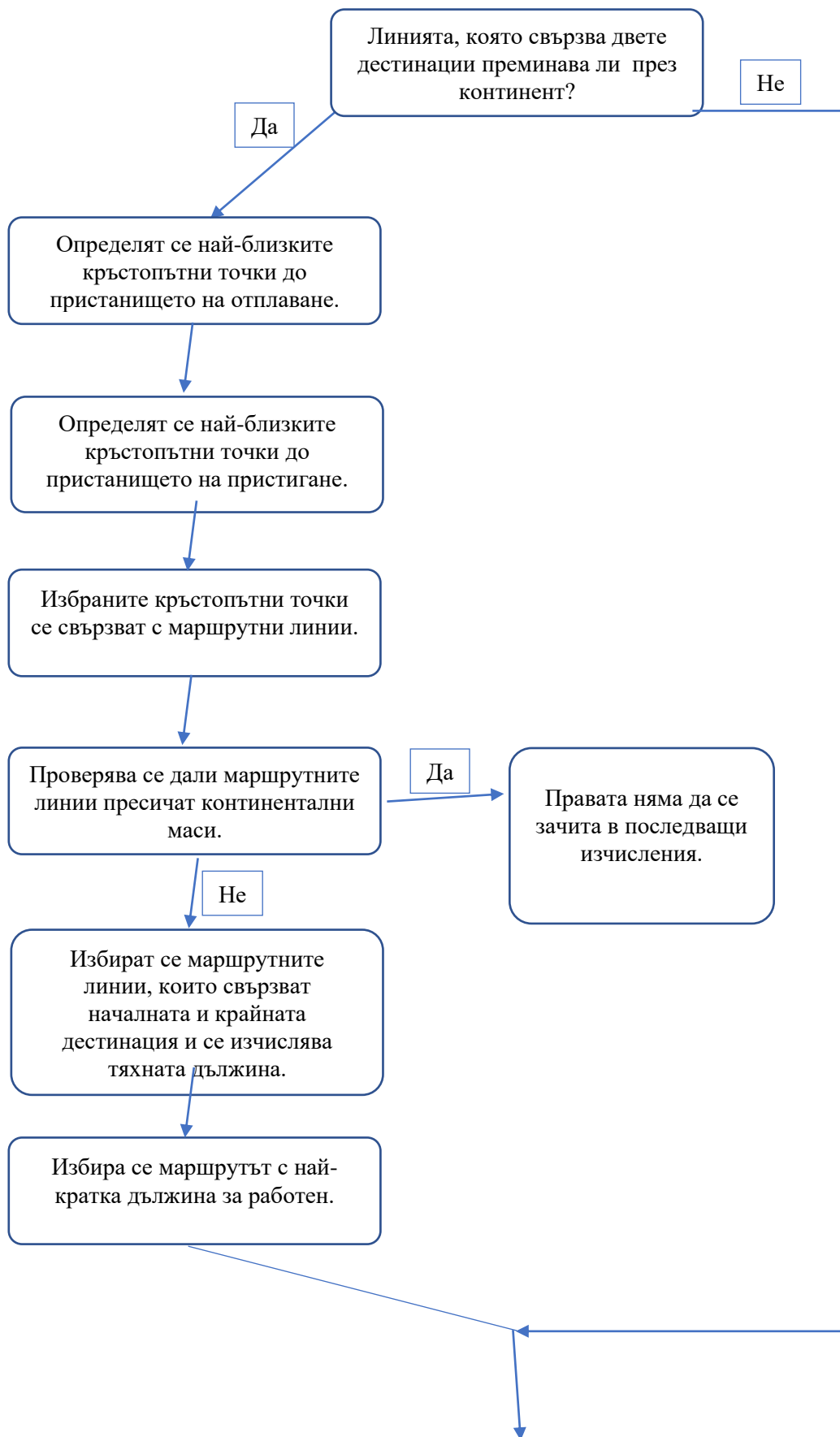
Разглежданият алгоритъм би могъл да се използва, както в корабни условия, така и в офиси на брега. Алгоритъмът може да се напише в софтуер формат, към който трябва да се добави посочената база данни. При използване в корабни условия не се препоръчва съответния софтуер да се инсталира на ECDIS компютъра, въпреки че директната визуализация на финалните маршрути да е предпочитан вариант. Причината за това се крие в слабите процесори в компютрите, които обслужват ECDIS. Ако се възложи задачата за намиране на безопасен маршрут въз основа на посоченият алгоритъм на компютър с ECDIS, изпълнението ѝ може да отнеме между няколко часа до няколко дена, в зависимост от разстоянията между началното и крайното пристанище и броя на навигационните опасности между тях. Ангажирането на ECDIS само с тази задача за такъв период от време не е нито ефективно, нито целесъобразно от гледна точка на планирането на маршрута.

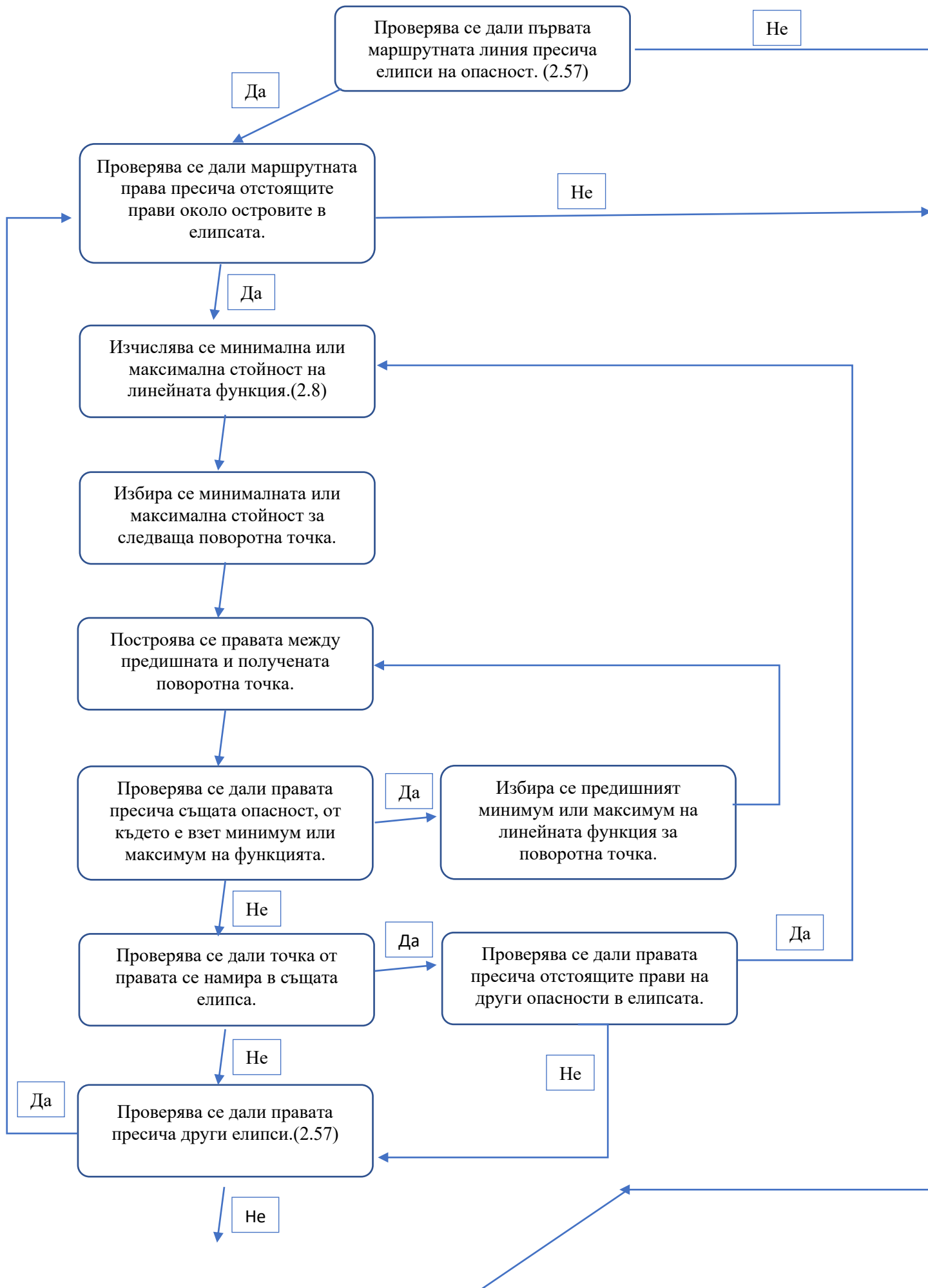
Предвид тези изводи, въвеждането на алгоритъма в корабни условия, може да бъде успешно, ако софтуерът е инсталиран на достатъчно способен компютър с добър процесор, който би позволил задачата за намиране на безопасен и ефективен маршрут да бъде решена за няколко минути. След изобразяването на крайният резултат, софтуерът трябва да предостави възможност, поворотните точки да бъдат извлечени и въведени в ECDIS.

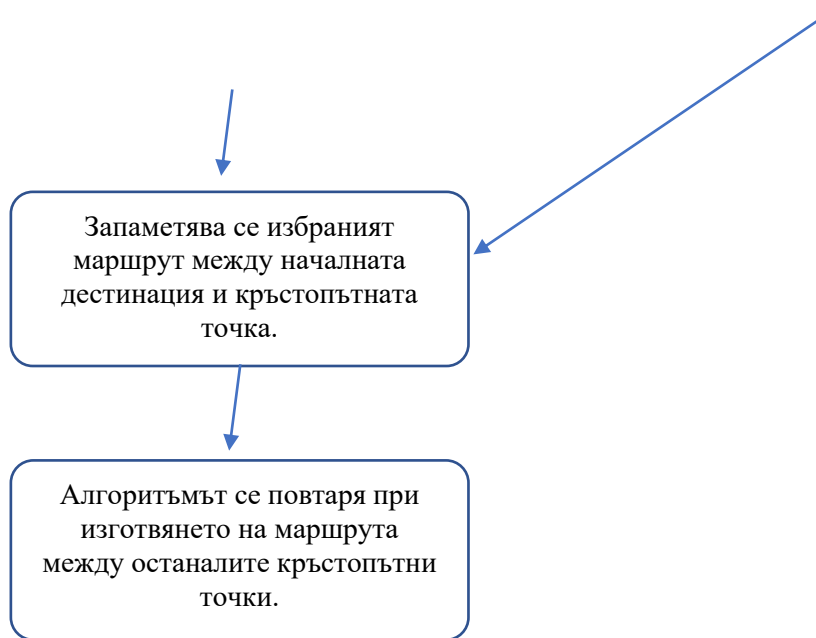
Като недостатък на алгоритъма, може да се посочи стремежът му да преминава покрай всяка навигационна опасност на точно определеното разстояние, дори когато това би довело до увеличаване на дистанцията на маршрута. Пример за това са втората, третата и четвъртата поворотна точка от маршрута, изчислени в трета глава. Ако те бъдат премахнати, дистанцията би се скъсила с няколко мили, без това да влияе на безопасността на кораба.

Този недостатък лесно може да бъде избегнат ако след приключването на работата на алгоритъма, се въведат още няколко командни реда за проверка за оптималност на маршрута или се въведе друг тип алгоритъм, който да използва създадените поворотни точки като отправни за своите изчисления. Най-ефективни в този случай биха били еволюционните алгоритми, при които създадените вече поворотни точки, могат да послужат за първоначална популация. Тогава времето за оптимизиране на маршрута ще бъде минимално, а степента на оптимизация – максимална.

4.2 План на алгоритъм







Фиг. 4.1 Алгоритъм за автоматично изчисляване на плана за преход в крайбрежни води

Заклучение, изводи и приноси

В заключение към дисертационния труд, може да се отбележи че причината за неговото съставяне бе продиктувана от изискванията и препоръките на ИМО след 2013г. относно енергийната ефективност на корабите. Стремехът да се посрещнат новите цели, поставени пред корабоплаването, подтикна много оператори и корабособственици да преразгледат и по възможност, да осъвременят начините и методите за водене на кораби. Към методите за водене на кораби влизат и системите, които изчисляват маршрута според метеорологични или други критерии. Тези системи се базират на различни типове алгоритми, голяма част от които са тясно специализирани към оптимизиране на плана на преход при океански плавания, главно защото при тях може да се реализира най-голяма икономия.

Въпреки че тези алгоритми са ефективни при изпълнението на своята цел, тяхното приложение е силно ограничено, когато става дума за крайбрежна навигация или навигация покрай множество неподвижни опасности за навигацията. Освен това повечето от тях не предлагат и математично обосноваван модел за заобикаляне на неподвижни навигационни опасности. За да се адресира този пропуск, в първата част на втора глава е разгледан широк набор от формули и уравнения от сферата на линейното програмиране и аналитичната геометрия, които могат да послужат за основа за изготвянето на математичен модел за начертване на плана на преход на кораба. Към тях спадат геометричната интерпретация на задачата на линейното програмиране, уравненията за най-

малка описана елипса около многоъгълник, уравненията на права в равнината и други. Във втората част на втора глава е изведен и самият формулен апарат, който има възможността да изчисли и начертае план за преход на кораб в крайбрежни и териториални води, независимо дали се налага да се извърши презокеанско плаване или не. Разгледан е пример, как алгоритъма може да реши задачата за план за преход при необходимост от пресичане на океан. Представен е и пример за работата на алгоритъма, при въвеждане на неподвижни навигационни опасности в база данни.

В трета глава е представен подробен пример за начина на работа на предложения алгоритъм и са изведени всички формули и изчисления, за да се аргументира полученият план за преход.

В настоящата дисертация бяха изпълнени следните задачи:

Направен е обзор на мерките, които се прилагат за повишаване на енергийната ефективност на корабите.

Извършен е цялостен анализ на алгоритмите, които се използват за оптимизиране на плана на преход на кораба. Посочени са техните специализации и са изведени техните недостатъци при планиране на прехода в близост до брега и близо до навигационни опасности.

Изготвен е нов математичен алгоритъм, основан на аналитичната геометрия и линейното програмиране. Новият алгоритъм позволява автоматично планиране и начертаване на плана на прехода в близост до брега и около навигационни опасности.

Изведен е нагледен пример, демонстриращ как работи новият алгоритъм и какви решения взима в процеса на работа. Примерният маршрут е от пилотското място на Jacksonville (USA) до пилотското място на Cartagena (Colombia).

Направени са предложения за въвеждането на алгоритъма в практиката.

Направените изследвания в дисертацията дават възможност да се формулират следните научно приложни и приложни приноси:

Научно приложни приноси:

I. Изследвана и обоснована е възможността за прилагане на принципа на линейното програмиране и аналитичната геометрия в изготвянето на план за преход на кораба в

зоната на териториалното море, на която и да е крайбрежна държава.

II. Съставен е математически модел за автоматично начертаване на плана за преход на кораба в крайбрежни води и е обоснован принципа за подобряване на оперативния индекс на енергийна ефективност на кораба.

III. Изследвани са съществуващите алгоритми за разминаване на корабите с неподвижни навигационни опасности и е съставен алгоритъм, който допълва съществуващите като извежда на преден план подобряване на енергийната ефективност на кораба.

Приложни приноси

I. Алгоритъм за изготвяне на план за преход в крайбрежни райони (фиг. 4.1).

II. Практически стъпки за изготвяне на план за преход в крайбрежни райони, които имат за цел да подобрят оперативния индекс за енергийна ефективност на кораба.

Публикации по дисертационния труд

- Belev, B.; Dimitranov, D.; Spasov, A.; Ivanov, A. [2019]. Application of Information Technologies and Algorithms in Ship Passage Planning. Cybernetics and Information Technologies, Vol. 19, No. 1, pp. 190-200.
- Belev, B.; Dimitranov, D. An algorithm for calculation of own ship's course over ground and speed over ground using ARPA, by acquiring a fixed object. CompSysTech '19, June, 2019, Ruse, Bulgaria, pp. 221-225.

Summary

After 2013 the global shipping community strives to achieve better ship energy efficiency. One of the main methods to do so is by reducing fuel consumption, thanks to voyage optimization. Many voyage optimization algorithms have been developed, but their primary purpose is to optimize ocean-based route plans, based on the expected weather. Few of them if any can be used for optimizing routes in coastal and territorial waters.

The main goal of the dissertation is to examine the possible for voyage plan optimization, through the creation of a mathematical algorithm, which is based on linear programming and analytical geometry. The developed algorithm should be able to independently calculate a voyage plan to achieve better energy efficiency in coastal waters.

A detailed analysis of the current ship energy efficiency requirements is introduced in the first chapter. This is followed by a thorough review of the voyage optimization algorithms which are most used, where their inability to optimized coastal routes is brought forward.

In the second chapter, the theoretical foundation behind the proposed mathematical algorithm is presented, including all necessary equations from the subjects of linear programming, two dimensional lines, polygons, and ellipses. The structure of the algorithm is presented along with an example for clarity.

The third chapter demonstrates in detail the work of the algorithm in real world conditions, creating a passage plan from the pilot station of Jacksonville (USA) to the pilot station of Cartagena (Colombia).

The application, conclusions and the overall structure of the algorithm are presented in the forth and final chapter of the dissertation.