

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Mašīnzinību, transporta un aeronautikas fakultāte
Aeronautikas institūts

Vladislavs Žavtkēvičs
Doktora studiju programmas “Transports” doktorants

**TĀLVADĪBAS GAISA KUĢU PIELIETOŠANA JŪRAS
AKVATORIJAS EKOLOĢISKAJĀ MONITORINGA
UZDEVUMU RISINĀŠANAI**

Promocijas darbs

Zinātniskais vadītājs
profesors *Dr. habil. sc. ing.*
ALEKSANDRS URBAHS

RTU Izdevniecība
Rīga 2019

ANOTĀCIJA

Pasaules akvatoriju piesārņojums ar naftas produktiem ir viena no aktuālākajām mūsdienu ekoloģiskajām problēmām. Ņemot vērā nacionālo tautsaimniecības attīstības programmu, kas paredz ostu kravas apgrozījuma palielināšanu, naftas produktu pārvadājumu apjoma palielināšanu, cīņas pret jūras akvatorijas naftas un naftas produktu piesārņojumu problēma ir viena no prioritārām arī Latvijai.

Tālvadības gaisa kuģu izmantošanai ir virkne priekšrocību: pacelšanās un nosēšanās iespēja, neizmantojot lidlauku, zema cena, zemas ekspluatācijas izmaksas, riska neesamība pilotam un iespēja izmantot pusautomātisko vai automātisko vadības sistēmu.

Promocijas darbs sastāv no četrām nodaļām, pirmajā nodaļā noformulēti naftas piesārņojuma monitoringa ar attālo zondēšanu galvenie uzdevumi un problēmas. Pētījuma gaitā tika izstrādāts TKG optimālo lidojuma maršrutu monitoringa laikā sastādīšanas procedūras matemātiskais modelis. Promocijas darbā tika izstrādāta jauna un augsti efektīva jūras akvatorija naftas piesārņojuma monitoringa metodoloģija, kas dod iespēju noteikt naftas piesārņojuma raksturojumus. Tika izstrādāts naftas plankuma izplatīšanas uz ūdens virsmas matemātiskais modelis. Ceturtajā nodaļā tika izstrādātas ūdens provju ņemšanas ar TKG palīdzību tehnoloģija un speciālā ierīce jūras akvatorijas ūdens provju ņemšanai no tālvadības gaisa kuģa borta.

Par darba rezultātiem ziņots 5 starptautiskajās zinātniskajās konferencēs. Darba rezultāti publicēti 6 zinātniskos rakstos un ir iesniegts 1 starptautiskais patents.

Darbā ir ievads, 4 nodaļas ar apakšnodaļām, secinājumi, 3 pielikumi, 38 attēli, 11 tabulas. Kopā darbā ir 137 lappusēs. Tika izmantots 59 literārais avots.

ABSTRACT

Pollution of the world's aquatoriums with oil products is one of the most urgent ecological problems today. Taking into account the national economic development program, which envisages increasing the turnover of ports in ports, increasing the volume of oil transportation, the problem of combating pollution of marine oil and oil products is one of the priorities for Latvia as well.

Using of remote piloted aircraft has a number of advantages: the possibility of take-off and landing without using the aerodrome, low cost, low operating costs, lack of risk for the pilot and the possibility of using a semi-automatic or automatic control system.

The thesis consists of four chapters, in the first chapter formulated the main objectives and problems of monitoring oil pollution using remote sensing. During research developed the mathematical model for preparing procedure of RPA optimal flight route. Within the framework of the thesis, a new and highly effective methodology for monitoring oil pollution of the marine environment was developed, which makes it possible to determine the characteristics of oil pollution. The mathematical model of distribution of oil spill on the water surface was developed. In the forth chapter were developed technology for taking water samples of sea aquatorium with assistance of RPA and special devices for taking water samples of sea aquatorium from the remote piloted aircraft.

The main scientific and practical results of the work presented at 5 scientific conferences. The results are published in 6 papers and received 1 international patent.

The doctoral thesis consists of introduction, 4 chapters, results and conclusions, bibliography and 3 appendices. The thesis contains 137 pages, 38 figures and 11 tables. The bibliography contains 59 entries

TERMINI UN APZĪMĒJUMI

SAR – synthetic aperture radar – radiolokators ar sintezēto apertūru

EMSA – European Maritime Safety Agency – Eiropas Jūras Drošības Aģentūra

CSN – Clean Sea Net – Pavadoņu Novērošanas Sistēma

HELCOM – Helsinki Commission – Helsinku komisija

IK – Infrared – Infrasarkan

SLAR – side-looking airborne radar – sānu apskates radars

CEPCO – Coordinated Extended Pollution Control Operation –Koordinētā Izvērstā Piesārņojuma
Kontroles Operācija

TGK – Remote piloted aircraft – Tālvadības gaisa kuģis

IMO – International Maritime Organization – Starptautiskā Jūrniecības Organizācija

GIS – Graphic Information System – Grafiskā informācijas sistēma

AUV – Automated underwater vehicle – Automātiskais zemūdens līdzeklis

AMK – Automated monitoring complex – Automātiskais monitoringa komplekss

ASV – Automated Surface Vehicle – Automātiskais Virsūdens Līdzeklis

TAS – Remote Aviation Systems – Tālvadības aviācijas sistēmas

LIDAR – Aerolāzerskenēšanas sensors

GPS – Globālā pozicionēšanas sistēma

SATURS

IEVADS	7
PĒTĪJUMA MĒRĶIS UN UZDEVUMI	8
PĒTNIECISKĀS METODES	8
PĒTĪJUMU OBJEKTI:	9
DARBA ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE	9
AIZSTĀVĀMĀS TĒZES	9
DARBA PRAKTISKĀ NOZĪME	10
PROMOCIJAS DARBA APROBĀCIJA	10
1. JŪRAS VIDES NAFTAS PIESĀRŅOJUMA MONITORINGA AR ATTĀLO ZONDĒŠANU GALVENO UZDEVUMU UN METOŽU ANALĪZE	12
1.1. Jūras vides piesārņojuma problēmas analīze	12
1.2. Jūras virsmas naftas piesārņojuma monitoringa galveno uzdevumu identificēšana	13
1.3. Esošo jūras virsmas naftas piesārņojuma monitoringa ar attālo zondēšanu sistēmu efektivitātes analīze	14
1.3.1. Jūras virsmas naftas piesārņojuma monitoringa satelītu sistēmas	14
1.3.2. Jūras vides naftas piesārņojuma monitorings, izmantojot pilotējamos gaisa kuģus	17
1.3.3. Naftas piesārņojuma monitoringa automātiskie kompleksi	20
1.3.4. Naftas piesārņojuma monitorings, izmantojot kuģus	21
1.4. Baltijas jūras akvatorijas piesārņojuma līmeņa un avotu analīze	23
2. TĀLVADĪBAS GAISA KUĢA LIDOJUMA MARŠRUTA OPTIMIZĀCIJA, VEICOT JŪRAS AKVATORIJAS MONITORINGA MISIJU	27
2.1. Optimālas maršrutizēšanas uzdevuma formulēšana tālvadības gaisa kuģa vadīšanai	27
2.2. TGK optimālo lidojuma maršrutu sastādīšanas procedūras matemātiskā modelēšana	30
2.2.1. Dinamiskās programmēšanas metode TGK monitoringa misijas uzdevumā	30
2.2.2. Zaru un robežu metode	32
2.2.3 TGK optimālo lidojuma maršrutu sastādīšanas procedūras matemātiskā modelēšana	33
2.3. Optimālā maršruta meklēšanas algoritmu un programmu izstrāde	38
2.3.1 Uzdevums par nozīmējumiem	38
2.3.2 Koka algoritms	38
2.3.3 Dināmiskā programmēšana	39
2.3.4. Zaru un robežu algoritms	41

3. JŪRAS AKVATORIJAS NAFTAS PIESĀRŅOJUMA NEPĀRTRAUKTA MONITORINGA METODOLOĢIJAS IZSTRĀDE	43
3.1. Funkcionālas prasības bezpilota lidojošas platformai	43
3.1.1. Bezpilota lidojošas platformas veids un struktūra	43
3.1.2. Prasības attiecībā uz pacelšanās un nosēšanās vietu	45
3.1.3. TGK starta punkta izvēle	46
3.1.4. Nosēšanas laukuma izvēlē	47
3.2. Bezpilota platformas lidojuma optimāla maršruta un profila raksturojumu izvēle	48
3.2.1. Nolaīšanas un nosēšanas	49
3.3. Naftas piesārņojuma izplatīšanas uz ūdens virsmas matemātiskā modelēšana	62
3.4. Naftas piesārņojuma monitoringa algoritms	66
3.5. Monitoringa tehnoloģijas, izmantojot TGK grupu, izstrāde	75
3.5.1. Monitoringa tehnoloģijas, izmantojot TGK grupu, uzdevuma risināšanas metožu analīze	75
3.5.2. Monitoringa tehnoloģijas, izmantojot TGK grupu, izstrāde	81
3.5.3. Monitoringa tehnoloģijas algoritma efektivitātes novērtējums	88
4. BEZPILOTA LIDOJOŠAS PLATFORMAS IZSTRĀDE JŪRAS AKVATORIJAS NAFTAS PIESĀRŅOJUMA MONITORINGAM	92
4.1. Monitoringa uzdevumu un prasību formulējums bezpilota platformai	92
4.1.1. Monitoringa uzdevumu formulējums	92
4.2. Bezpilota platformas komponentu funkcionālās iespējas un tehniskās raksturlīknes	95
4.3. Ūdens provju ņemšanas no tālvadības gaisa kuģa borta ierīču un tehnoloģijas izstrāde	99
4.3.1. Provju ņemšanas galveno uzdevumu noteikšana, veicot naftas piesārņojuma monitoringu ar TGK palīdzību	99
4.3.2. Naftas piesārņojuma monitoringa ar attālo zondēšanas līdzekļu izmantošanu programmu trūkumu analīze	100
4.3.3. Prasības provju ņemšanai izmantojamam tālvadības gaisa kuģim	102
4.3.4. Ūdens provju ņemšanas no tālvadības gaisa kuģa borta ierīču un tehnoloģijas izstrāde	106
SECINĀJUMI	115
Avotu un izmantotās literatūras saraksts	118
PIELIKUMI	123

IEVADS

Pasaules akvatoriju piesārņojums ar naftas produktiem ir viena no aktuālākajām mūsdienu ekoloģiskajām problēmām. Katru gadu Pasaules okeānā ienāk vidēji 13–14 milj. t naftas produktu.

Baltijas jūras ekoloģiskais stāvoklis arī izraisa vides aizsardzības speciālistu nopietnas raizes. Galvenais iemesls ir naftas piesārņojuma palielināšanās jūras naftas un gāzes nozares paplašināšanās un kuģu satiksmes intensitātes paaugstināšanās rezultātā. Palielinoties naftas produktu transportēšanas apjomiem, paaugstinās jūras akvatorijas piesārņošanas ar naftas produktiem risks. Tikai Baltijas jūrā, saskaņā ar HELCOM (Helsinki Commission) statistikas datiem, gadā notiek 3 lielas avārijas, kā rezultātā notiek naftas vai naftas produktu izplūdums. Baltijas jūra ir aktīvākais jūras ceļš pasaulē, kas saista aptuveni 40 ostas un terminālus. Pēc automātiskās identifikācijas sistēmas (AIS) statistikas datiem Baltijas jūrā katru dienu atrodas vairāk nekā 2000 kuģi. Pēc izplūdumu karšu analīzes, uzliekot konstatētos izplūdumus uz kuģu maršrutiem un kuģošanas ceļiem Baltijas jūrā, rezultātiem ir noteikts, ka kuģi ir galvenie piesārņojuma avoti.

2004. gadā IMO (International Maritime Organization) iepriekš pieņēma lēmumu piešķirt Baltijas jūrai sevišķi jūtīga jūras rajona (PSSA – Particularly Sensitive Sea Area), proti, rajona, ko apdraud ar kuģniecību un jūras darbību saistītā cilvēka darbība, statusu. Īpaša rajona statuss pieprasa starptautiskajā līmenī aizsargāt jūras vidi vietējā līmenī. Katastrofiskie kuģu izplūdumi notiek diezgan reti, bet lielākais skaits jūras vides piesārņojumu ir saistīts ar ikdienas kuģu operācijām [1]. Galvenais naftas izplūdumu iemesls ir cilvēkfaktors. Kuģa ekspluatācijas procesā var rasties nesankcionētie naftas izmetumi, kas saistīti ar kuģa naftas attīrīšanas iekārtu, hidrolikas sistēmu traucējumiem, degvielas pārļiešanu no degvielas cisternām. Galvenā bīstamība jūras akvatorijai ir tankkuģu mazgāšanas ūdeņu nosēdvertņu naftu saturošo ūdeņu nesankcionētās un kuģu mašīntelpas sateču ūdeņu noplūdes.

Ņemot vērā nacionālo tautsaimniecības attīstības programmu, kas paredz ostu kravas apgrozījuma palielināšanu, naftas produktu pārvadājumu apjoma palielināšanu, cīņa pret jūras akvatorijas naftas un naftas produktu piesārņojumu ir viena no prioritārām problēmām arī Latvijā.

Atrisināt problēmu kopumā ļaus piesārņojumu savlaicīga atklāšana, izmantojot efektīvas jūras akvatoriju monitoringa sistēmas.

Akvatoriju lielu platību un garu gabalu operatīvo monitoringu ar mērķi konstatēt naftas produktu piesārņojumu mūsdienās veic, izmantojot dažādas tehniskās ierīces – satelītus, jūras kuģus un dažādus lidaparātus. Šobrīd tiek intensīvi attīstīta tālvadības gaisa kuģa (TGK) izmantošana akvatorijas monitoringa uzdevumu pildīšanai.

Tālvadības gaisa kuģu izmantošanai ir virkne priekšrocību: pacelšanās un nosēšanās iespēja, neizmantojot lidlauku, zema cena, zemas ekspluatācijas izmaksas, riska neesamība pilotam un iespēja izmantot pusautomātisko vai automātisko vadības sistēmu.

Lidmašīnu un helikopteru tipa TGK izmantošanas veiksmīgai attīstībai un iespēju paplašināšanai jūras akvatoriju monitoringa nolūkam nepieciešams, pirmkārt, izveidot inovatīvas metodes un līdzekļus, ņemot vērā monitoringa tehnoloģiskās īpatnības. Ņemot vērā monitoringa procedūras automatizācijas nepieciešamību, īpaša uzmanība tiek veltīta arī TGK lidojuma plāna optimizācijai.

PĒTĪJUMA MĒRĶIS UN UZDEVUMI

Promocijas darba mērķis:

– inovatīvās bezpilota lidojošas platformas un metodoloģijas izstrāde jūras akvatorijas naftas piesārņojuma nepārtraukta monitoringa uzdevumu risināšanai

Pētījuma uzdevumi:

1. Veikt jūras vides naftas piesārņojuma monitoringa ar attālo zondēšanu galveno uzdevumu un metožu analīzi un noformulēt promocijas darba mērķi un pamatuzdevumus.
2. Izstrādāt TGK optimālo lidojuma maršrutu monitoringa laikā sastādīšanas procedūras matemātisko modeli.
3. Izstrādāt TGK lidojuma maršruta, veicot monitoringa uzdevumu, optimizācijas algoritmu un programmatūru monitoringa datu apstrādei un analīzei.
4. Izstrādāt jūras akvatorijas naftas piesārņojuma nepārtraukta monitoringa metodoloģiju.
5. Izstrādāt naftas plankuma izplatīšanās uz ūdens virsmas matemātisko modeli.
6. Izstrādāt bezpilota lidojošo platformu jūras akvatorijas naftas piesārņojuma monitoringam.
7. Izstrādāt speciālas ierīces un tehnoloģiju jūras akvatorijas ūdens provju ņemšanai no tālvadības gaisa kuģa borta

PĒTNIECĪBAS METODES

Veikto pētījuma daļu metodoloģija un izmantotās pētnieciskās metodes:

Teorētiskās metodes

- Matemātiskā modelēšana
- Naftas izplatīšana uz ūdens virsmas fizika
- Matemātiskā statistika un korelācijas analīze

Eksperimentālās metodes

- Naftas piesārņojumā datu apstrāde, izmantojot specializētu programmatūru
- BLA maršrutu datu apstrāde, izmantojot specializētu programmatūru
- Naftas plankuma uz ūdens virsmas izplatīšana eksperimentālā pētīšana
- Naftas piesārņojumā apjoma eksperimentālā pētīšana
- Eksperimentālo rezultātu statistiskā apstrāde

PĒTĪJUMU OBJEKTI:

- Baltijas jūras akvatorija;
- jūras akvatorijas naftas piesārņojums;
- tālavadības gaisa kuģi.

DARBA ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE

Promocijas darbā veikto pētījumu zinātniskā novitāte:

Promocijas darba rezultātā tika izstrādāti šādi inovatīvi risinājumi un ir radīti inovatīvi produkti:

- TGK optimālo lidojuma maršrutu monitoringa laikā sastādīšanas procedūras matemātiskais modelis;
- naftas plankuma izplatīšanās uz ūdens virsmas matemātiskais modelis;
- jūras akvatorijas naftas piesārņojuma nepārtraukta monitoringa metodoloģija;
- ūdens provju ņemšanas ar TGK palīdzību tehnoloģija;
- ierīce jūras akvatorijas ūdens provju ņemšanai no tālavadības gaisa kuģa borta.

AIZSTĀVĀMĀS TĒZES

Autors šajā darbā aizstāv:

- TGK optimāla lidojuma matemātiskais modeli;
- TGK lidojuma maršruta optimizācijas algoritmu;
- jūras akvatorijas naftas piesārņojuma monitoringa datu apstrādes un analīzes programmatūru;
- naftas plankuma izplatīšanās uz ūdens virsmas matemātisko modeli;
- jūras akvatorijas naftas piesārņojuma nepārtraukta monitoringa metodoloģiju;
- izstrādāto bezpilota lidojošu platformu;
- ūdens provju ņemšanas ar TGK palīdzību tehnoloģiju un šīs tehnoloģijas īstenošanas algoritmu;

- ierīci jūras akvatorijas ūdens provju ņemšanai no tālvadības gaisa kuģa borta.

DARBA PRAKTISKĀ NOZĪME

Promocijas darba rezultātiem ir plašs praktiskais nozīmīgums un pielietojums uzņēmumos un organizācijās, kas atbild par jūras akvatorija ūdens kvalitāti. Promocijas darba ietvaros tika izstrādāta jauna un augsti efektīva jūras akvatorija naftas piesārņojuma monitoringa metodoloģija, kas dod iespēju noteikt naftas piesārņojuma raksturojumus. Šo metodoloģiju un izstrādātās ierīces ir iespējams lietot, lai veiktu ūdens piesārņojuma monitoringu un naftas noplūdes likvidāciju. Dotā metodoloģija var tikt izmantota arī iekšējo ūdeņu monitoringam un ostas akvatorijai.

PROMOCIJAS DARBA APROBĀCIJA

Par darba rezultātiem ziņots 5 starptautiskajās zinātniskajās konferencēs:

1. 17th International Conference Transport Means, 23–24 October 2014, Kaunas, Lithuania (Urbahs, A., Zavtkevics, V. Oil pollution monitoring of sea aquatorium features with using unmanned aerial vehicles).
2. 16th International conference “Mechanika – 2011”, April 8–9, 2011, Kaunas, Lithuania (Urbach A., Carjova K., Zavtkevics V., Vulans P, Ozols I.(2012) Analysis of buoyancy and design features of the underwater vehicle)
3. RTU 56th International Scientific Conference, 14–17 October, 2015.Riga, Latvia (D. Goreļikovs, V. Žavtkēvičs UAV implementation features for maritime surveillance and safety missions)
4. 21th International Conference Transport Means, 20–22 September 2017, Kaunas, Lithuania (Urbahs, A., Zavtkevics, Remote Piloted Aircraft Using for Sampling of Oil Spill).
5. 22th International Conference Transport Means, 03– 05 October 2018, Kaunas, Lithuania (Urbahs, A., Zavtkevics, Unmanned aerial platform using for monitoring of oil pollution of sea aquatorium)

Darba rezultāti publicēti 6 zinātniskos rakstos un ir iesniegts 1 starptautisks patents:

1. Urbahs, A., Žavtkēvičs, V. (2017) Remotely Piloted Aircraft route optimization when performing oil pollution monitoring of the sea aquatorium. Aviation, 21 (2), pp. 70–74. SOURCE: Scopus. DOI: 10.3846/16487788.2017.1344139

2. Urbahs, A., Zavtkevics V. (2017) Remote Piloted Aircraft Using for Sampling of Oil Spill. In: Transport Means 2017: Proceedings of the 21st International Scientific Conference, Lithuania, Kaunas, 20–22 September, 2017. Kaunas: Kaunas University of Tehnology, pp.489–492. ISSN 1822–296X. SOURCE: Scopus
3. Urbahs, A., Zavtkevics, V. (2014) Oil pollution monitoring of sea aquatorium features with using unmanned aerial vehicles . – In Book: Transport Means , ISSN 1822–296x, – Proceedings of the International Conference, 2014 – January, pp. 75–78. SOURCE: Scopus
4. Urbahs, A., Zavtkevics V. (2018)"Oil spill detection using multi Remote Piloted Aircrafts for environmental monitoring of sea aquatorium." – Environmental and Climate Technologies SOURCE: Scopus (iesniegta publicēšanai)
5. Urbahs, A., Zavtkevics V. (2018) Oil spill remote monitoring with remoty piloted aircrafts, Aircraft Engineering and Aerospace Technology. SOURCE: Scopus (tiešsaistes publikācija).
6. Urbahs A., Žavtkevičs V. Unmanned aerial vehicle for collecting samples from the surface of water. Eiropas patents EP3112840 (A1), 2017–01–04 (Application Nr. EP20150174649 20150630 , saņemšanas datums: 05.12.2018).
7. Urbahs, A., Zavtkevics, V. (2018) Unmanned aerial platform using for monitoring of oil pollution of sea aquatorium . – In Book: Transport Means , ISSN 1822–296x, – Proceedings of the International Conference, 2018 – October, pp. 1061–1064. SOURCE: Scopus

Promocijas darba rezultāti tika izmantoti 1 zinātniskajā projektā:

1. Eiropas Reģionālā attīstības fonda finansētais projekts “Lielas lidojuma distances daudzfunkcionāla bezpilota lidaparāta vides monitoringam eksperimentāla parauga izstrāde (LARIDAE)» 2014/0029/2DP/2.1.1.1/14/APIA/VIAA/088, līdzdalība projekta īstenošanā.

1. JŪRAS VIDES NAFTAS PIESĀRŅOJUMA MONITORINGA AR ATTĀLO ZONDĒŠANU GALVENO UZDEVUMU UN METOŽU ANALĪZE

1.1. Jūras vides piesārņojuma problēmas analīze

Katru gadu Pasaules okeānā ienāk vidēji 13–14 milj. t naftas produktu. Naftas piesārņojums ir bīstams divu iemeslu dēļ: pirmkārt, uz ūdens virsmas izveidojas plēve, kas neļauj skābeklim piekļūt jūras florai un faunai; otrkārt, nafta pati par sevi ir toksisks savienojums. Ja jūras ūdenī ir bīstama naftas koncentrācija, bojā iet planktoni un zivju mazuļi.

Šobrīd gadā no jūras iegūst un pa to pārvadā vairāk nekā 2 miljardus t naftas. Pēc ASV Nacionālās Zinātņu akadēmijas novērtējuma no šī daudzuma jūrā nokļūst 1,6 milj. t jeb viena tūkstoš trīssimtā daļa. Bet šie 1,6 milj. t sastāda tikai 26 % tās naftas, kas kopumā gadā nokļūst jūrā. Pārējā nafta – aptuveni trīs ceturtdaļas no kopējā piesārņojuma – nāk no sausas kravas kuģiem (notekūdeņi, degvielas un eļļu atliekas, ko nejauši vai tīši izmet jūrā), no dabas avotiem, bet visvairāk – no pilsētām, it sevišķi no uzņēmumiem, kas atrodas piekrastē vai pie upēm, kas ietek jūrā. Nafta, kas nokļūst jūrā, nāk no pilsētām, no rūpnieciskiem uzņēmumiem, kuri atrodas jūras vai upju krastos. Tie ir 44 % naftas, kas piesārņo okeānu. Vēl 26 % naftas nokļūst okeānā no urbšanas iekārtām un tankkuģiem. Bet tikai septītā daļa no šī daudzuma – avāriju rezultātā.

Galvenais piekrastes ūdeņu piesārņojuma iemesls ir naftas produktu pārkraušanas krasta terminālu darbība.

Neskaitāmu tankkuģu, sausas kravas kuģu, prāmju un pasažieru kuģu vidū praktiski nav iespējams atrast, kurš ir vainojams naftas plankumu izplūdē okeānos un jūrās. Kuģu kapteiņu pretlikumīgā rīcība, ar nolūku ietaupīt laiku un līdzekļus, izlejot naftu saturošos ūdeņus jūrā, kas pārkāpj *Starptautiskās konvencijas* par jūras piesārņojuma novēršanu Marpol 73/78 prasības, kaitē un piesārņo jūras akvatoriju.

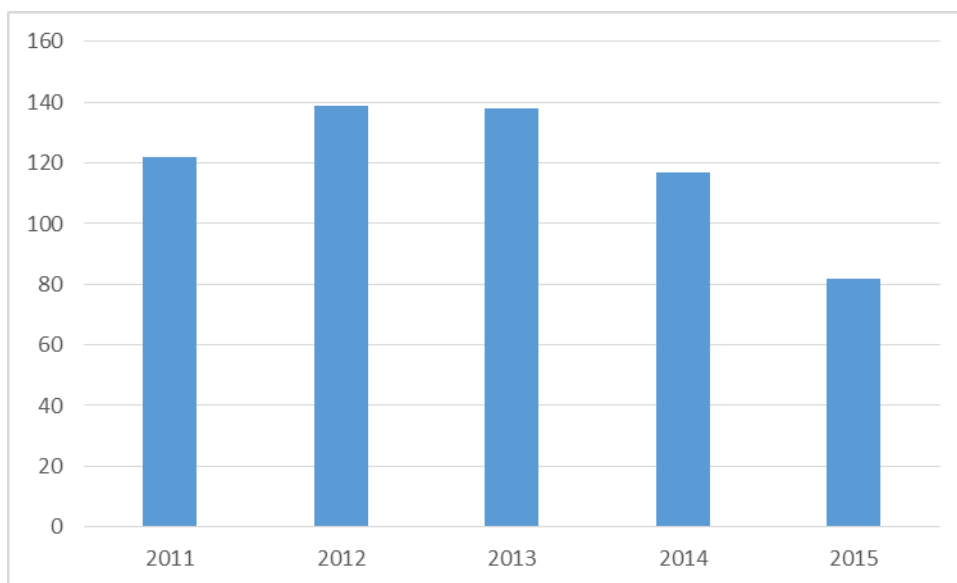
2013. gada jūlijā kompānijai Columbia Shipmanagement tika noteikts 10,4 milj. ASV dolāru sods par *akta* par piesārņojuma novēršanu no kuģiem – Act to Prevent Pollution from Ships pārkāpšanu. Atklātajai nelegālajai naftas produktu izmešanai sekoja naftas operāciju žurnāla viltošana ar mērķi apmānīt ASV krasta apsardzi.

Milzīgā tankkuģa „Torrey Canyon” lielā avārija Ziemeļjūrā, kad tas avarēja Kornvolas klinšainajā piekrastē 1967. gadā, nogalināja daudzus mazus piekrastes iedzīvotājus, spalvām aplīpot ar naftu, gāja bojā tūkstošiem kaiju. Lai iznīcinātu Kuveitas naftu, kas noplūda jūrā un krastā, izmantoja tā saucamos disperģētājus – ķīmiskos savienojumus, kas sadala vienlaidu naftas

kārtu mazos pilienos. Galvenā problēma bija naftas avāriju izplūduma naftas piesārņojuma monitoringa trūkums.

Tankkuģis „Prestige”, uz kura bija 77 tūkstoši tonnu smagu naftas produktu, 2002. gada 13. novembrī tika bojāts pie Galīcijas krastiem. Noplūdušais mazuts pārklāja vairākus tūkstošus kvadrātkilometru jūras virsmas un vairāk nekā 1700 kilometrus krasta līnijas. No noplūdušā naftas produkta cieta vairāk nekā 40 % Spānijas Atlantijas piekrastes. Izzušana draudēja 25 aizsargājamiem dzīvnieku veidiem, gāja bojā 115 tūkstoši putnu. Ar līdzīgām problēmām saskaras 112 pasaules valstis (ANO ir 192 valstis). Bet lielākais avāriju skaits ir noticis Meksikas līcī, pie ASV Ziemeļaustrumu piekrastes, Vidusjūrā, Persijas līcī un Ziemeļjūrā.

Lai noteiktu Baltijas jūras naftas piesārņojuma sadalījuma likumsakarību, tika izmantoti HELCOM ikgadējo pārskatu dati par ar attālas zondēšanas palīdzību konstatētiem naftas piesārņojumiem no 2011. gada līdz 2015. gadam (1.1. att.).



1.1. att. Baltijas jūras naftas piesārņojuma sadalījuma likumsakarība 2011.–2015. gadā.

Dati, kas iegūti, analizējot piesārņojuma gadījumus ar attālas zondēšanas līdzekļu palīdzību laika periodā no 2011. gada līdz 2015. gadam, rāda, ka organizētā monitoringa rezultātā samazinājies naftas piesārņojuma gadījumu skaits.

1.2. Jūras virsmas naftas piesārņojuma monitoringa galveno uzdevumu identificēšana

Sistemātiska jūras vides piesārņošana, naftas produktiem noplūstot no kuģiem, nopietni kaitē apkārtējai videi, traucē apmaiņu sistēmā okeāns-atmosfēra, nodara milzīgus zaudējumus tūrisma un atpūtas nozarei [2]. Starptautisko apkārtējās vides aizsardzības līgumu efektivitāte ir atkarīga no Starptautiskās konvencijas par cīņu ar piesārņojumu MARPOL prasību izpildes, un tam ir

nepieciešama kontrole rajonos ar intensīvu kuģu satiksmi un ostās. Lai veiktu kontroli, pārkāpumu atklāšanu un cīņu ar sekām, ir nepieciešama naftas piesārņojuma monitoringa sistēma.

Ņemot vērā situāciju ar dažādiem akvatorijas piesārņojuma avotiem, galvenie monitoringa uzdevumi ir akvatorijas stāvokļa pārvaldība, datu iegūšana un apstrāde. Naftas piesārņojuma monitoringam ir jāveic informācijas vākšana un uzkrāšana par galveno apkārtējās vides komponentu faktiskiem parametriem un to kvalitātes laika izmaiņu prognozes sastādīšana.

Kvalitatīvai datu vākšanas veikšanai, naftas piesārņojumu kontrolei un avāriju seku likvidēšanai ir jāizstrādā monitoringa koncepcija. Lai veiktu kvalitatīvu monitoringu, ir jāizveido speciāla sistēma novērošanai, kontrolei, novērtēšanai, īstermiņa prognozēšanai un ilgtermiņa tendenču noteikšanai ūdens akvatorijas stāvoklī tehnogēno procesu ietekmē, kas saistīti ar kuģniecību un naftas atradņu izstrādi.

Naftas piesārņojuma monitoringa programmai ir jāietver šādi uzdevumi:

- sensoru diennakts darbības iespēja, turklāt attēla raksturlīknes nedrīkst būt atkarīgas no diennakts laika;
- uzņemšanas iespēja neatkarīgi no laika apstākļiem;
- piesārņojuma produkta tipa noteikšana;
- naftas plankuma izplatīšanās dinamikas monitoringa nodrošināšana;
- paraugu ņemšana ar speciāli projektēta TKG palīdzību;
- lielu jūras akvatorijas rajonu, kuros pastāv nelegāla piesārņojuma risks, monitorings;
- naftas piesārņojumu kvantitatīvs novērtējums pēc parametriem, kas iegūti ar TKG sensoru palīdzību;
- naftas piesārņojuma no kuģiem pierādījumu atklāšana un ievākšana;
- naftas piesārņojumu avārijas gadījumā operatīvas informācijas nodrošināšana atbildīgajiem dienestiem;
- regulāra paraugu ņemšana naftas produkcijas fona piesārņojuma noteikšanai.

1.3. Esošo jūras virsmas naftas piesārņojuma monitoringa ar attālo zondēšanu sistēmu efektivitātes analīze

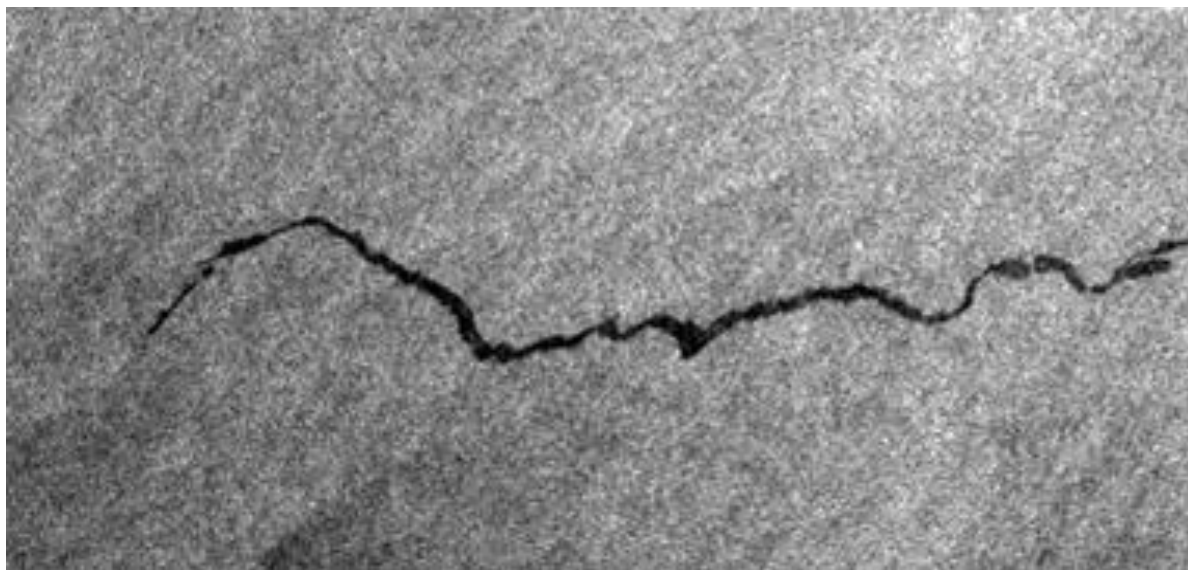
1.3.1. Jūras virsmas naftas piesārņojuma monitoringa satelītu sistēmas

Naftas piesārņojuma monitoringa uzdevumi pasaulē tiek risināti, pamatojoties uz satelītu monitoringa tehnoloģijām, ko realizē ātrās reaģēšanas sistēmas Norvēģijā, Kanādā, ASV, Somijā, u. c. [3].

Satelītu izmantošanai ir virkne ierobežojumu – tādu, kā nepārtraukta diennakts monitoringa neiespējamība, vēja ātrums un viļņu augstums, informācijas esamība tikai par naftas plankuma ģeometrisku formu.

Akvatorijas naftas piesārņojuma monitoringa uzdevumu izpilde mūsdienās nav iespējama, neizmantojot informāciju, kas tiek iegūta ar attālās diagnostikas ierīcēm, ko uzstāda uz kosmiskā segmenta satelītiem un kas veic zemes attālo zondēšanu [4]. Aktīvus mikroviļņu devējus, tādus kā radiolokatori ar sintezēto apertūru (SAR, synthetic aperture radar) 2D attēla iegūšanai, izmanto naftas piesārņojuma monitoringam. Naftas plēves esamība novērš viļņošanos, un uz ūdens virsmas parādās nolīdzinātas zonas. Šīs zonas izpaužas radiolokācijas attēlos kā naftas iespējamās klātbūtnes objekti. Virsmas plēves esamība samazina viļņu un vēja mijiedarbības intensitāti un izraisa virsmas viļņošanās rezonanses gravitācijas un kapilārās komponentes rimšanu (1.2. att.). Šajā gadījumā uz okeāna virsmas izveidojas nolīdzinātas zonas (plankumi), kas izpaužas radiolokācijas attēlos kā pazeminātas izkliedes zonas, kas var būt par indikatoru piesārņojošo plēvju esamībai uz jūras virsmas [5].

Uz satelītiem uzstādītie SAR mūsdienās ir svarīgs naftas izplūdumu monitoringa instruments, patiecoties iespējai aptvert lielas platības, iespējai izmantot gan dienā, gan naktī jebkādos laika apstākļos [6].



1.2. att. Izplūdums aiz kuģa satelīta ERS-1 radiolokācijas attēlā [20].

Jūras ūdeņu piesārņojuma satelītu monitoringa metodes pamatā ir iespēja atklāt jūras akvatorijas zonas, kas ir pārklātas ar virsmas un tajā skaitā arī naftas plēvēm (tā saucamiem plēvju plankumiem), ar satelītu radiolokācijas metodēm [7]. Sistēmai ir jānodrošina novērošana jebkādos laika apstākļos, neatkarīgi no apgaismojuma intensitātes un mākoņainuma apstākļiem, jānosaka

naftas izplūduma atrašanās vieta, tips un apjoms un jādarbojas reālā laika režīmā. Sistēmas sensoriem ir jāatšķir antropogēnās plēves no dabas biogēnajām plēvēm, kas iegūtas jūrā [2]. Galvenie naftas piesārņojuma monitoringa satelītu lietošanas metožu izstrādes un uzlabošanas galvenie virzieni ir fotografēšanas metožu un jauno multispektrālo un hiperpektrālo sensoru izmantošana lietderīgajā slodzē. Monitorings ar uz satelītiem uzstādīto devēju izmantošanu nenodrošina efektīvu risinājumu pārkāpēju, kuri var būt juridiskās personas, kas pārstāv naftas terminālus ostās, vai atsevišķu kuģu īpašnieki, kontrolei un pārkāpēju juridiskajai vajāšanai. Problēma nav tikai tajā, lai nodrošinātu augsta kvalitātes attēlus bez viltus signāliem, kuros ir fiksēts domājams naftas produktu plankums. Nepieciešams veikt kuģa identifikāciju un pierādīt tā sakaru ar naftas plankuma rašanos. Tam ir nepieciešama piesārņojuma paraugu ņemšana, lai tiesa varētu atzīt tos par pierādījumu.

Galvenās kosmiskā monitoringa metožu un sistēmu priekšrocības ir liela pārredzamība, iespēja strādāt jebkuros grūti pieejamos rajonos un informācijas saņemšana praktiski jebkurā mērogā, ar dažādu telpas un laika izšķirtspēju, plašs klāsts reģistrējamo parametru, augsta datu iegūšanas ticamība un operatīvums, iespēja vairākkārt novērot pētāmos rajonus un strādāt topogrāfiska pamata daļējas vai pilnīgās neesamības apstākļos, informācijas relatīvs lētums (sevišķi strādājot lielās platībās) [8].

Latvijā līdz 2007. gadam jūras un iekšējo ūdeņu pārvalde Valsts ekoloģijas dienests bija atbildīgs par jūras naftas piesārņojuma kontroles organizēšanu, veicot no viena līdz diviem reisiem nedēļā, atkarībā no finansējuma esamības un laika apstākļiem, kas pieļauj vizuālos novērojumus.

Tajā pašā laikā ātra reakcija ir ārkārtīgi vajadzīga, lai novērstu naftas avārijas noplūdes un neatļautu izplūdi no kuģiem, lai atklātu un identificētu kuģus, kuri vainojami piesārņojumā. Ņemot vērā problēmas nopietnību, Eiropas Jūras kuģniecības aģentūra savā mājas lapā, izmantojot programmnodrošinājumu „CleanSeaNet”, tiešsaistes režīmā analizē satelītu radiolokācijas monitoringa informāciju un nodrošina informācijas servisu par jūras akvatorijas piesārņojumu Eiropas valstu administrācijām. Sākot ar 2007. gadu, Latvijas krasta apsardzei, Nacionālajiem bruņotajiem spēkiem un Valsts ekoloģijas dienestam ir piekļuve EMSA (European Maritime Safety Agency), CSN (CleanSeaNet) pakalpojumiem un satelītu radiolokācijas attēliem.

2007.–2010. gadā Latvija saņēma 878 satelītu attēlus, 249 no tiem tika fiksētas naftas iespējamās izplūdes pazīmes. 33 no tām atradās Latvijas Ekskluzīvajā ekonomiskajā zonā. Satelītu monitorings ir ļoti efektīvs, pateicoties dažādu frekvenču joslu un kanālu izmantošanai. Galvenā problēma ir nepieciešamība izmantot aviāciju un krasta apsardzes kuģus, lai pārbaudītu saņemto informāciju un apstiprinātu piesārņojumu. Satelītu monitoringa iespējas ierobežo virkne faktoru.

Galvenā problēma ir tā, kas satelīts nevar pāriet virs konkrētā rajona naftas nelegālas izmešanas brīdī.

Nākamais negatīvais faktors ir mākoņainums. Turklāt infrasarkanie sensori un redzamā un ultravioletā starojuma sensori nebūs spējīgi konstatēt naftu sliktos laika apstākļos, piemēram, stiprā lietū vai miglā [9]. Redzamā un ultravioletā starojuma sensorus parasti izmanto, lai izveidotu naftas izplūduma bāzes karti. Naftas piesārņojumu veiksmīgu atklāšanu ar satelītu radiolokācijas līdzekļiem zināmā mērā nosaka laika apstākļi [10]. Neskatoties uz būtiskām priekšrocībām, salīdzinot ar citiem novērošanas līdzekļiem, satelītu sistēmām ir ierobežots viena un tā paša jūras rajona uzņemšanas periodiskums (– vienreiz trīs diennaktīs, ņemot vērā novērošanas leņķu mainīšanas iespēju). Šo trūkumu var novērst, palielinot satelītu skaitu. Augstas izšķirtspējas radiolokācijas dati atbildīgajām organizācijām tiek piegādāti ar aizturi, kas saistīta ar laika izmaksām attēlu sintezēšanai datu apstrādes virszemes centros un informācijas piegādi patērētājam. Kartes izgatavošana pēc radiolokācijas uzņemšanas datiem var aizņemt 1–2 diennaktis no naftas piesārņojuma brīža. Šie nosacījumi piesārņojuma likvidēšanā izraisa nepieciešamību veikt operatīvo monitoringu, izmantojot mobilos līdzekļus.

1.3.2. Jūras vides naftas piesārņojuma monitorings, izmantojot pilotējamus gaisa kuģus

Jūras vides piesārņojuma monitoringam plaši izmanto arī aviācijas novērojumus. Naftas piesārņojuma gaisa monitorings ir efektīva jūras akvatorijas stāvokļa kontroles metode. Iespēja saņemt informāciju lidojuma laikā ar lielu ātrumu un iespēja izmantot dažādas lidojuma trajektorijas, ļauj saņemt informāciju reālā laika režīmā par iespējamo jūras, piekrastes ūdeņu un ostu rajonu piesārņojumu. Augstas izšķirtspējas gaisa uzņēmumi ļauj veikt naftas piesārņojuma analītisko novērtējumu un izsekot naftas izplūdes procesus.

Saskaņā ar konvencijas HELCOM (Helsinki Commission) prasībām gaisa monitoringu veic, lai kontrolētu naftas piesārņojumus no kuģiem. Galvenie uzdevumi ir piesārņojuma atklāšana, vietas koordinātu, apkārtējās vides piesārņojuma raksturlīkņu un naftas produkta veida noteikšana.

Turklāt gaisa novērošanu izmanto naftas avārijas noplūžu gadījumā ar mērķi sniegts palīdzību seku likvidācijas operācijās. Novērošanas misijas uzdevumi ietver: naftas plankumu atrašanās vietas noteikšanu, to precīzu aprakstu, apkārtējās vides piesārņojuma salīdzināšanu naftas piesārņojuma monitoringa nolūkā, dreifa modeļa koriģēšanu. Ir jānodrošina ikdienas reaģēšanas operācijas vadība, likvidācijas operācijas sagatavošana nākamajām dienām [11]. Naftas piesārņojuma gaisa monitoringu veic, izmantojot lidmašīnas, helikopterus, deltaplānus, dirižabļus. Gaisa līdzekļus, ko izmanto monitoringam, aprīko ar digitālajām optiskajām kamerām, sānu

apskates radiolokatoriem ar reālo antenu apertūru, skenējošiem optoelektroniskajiem kompleksiem, hiperspektrometriem, televizoriem, infrasarkanajiem radiometriem, lidariem, mikroviļņu radiometriem, gamma uzņemšanas aparāturu. Lidmašīnas, lai atklātu naftas piesārņojumu (1.3. att.), lietderīgajā slodzē izmanto sānu apskates radarus (SLAR, side-looking airborne radar).



1.3. att. Attēls jūras virsmā pa labi no lidmašīnas, ko uzņēma sānu apskates radars SLAR [21].

Izmantojot gaisa monitoringa līdzekļus, operatīvo informācijas apstrādi atsevišķos gadījumos var veikt uz aviācijas līdzekļu borta, un tās rezultāti var tikt nodoti patērētājiem tiešsaistes režīmā vai tikt nosūtīti uz virszemes apstrādes līdzekļiem.

Izpildot gaisa monitoringu, izmanto dažādus lidojumu tipus.

Nacionālie reisi – lidojumi, ko veic atsevišķā valstī, lai pārklātu ekskluzīvo ekonomisko zonu. Reģionālie lidojumi tiek izmantoti, lai koordinētu divpusējus vai daudzpusējus nolīgumus starp iesaistītajām valstīm, lai koordinētu novērošanu un palīdzību abpusējas intereses jomās.

Lidojumus, ko veic ar mērķi nodrošināt naftas un gāzes rūpniecības monitoringu Ziemeļjūrā, izpilda zinātnisko pētījumu programmas ietvaros. Veicot monitoringu, tiek veikta visu piesārņojumu identifikācija, informācijas pētīšana un izplatīšana par piesārņojuma avotu.

Lidojumi, ko izpilda pēc CEPCO (Coordinated Extended Pollution Control Operation – Paplašinātā koordinētā operācija cīņai pret piesārņojumu) programmas. CEPCO var tikt organizēta

kā nepārtraukta gaisa novērošanas lidojumu secība, ja tas ir iespējams, izmantojot jūras novērošanu naftas piesārņojuma kontrolei. Galvenais uzdevums ir nodrošināt pastāvīgu klātbūtni operācijas rajonā vismaz 24 stundas.

Operācijas mērķis ir izvēlēta rajona, kur pastāv augsta naftas piesārņojuma no kuģiem varbūtība, pastāvīga apsekošana, lai noteiktu, fiksētu, dokumentētu un ziņotu par atklātiem pārkāpumiem un uzlabotu sadarbību starp HELCOM un Bonnas vienošanās dalībvalstīm [12].

Ņemot vērā minētās problēmas, HELCOM izmanto lidmašīnas Baltijas jūras gaisa novērošanai. Kopumā 5090 lidojuma stundas ar lidmašīnas izmantošanu tika veiktas 2012. gadā Baltijas jūras valstu uzraudzības pasākumu ietvaros. Turklāt tika novērots neliels lidojumu intensitātes samazinājums – aptuveni par 8 %, salīdzinot ar iepriekšējo gadu (5541 lidojuma stundas 2011. gadā), dēļ gaisa kuģu kapitālā remonta un dalības ārvalstu misijās [13]. Saskaņā ar ikgadējo HELCOM ziņojumu kopējais lidojuma stundu skaits Baltijas jūrā samazinājās arī 2014. gadā. Salīdzinot ar vidējo kopējo lidojuma stundu skaitu 2000.–2013. gadā, samazinājums ir 20 %. Pastāv risks, ka gaisa novērošanas laika daudzuma samazinājums pazemina ticamību informācijai par Baltijas jūrā atklātiem izplūdumiem no kuģiem.

Turklāt, izpildot jūras virsmas piesārņojumu aviācijas uzņemšanu, nākas saskarties ar vēl lielāku skaitu ierobežojumu, nekā veicot satelītu novērošanu.

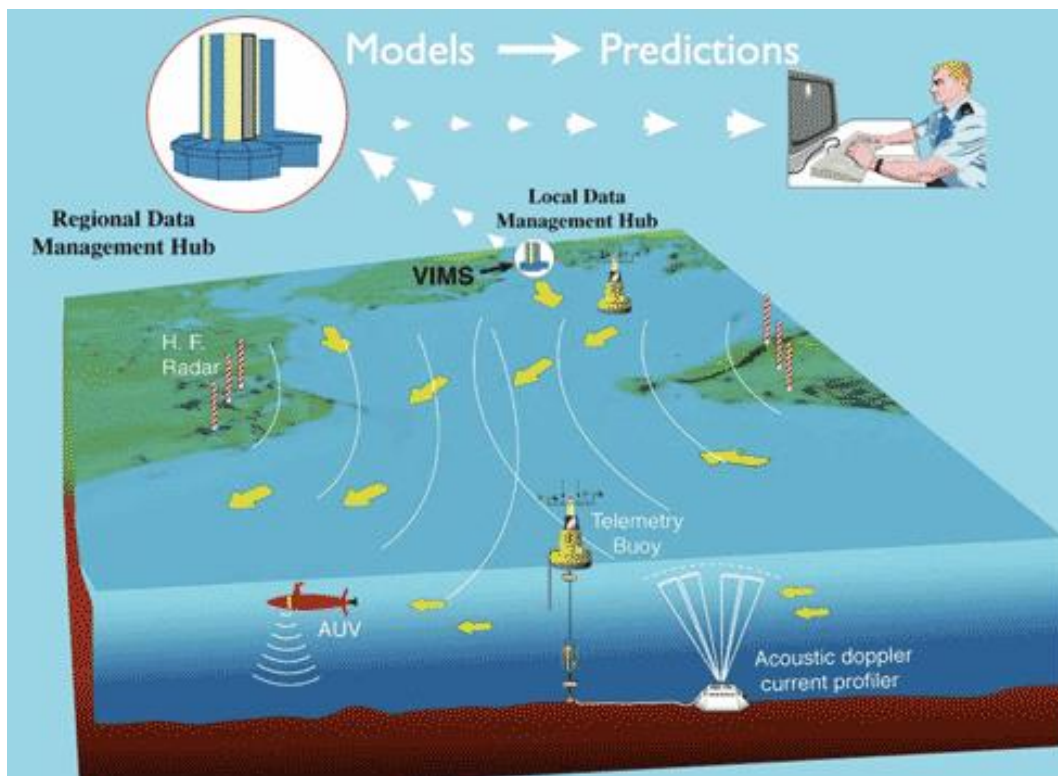
Galvenā pilotējamo lidaparātu izmantošanas problēma ir to ierobežota izmantošana laika apstākļu (mākoņainuma un miglas) dēļ. Turklāt pilotējamo lidaparātu izmantošanas gadījumam ir raksturīgs samērā ilgs reaģēšanas laiks (līdz 3 stundām) un ļoti augstas ekspluatācijas izmaksas. Kā satelītu monitoringa gadījumā uzņemšana ne vienmēr dod iespēju atklāt naftas produktus saturošo plankumu pazīmes. Novērtējuma precizitāte ir atkarīga no virsmas viļņošanās, apgaismojuma intensitātes, novērošanas leņķiem. Nav iespējams vienlaicīgi pilnīgi pārklāt uzņemšanai visu kontrolējamo akvatoriju. Lai pārklātu lielas jūras platības, tiek izmantota halžu poligonu uzņemšana, kas nenodrošina piesārņojumu kontroli lielās platībās intervālos starp halzēm, sakarā ar ko pastāv augsta lielu ($>0,01 \text{ km}^2$) naftas izplūdumu izlaišanas varbūtība (saskaņā ar CEPCO starptautiskajām prasībām visi naftas piesārņojumi, kas platībā pārsniedz $0,01 \text{ km}^2$, ir obligāti reģistrējami). Pastāv arī virkne lidojumu likumdošanas ierobežojumu sakarā ar piekrastes objektu (militārie objekti, AES, bīstamo ķīmisko vielu glabātuves, u. c.) atrašanās vietas slepenību, vai citi aizliegumi, ko nosaka valsts administrācija.

Pilotējamo lidaparātu un kuģu izmantošanas izmaksas stundā ir: 2100 eiro helikopteram, 1500 eiro lidmašīnu tipa pilotējamiem lidaparātiem un 1000 eiro krasta apsardzes kuģiem.

Naftas plēves biezumu pēc satelītu mērījumiem vairākumā gadījumu noteikt nav iespējams. Naftas piesārņojuma monitoringa laikā no lidmašīnām un helikopteriem to var aptuveni noteikt, izmantojot mikroviļņu un infrasarkanos radiometrus. Ilgs reaģēšanas laiks ir ļoti bīstams, ņemot vērā naftas izplatīšanās dinamiku jūras virsmā.

1.3.3. Naftas piesārņojuma monitoringa automātiskie kompleksi

Jūras akvatorijas naftas piesārņojuma kontrolei izmanto arī automātiskās sistēmas. Automātiskās jūras sistēmas ir komplekss, kas ir nostiprināts ar enkuru un nes derīgo slodzi. Kompleksi paredzēti naftas piesārņojuma kontrolei teritorijās, kas atrodas līdzās naftas ieguves platformām. Kompleksus novieto ne tālāk kā 100 metru attālumā no platformas. Datu pārraidi no peldoša kompleksa veic pa gaitas trosi ar magnētisko modemu palīdzību un tālāk pa kabeli vai pa zemūdens hidroakustisko kanālu naftas ieguves platformas informācijas nodrošināšanas apakšsistēmai (1.4. att.).

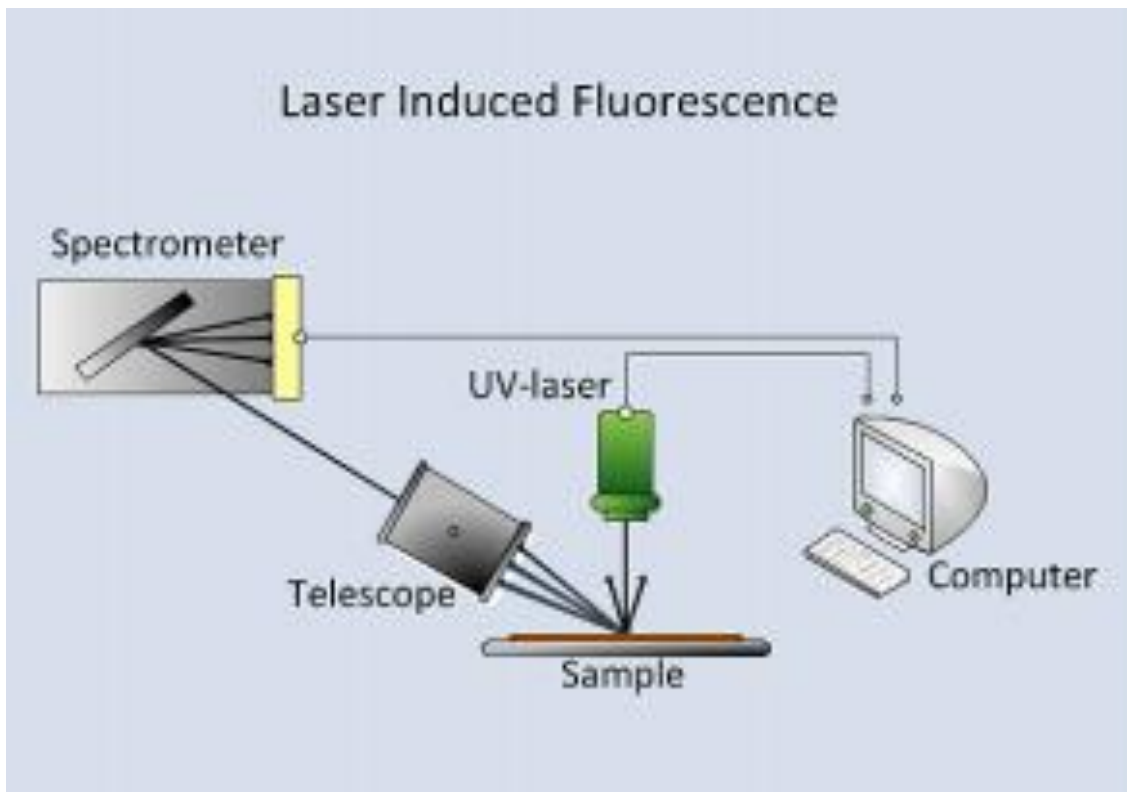


1.4. att. Naftas piesārņojuma monitoringa automātiskie kompleksi [18].

Kā automātiskās sistēmas komponentes izmanto autonomās marķiera datu ievākšanas bojas. Tās uz vietas reālā laika režīmā nodrošina novērošanu un okeāna straumju un naftas izplūdumu temperatūras datus. Satelītu sistēma Iridium nodrošina datu atskaišu pārraidīšanu tiešsaistes

novērošanas sistēmā vai tieši klienta GIS (grafiskā informācijas sistēma) vai modelēšanas programmā.

Nafta un naftas produkti intensīvi fluorescē, ierosinot ar ultravioletā diapazona gaismu, turklāt dažādu naftas produktu tipu fluorescences spektri būtiski atšķiras pēc intensīvuma un formas. Naftas piesārņojumus uz jūras virsmas var atklāt un identificēt ar fluorescējošiem lidariem. Kā lāzera izstarotāju lidarā izmanto eksimēra lāzeri, kas ģenerē ultravioleto starojumu ar viļņa garumu 308 nm. Augstas jaudas eksimēra lāzera izmantošana ļauj veikts ūdens virsmas zondēšanu no aptuveni 500 m attāluma (1.5. att.).



1.5. att. Fluorescējoša lidara uzbūves princips [18].

Lidars var ne tikai atklāt naftas produktu piesārņojumus apkārt platformai, bet arī ļauj novērtēt naftas plēves biezumu, tādējādi nodrošinot iespēju kvantitatīvi novērtēt atklāto noplūdi.

Vairākums sarežģītos meteoroloģiskajos apstākļos izmantojamo attālo metožu ir neefektīvas. Lai novērstu attālās zondēšanas trūkumus, ir izstrādāta naftas izplūdumu monitoringa sistēma, kuras novērošanas modulis sastāv no fluorescējošiem lidariem un automatizētām kontakta tipa monitoringa stacijām. Stacijas var atrasties gan virs, gan zem ūdens. Specializēta iekārta AMK (Automātiskais monitoringa komplekss) tika izstrādāta, lai izveidotu naftas un naftas produktu noplūžu agrīnās atklāšanas un monitoringa automatizēto sistēmu [18].

Sakarā ar lielo skaitu trūkumu attālās zondēšanas līdzekļos un stacionārās automātiskajās sistēmās pietiekami precīzus rezultātus var iegūt, tikai izmantojot kompleksa sistēmu. Jūras novērošanas sistēma ir novērojumu komplekss, ko veic no dažādām novērošanas platformām ar unificētiem mērīšanas līdzekļiem uz vienotas normatīvi-metodiskās un tiesiskās bāzes [19]. Šī sistēma sastāv no divām apakšsistēmām: virszemes un attālās. Virszemes apakšsistēmā ietilpst: jūras krasta hidrometeoroloģisko novērojumu tīkls; monitoringa programmas noteikto kuģu novērojumu tīkls; okeanogrāfijas novērojumu un darbu tīkls; automātisko boju staciju – noenkuroto un dreifējošo – tīkls, nacionālās jūru piesārņojuma novērošanas administrācijas tīkls. Bojas un zemūdens aparātus uzstāda un ekspluatē, ņemot vērā jūras kuģošanas drošības prasības, tāpēc ir nepieciešama informācijas sniegšana par to atrašanās vietu [19]. Kosmiskā apakšsistēmas sastāvā ir meteoroloģisko un specializēto satelītu grupa, kas ļauj uzņemt ūdens virsmu.

1.3.4. Naftas piesārņojuma monitorings, izmantojot kuģus

Atklājot naftas noplūdi, izmantojot attālās zondēšanas un piesārņojuma likvidācijas līdzekļus, ir nepieciešams monitorings ar kuģiem, kas ļauj noteikt piesārņojošo vielu izplatības dinamiku jūras ūdenī un naftas produkta veidu. Monitoringu, izmantojot peldlīdzekļus, izmanto, lai apstiprinātu satelītu novērojumus un atsijātu viltus signālus. Ar peldlīdzekļu palīdzību risināmie uzdevumi iekļauj pirms un pēc izplūduma iegūto datu salīdzināšanu. Kuģis, kas atrodas naftas izplūduma zonā, veic piesārņotās un tīrās zonās iegūto datu analīzi. Jūras kuģiem ir liela autonomija, un tie var novērot un iegūt datus par naftas piesārņojumu ilgu laika periodu. Kuģu izvietojuma fluorescējošie lidari ļauj pietiekami ātri un efektīvi noteikt piesārņojumus, piemēram, naftas piesārņojumus lielās ūdens virsmas platībās [18].

Ar optiskajām un digitālajām kamerām, lidariem aprīkoti kuģi var analizēt un novērot naftas plankuma dinamiku. Galvenais trūkums kuģu izmantošanā monitoringam ir zems ātrums: vidējais ātrums sastāda 15 jūdzes stundā, bet maksimālais – 30 jūdzes stundā.

Mobilās jūras platformas, atšķirībā no attālās zondēšanas līdzekļiem, nodrošina paraugu ņemšanu no ūdens virsmas. Jūras kuģus izmanto, lai ievāktu plēvju ar spīdumu paraugus no ūdens virsmas un veiktu ķīmisko analīzi naftas izplūduma agrīnos posmos. Plēves ievāc ar mērķi noteikt naftas izcelsmi, un tās var izmantot, lai noteiktu naftas avotu, kad plēves ir vienīgais sākumprodukta (piemēram, dīzeļdegvielas) rādītājs; veiktu nezināmas izcelsmes plēvju ekspertīzes (piemēram, biogēnie, citi piesārņojuma avoti). Rezultātā iegūtos datus par izlieto naftu dokumentē. Kuģa laboratorijā izmantotā aparatūra ļauj iegūt naftas izplatīšanās prognozi, kas ir sevišķi svarīgi, likvidējot izplūdumu. Ņemot vērā statistikas datus par lielu skaitu naftas piesārņojuma viltus

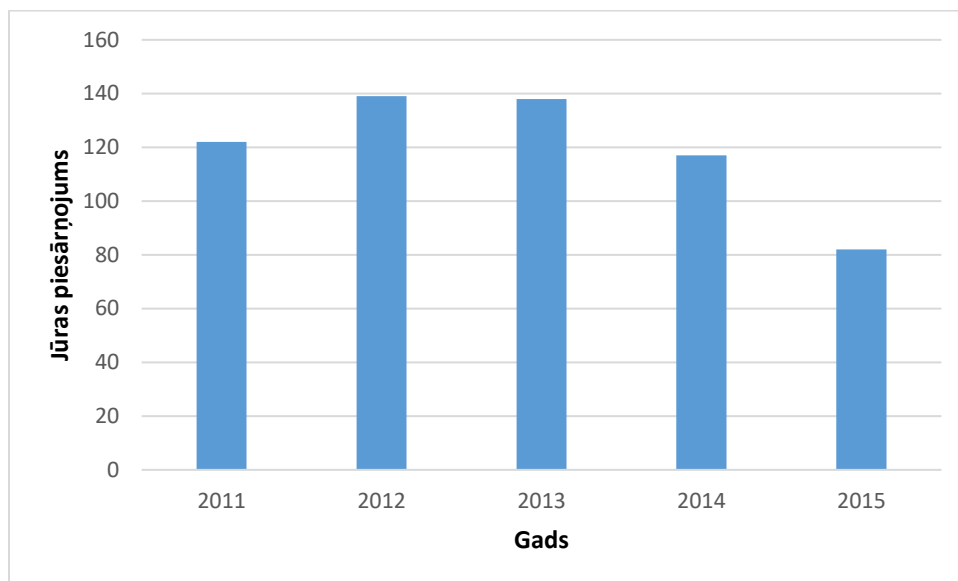
atklāšanas reizēm, izmantojot attālās zondēšanas līdzekļus, kuģu izmantošana ļauj precīzi noteikt, vai piesārņojums notika. Naftas piesārņojuma monitoringam izmanto arī automātiskos virsūdens līdzekļus (ASV, autonomous surface vehicle).

Viens no svarīgiem okeāna paraugu ņemšanas piemēriem ir tīša un pretlikumīga naftu saturošo ūdeņu izmešana no lieliem kuģiem. Standarta ASVs eļļas sensors nespēj ievākt pietiekamu informāciju par naftas sastāvu šajās grupās, un paraugs ir jāievāc un jāatgriež laboratorijā analīzei gan pēc eļļas sastāva (proti, izveido identifikācijas atzīmi, kas ir specifiska konkrētajam kuģim), gan pēc eļļas daudzuma ūdenī (izmanto, lai novērtētu zaudējumus tiesā). Ūdens paraugu ņemšanas bloka uzstādīšana uz ASV ļaus šiem kuģiem pienākt pie naftas piesārņojuma vietas, kas tika noteikta, izmantojot satelītu vai lidmašīnu, un paņemt paraugus. Organizācijas HELCOM kuģiem, kas ir iesaistīti naftas avārijas izplūduma likvidācijā, ir nepieciešama naftas plankuma veidošanās procesa informatīvā aina. Šī informācija ir nepieciešama savākšanai un seku likvidēšanai. Kuģi, kas piedalās naftas avārijas izplūduma likvidēšanā, ir aprīkoti ar ierīcēm un uzgaļiem naftas savākšanai, ko nomaina atkarībā no naftas produkta tipa un plēves biezuma [3].

Stacionārās tālvadības aviācijas sistēmas (TAS) var izmantot naftas avārijas izplūduma monitoringa līdzekļos. TAS darbojas kā periskops virs kuģa vai apgādes kuģa. Sistēma sastāv no gaisa balona, kas ar troses palīdzību ir nostiprināta uz kuģa klāja. Datu pārraide notiek pa elastīgo kabeli [19]. Šī sistēma ir ierobežota diapazonā, kas atkarīgs no augstuma un sensora apskates leņķa. Lidara sensora izmantošana naftas plankuma biezuma mērīšanai ir iespējama tikai blakus kuģim, jo LIDAR sensors darbojas uzdotā leņķa robežās.

1.4. Baltijas jūras akvatorijas piesārņojuma līmeņa un avotu analīze

Baltijas jūras akvatorijas piesārņojuma līmeņa un avotu novērtējums ir veikts, pamatojoties uz HELCOM ikgadējo pārskatu informācijas analīzes par periodu no 2011. līdz 2015. gadam pēc faktiem, kas fiksēti ar naftas piesārņojumu attālās zondēšanas līdzekļu palīdzību (1.6. att).



1.6. att. Baltijas jūras akvatorijas naftas piesārņojumu dinamika.

Veiktā analīze norāda, ka jūras akvatorijas piesārņojuma līmenis ir būtiski samazinājies attālās zondēšanas līdzekļu ieviešanas rezultātā.

Konstatēto naftas piesārņojumu datu analīzes rezultātā pēdējo 10 gadu laikā ir noteikti Baltijas jūras rajoni ar paaugstinātu piesārņojuma risku (1.7. att.).

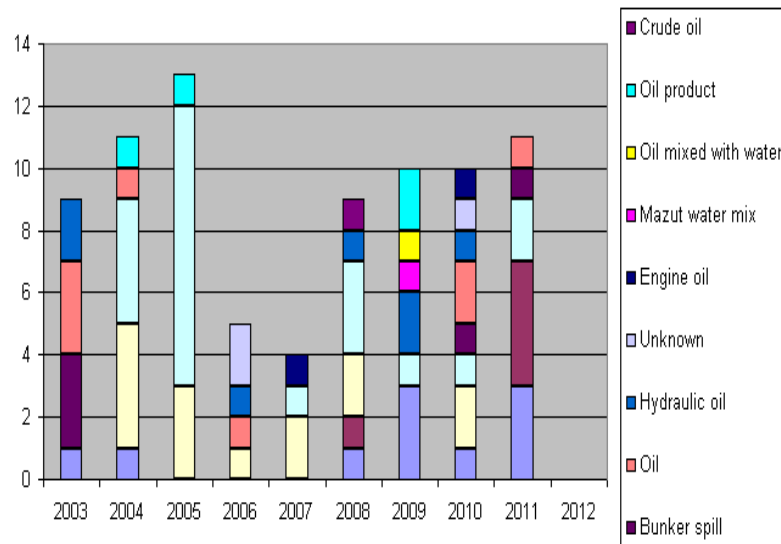


1.7. att. Baltijas jūras rajoni ar paaugstinātu piesārņojuma risku.

Rajoni ar paaugstinātu piesārņojuma risku atrodas gan tuvu krastam 3, gan būtiskā attālumā 1 un 2. Ar ciparu 3 atzīmētie rajoni ir rūpnieciskie atkritumi. Rajoni 1 un 2 iekļauj jūras kuģu

izraisītos naftas produktu koncentrētos izplūdumos. To sadalīšanās ģeogrāfija ir saistīta ar tankkuģu maršrutiem un naftas terminālu atrašanās vietām.

Lai precizētu izstrādātās attālās zondēšanas kompleksa uzdevumus un funkcionālās spējas, izmantojot TGC, tika veikta arī Baltijas jūras reģiona piesārņojuma produktu veidu analīze (sk. 1.8. att. un 11. tabulu).



1.8. att. Baltijas jūras akvatorijas piesārņojuma produktu tipu analīze.

1.1. tabula

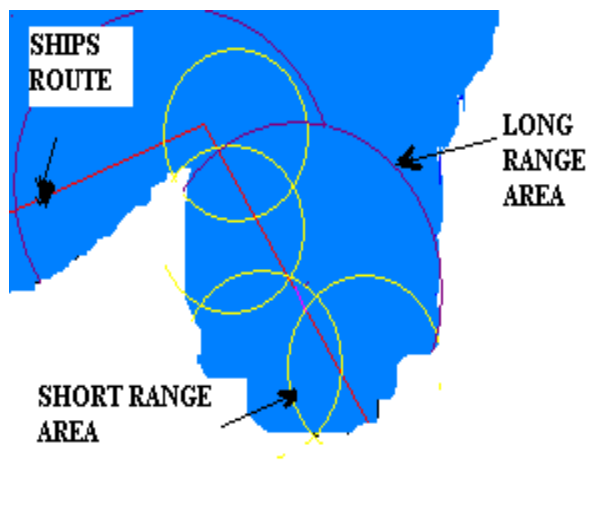
Galvenie Baltijas jūras akvatorijas naftas produktu piesārņojuma avoti

Piesārņojuma avoti	% kopējā apjoma
Naftas noplūdes jūrā	60%
Nonākšana ar notekūdeņiem	15%
Tehnogēnas katastrofas	25%

Veiktās analīzes rezultātā ir konstatēts, ka naftas produkti un rūpnieciskie atkritumi pastāvīgi nonāk jūrā no sauszemes kopā ar lietu un upju notecēm (benzīns, dīzeļdegviela, mašīneļļas, utt.). Bet galvenie mazuta un dīzeļdegvielas koncentrēto noplūdumu avoti jūrā ir jūras kuģi. Jūrā kopā ar mazgāšanas ūdeni nelegāli arī noplūst nafta kā kravas atlikumi. Analīzes rezultātā tika atklāti trīs galvenie piesārņojuma produktu veidi: nafta, dīzeļdegviela un mazuts.

Liels piesārņojuma avotu skaits un noplūdēs vainīgo neieinteresētība sniegt informāciju rada noteiktas grūtības, uzskaitot to mērogus un veicot operatīvos pasākumus to likvidēšanai. Piesārņojumu līmeņa un rakstura statistisko datu izklāde pieaug arī nenoteiktības dēļ naftas avārijas noplūžu un noteču no naftas termināliem gadījumā.

Tātad jūras akvatorijas naftas piesārņojuma monitoringa misijas teritorijai ir jāaptver gan piekrastes zonas, gan rajoni, kas ir tāli no piekrastes, kā arī iekšējie ūdeņi un ostas. Ņemot vērā jūras akvatorijas monitoringu, izmantojot TGK, specifiku un nepieciešamību nepārtraukti saņemt informāciju, kā arī kuģu kustības maršrutus, kas dinamiski mainās, visa kontrolējamā teritorija ir jāsadala rajonos ar īsu un garu darbības rādiusu (1.9. att.). Īsa rādiusa rajona diapazons ir 50–80 kilometri, gara rādiusa rajona diapazons – 150–200 kilometri.



1.9. att. Jūras akvatorijas naftas piesārņojuma monitoringa zonas.

Kontrolējamās teritorijas sadalīšana monitoringa zonās ir jāveic, ņemot vērā TGK, kas ietilpst monitoringa sistēmā, un to tehniskās raksturlīknes.

2. TĀLVADĪBAS GAISA KUĢA LIDOJUMA MARŠRUTA OPTIMIZĀCIJA, VEICOT JŪRAS AKVATORIJAS MONITORINGA MISIJU

2.1. Optimālas maršrutizēšanas uzdevuma formulēšana tālvadības gaisa kuģa vadīšanai

Galvenā jūras akvatorijas monitoringa problēma ir saistīta ar nepieciešamību veikt jūras virsmas novērošanu, aptverot lielas platības ar mainīgu ģeometriju, un prasībām kontrolēt lielu skaitu ejošu kuģu ar dažādiem parametriem (ar mainīgu ātrumu, kustības trajektoriju). Galvenais uzdevums te ir TGK maršruta optimizācijas algoritma izstrāde ar iespēju nepārtraukti koriģēt lidošanas parametrus atkarībā no reālās situācijas un dinamiski mainīgiem kontroles parametriem.

Izstrādājot lidojuma maršrutu, ir jāņem vērā arī dinamiski mainīgās paša TGK raksturlīknes, piemēram, ātruma izmaiņas vēja ietekmē, lidojuma augstumu, svara lietderīgo slodzi.

Optimizācijas uzdevumu risināšanai izmantojamās lineārās programmēšanas metodes var tikt realizētas tikai nelielam skaitam statisko objektu un nav piemērotas izskatāmajam gadījumam.

TGK lidojuma maršruta optimizācijas uzdevums var tikt atrisināts, tikai pamatojoties uz dinamiskās programmēšanas metodi, piemēram, izmantojot Deikstras algoritmu [22].

Maršrutizācijas uzdevuma vispārināto uzstādīšanu TGK, kas veic naftas piesārņojuma misiju, vadīšanai, var attēlot šādi. Ir definēts grafs, kas attēlo TGK novērošanas misiju $G = (V, E)$, kur V ir misijas maršruta virsotņu (elementu) kopa, E ir šķautņu (saišu) starp maršruta elementiem kopa [34]. Katram no šā grafa parametriem ir laika atkarība, proti, $V = \{v_i(t)\} \quad i = \bar{1}, n, t = 0, l$ un $E = \{e_j(t)\} \quad j = \bar{1}, m, t = \bar{1}, l$. Nepieciešams optimizēt monitoringa misijas grafu, piemēram, pēc laika parametra.

Lai attēlotu kuģu un iespējamo kustīgo naftas plankumu dinamisko kustību, var izmantot karti ar aprēķinātām mērķu varbūtības pozīcijām. Varbūtības pozīcijas aprēķina, izmantojot datus, kas iegūti no automātiskās identifikācijas sistēmas (AIS). Misijas plānošana, integrējot informāciju no AIS sistēmas un krasta radiolokācijas novērošanas sistēmām, dos iespēju maksimāli samazināt monitoringa misijas lidojuma laiku un TGK ekspluatācijas uzdevumus. Galvenā funkcija jebkurai jūras novērošanas sistēmai ir spēja precīzi prognozēt kuģa kustības trajektoriju un ekstrapolēt kuģa trajektoriju uzdotā laika periodā. Kuģu pozīcijas var tikt iegūtas no AIS pārskatiem, LRIT pārskatiem un atradumiem, no RADARSAT attēliem, kur katrs kuģa pozīcijas ieraksts ir diskrēta vērtība ar nenoteiktību. Tomēr, dažādas prasības pozīcijas pārraidīšanai un piemītošie datu kavējumi rada izlaidumus esošajā informācijā par pozīcijām. Lai iegūtu kuģa kustības trajektoriju, ir jāinterpolē dažādu informācijas avotu dati un jānosaka nenoteiktības novērtēšanas precizitāte, kas ir saistīta ar katru pēdējās informācijas pārraidīšanas laiku un punktu.

Tā kā pārraidītie dati ir diskrētas vērtības, ir jāpareģo arī kuģa stāvoklis ārpus pieejamās informācijas.

Problēmas formulēšanai tiek noteikts, ka pastāv mērķu kopa ar konkrētiem parametriem, tādiem, kā mērķa tips, kustības vienādojums, pēdējās pozīcijas, kas iegūtas no jūras kuģniecības monitoringa sistēmām, attēlošanas formulējums (punkts, līnija un platība). Lai optimizētu jūras objektu naftas piesārņojumu monitoringa novērošanas misiju, kuru veic TGK, tiek analizēta mērķu matrica. Nākamajā posmā tiek plānota naftas piesārņojumu varbūtība un to mērķu noskaidrošana, kuriem var kļūt nepieciešams naftas piesārņojuma monitorings. Izvēlētie mērķi, tiks iedalīti klasēs ar augstiem (tankkuģi ar naftu/ķīmikālijām un kuģu maršruti), vidējiem (kravas kuģi), maziem (zvejas kuģi) piesārņojuma riska līmeņiem. Naftas piesārņojumu novērošanas misiju plānošana ietver ļoti lielu skaitu risinājumu. Sekmīgas TGK misijas plānošana ir jāprojektē kā dinamiska sistēma ar atgriezenisko saiti ar informāciju par TGK un mērķu pozīcijām. Dinamiskās programmēšanas metodes ļauj risināt dažādas problēmas daļas (apakšuzdevumus), un pēc tam apvienot apakšuzdevumu risinājumus, lai panāktu kopējo risinājumu. Pastāv daudzi TGK izmantošanas algoritmu tipi, kas tiek pielietoti statisko mērķu ar ātrumu $V = 0$ monitoringam un novērošanai. Izpildot statisko mērķu monitoringu ar vienu vai vairākiem kustīgiem objektiem, šo algoritmu risinājums un rezultāti nebūs optimāli noteiktai problēmai ar dinamiskajiem objektiem. Mērķis dinamiskajā vidē var tikt attēlots kā punkts ar galvenajiem parametriem tādiem kā sākotnējais ātrums un kurss. Mērķi tiks sadalīti četrās grupās ar ātrumu $V = 0, 0 < V < 14, 14 < V < 23, 23 < V$ [34]. Koordināšu sistēmas izveide, kas ietver attāluma mērīšanu starp TGK un novērošanas objektiem, nodrošinās labus rezultātus. Bet ir ļoti svarīgi izstrādāt automatisko aprēķinu un datu savākšanas sistēmu, kas izpilda TGK relatīvās kustības aprēķinu, ņemot vērā vēja ātruma ietekmi. Šajā pieejā abu mērķu tipu relatīvā kustība – dinamiskā un statiskā ir attēlota plaknē ar diviem vienādojumiem: $x = TGK_N - T_N, y = TGK_E - T_E$, kur T_N un T_E ir mērķa Dekarta koordinātas plaknē [34].

Ir liels skaits darbu, kas veltīti Belmana principam un dinamiskās programmēšanas metodei. Īsai priekšmeta analīzei vēršīsimies pie viena no šiem darbiem [23]:

Dinamiskā programmēšana ir matemātiskā vairāksoļu procesu, kuros pētāmo sistēmu stāvoklis mainās laikā vai posmos, optimālo risinājumu meklēšanas metode.

Dinamiskās programmēšanas metodes teorētiskais pamats ir optimalitātes princips.

Funkcijas optimalitāte dinamiskajā programmēšanā.

Nereti kāda fakta šķietama evidence apgrūtina tā vērtības novērtējumu.

Tā optimalitātes principu bez šaubām izmantoja daudzi autori atsevišķiem gadījumiem, bet tikai Belmans pirmoreiz skaidri formulēja to un parādīja, cik plaši šis princips ir pielietojams un cik lielas ir tā iespējas.

Klasiskais optimalitātes principa formulējums ir sniegts pirmajā no Belmana grāmatām „Dinamiskā programmēšana” [24]. Optimālai vadībai ir tāda īpašība, ka, lai arī kāds būtu sākuma stāvoklis un sākuma pārvaldība, turpmākai pārvaldībai ir jābūt optimālai attiecībā pret stāvokli, kas rodas sākuma pārvaldības iedarbības rezultātā.

TGK maršrutizācijas optimizācijas princips dinamiskajā programmēšanā ir funkcijas minimuma atrašana. Dinamiskās programmēšanas metodes realizācija TGK maršrutizācijas problēmā ir eksponenciāli atkarīga no ievaddatu izmēra. Misijai ar vairāk nekā 30 objektiem, ko jau ir grūti atrisināt, piedāvātā metode prasa vairāk laika. Veikto aprēķinu rezultāti rāda, ka dinamiskās programmēšanas algoritmam ir normāla precizitāte.

Objekta, piemēram, kuģa kustību atrisina ar zināmu objekta pārvietošanās parametru palīdzību. Šai gadījumā uzskatāms, ka mērķis kustās ar pastāvīgu kursu un ātrumu. Šī metodika dod iespēju atrast tikšanās punktu, kur TGK sasniedz kustībā esošo objektu. Kustībā esoša objekta tikšanās punkta noteikšanai izmanto sekojošās funkcijas: funkciju, kas nosaka objekta pārvietošanās laiku līdz vienam no punktiem uz taisnes, gar ko kustās objekts; funkciju, kas nosaka TGK kustību uz minēto punktu. Objekta kustības attēlošanai izmanto traversās kuģošanas metodi (2.1. att.). Šī metode ļauj aprēķināt objekta stāvokli, izmantojot kursu nākamajā punktā un attālumu. Šai gadījumā jūras mērķa attālumu no sākumpunkta aprēķina pēc formulas:

$$D = V \times t \quad (2.1)$$

kur V – kuģa ātrums mezglos no AIS retranslatora informācijas;

t – laiks.

Punktam $P_2 (\varphi_2, \lambda_2)$ platumu φ_2 nosaka pēc formulas [34]:

$$\varphi_2 = \varphi_1 + V \times t \times \cos Course \quad (2.2)$$

kur φ_1 ir sākumpunkta p_1 platums,

$Course$ ir kuģa kurss no AIS retranslatora informācijas.

Punkta P_2 garumu nosaka pēc formulas [34]:

$$\lambda_2 = \lambda_1 + V \times t \times \sin Course \times \frac{1}{\cos \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}} \quad (2.3)$$

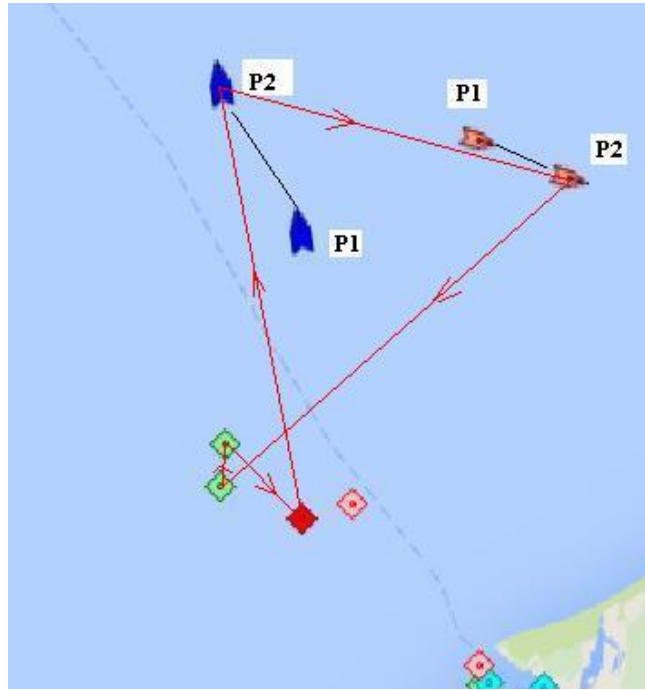
Galvenais TGK modeļa vadības princips vektoru formā:

$$\dot{x} = f(x, u, t) \quad (2.4)$$

kur $t \in [t_0, t_k]$, $x(t_0) = x_0$.

Šajā vienādojumā $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ir TKG stāvokļa vektors (koordināšu vektors), $fu = (u_1, u_2, \dots, u_m)$ ir vadības vektors, $f = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ ir funkcijas argumentu vektors, $[t_0, t_k]$ ir laika intervāls, kurā tiek izpildīts TKG lidojums.

TKG vadībai misijas plānošanas laikā programmnodrošinājumam ir jāņem vērā ierobežojums:



2.1. att. Kustošo objektu prezentācija[34].

$$u_{\min} \leq u(t) \leq u_{\max} \quad (2.5)$$

kur $t \in [t_0, t_k]$.

2.2. TKG optimālo lidojuma maršrutu sastādīšanas procedūras matemātiskā modelēšana

2.2.1. Dinamiskās programmēšanas metode TKG monitoringa misijas uzdevumā

Dinamiskās programmēšanas metodē visu iespējamo problēmu risinājumu salīdzinājums netiek veikts visu iespējamo variantu kopas konstruēšanas beigās, bet katrā konstruēšanas variantu secības solī [22]. Uzdevuma T risināšanai ir jānosaka apakšuzdevumu T1 T2 T3, Tn secība, tāda, ka uzdevumam T1 jau ir risinājums $T = T_n$ un zināmi uzdevumu T1, T2 un T_{i-1} risinājumi, un var

būt noteikts uzdevuma T_i risinājums visiem $i = 2 \dots n$. Optimālās vadības (risinājuma) noteikšanas procedūra balstās uz rekurentās attiecības analīzes.

$$f_{n-1}(S_l) = optimum[R_{l+1}(S_l, U_{l+1}) + f_{n-(l+1)}(S_{l+1})], \quad l = \overline{0, n-1} [34] \quad (2.6)$$

kur $l = \overline{0, n-1}$, $U_l = (u_l^1, \dots, u_l^m)$ ir l . solī izvēlētais risinājums;

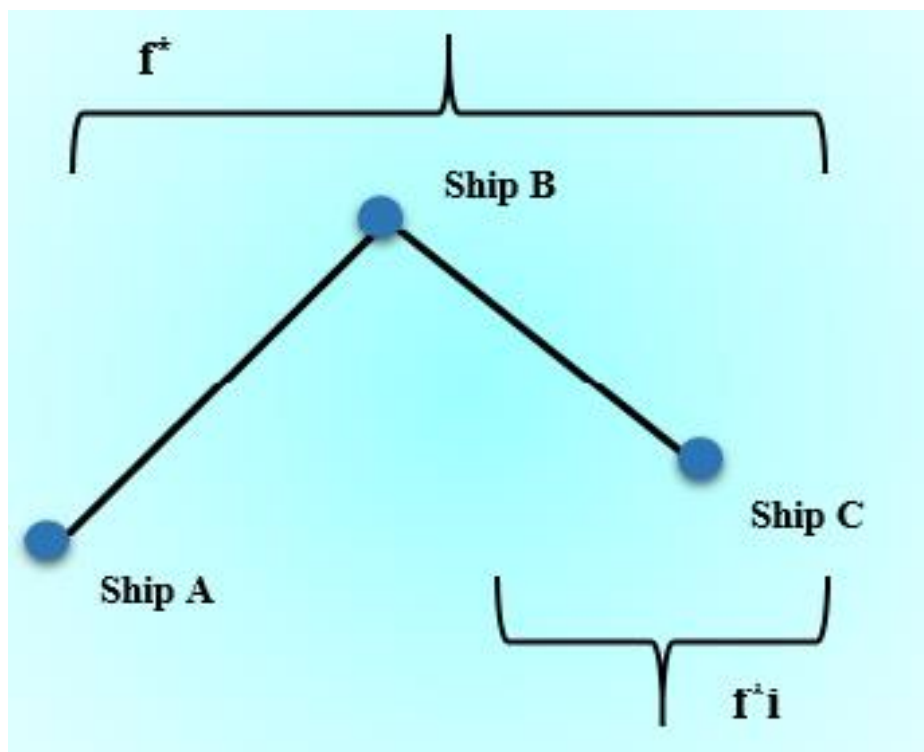
$S_l = (s_l^1, \dots, s_l^m)$ ir sistēmas stāvoklis l . solī;

R_l ir tiešs l . solī sasniegtais efekts;

f_{n-1} ir optimālā soļiem $n - 1$ sasniegtā efekta vērtība;

N ir soļu (posmu) skaits.

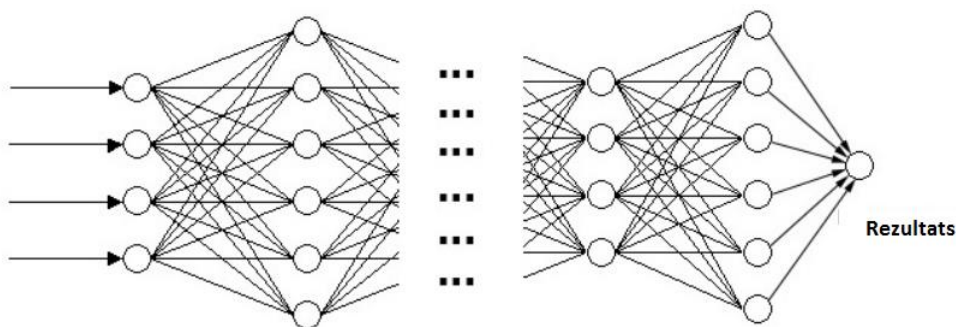
Jūras mērķu novērošanas misiju, ko veic TGK, pielietojot dinamiskās programmēšanas principu, var attēlot ar sekojošā piemēra palīdzību. Pieņemsim, ka īsākais lidojuma maršruts no kuģa A līdz kuģim C ir zināms kā f^* un iet caur kuģi B stāvoklī i . Lēmuma par optimalitāti pieņemšanas princips pasludina, ka maršrutam no B līdz C ir minimālais attālums un minimālā cena, tas sākas B un beidzas C, $f^* i$ (2.2. att.).



2.2. att. Dinamiskās programmēšanas princips [34].

Parasti, realizējot dinamiskās programmēšanas metodi, uzdevums tiek sadalīts vairākos apakšuzdevumos, pēc kā sākotnējā uzdevuma risinājums tiek „savākts” no apakšuzdevumu risinājumiem (2.3. att.). Galvenais moments, kas atšķir dinamisko programmēšanu no pilnīga

uzskaitījuma, te ir tas, ka apakšuzdevumu risinājumi glabājas atmiņā un netiek aprēķināti no jauna katru reizi, kad tie ir nepieciešami.



2.3. att. Dinamiskās programmēšanas metode.

Dinamiskās programmēšanas metodē TGK lidojuma uzdevuma algoritma saturs solī k ir tāds, ka esošais TGK novērošanas maršruts „garums k ” (kas iet caur k virsotnēm) paplašinās līdz 1, ceļa, kas iet caur $(k+1)$ virsotnēm piemērs. Lai iepazīstinātu ar TGK maršruta optimizāciju, veicot novērošanas misiju, tiek ņemts vērā, ka ir optimāls maršruts. Algoritmā tiks analizēts maršruta posms, kas sākas 0 un beidzās virsotnē I , šis posms ietver k starpposma virsotņu. Ja L ir minimālais ceļš, tad tā daļai, kura savieno virsotnes 0 un i iet noteiktā kārtībā caur virsotnēm, ir jābūt minimālam garumam. Īsākā maršruta garums, kas savieno virsotnes 0 un i un iet tikai vienu reizi caur katrām k virsotnēm, ir vienāds ar optimālo.

2.2.2. Zaru un robežu metode

Novērošanas misijas uzdevumiem, kas saistīti ar maršruta diskrētas optimizāciju, ir galīgā pieļaujamo risinājumu kopa, kur teorētiski var pārskatīt un izvēlēties labāko risinājumu (kas dotu mērķa funkcijas minimumu vai maksimumu).

Neskaidra uzskaitījuma metodēs tiek izdarīts mēģinājums tā organizēt uzskaitījumu, izmantojot izskatāmā uzdevuma īpašības, lai atmestu daļu pieļaujamo risinājumu. Lielāko izplatību neskaidra uzskaitījuma shēmu starpā ieguva zaru un robežu metode, kā pamatā ir pieļaujamo risinājumu kopas secīgas sadalīšanas ideja. Katrā metodes solī sadalīšanas (apakškopas) elementi tiek pakļauti analīzei – vai šī apakškopa satur optimālo risinājumu. Ja tiek izskatīts funkcijas minimums, pārbaude tiek veikta, salīdzinot apakšējo mērķa funkcijas vērtības novērtējumu šajā apakškopā ar augšējo funkcionālo novērtējumu.

TGK maršruta optimizācijas uzdevumu risināšanai izmanto zaru un robežu metodi [25, 26]. Viens no galvenajiem principiem tās pamatā ir uzdevuma pieļaujamās jomas sadalīšana

apakšjomās, izmantojot pieļaujamo punktu kopas galīgumu. Katrā tādā apakšjomā uzdevums izskatāms atsevišķi. Šajā gadījumā pilnīgu pieļaujamo punktu uzskaitījumu aizstāj ar samazinājumu, pamatojoties uz tekošās apakšjomas uzdevumu optimālās nozīmes augšējo un apakšējo vērtību analīzi. Ja apakšjomā pieļaujamie punkti un iespējamie risinājumi netiek atrasti, to turpmāk neizskata.

Šajā darbā attēlosim zaru un robežu metodes shēmu, izmantojot lineāro relaksāciju.

2.2.3 TGK optimālo lidojuma maršrutu sastādīšanas procedūras matemātiskā modelēšana

Šīs sadaļas mērķis ir novērtēt izstrādātā TGK maršrutu konstruēšanas procesuālā modeļa efektivitāti naftas monitoringa misiju veikšanai, kas pamatojas uz varbūtības analīzi. Šī matemātiskā modelēšana ir objektu dinamiskā informācijas modeļa, kas ņem vērā galvenās sastāvdaļas: objekta varbūtību pozīcijas modelis un TGK optimālās pārvietošanās modelis, realizācijas piemērs.

Piedāvāto algoritmu savstarpējai salīdzināšanai tika veikts skaitļošanas eksperiments ar sekojošām raksturlielēm:

1. Virsotņu n tika ģenerēti kā punkti plaknē XOY vienības kvadrātā ar neatkarīgām vienmērīgi sadalītām koordinātēm.
2. Daļa punktu tika ģenerēti kā objekts, kas kustās ar pastāvīgu kursu un ātrumu.
3. Iegūtā risinājuma kvalitātes novērtējums tika aprēķināts kā visu maršrutu kopējā garuma attiecība pret vispārīgā maršruta apakšējo novērtējumu pa visām virsotnēm.

Optimizācijas modelis tika piedāvāts TGK maršrutam. Modelis izskatīja divus scenārijus: pirmais scenārijs bija tāds, ka visas mērķu koordinātes tika ieliktas matricā, bet otrais scenārijs bija tāds, ka daži objekti kustās ar pastāvīgu ātrumu un kursu [34]. Piemēru piedāvāja grafs ar 11 objektiem. Tika pieņemts, ka ir 5 mērķi ar 12 mezglu ātrumu, 3 mērķi ar 8 mezglu ātrumu un 3 statistiskie mērķi (2.4. att.). Otrajā scenārijā koordinātes tika aprēķinātas noteiktos laika intervālos [34].

1. scenārijs:

TGK izmantoja 11 mērķu monitoringam, izmantojot īsākā maršruta meklēšanas algoritmu.

2. scenārijs:

TGK izmantoja 11 mērķu monitoringam, ņemot vērā laika intervālu un maršrutu plānošanas monitoringa ietekmi, kā arī ar mērķi minimizēt kopējo TGK maršruta attālumu. Salīdzinot 2. scenārija risinājumu ar 1. scenārija risinājumu, optimālais maršruta attālums samazinājās par 7 %. Tas demonstrēja objektīvo vērtību, maršruts būtiski uzlabojās. Par zemāko novērtējumu izmantoja

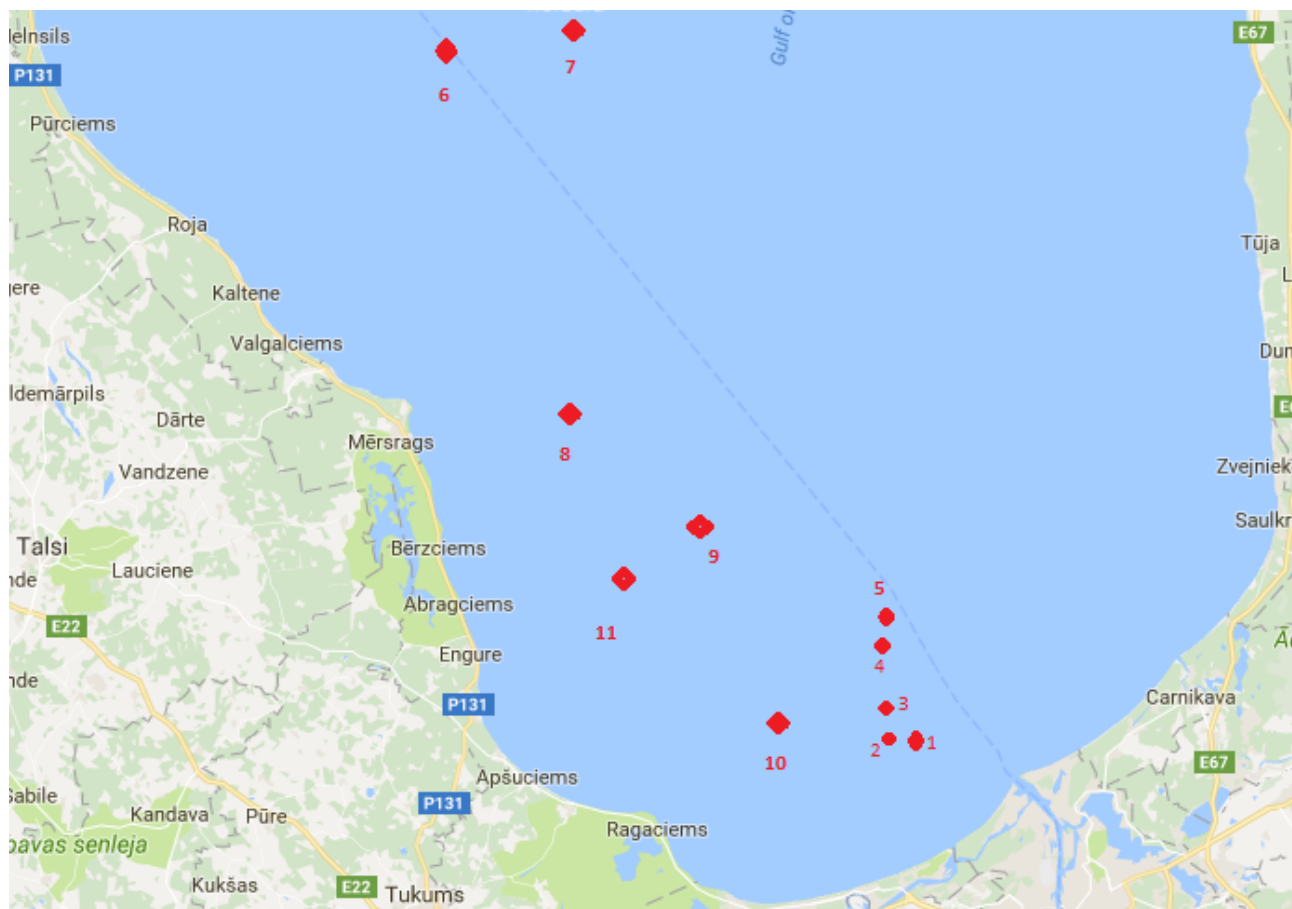
minimuma šķautņu garumu summu. TGK maršrutu uzdevuma aprēķināšanai naftas piesārņojuma monitoringam algoritmu starpposma soļos tika izmantota viena un tā pati secība.

Veiktajā eksperimentā ar dinamiskās matricas izmantošanu tika izmantoti sekojošie algoritmi:

- Koka algoritms;
- Dinamiskā programmēšana (2.5. att.);
- Zaru un robežu metode (2.6. att.).

Lat		Long		V	t min	S	Course
57	6,12	23	55,06	0,00	30,00	0,00	0,00
57	6,44	23	52,23	0,00	30,00	0,00	0,00
57	7,32	23	52,33	0,00	30,00	0,00	0,00
57	11,15	23	54,57	12,00	20,00	4,00	0,00
57	12,57	24	1,17	8,00	20,00	2,67	110,00
57	37,80	23,00	10,20	0,00	30,00	0,00	0,00
57	39,00	23,00	26,40	0,00	30,00	0,00	0,00
57	22,80	23,00	21,00	0,00	30,00	0,00	0,00
57	15,60	23,00	33,60	12,00	20,00	4,00	0,00
57	9,00	23,00	45,60	8,00	20,00	2,67	110,00
57	10,80	23,00	28,20	8,00	20,00	2,67	110,00

	Lat		Latsrednee	Differenclong	Long	
0,00	57,00	6,12	57,10	0,00	23,00	55,06
0,00	57,00	6,44	57,11	0,00	23,00	52,23
0,00	57,00	7,32	57,12	0,00	23,00	52,33
4,00	57,00	15,15	57,22	0,00	23,00	54,57
– 0,91	57,00	11,66	57,20	2,51	24,00	5,80
0,00	57,00	37,80	57,63	0,00	23,00	10,20
0,00	57,00	39,00	57,65	0,00	23,00	26,40
0,00	57,00	22,80	57,38	0,00	23,00	21,00
4,00	57,00	19,60	57,29	0,00	23,00	33,60
–0,91	57,00	8,09	57,14	2,51	23,00	50,22
–0,91	57,00	9,89	57,17	2,51	23,00	32,82



2.4. att. Optimizācijas modelis.

Dinamiskā programmēšana

	A	B	C	D
1		Sākotnējie dati		11
2	Nº	Nosaukums	Platums	Garums
3	1	1	57,10200	23,91767
4	2	2	57,10733	23,87050
5	3	3	57,12200	23,87217
6	4	4	57,25250	23,90950
7	5	5	57,19430	24,09660
8	6	6	57,63000	23,17000
9	7	7	57,65000	23,44000
10	8	8	57,38000	23,35000
11	9	9	57,32667	23,56000
12	10	10	57,13480	23,83698
13	11	11	57,16480	23,54704

	Attālumu matrica										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	1,57	1,91	9,03	8,04	39,86	36,33	24,86	17,8	3,28	12,64
2	1,57	0	0,88	8,8	9,02	38,69	34,31	23,52	16,58	1,98	11,08
3	1,91	0,88	0	7,92	8,49	38,01	34,63	22,95	15,93	1,38	10,89
4	9,03	8,8	7,92	0	7,01	32,91	28,26	19,68	12,17	7,45	12,9
5	8,04	9,02	8,49	7,01	0	39,75	34,61	26,65	19,14	9,17	17,96
6	39,86	38,69	38,01	32,91	39,75	0	8,75	16,08	22,12	36,72	30,46
7	36,33	34,31	34,63	28,26	34,61	8,75	0	16,46	19,78	33,47	29,32
8	24,86	23,52	22,95	19,68	26,65	16,08	16,46	0	7,51	21,59	14,41
9	17,8	16,58	15,93	12,17	19,14	22,12	19,78	7,51	0	14,61	9,72
10	3,28	1,98	1,38	7,45	9,17	36,72	33,47	21,59	14,61	0	9,61
11	12,64	11,08	10,89	12,9	17,96	30,46	29,32	14,41	9,72	9,61	0

24	No kurienes:	
25	1 1	▼
26		
27	BLA maršruts	
28	Nº	Nosaukums
29	1	1
30	5	5
31	4	4
32	7	7
33	6	6
34	8	8
35	9	9
36	11	11
37	10	10
38	3	3
39	2	2
40	1	1
49	1	1

8,040	Reset
7,010	Dynamic
28,260	
8,750	
16,080	
7,510	
9,720	
9,610	
1,380	
0,880	
1,570	
-	
98,810	

2.5. att. Dinamiskā programmēšana.

Attālums starp objektiem											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,00	1,57	1,91	9,03	8,04	39,86	36,33	24,86	17,80	3,28	12,64
2	1,57	0,00	0,88	8,80	9,02	38,69	34,31	23,52	16,58	1,98	11,08
3	1,91	0,88	0,00	7,92	8,49	38,01	34,63	22,95	15,93	1,38	10,89
4	9,03	8,80	7,92	0,00	7,01	32,91	28,26	19,68	12,17	7,45	12,90
5	8,04	9,02	8,49	7,01	0,00	39,75	34,61	26,65	19,14	9,17	17,96
6	39,86	38,69	38,01	32,91	39,75	0,00	8,75	16,08	22,12	36,72	30,46
7	36,33	34,31	34,63	28,26	34,61	8,75	0,00	16,46	19,78	33,47	29,32
8	24,86	23,52	22,95	19,68	26,65	16,08	16,46	0,00	7,51	21,59	14,41
9	17,80	16,58	15,93	12,17	19,14	22,12	19,78	7,51	0,00	14,61	9,72
10	3,28	1,98	1,38	7,45	9,17	36,72	33,47	21,59	14,61	0,00	9,61
11	12,64	11,08	10,89	12,90	17,96	30,46	29,32	14,41	9,72	9,61	0,00

10	Secība	Attālums	Noapaļotie
11	1		1
12	10,00	11,08	10
13	8,00	9,72	8
14	7,00	7,51	7
15	5,00	16,08	5
16	6,00	8,75	6
17	3,00	28,26	3
18	4,00	7,01	4
19	9,00	9,17	9
20	2,00	1,38	2
21	1,00	0,88	1
22	1	0,00	1
23		99,85	
24			
25	Unikalo skaits		10
26			

2.6. att. Zaru un robežu metode.

Izpētītajā formulējumā tiek pieņemts, ka pastāv sākumpunkts, kas sakrīt ar izejas punktu. Realitātē tas var būt, piemēram, TGK, kas veic naftas piesārņojuma monitoringu, atrašanās vieta. Optimizācijas uzdevums tika atrisināts, izmantojot trīs dažādas metodes (Koka algoritmu, dinamisko programmēšanu un zaru un robežu metodi). Pamatojoties uz to darbības ātrumu un aprēķināmo risinājumu precizitāti, tika izdarīts secinājums par to, ka optimālais darbības rezultāts tiek panākts, kombinējot dinamiskās programmēšanas metodes un zaru un robežu metodi. Matemātiskā modelēšana parādīja, ka objektīvā vērtība 2. scenārijam būtiski uzlabojās.

Matemātiskā modelēšana pierādīja, ka piedāvātā optimizācijas metode TGK maršruta plānošanai ir efektīva.

2.3. Optimālā maršruta meklēšanas algoritmu un programmu izstrāde

2.3.1 Uzdevums par norīkojumiem

Uzdevuma par norīkojumiem risināšanas algoritmi

Kad monitoringa teritorijā ir atklāti un izvēlēti atsevišķi objekti (punkti), uzdevums ir visu punktu apmeklēšana. Šo uzdevumu savukārt var atrisināt TGK. Misijas izpildes uzdevums ir izplānot un noteikt TGK objektu apsekošanas kārtību. Turklāt ir nepieciešams minimizēt noteiktu funkciju, kas var ietvert kopējo uzdevuma izpildes laiku, kopējo ceļu, u. c. Šī tipa uzdevumi ir pieskaitāmi pie „uzdevumiem par norīkojumiem” [27].

Pastāv vairākas dažādas pieejas uzdevuma par nozīmējumiem risināšanai. Populārākās ir:

- Koka algoritms;
- Dinamiskā programmēšana;
- Zaru un robežu metode.

Tā kā katrā laika brīdī TGK atrodas dažādā attālumā no monitoringa punktiem, un tam ir nepastāvīga energoresursa rezerve, maršruta optimalitāti var novērtēt, izmantojot noteiktu optimalitātes funkciju.

2.3.2 Koka algoritms

Meklēšanas platumā algoritms [28] ir vienkāršākais maršruta meklēšanas uz grafa algoritms, kura galveno ideju izmanto citos algoritmos. Tas ir Deikstras un Prima algoritmu pamatā.

Algoritma būtība ir secīga ceļu aprēķināšana no sākuma virsotnes līdz gala virsotnei. Un vienlaicīga maršrutu koka konstruēšana ar sakni sākuma virsotnē, kas satur visas virsotnes, līdz kurām var atrast ceļu. Šo algoritmu var izmantot orientētiem un neorientētiem grafiem.

Šāda algoritma trūkums ir pilnīgs visu grafa virsotņu uzskaitījums un atrastie ceļi. Algoritma trūkums ir arī tas, ka operāciju secība, risinot uzdevumu, uzreiz nav orientēta uz gala virsotni, bet iet secīgi caur visām virsotnēm.

Prima algoritms [29] arī ir minimālā savienotā koka meklēšanas algoritms. Tas sastāv no minimālā koka secīgas konstruēšanas, pievienojot minimālās šķautnes jau esošajam kokam. Šis algoritms pēc savas arhitektūras ir līdzīgs Deikstras algoritmam.

Koka algoritma posmi:

- 1) Minimālā koka konstruēšana
- 2) Eilera cikla konstruēšana
- 3) Tūres atrašana

Prima algoritmam piemīt tāda īpašība, ka šķautnes kopā vienmēr veido vienoto koku. Koks sākas no patvaļīgas saknes virsotnes R un aug līdz brīdim, kad aptver visas virsotnes. Katrā solī kokam tiek pievienota viegla šķautne, kas savieno koku un atsevišķu virsotni no atlikušās grafa daļas. Šis noteikums pievieno tikai drošas šķautnes; attiecīgi pēc algoritma pabeigšanas šķautnes veido minimālo koku. Šī stratēģija ir skopa, jo katrā solī kokam tiek pievienota šķautne, kas ienes minimāli iespējamo ieguldījumu kopsvarā.

Trūkums ir tāds, ka šo algoritmu pielieto neorientētiem grafiem, un tas, ka šis algoritms ir skops un ne vienmēr var sniegt optimālo globālo risinājumu.

Prima algoritma sarežģītība ir vienāda ar $P(F + W \lg W)$, kur W ir grafa virsotņu skaits, F ir grafa šķautņu skaits.

Novērošanas misijas uzdevumu var attēlot kā visu grafa $G(V, E)$ virsotņu apmeklēšanu, sākot ar sākuma punktu un atgriežoties sākuma punktā. Mērķis ir atrast optimālo TGK maršrutu, kurš sasniegtu visus uzdevumā aprakstītos objektus minimāli iespējamā laikā ar minimālām izmaksām. Grafu teorijā tā ir divu vai vairāku virsotņu saistīšanas ceļu meklēšana, izmantojot optimalitātes kritērijus [30]. Koka konstruēšanas algoritms sākas no koka, kas ietver vienu virsotni. Prima algoritma darbības procesā koks ietvers visas TGK misijas grafa virsotnes. Katrā solī kokam tiek pievienota neliela šķautne, kas savieno koku un atsevišķu šķautni no grafa pārējās daļas. Šis noteikums pievieno tikai drošas šķautnes, tāpēc algoritma beigās šķautnes konstruē minimālo koku. Koka algoritms ir saistīts ar heuristikajām metodēm. Heuristikajās metodēs risinājuma elementu izvēlei izmanto zināmu dabiskās atlases noteikumu rekomendāciju, heuristiku. Šā algoritma laiks ir vienāds ar $\theta(E) = \theta(V^2)$.

Algoritma realizācijai tika uzrakstīta programma Pascal valodā, 2. pielikums.

2.3.3. Dinamiskā programmēšana

Dinamiskās programmēšanas metodēm risinājumu atrašanas optimizācija tiks veikta divos posmos. Ņemot vērā TGK kustības parametrus (x_0, y_0, V_0) un objektu parametrus, ātrumu V ar kursu tiek aprēķināts attālums starp objektiem un TGK. Optimizācijas risinājuma atrašanai TGK maršrutam uzdotajiem uzdevumiem mērķi no AIS elektroniskās kartes, piekrastes radiolokācijas novērošanas sistēmām un jūras virsmas rajoniem tiks attēloti kā grafs ar virsotnēm un šķautnēm ar svariem. Risinājumā grafikā ir attēloti visi iespējamie maršruti starp visiem objektu tipiem, kas

ir jāpārbauda misijas laikā [31]. Grafa virsotnes ir dažādi objekti un mērķi. Objekti un mērķi grafā ir jāsadala sekojošās klasēs: punktu, lineārajos, statistajos, noteiktos telpiskos objektos.

Grafa šķautņu svars ir misijas cena katram objektam. Cenu dinamiskajā sistēmā attēlo laika funkcija [25]. Šķautnes svara noteikšanai izmanto formulu [34]:

$$w_{ij} = t_{flightij} + t_{surveillance} \quad , \quad (2.7)$$

kur $t_{flightij}$ ir lidojuma laiks no iepriekšējā objekta;

$t_{surveillance}$ ir objekta novērošanas misijas izpildes laiks.

Visiem objektiem saskaņā ar klasifikāciju ir jāaprēķina novērošanas laiks pēc formulas [34]:

$$t_{surveillance} = \frac{l_{trajectory}}{V_{flight}} \quad (2.8)$$

kur $l_{trajectory}$ ir novērošanas trajektorijas garums;

V_{flight} ir TKG ātrums novērošanas režīmā.

Belmana-Forda algoritms [32, 33] dod iespēju atrast īsāko ceļu no vienas virsotnes līdz visām pārējām, meklēšanas uzdevuma risinājumu ar nosacījumu, ka grafam ir negatīvas šķautnes. Tas tiek pielietots arī tad, ja tiek risināta maršruta meklēšana no noteiktās sākotnējās virsotnes uz noteikto beigu virsotni.

Ja grafā ir cikls, šis algoritms nesniegs īsāko ceļu, bet parādīs to klātbūtni, citos gadījumos vienmēr ir risinājums.

Belmana-Forda algoritmā tiek izmantota vājināšana (relaksācija), proti, tiek pārbaudīts, vai var uzlabot atrasto risinājumu konkrētajam lielumam.

Vājināšanu izmanto līdz laikam, kad tiks atrasti īsākie maršruti.

Uzdevuma risināšanas rezultātā iegūstam incidenču matricu, kurā ir ierakstīti īsākie maršruti. Šis algoritms balstās uz dinamisko programmēšanu.

Belmana-Forda algoritma darbības laiks sastāda $P(F * W)$, inicializācijas cenu $P(W)$, uz negatīvā svara cikla pārbaudes cenu $P(F)$,

kur W ir grafa virsotņu skaits, F ir grafa šķautņu skaits.

Grafam ar maršrutu dinamisko maiņu, ar virsotņu skaitu, kas ir lielāks par 15 un bez negatīvām svara vērtībām, lietderīgāk ir izmantot Deikstras algoritmu. Pretējā gadījumā, ja virsotņu skaits ir mazāks par 15, un ir atļauta negatīvā svara esamība, ieteicams izmantot Belmana-Forda algoritmu.

2.3.4. Zaru un robežu algoritms

Zaru un robežu algoritms balstās uz pieļaujamo risinājumu kopas secīgas dekompozīcijas ideju. Katrā metodes posmā tiek analizēti sadalīto apakškopu elementi, lai noteiktu, vai tos var iekļaut optimālo risinājumu apakškopā [29]. Ja problēma ir minimuma meklēšana, pārbaudi veic, salīdzinot mērķa funkcijas apakšējās robežas vērtības šajās apakškopās ar funkcijas augšējo robežu. TGK novērotāju misijas maršrutu var formulēt tā: $f(x) \rightarrow \min_{x \in S}$, kur $f(x)$ ir reālā funkcija, S ir galīga pieļaujamo risinājumu kopa. Lai $s \subseteq S$. Funkciju $b(s)$, kas liek atbilstībā kopai s tās sadalīšanu apakškopās s_1, \dots, s_N , $N > 1$, sauksim par sazarošanos.

Reālo funkciju $H(s)$ sauc par apakšējo robežu, ja:

$$1) H(s) \leq \min_{x \in s} f(x);$$

$$2) \text{ vienelementa kopā } \{x\} \text{ ir pareiza vienādība } H(\{x\}) = f(x).$$

Algoritms, kas realizē zaru un robežu metodi, sastāv no viena tipa soļu secības. Katrā solī ir zināms rekords un neizskatīto risinājumu apakškopas t_1, t_2, \dots, t_L . Algoritma darbības sākumā $L = 1$, $t_1 = S$, x^0 ir kopas S patvaļīgs elements vai tukšā kopa (tukšajā kopā noteiksim funkcionāla vērtību, kas ir vienāda ar bezgalību).

Katrā solī algoritms sāk darbību no sadalīšanas elementu pārbaudes, lai tiktu pārbaudīta kopa t_j . Kopa t_j tiek izslēgta vienā no diviem secīgi pārbaudāmiem gadījumiem:

$$a) \text{ ja } H(t_j) \geq f(x^0);$$

$$b) \text{ ja } H(t_j) < f(x^0) \text{ un atrasts tāds elements } y_j \in t_j,$$

$$\text{ja } f(y_i) = \min_{x \in t_j} f(x) = H(t_j)$$

$$b) \text{ gadījumā notiek rekorda maiņa } x^0 = y_i$$

Lai t_1, t_2, \dots, t_M ($M \leq L$) ir neatgrieztās kopas (uzskatīsim, kas ir atgrieztas kopas ar numuriem $M + 1, \dots, L$).

Gadījumā $M = 0$ algoritms beidz darbību, un par uzdevuma risinājumu pieņem rekordu x^0 .

Ja $M \geq 1$, kopu t_1, \dots, t_M starpā izvēlas kopu jaunai sazarošanai. Lai tāda ir kopa t_1 . Tad tiek veikta sazarošana $b(t_1) = (s_1, \dots, s_N)$, kā rezultātā iegūstam kopu sarakstu $s_1, \dots, s_N, t_2, \dots, t_M$. Šīs kopas numurē ar skaitļiem no 1 līdz L , un sākas jauns algoritma solis.

Aprakstītais algoritms atrod optimālo risinājumu galīgā soļu skaitā.

Šajā pielietojumā ir jāatrod minimālais maršruts. Misijas plāns ir definēts kā pilnīgs orientētais grafs $G = (V, E)$ ar virsotņu skaitu $V = \{1, \dots, n\}$ un šķautņu kopu E . Katrai šķautnei $(i, j) \in E$ ir definēts garums $c_{ij} \geq 0$. Vienkāršs maršruts no i_1 līdz i_k ir $\{i_1, \dots, i_k\}$, un maršruta garums

$\{i_1, \dots, i_n, i_1\}$ ir $f(i_1, \dots, i_n)$, ņemot vērā, ka $i_1 = 1$. Pieļaujamo risinājumu apakškopas nosaka k kopu pāri (I, J) , kur $I = \{i_1, \dots, i_k\}$ ir daļējais maršruts (pirmo k mezglu apmeklējumu secība), $J = \{j_1, \dots, j_q\} \subset V \setminus I$ ir ierobežojumu uz daļējā maršruta I pēdējā punkta i_k kopa. Sadalīšanas kopas attēlošanai $V' = V \setminus I \cup J$ ir izvēlēts kāds elements i . Ja V elementam i ir tikai viens elements p , izvēlamā kopa ir $I = \{i_1, \dots, i_k, i\}, J = \emptyset$ un $(I = \{i_1, \dots, i_p, k\}, J = \emptyset)$. Nākamais posms ir atrast apakšējo robežu $H(I, J)$ apakškopai (I, J) . Kad visi elementi tika izskatīti, dekompozīcijas algoritms beidz darbību, un pašreizējais ieraksts ir labākais risinājums. Pretējā gadījumā nepārbaudītos elementos tiks izvēlēta kopa, kas ir perspektīva. Tā ir pakļauta sadalīšanai (sazarošanai). Process turpinās, līdz tiks pārbaudīti visi sadaļas elementi. Šim algoritmam ir augsta precizitāte [34].

3. JŪRAS AKVATORIJAS NAFTAS PIESĀRŅOJUMA NEPĀRTRAUKTA MONITORINGA METODOLOĢIJAS IZSTRĀDE

3.1. Funkcionālas prasības bezpilota lidojošas platformai

3.1.1. Bezpilota lidojošas platformas veids un struktūra

Metodoloģija ir paredzēta uzņēmumiem un organizācijām, kuras ir atbildīgas par jūras akvatorija ūdens kvalitāti. Dotā metodoloģija var tikt izmantota arī iekšējo ūdeņu monitoringam un ostas akvatorijai. Metodoloģijas pamatā ir uzdevums radīt jūras akvatorija ūdens kvalitātes augsti efektīvas sistēmas-kompleksa monitoringa modeli, lai pasargātu no tīša vai netīša naftas piesārņojuma.

Par pamata kritēriju prasībai paaugstināt iespēju noteikt iespējamo ūdens virsmas piesārņojumu ar naftas piesārņojumu ir ūdenskrātuves rajona aplidošanas metodoloģija, izmantojot platformu, kas ir aprīkota ar kompleksu ierīci, ar vairāku veidu sensoriem un īpašu ierīci paraugu ņemšanai no ūdens virsmas.

Cilvēciskās kļūdas faktora novēršanas, drošības un uzticamības paaugstināšanai, virszemes ūdenskrātuvju un iekšējo ūdeņu monitorings tiks īstenots, izmantojot bezpilota lidojošo platformu. TGK (tālvadības gaisa kuģis) ar multifunkcionālo lietderīgās slodzes nesēju ļaus risināt ūdens piesārņojuma ar naftas produktiem un bakterioloģiskā piesārņojuma monitoringa uzdevumus. Bezpilota lidojošā platforma ar algoritmu, kas ietver sevī automātisko pacelšanos, nosēšanos un objektu aplidošanu, kas sadalīti grupās atkarībā no veida, izmantojot optimizācijas algoritmu, ļaus parādīt informāciju par ūdens piesārņojuma stāvokli un paņemt paraugus reālajā laikā ar sekojošu akvatorija piesārņojuma trendu radīšanu.

Komplekss ietvers sevī:

Divu tipu TGK ar ierīci monitoringa veikšanai un paraugu ņemšanai.

Izmantot ūdens kvalitātes un naftas piesārņojuma monitoringam divu tipu TGK ar unikālām iespējām un raksturojumiem, kas ļaus vienlaicīgi īstenot monitoringu rajonos ar lielu platību un, pamatojoties uz iegūto informāciju, noteiktos rajonos ņemt ūdens provju paraugus. Monitoringa pirmais TGK tips: "lidmašīnas" tipa bezpilota lidaparāts ar multifunkcionālu lietderīgās slodzes sistēmu, kas tiek orientēta uz maksimālo komplektāciju ar novērošanas līdzekļiem, datu analīzi un pārraidi jebkādos apstākļos un jebkādām situācijām. Lietderīgās slodzes sistēma nodrošina maksimāli precīzas informācijas saņemšanu par ūdens kvalitāti un ļauj vienlaicīgi izmantot VNIR videokameru, siltuma kameru, un hiperspektrālo vai multispektrālo kameru [3]. TGK tiek orientēts uz ilgstošu lidošanu, lai veiktu plaša monitoringa lauka pārklājumu, sistēmai paredzamas unikālās

lidojuma drošības sistēmas virs zemes un ūdens virsmas ar pasīvo un aktīvo aizsardzību ārkārtas situāciju gadījumā. Otrais TKG tips – multirotora platforma ar vertikālo pacelšanās un nolaišanās iespēju un ilgstošu atrašanos gaisā noteiktā pozīcijā. Dotais platformas tips ļauj atteikties no laikietilpīgām un neefektīvām piesārņojuma monitoringa metodēm, izmantojot mobilās stacijas un kuterus. Speciālais algoritms ļauj izmantot platformu naftas un bakteriālā piesārņojuma monitoringam, kā arī paraugu ņemšanai no ūdens virsmas, izmantojot speciālu konteineru, kas ļauj noteikt naftas plēves biezumu. Platforma paredzēta akvatorija monitoringam un provju ņemšanai ar mērķi noteikt piesārņojumu.

TKG nodrošina provju ņemšanu noteikta rajona ūdenskrātuvē ar speciālu ierīci, kas ir aprīkota ar 10 konteineriem [35], [36]. Platformā tiek realizētas unikālas iespējas lidojuma ilgumam, manevrējamībai, lietderīgās slodzes daudzfunkcionālajam modulim, kas tiek orientēts uz plašu piesārņojuma monitoringu, naftas plankumu izplatības platības novērtējumu un teritoriju videonovērošanu. Lietderīgās slodzes sistēma nodrošina maksimāli precīzas informācijas saņemšanu par ūdens kvalitāti, kas ļauj vienlaicīgi izmantot VNIR videokameru, siltuma kameru, un hiperspektrālo vai multispektrālo kameru [3].

Monitoringa kompleksa vadības un koordinācijas centrs īstēnos provju ņemšanu ūdenskrātuves teritorijā no gaisa. Vadības kompleksā tiek realizēta intelektuālās automātiskās monitoringa vadības sistēma, kas nodrošina iespēju saņemt datus reālajā laikā un pieņemt lēmumus par to, kāds TKG tips ir nepieciešams konkrēto monitoringa uzdevumu veikšanai un provju ņemšanai ikdienas režīmā un avārijas situācijas gadījumā virszemes ūdenskrātuvēs. Vadības sistēma īstēnos pacelšanos, maršruta veidošanu, lidojumu noteiktā maršrutā, monitoringu, provju ņemšanu un nolaišanos automātiskajā režīmā [35]. Vadības sistēma pieļaus pilnīgi automātisku vadību, un uzreiz reaģēs uz situācijas izmaiņām monitoringā, pieļaujot iespēju nodot vadību operatoram.

Vadības sistēmai būs digitālās saziņas kanāli ar visiem drošības dienestiem ūdenskrātuves objekta teritorijā, lai sniegtu operatīvajiem dienestiem informāciju tiešsaistes režīmā.

Vadības komplekss ietver sevī:

- Daudzfunkcionālo virszemes vadības un monitoringa kontroles staciju ar īpašu (trīscienizturīgu, ūdensizturīgu, putekļu izturīgu) klēpjdatoru; cietā diska ieteicamā minimālā prasība ir 500 GB, operatīvas atmiņas apjoms 4 GB.
- Uztveršanas-raidīšanas antena komplektā ar automātisko novērošanas ierīci un savienjošo vadu.

- Masti vai statīvi, lai nostiprinātu uztveršanas-raidišanas antenu, atkarībā no TKG izmantotā dzinēja – uzlādes stacija (lādētājs) komplektā ar akumulatoriem vai degvielas krājumiem un smērēlīu.
- Tikai pirmā tipa TKG rokas palaišanas ierīcei – gumijas žņaugis ar karabīni (2 komplekti) vai mehāniskā (pneimatiskā) katapults.
- Rezerves daļu komplekts un papildus aprīkojums sīkam remontam lauka apstākļos.

Daudzfunkcionāla krāpšanas sistēma, mainot TKG misijas uzdevumu, var tikt aprīkota ar šādiem uzraudzības instrumentiem:

- optiskajām un termiskajām diapazona kamerām
- multispektrālo un hiperspektrālo noteikta diapazona kameru
- radiolokācijas ierīcēm
- lidaru
- GSM modemu un radiotranslatoru
- fotokamerām

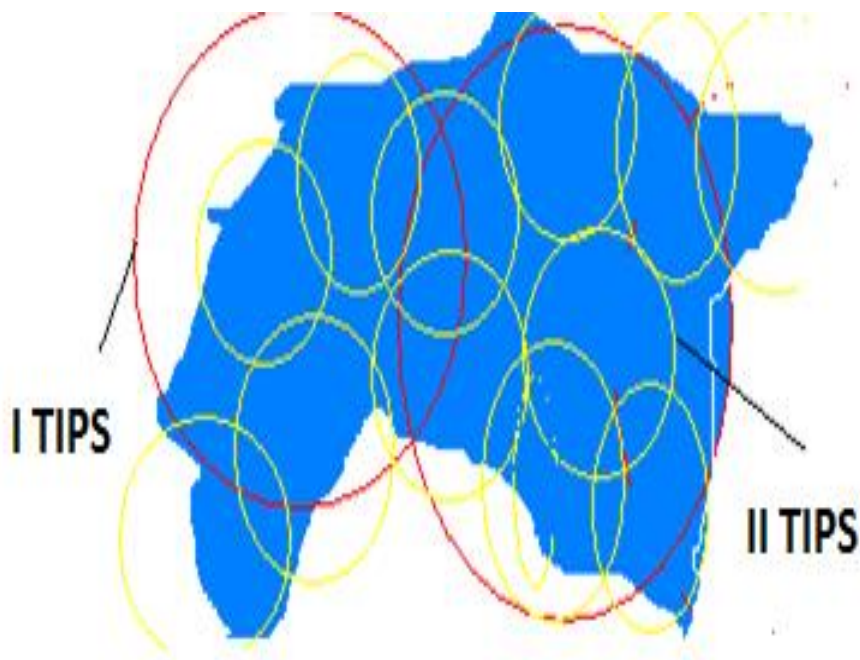
Atkarībā no izmantojamā TKG tipa, daudzfunkcionālo lietderīgās slodzes sistēmu var izvietot fizelāžas priekšējā daļā, spārnu daļā un zem fizelāžas. Lietderīgās slodzes sistēma ļauj vienlaicīgi izmantot videokameru, kameru ar divām brīvības pakāpēm. Lai saņemtu augstas kvalitātes attēlu, multispektrālās un hiperspektrālās kameras tiek uzstādītas uz hidrostatizētas platformas zem fizelāžas. Lai saņemtu ūdens akvatorijas atsevišķus attēlus, var tikt izmantoti fotoaparāti ar atmiņas karti, kas tiek uzstādīti spārnos vai zem fizelāžas [3].

Lai nodrošinātu TKG drošību avārijas nolaišanās gadījumā, tiek rekomendēts aprīkot abu tipu TKG ar avārijas nolaišanās sistēmu, kas ļautu nolaisties uz ūdens. Gadījumā, ja tiek saņemts avārijas signāls no TKG, vadības modulis atver solenoīda vārstu un lūku vārstus. Saspiestais gaiss piepūš trīs piepūšamās bufera ierīces, kas mīkstina nosēšanos uz ūdens, un nodrošina pozitīvu peldēt spēju. Lai atvieglotu darbu meklēšanas organizācijām, iesakām aprīkot TKG ar avārijas signāla pārraidīšanas sistēmu. Sistēma pēc nosēšanās uz ūdens automātiski aktivizē antenas pacelšanu ar balona palīdzību, kas piepildīts ar ūdeņradi. Spole un vads kalpo par antenu raidītājam, kas aktivizējas, palaižot balonu no TKG korpusa.

3.1.2. Prasības attiecībā uz pacelšanās un nosēšanās vietu

Pirmais TKG “lidmašīnas” tipa bezpilota lidaparāts monitoringam tiek izmantots, lai saņemtu datus par ūdens piesārņojumu no rajoniem ar lielu platību, un tam ir liels darbības rādiuss [37]. Dotais risinājums ļauj saņemt operatīvus datus par ūdens virsmas stāvokli un, izmantojot

noviržu izvērtēšanas algoritmu no tīra ūdens spektrālā un video attēla, automātiski vai operatora vadības režīmā, izmantot otro TGK tipu. Otrais TGK tips ir paredzēts informācijas precizēšanai un saņemšanai par piesārņojuma raksturu ar lietderīgās slodzes daudzfunkcionāla moduļa izmantošanu, kas orientēts uz visplašāko piesārņojuma novērošanas spektru, naftas plankumu izplatīšanas laukuma novērtējumu un provju paraugu ņemšanu [35]. Atbildības un darba rajonu izkārtojums parādīts (3.1. att.).



3.1. att. Atbildības un darba rajonu izkārtojums.

Otrā tipa TGK tiek izmantots monitoringam un paraugu atlasei saskaņā ar apstiprināto ūdens kvalitātes piesārņojuma kontroles sistēmu un nepieciešamības gadījumā var tikt iesaistīts ūdenskrātuves monitoringa sistēmā.

3.1.3. TGK starta punkta izvēle

TGK starta punkta izvēle notiek, ņemot vērā ūdenskrātuves karti, kurā tiks veikts piesārņojuma monitorings. Sākotnēji teritorija kartē ir sadalīta zonās, ņemot vērā nepieciešamo apļu pārklājumu starp pirmā un otrā tipa TGK, ievērojot maksimālo darbības rādiusu. Pēc tam tiek veikta izvēlēta starta punkta teritorijas izpēte. Nosakot starta punktu, ņem vērā:

- nepieciešamību izvietot starta punktu maksimālā augstumā;
- paredzētā maršruta mērķu apsekošanu.

Lai paaugstinātu energoefektivitāti un samazinātu patērējamo laiku, tiek izvēlēts maksimālais attālums līdz ūdenskrātuves monitoringa plānotajiem rajoniem.

Ņemot vērā topogrāfisko apvidus karti, tiek pārbaudīta teritorija 400 m rādiusā, kurā nevajadzētu būt nekādiem objektiem, kas traucētu TKG pacelšanos, nosēšanos un meklēšanu (upes, ezeri, grāvji, inženiertehniskās būves, mobilo sakaru torņi). Optimālam starta laukuma izmērām jābūt ne mazāk kā 95 uz 11 m pirmā tipa TKG un 11 uz 11 m otrā tipa TKG. Ja iespējams, tiek izvēlēts laukums ar zaļu zāli un līdzenu virsmu, tā kā pacelšanās un nolaišanās sistēma var strādāt automātiskajā režīmā, otrā tipa TKG vajadzībām tiek betonēts betona laukums. Tiek paredzēta iespēja pielietot GPS globālās pozicionēšanas sistēmas precīzās sistēmas grozījumus, lai uzlabotu augstuma noteikšanu pacelšanās un nolaišanās brīdī. Pēc augstākminētā nosacījuma pārbaudīšanas tiek veikta iterācija un sākotnēji izvēlēta punkta pārbaude. Pēc tam tiek veikta debespūšu noteikšana un TKG orientēšana attiecībā pret ziemeļiem. Automātiskās pacelšanās un nolaišanās sistēmas pacelšanās laukumā tiek uzstādīta meteoroloģiskā stacija, lai noteiktu vēja ātrumu un virzienu (virszemes vēja ātrums atšķiras no vēja ātruma augstumā). Lai nodrošinātu tiešu radio redzamību, tiek pārbaudīts maršruta virziens saskaņā ar daudzfunkcionālo virszemes vadības staciju un pārbaudīta šķēršļu neesamība izvēlētajā virzienā. Tiek pārbaudīts precizētais pacelšanās virziens un šķēršļu neesamība. Papildus tiek pārbaudīta šķēršļu neesamība planēšanas ceļa zonā, un tiek ņemts vērā, ka nolaišanās tiek veikta pret vēju un pirmā tipa TKG koordinātas atskaites punkts ir izpletņa atvēršanās punkts automātiskajā nolaišanās režīmā. Automātiskā sistēma saņem datus no programmas, kas prognozē vēja ātrumu, plānojot misijas izpildi, un ņem vērā datus no meteoroloģiskās stacijas. Lai nodrošinātu drošu TKG pacelšanos un nolaišanos, ir nepieciešama šķēršļu neesamība augstumā (antenas, caurules, masti, būves augstumā vairāk par 100 metriem).

3.1.4 Nosēšanas laukuma izvēle

Nosēšanās laukumu izvēlas pēc iespējas tuvāk starta punktam, automātiskajā režīmā tiek ņemta vērā vizuālās kontroles iespēja ar videokameras palīdzību un izmantojot virszemes staciju, lai nodrošinātu TKG pacelšanās un nolaišanās kontroli. Pirmā tipa TKG tiek izvēlēta līdzena teritorija ar izmēru 90 x 90 m. Izvēloties teritoriju, tiek ņemts vērā, ka tajā nedrīkst atrasties augsti objekti (krūmi, koki, elektropadeves līnijas, būves, viss kas var sabojāt TKG tā nolaišanās brīdī). Nolaižoties pirmā tipa TKG automātiskās nolaišanās režīmā, programma ņem vērā ārējos faktorus vēja ātrumu un virzienu un TKG ātrumu, izmantojot algoritmu, nosaka izpletņa atvēršanās punktu. Veicot nolaišanos manuālajā režīmā, izpletņa atvēršanās punktu nosaka operators, ņemot vērā

nolaišanās vietas izvietojumu, izmērus un meteoroloģiskos apstākļus. Nosēdinot otrā tipa TKG automātiskajā režīmā, ņemot vērā ārējos faktorus:

- vēja ātrumu un virzienu;
- TKG ātrumu.

Nolaišanās punkts tiek noteikts, izmantojot algoritmu, nepieciešamības gadījumā var izmantot no GPS saņemto augstuma korekcijas programmu.

Pacelšanās

Pirms pacelšanās TKG obligātā kārtībā manuālajā vai automātiskajā režīmā tiek veiktas sekojošas darbības:

- tiek pārbaudīti radio un GSM sakari;
- operators veic papildu aprīkojuma un daudzfunkcionālās virszemes stacijas monitoringa vadības un kontroles materiālās daļas apskati;
- virszemes stacijas darbības pārbaude, veicot derīgas slodzes ieslēgšanu (videokameras, multispektrālās un termokameras);
- operators veic faktisko meteoroloģisko apstākļu novērtējumu, izmantojot meteoroloģisko staciju un meteoroloģisko programnodrošinājumu t.sk. arī lidojuma maršrutā.
- automātiskā TKG vadības sistēma, piedaloties operatoriem, izpilda stūres sistēmas pārbaudi un spēkiekārtas pārbaudi.

TKG palaišana tiek veikta pret vēju, saskaņā ar TKG instrukcijām.

Pēc palaišanas pirmā tipa TKG sasniedz noteiktu augstumu, kas noteikts lidojuma uzdevumā, izpildot aplūš virs sākumpunkta, tālāk virzoties uz lidojuma maršrutu. Operatoram ir jāziņo par TKG palaišanas laiku, lidojuma virzienu un lidojuma augstumu.

Pēc palaišanas pusautomātiskajā režīmā pēc vajadzīgā augstuma sasniegšanas TKG sāk lidojumu automātiskajā režīmā.

3.2. Bezpilota platformas lidojuma optimāla maršruta un profila raksturojumu izvēle

Pirmā un otrā tipa TKG lidojums sastāv no 3 pamata fāzēm, kuras tiek veiktas pilnīgi automātiskā režīmā, ir arī iespēja pāriet uz operatora vadības režīmu. Lidojuma pamata fāzes: pacelšanās un augstuma uzņemšana, monitoringa misija un uzdevumu izpilde saskaņā ar lidojuma plānu, TKG tipu un daudzfunkcionālo derīgās slodzes sistēmu, nolaišanās un nosēšanās. Pēc lidojuma izpildes konkrētā maršrutā automātiskā sistēma vai operators īsteno videonovērošanu, termālo novērošanu, spektrālo novērošanu, novirzot kameru uz paredzētajiem ūdenskrātuves

rajoniem vai īstenojot TGK lidojuma kursa izmaiņas, un īsteno saskaņā ar uzliktajiem uzdevumiem sekojošās operācijas:

- teritoriju apskate un monitorings ar mērķi atklāt iespējamo naftas piesārņojumu un ūdens kvalitātes kontrole;
- piesārņojuma iespējamo objektu meklēšana uzdotā rajona koordinātēs;
- objektu un iespējamā piesārņojuma rajonu stāvokļa kontrole;
- objekta raksturlielumu un naftas piesārņojuma izplatīšanās dinamikas noteikšana;
- visu lidojuma parametru un automātiskās vadības sistēmas signalizāciju izsekošana;
- ziņu pārraidīšana par visu lidojuma parametru izmaiņām (augstums, lidojuma virziens, ātrums).

3.2.1 Nolaišanas un nosēšanas

Nolaišanās tiek īstenota saskaņā ar TGK instrukciju.

Automātiskās vadības sistēma, izmantojot pirmā tipa TGK, izmantojot nosēšanās algoritma moduli, īsteno augstuma samazināšanu līdz 80 metriem, virzoties pret vēju nosēšanās laukumā. Pēc nolaišanās TGK virzās pa izprojektēto nosēšanās trajektoriju. Automātiskā vadības sistēma uzsāk ātruma samazināšanu 45 m augstumā, un 11 m augstumā izslēdzas dzinējs un tiek dota komanda izpletņu atvēršanai. Izpletņu atvēršanās punkta vietu nosaka automātiskā sistēma, ņemot vērā nosēšanās vietas izvietojumu, izmēru un meteoroloģiskos nosacījumus. Normālos meteoroloģiskajos apstākļos un nosēšanās laukumā ar izmēru vairāk nekā 90 x 90 m TGK nolaišanās un nosēšanās parasti notiek automātiskajā režīmā ar operatora pastāvīgu vizuālu kontaktu. Nosēšanās tiek īstenota uz līdzena laukuma, kas attīrīts no lieliem atkritumiem, atbrīvots no akmeņiem.

Nolaižot TGK ierobežotā teritorijā, vai, ja apkārtnē ir šķēršļi, ūdenskrātuves, kā arī automātiskā sistēma ir saņēmusi prognozi par meteoroloģisko apstākļu pasliktināšanos, var tikt izmantota nolaišanās manuālajā vadības režīmā (pusautomātiskais režīms).

Pēc nosēšanās automātiskā vadības sistēma rada ziņu operatoram par nosēšanās laiku, tālākiem rīcības plāniem un lidojumiem. Tiek īstenota TGK pēc lidojuma apskate un, ja tas ir nepieciešams, sagatavošanās nākamajam lidojumam.

Pēc nosēšanās notiek foto, video, spektrālo attēlu ierakstīšana no daudzfunkcionālās virszemes vadības un monitoringa kontroles stacijas un TGK uz ārējiem informācijas nesējiem, lai saņemtos materiālus varētu analizēt speciālisti un sagatavot turpmāko rīcības plānu un lidojumu

sarakstu. Izmantojot otrā tipa TKG, notiek paraugu atlase speciālā konteinerā nodošanai laboratorijā un analīžu veikšanai. Pēc derīgās slodzes moduļa atbrīvošanas no ņemtajiem paraugiem tiek veikta, izmantojot speciālo aprīkojumu, jauna provju ņemšanas moduļa uzstādīšana.

Bilžu apstrāde notiek programmnodrošinājumā, kas balstās uz jaunākajām vizualizācijas tehnoloģijām. Programmnodrošinājums var tikt iekļauts monitoringa kompleksa komplektā. Attēlu apstrāde sastāv no trim posmiem: izejas datu iegūšana, vizuālā plāna radīšana, piešujot un piesaistot tos apkārtnei, reljefam, apkārtnes digitāla modeļa radīšana, ieskaitot 3D modeli.

Operatora funkcijas, veicot lidojumu videonovērošanas, hiperspektrālā, spektrālā un termālā novērošanas režīmā:

- kompleksa operators precizē lidojuma uzdevumu izpildes īpatnības naftas piesārņojuma monitoringam un TKG ekspluatācijai, kā arī drošības prasības, kas ir atkarīgas no faktiskajiem meteoroloģiskajiem apstākļiem un gaidāmo lidojumu uzdevumu rakstura;
- lidojuma uzdevuma sastādīšana, izmantojot programmnodrošinājumu (lidojuma maršruta ielāde daudzfunkcionālajā virszemes vadības stacijā (VVS));
- lidojuma droša augstuma noteikšana.

TKG naftas piesārņojuma monitoringa uzdevumus var iedalīt divās grupās: ūdenskrātuves teritorijas naftas piesārņojuma ārkārtējo gadījumu monitorings un ūdenskrātuvju rajonu un objektu ikdienas monitorings ar mērķi atklāt iespējamo piesārņojumu, salīdzinot video, hiperspektrālo, multispektrālo attēlu ar normālo tīro ūdens spektru un naftas produktu iespējamo piesārņotāju kodu spektru.

Monitoringa galvenie uzdevumi:

- objekta atrašana (kopumā);
- objektu atpazīšana pēc pazīmju pietiekama salikuma (īpaši objekta un fiksācijas);
- objekta verbāls apraksts (piemēram, „vides un apgabala piesārņojuma laukums”, „automašīna”, „laiva”, „cilvēks”, u.t.t.);
- objekta vai iespējamā piesārņojuma rajona koordinātu fiksācija, lidojuma uzdevuma precizēšanai;
- objekta novērošana un pavadīšana (videoieraksts, iespējamā piesārņojuma izplātīšanās spektrālie ieraksti);
- pirmā tipa TKG izmantošana, atklājot iespējamo piesārņojumu, un lēmuma pieņemšana par otrā tipa TKG izmantošanu;

- otrā tipa TKG izmantošana ar lidojuma algoritmu virs objekta automātiskā vai pusautomātiskā režīmā, informācijas saņemšanai reālā laika režīmā par naftas piesārņojuma izplatīšanās dinamiku ūdenskrātuves virsmā.

Videonovērošanai, spektrālajai vai termālajai novērošanai operatoram ir jāieplāno TKG lidojuma maršruts, kurš ir atkarīgs no noteiktā uzdevuma, ūdenskrātuves teritorijas un rajonu monitoringa grafika.

Ūdenskrātuves teritorijas rajona vai objekta gaisa novērošanas, provju atlases, objekta meklēšanas un iespējamā piesārņojuma izplatīšanās sekošanai tiek izmantots tipiskā režīma meklēšanas algoritms, TKG tiek virzīts uz monitoringa rajonu un lido tur pēc operatora noteiktās programmas. Atrodoties teritorijas noteiktās teritorijas noteiktajā rajonā, lidojuma procesā TKG nosūta video attēlus, hiperspektrālos, multispektrālos un termālos attēlus uz daudzfunkcionālo virszemes staciju reālā laika režīmā. TKG operatoram ir jānovērtē nodotā informācija, nepieciešamības gadījumā, izmantojot programmnodrošinājumu, jāīsteno lidojuma maršruta maiņa un borta lietderīgās slodzes pārvalde atkarībā no izmantotā TKG tipa (piem., videokameras vai paraugu ņemšanas ierīces).

Lidojuma maršrutu nepieciešams plānot tā, lai garantētu visu teritoriju apskati, aiz kurām tiek veikta naftas piesārņojuma un ūdens kontrole.

Lidojuma maršruta sastādīšanas rekomendācijas:

- Lai saņemtu papildinformāciju GPS pozicionēšanas sistēmai, kā TKG kursu izmaiņas punkti tiek rekomendēti konkrētie orientieri, kuri viegli tiek identificēti lidojuma laikā (krasta līnijas spilgtas izmaiņas, ragi, ceļš krusto apvidu blakus ūdenskrātuvei un tā tālāk);
- Automātiskā vadības sistēma izmanto programmas nodrošinājumu lidojuma maršruta optimizācijai, izmantojot dinamiskās programmēšanas zaru un robežu metodi. Pēc maršruta noteikšanas ar programmas palīdzību tiek veikta tā piesaiste teritorijai pēc kursu maiņas punktu koordinātām.

Ņemot vērā nepieciešamību realizēt pacelšanos, izmantojot tipisko algoritmu, maršruta pirmais pagrieziens punkts (maršruta sākumpunkts (RSP)) tiek noteikts blakus pacelšanās punktam.

Darba zonas dziļumam jābūt stabilas video un telemetriskās informācijas uztveres robežās, kas noteiktas ar radio vai TKG GSM modema iespējām (darba zona – apgabals, kurā TKG izpilda automātiskās sistēmas vai operatora uzdoto lidojuma programmu, darba zonas dziļums – attālums no lokāli izvietotās daudzfunkcionālās virszemes vadības stacijas antenas līdz maksimāli attālinātajam pagrieziens punktam).

Ņemot vērā drošības apsvērumus un TGK izmantošanas noteikumus, lidojuma līnijai, cik tas ir iespējams, nevajadzētu atrasties blakus jaudīgām elektrolīnijām (EL) un citiem objektiem ar lielu elektromagnētisko izstarojumu (radiolokācijas stacijas, uztveršanas-raidišanas antenas un u.c.).

Kā lidojuma optimizācijas kritērijs tiek ņemts vērā lidojuma laiks. Paredzamais lidojuma laiks nedrīkst pārsniegt 0,7 no maksimālā laika, kas ir norādīts 1 un 2 tipa TGK parametros.

Lai veiktu pacelšanās un augstuma uzņemšanas, nolaišanās un nosēšanās standarta algoritmus, ir jānodrošina ne mazāk kā 10 minušu lidojums.

Maršruta opcijas ir atkarīgas no noteiktā uzdevuma, telpiskā objekta raksturojumiem, objekta meklēšanas metodēm un to mobilitātes, izmēra, redzamības un izvietojuma blīvuma ūdenskrātuves un krasta teritorijā.

1 un 2 tipa TGK lidojumus plāno vadības un koordinācijas centrs, ir opcija izmantot arī daudzfunkcionālo virszemes staciju. Vadības un plānošanas sistēmas galvenais uzdevums ir izstrādāšana, plānošana, lidojuma plāna pārbaude katram TGK individuāli, kas ir optimāls pēc noteiktiem kritērijiem, ievērojot ārējos ierobežojumus. Uz sistēmas moduļa ieeju tiek padota informācija par visiem izmantojamajiem TGK, tehniskajiem raksturojumiem, stāvokli, lidojuma stundām, energoresursiem un derīgajām slodzēm, lai izpildītu naftas piesārņojuma monitoringa misiju. Uz sistēmas moduli, kas atbild par informācijas apstrādi, par nepieciešamajiem pasākumiem ūdens kvalitātes kontrolei, tiek nodotas mērķu koordinātes un standartizētie raksturojumi. Sistēmas izeja pēc informācijas novērtēšanas, optimizācijas un pieņemtajiem lēmumiem par lidojuma izpildi, izsniedz lidojuma uzdevumus katram TGK.

Akvatorija teritorija attēlota kā rajons ar objektiem (mērķiem). Objekti tipveida monitoringa algoritma izmantošanai tiek iedalīti četrās pamata grupās:

Punktveida objekti – objekti, kuru izmērs neiziet aiz kameras skatpunkta laukuma novērošanas lidojuma augstumā un tie tiek raksturoti ar objekta centra punkta ģeogrāfiskajām vai dekartā koordinātēm.

Lineārie objekti – pagarināti objekti, kuri nonāk kameras skatu laukā, lidojot tiem garām vienā piegājienā, un tiek raksturoti ar laužas līnijas atbalstpunktu koordinātēm.

Laukumu objekti – objekti, kuri ir ierobežoti ar daudzstūri. To filmēšana tiek veikta vairākos piegājienos (halzes). Tie tiek raksturoti ar daudzstūri, kas aptver novērojuma objektu (rajons kurā notiek ūdens kvalitātes monitorings), virsotņu koordinātes.

Laukumu objekti ar dinamiskiem raksturojumiem (naftas piesārņojuma plankumi).

Nafta izplatās uz ūdens virsmas plēves veidā, izveidojot dažāda biezuma slāņus. Naftas plēves uz ūdens virsmas var pieņemt atšķirīgas formas. Ja vēja ātrums ir 4 m/sek., naftas plēves

pieņem plankuma formu. Vēja ātrumam palielinoties, molekulārie slāņi tiek iznīcināti un plēve sadalās dažādās plankumu formās. Naftas plankuma izplatīšanās uz virsmas sastāv no divām kustībām: dreifs vēja ietekmē, ūdenskrātuves virsmas straumes un viļņu iedarbībā un izplatīšanās uz virsmas.

TGK izmantošanas ierobežojuma kritēriji ir autonomija (enerģijas daudzums) un laika ierobežojumi saskaņā ar ekspluatācijas instrukciju.

TGK vadības un koordinācijas centram vai daudzfunkcionālajai virszemes stacijai ir jāņem vērā TGK dreifs, kas rodas no vēja ātruma un laukuma dinamisko objektu kustības dinamikas (3.2. att.).

3.2. att. TGK dreifs.

Plānojot ūdens kvalitātes kontroles monitoringa misijas saskaņā ar piesaisti pie teritorijas un ar 1 un 2 tipa TGK darbības rādiusiem, tiek ņemts vērā:

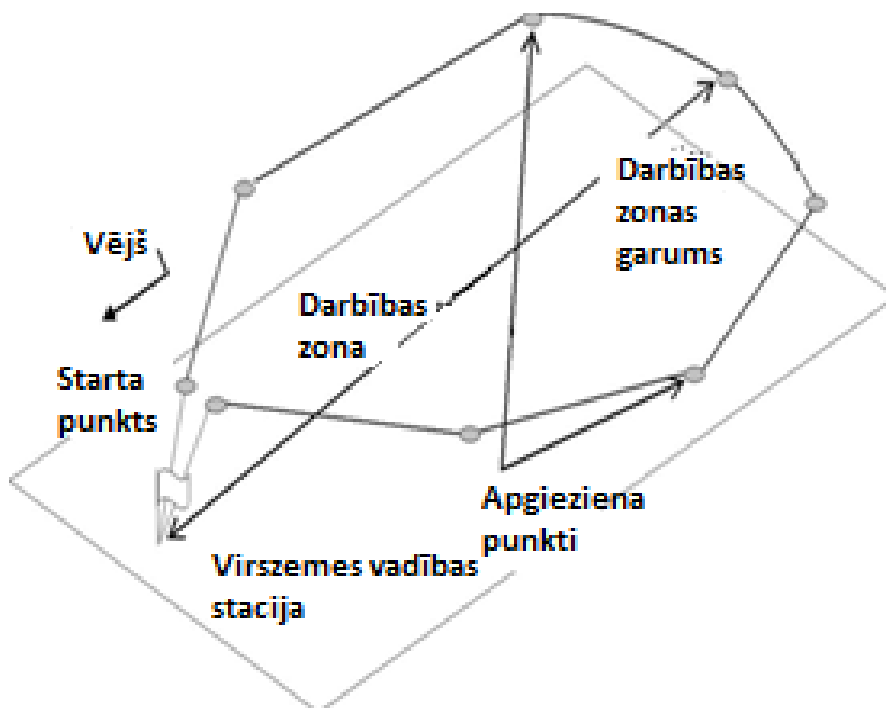
- TGK daudzums, kas ir tehniski gatavi lidojumam;
- aprēķināts pēc tipiskiem algoritmiem attālums, kas tiek izpildīts lidojuma laikā;
- paredzētais augstuma koridors;
- TGK dislokācijas punkts;
- katra TGK tipa pagriezienu un apgriezienu rādiuss.

Otrā informatīvā sastāvdaļa ir personāls, kas atbildīgs par ūdenskrātuves ūdens kvalitātes monitoringu, sastādītais uzdevumu daudzums katram TGK tipam. Uzdevumos ietilpst: laika saraksts katram uzdevumam, objektu punktu ģeogrāfiskās vai dekartas koordinātes un mērķu tips

punktveida, lineārie, laukumu, laukuma objekts ar dinamiskiem raksturojumiem. Papildus 2. tipa TGK tiek uzrādītas paraugu ņemšanas punktu koordinātas.

Punktveida un lineāro objektu monitoringam tiek izmantotas tipveida trajektorijas. Punktveida objektu aplidojums noved pie to aplidošanas, lineārajiem – lidojumam gar tiem. Attiecībā uz laukumu objektiem ir izstrādāts aplidojuma trajektorijas vienkāršs algoritms (lai atvieglotu no TGK saņemto attēlu saskaņošanu un operatora vai programmas orientāciju, kas saņem videoinformāciju). Lai varētu izplatīt ciklus kādas laukuma vienības uz patvaļīgas formas laukuma, tiek piemērota aplidojuma cikliska trajektorija. Aplidojuma trajektorija ir izstrādāta ar tādu prasību, lai segtu elementāru taisnstūra formas objektu (lai būtu iespēja ierakstīt tajā patvaļīgas formas naftas plankumus).

Ūdenskrātuves kopējam apskatam vairāk ir piemērots noslēgts gredzenveida maršruts (3.3. att.).



3.3. att. Noslēgts gredzenveida maršruts.

Pirmā un otrā tipa TGK lidojuma maršrutu plānošanas automatizētā sistēma izmanto šo maršrutu un tipveida objektu novērošanas nepieciešamības gadījumā, izmantojot algoritmu apakšuzdevumu atrisināšanai konkrēti noteiktajos punktos, izmanto tipveida algoritmus objektiem. Automātisko sistēmu algoritmu ar apakšuzdevumiem izmantošana ļauj samazināt laiku, kas tiek tērēts optimāla lidojuma uzdevuma sastādīšanai katram TGK. Galvenās šīs metodes priekšrocības:

- aptver lielas ūdenskrātuves teritorijas;

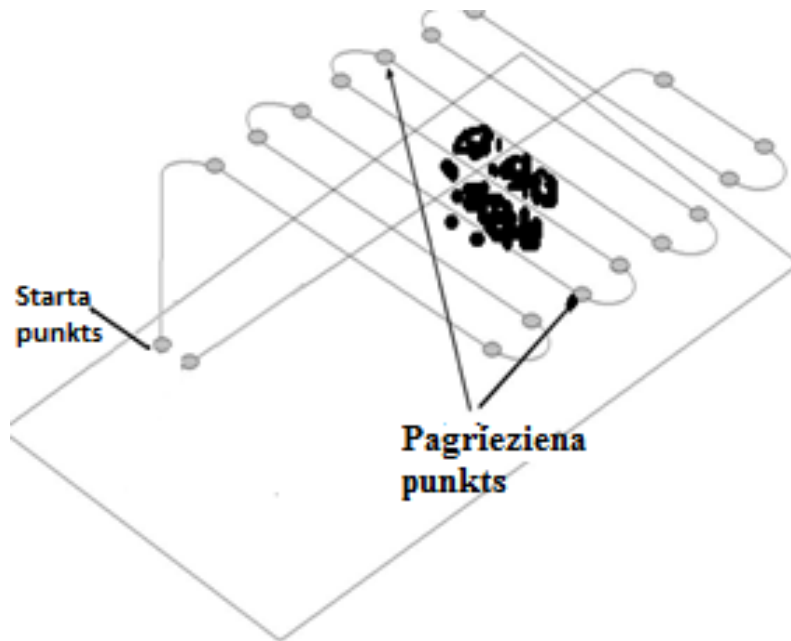
- augsta veiktspēja;
- ātrums un operativitāte;
- iespēja izpētīt grūti pieejamos apgabalus;
- relatīvi vienkāršs lidojuma plānošanas uzdevumu formulējums;
- operatīva saņemto rezultātu apstrādē.

Automatizētā plānošanas sistēma rada lidojuma maršrutus, lai nodrošinātu visas darba zonas monitoringu un kontroli. Lai izpildītu TGK optimālās un racionālās enerģijas izmantošanas kritēriju lidojuma maršruts tiek plānots tādējādi, ka pirmā lidojuma daļa tiek izpildīta pret vēja virzienu.

Laukumu mērķa aplidojuma optimālā trajektorija tiek raksturota ar minimālo garumu starp citām trajektorijām, kā arī ar minimālu apgriezību skaitu virs mērķa un attiecīgi ar lielu taisno posmu daudzumu.

Laukumu mērķiem, kas uzrādīti ar izliektiem daudzstūriem, minimālais apgriezību skaits, kā arī trajektorijas minimālais garums tiks sasniegts tad, kad halžu taisnie posmi būs paralēli taisnei starp divām īpaši attālinātām daudzstūra virsotnēm. Ņemot vērā naftas plankumu izplātīšanās procesu uz ūdens virsmas plankumu veidā ar neizliektām laužām līnijām, laukumu objekti, kuri ir uzrādīti kā neizliekti daudzstūri, vienmēr var novest pie izliektiem. Tādējādi tiek risināts konkrēta mērķa trajektorijas aplidojuma veidošanas uzdevums.

Jūras akvatorijas atsevišķu laukumu un dinamisku laukumu objektu detalizētai apsekošanai darba zonas apgabalā, tiek izmantota taisnu, paralēlu maršrutu metode. Laukumu mērķa aplidojuma optimālā trajektorija tiek raksturota ar minimālo garumu starp citām trajektorijām, kā arī ar minimālo apgriezību skaitu virs mērķa un attiecīgi ar lielu taisno posmu daudzumu (3.4. att.).



3.4. att. Mērķa laukuma apsekošanas optimālā trajektorija.

Maršruta plānošanas automātiskā sistēma, sagatavojot maršrutu, ņem vērā TGK kameras maksimālo redzeslauka platumu plānotā lidojuma augstumā.

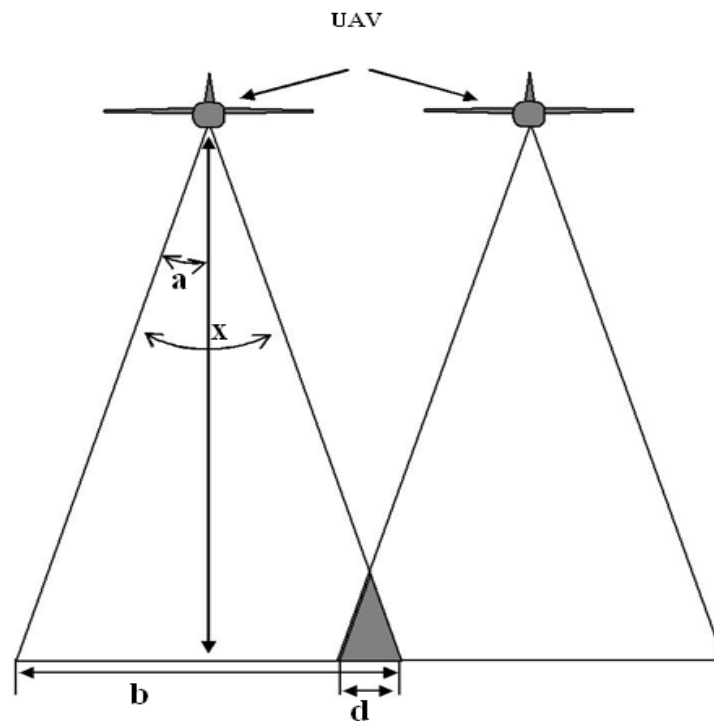
Laukuma objektu aplidojuma algoritma trajektorija tiek projektēta, ņemot vērā, ka redzeslauka kameras robežas pārklājas par aptuveni 15–20 %. Pārklājuma apmērs ir atkarīgs no plānotā lidojuma augstuma. Aprēķinam automātiskās plānošanas sistēmas programmā ir noteikta formula.

Piemēram TGK plānotais darba augstums, kurā tiks veikta filmēšana izmantojot video, termālo, hiper un multispektrālās kameras $H = 200$ m. Vizuālās kameras redzes leņķis $x \approx 70^\circ$. Kameras vizuālā redzeslauka platums $b = 280$ m 200 m augstumā.

$$b = 2xH \times \tan \frac{x}{2} = 2x200 \times \tan \frac{70^\circ}{2} = 280 \text{ m} \quad (3.1)$$

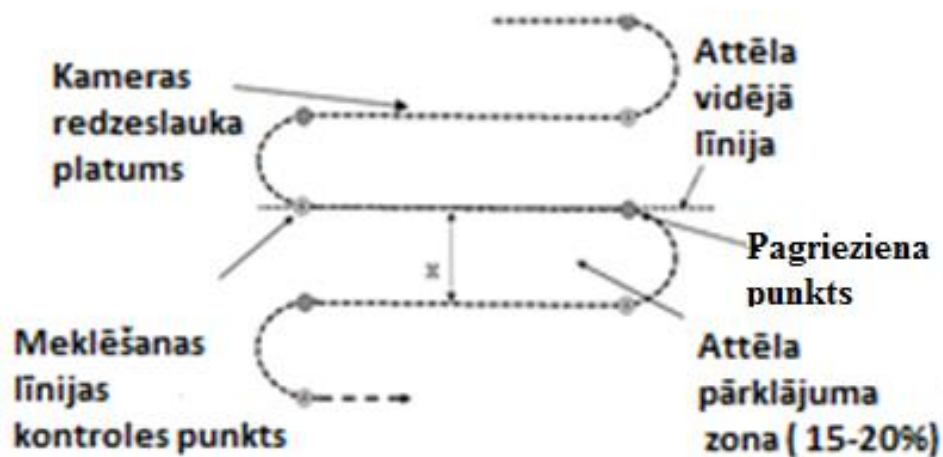
Pārklāšanās zonu platums d aptuveni 15 % būs aptuveni vienāds 42 m (3.5. att.).

$$d = \frac{b}{100} \times 15\% = \frac{280}{100} \times 15\% = 42 \text{ m} \quad (3.2)$$



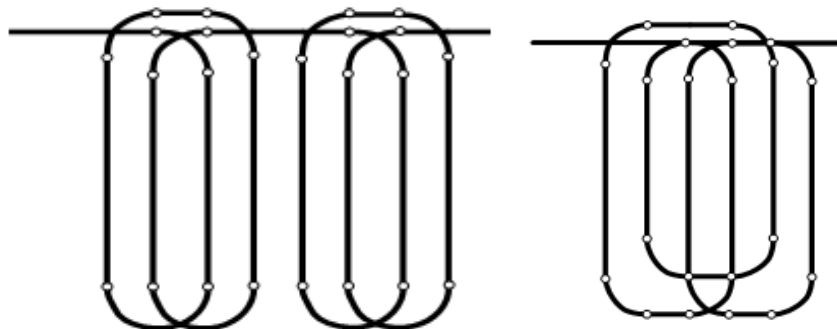
3.5. att. pārklāšanās zonu platums.

Lidojuma automātiskās plānošanas sistēma precīzākas informācijas saņemšanas nepieciešamības gadījumā un digitālā apvidus modeļa sastādīšanai, ieskaitot 3D modeli, ļauj izmantojot programmas interfeisu, ievērojot ārējos faktorus (redzamību, miglu, droša lidojuma augstumu), noteikt atšķirīgu pārklājuma zonu platumu. Ņemot vērā uzkrātos eksperimenta rezultātus, izmantojot TGK, lai veiktu uzņemšanu dažādos augstumos, – zemākiem augstumiem pārklājums varētu būt 0 %, augstumam virs 1000 m – 45 %. Programmas algoritms, veicot aprēķinus, lai noteiktu attālumu starp kameras skata leņķa tuvām malām, lidojot paralēlā maršrutā, ņemot vērā nepieciešamo 15 % pārklāšanos, lai veiktu TGK pagriezienu līdz vajadzīgajam rādiusam un izejot uz taisnu lidojuma līniju, nākamajā pagriezienu punktā, ņemot vērā TGK lidojuma parametrus, pievieno papildu pagriezienu punktu, kas elektroniskās kartes mērogā ir vienāds ar X m (3.6. att.).



3.6. att. Lidojuma trajektorija.

Ja TGK minimālais apgrieziena rādiuss neļauj organizēt gājienus tā, lai starp tiem nebūtu nepārklātas teritorijas, tad ir iespējama trajektorijas modifikācijas izmantošana ar mazāku pagrieziena izliekumu. Seguma laukums ir uzdodams joslas veidā, kuru vidēja līnija ir TGK optiskās kameras ass projekcijas trajektorija, kas filmē nadīrā. Atšķirīgu tipu laukumu objektu uzņemšanai var tikt pielietots tipveida algoritms ar atšķirīgu pārklāšanās dalāmību 2 vai 3 (3.7. att.).



Dalāmība 2

Dalāmība 3

3.7. att. Pārklāšanās dalāmība.

Automātiskās plānošanas programma uzdevumu veidošanai izmanto trajektorijas ģeometrisku ciklu, kas parādīts ar taisnstūri ar pastāvīgu platumu un mainīgu garumu un stāvokli, kas tiek projicēts uz rajonu vai naftas piesārņojuma plankumu. Ir arī ierobežojumi attiecībā uz kopējo joslu izvietojumu atkarībā no trajektorijas veida. Laukumu un dinamisko laukumu mērķu apsekošanas trajektorijas veidošanas programma ir sadalīta vairākos posmos. Pirmajā posmā

programmas interfeisā tiek saņemta sekojoša informācija – lidojuma augstuma diapazona izmaiņas, kameras redzamības leņķi, izmantojamā lietderīgā slodzē, pagriezienu rādiuss, maksimālais lidojuma ilgums; informācija par laukuma objektu – statiskais vai dinamiskais objekts (statistikajam ātrums ir $V=0$, dinamiskajam V kustības ātrums un piedāvātās virsotņu koordinātu izmaiņas, ņemot vērā naftas produktu plēves izplatīšanās ātrumu uz ūdens virsmas. Otrajā posmā tiek noteikts lidojuma augstums un TKG kameras redzamības leņķis, pagrieziena rādiuss. Trešajā posmā tiek veikta objekta redzamības laukuma aproksimācija un kvantēšana un, atkarībā no iegūtajiem rezultātiem, optimālas lidojuma trajektorijas izvēle no standarta trajektoriju kopuma. Tālāk tiek izpildīta lidojuma kvalitātes funkcijas nepārtrauktības un vienveidības noteikšana. Programma pārbauda ciklu pēc funkcijas nepārtrauktības intervāliem un veic kvalitātes kritēriju lokālo minimumu uzskaiti. Objekta apsekošanas trajektorijas garums tiek pieņemts par kvalitātes kritēriju. Lai atrisinātu problēmu, ieslēdzot lietderīgās slodzes kameras filmēšanas režīmā, lidojuma ātrums, ņemot vērā ārējos faktorus, tiek uzskatīts par nemainīgu. Īsākā trajektorija atbilst mazākam lidojuma laikam, ņemot vērā TKG ātrumu. Statiskiem un dinamiskiem laukumu objektiem kā lidojuma kvalitātes kritērijs tiek izmantots pārklājuma laukums, kas tiek saņemts to apsekošanas rezultātā un attiecināms uz apsekotā objekta laukumu.

Laukums, kas tiek pārklāts lidojuma taisnos posmos, tiek noteikts pēc formulas:

$$\sum_{i=1}^{n(\theta)} h_i 2x \quad (3.3)$$

Laukums, kas tiek pārklāts pagriezienos, tiek noteikts pēc formulas:

$$\sum_{i=1}^{n(\theta)} \pi 4x^2 \quad (3.4)$$

kur h – lidojuma augstums;

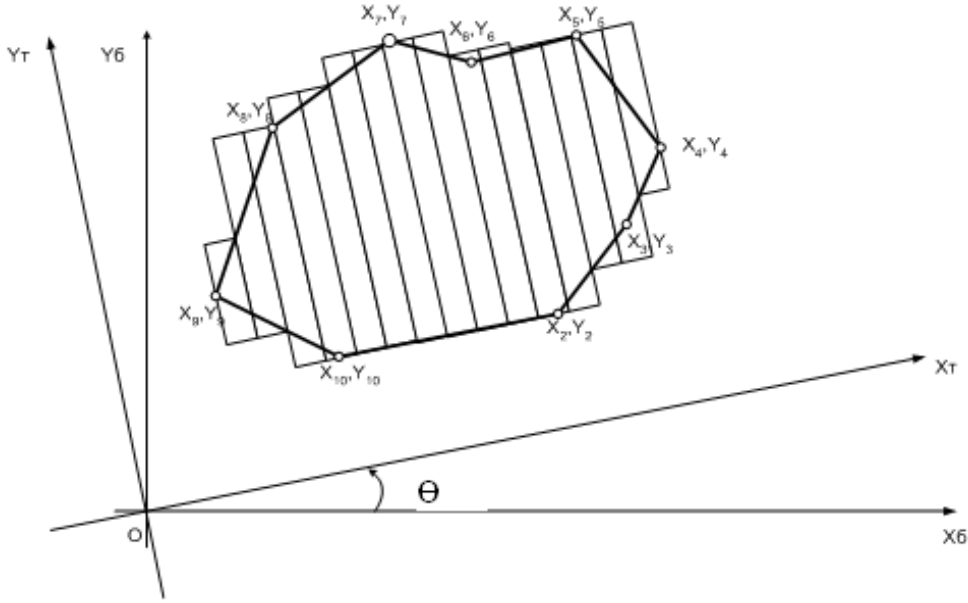
x – novērošanas kameras redzes leņķis.

Lai īstenotu optimizāciju reālajā laikā, tiek noteikta tekošā koordinātu sistēma, kura tiek orientēta pie koordinātu bāzu sistēmas, kurā tiek noteiktas objektu koordinātes zem leņķa Θ (3.8. att.). Fiksētas aplidojuma metodes gadījumā par optimizācijas parametru uzskaitīsim laukuma mērķu aplidojuma orientācijas leņķi Θ .

Kopējā pārklājuma plātība, kas iegūta aplidošanas rezultātā, tiek noteikta pēc formulas:

$$S_{\text{opl}} = \sum_{i=1}^{n(\theta)} h_i(\theta) 2x + \sum_{i=1}^{n(\theta)} \pi 4x^2 \quad (3.5)$$

kur $n(\theta)$ – vertikālu posmu daudzums.



3.8. att. Tekošā koordinātu sistēma.

Kvalitātes kritērija analītiskā forma mainās, mainot malu virsotnes, kas ierobežo laukumu objekta poligona projekcijas reālajā laikā uz abām pašreizējās koordinātu sistēmas asīm. Šīs virsotnes mainās pie tekošās koordinātas sistēmas leņķiem.

Laukumu mērķu aplidojuma kvalitātes kritērijs tiek noteikts pēc formulas:

$$E(\theta) = \frac{S_{apl}}{S_{kop}} \quad (3.6)$$

kur S_{apl} – aplidojuma laukums;

S_{kop} – kopējais laukums.

Horizontālajai projekcijai

$$\theta_i^I = \arctg \frac{A_{i+1,x\bar{o}} - A_{i,x\bar{o}}}{A_{i+1,y\bar{o}} - A_{i,y\bar{o}}} + \pi k, k = 0,1 \quad (3.7)$$

Vertikālajai projekcijai

$$\theta_i^{II} = \arctg \frac{A_{i+1,y\bar{o}} - A_{i,y\bar{o}}}{A_{i+1,x\bar{o}} - A_{i,x\bar{o}}} + \pi k, k = 0,1 \quad (3.8)$$

Šeit $A_{i,x\bar{o}}$, $A_{i,y\bar{o}}$ – attiecīgi, horizontālā un vertikālā projekcija i poligona virsotnes koordinātu bāzes sistēmā.

Katram intervālam, kas ierobežots ar leņķiem no balsta leņķu grupas θ_i^I , θ_i^{II} , tiek noteiktas virsotnes, kas ierobežo mērķa poligona projekcijas uz tekošās koordinātu sistēmas ass:

$$A_{xT,x \min}, A_{xT,x \max}, A_{xT,y \min}, A_{xT,y \max}, A_{yT,x \min}, A_{yT,x \max}, A_{yT,y \min}, A_{yT,y \max}$$

un šo virsotņu projekcijas koordinātu bāzes sistēmā:

$$A_{xB,x \min}, A_{xB,x \max}, A_{xB,y \min}, A_{xB,y \max}, A_{yB,x \min}, A_{yB,x \max}, A_{yB,y \min}, A_{yB,y \max}$$

Lokālo ekstrēmumu leņķi tiek noteikti ar izteiksmi:

$$\theta^0 = \arctg \frac{2(A_{xB,y \max} - A_{xB,y \min}) - \frac{\pi}{4}(A_{yB,x \max} - A_{yB,x \min})}{2(A_{yB,y \max} - A_{yB,y \min}) - \frac{\pi}{4}(A_{xB,x \max} - A_{xB,x \min})} + \pi k, k = 0,1 \quad (3.9)$$

No daudzstūra, kurš "aizpildīts" ar joslām, tiek veikta pāreja uz noteiktu aplidojuma trajektoriju, bet no tās — pie lidojuma uzdevuma elementiem, kuri konkretizē lidojuma augstumu un virkni citu parametru laikā (zīm. 3.8).

Trajektorijas veidošana sākas no tekošo aplidojumu parametru definēšanas (3.6. att.): augstuma h , skata leņķa X , lidojuma ātruma V , minimālā saskatāmā objekta izmēra L izm. un pārklājuma joslas platuma b , pamatojoties uz ierobežojumiem h_{\min} , h_{\max} – lidojuma augstuma koridors, r_{\min} – pagrieziena rādiuss, V_{\min} , V_{\max} , X_{\min} , X_{\max} , R – kameras izšķirtspēja, L izm. \max – minimālā saskatāmā objekta pieprasāmais izmērs –, n_{id} – pikseļu daudzums, kas nepieciešams objekta identificēšanai.

Tekošie aplidojuma parametri tiek noteikti prioritātes kārtībā, izmantojot EXEL programmu:

Vispirms tiek fiksēta maksimāli iespējamā augstuma vērtība, tālāk, balstoties uz h maksimāli iespējamais pārklājuma joslas platums b .

Augstuma sākuma tuvinājums h_o :

$$h_o = \frac{X_{\max}}{2tg\left(\frac{X_{\min}}{20}\right)} \quad (3.10)$$

$h_{\min} \leq h_o \leq h_{\max}$, lidojuma augstums $h = h_o$

Ja $h_o < h_{\min}$, tiek izvēlēts cits trajektorijas veids ar lielu pagrieziena rādiusu.

Ja $h_o > h_{\max}$, nākamais tuvinājums:

$$h_1 = \frac{2 \times r_{\min}}{2tg\left(\frac{X_{\max}}{2}\right)} \quad (3.11)$$

Tālāk h tiek noteikts atbilstoši h_1 :

Ja $h_{\min} \leq h_1 \leq h_{\max}$, lidojuma augstums $h = h_1$; ja $h_1 > h_{\max}$, tad $h = h_{\max}$ (filmēšana notiks ar sliktāku kvalitāti, iespējams, pat vairākos pārlidojumos);

ja $h_1 < h_{\min}$, tad $h = h_{\max}$

Automātiskā programma (3.9. att.) pēc novērojuma augstuma h aprēķina jaunas nozīmes X_{min} , X_{max}

Sākuma iterācija:

$$X_o = 2 \times h \times tg \frac{X_{max}}{2} \quad (3.12)$$

Ja $2r_{\min} \leq x_0 \leq x_{\max}$, tad $x = x_0$. Ja $x > x_{\max}$, nākamais tuvinājums:

$$X_1 = 2 \times h \times tg \frac{X_{max}}{2} \quad (3.13)$$

Tālāk x tiek noteikts attiecībā pret X_1 : ja $X_1 < X_{\max}$ $X = X_{\max}$

lerobežojumi						
h_{\min}	h_{\max}	r_{\min}	V_{\min}	V_{\max}	X_{\min}	X_{\max}
70	100	80	100	200	50	80
h_0						
85,78028						
Chek $h_{\min} \leq h_0 \leq h_{\max}$						
	OK	OK				
		h_{lidojuma}				
		85,78027682				
	X_0					
	143,9564					
Chek $2r_{\min} \leq x \leq x_{\max}$		APRĒĶINĀT X1				
		X				
		80				

3.9. att. Automātiskā programma.

3.3. Naftas piesārņojuma izplatīšanās uz ūdens virsmas matemātiskā modelēšana

Naftas piesārņojuma izplatīšanās uz ūdens virsmas ir sarežģīts process, kuru iespaido 1 iekšējie faktori:

- naftas produkta veids;
- blīvums, fizikālie un ķīmiskie raksturojumi;

- pagaidu emisijas raksturojumi – diskrets vai pastāvīgs
- un 2. ārējie faktori:
- naftas plankuma dreifs, viļņu augstums, vēja ātrums;
 - ūdenskrātuves ūdens temperatūra;
 - naftas-oksidējošo baktēriju esamība ūdenskrātuvēs;
 - akvatorija sāļums;
 - saules radiācija.

Metodoloģijā naftas plankuma izkliešanās tiek pieņemts sekojošs modelis (hipotēze): normāls izkliešanās ātrums ir proporcionāls plankuma biezumam:

$$V = bh$$

Naftas izkliešanās uz ūdens virsmas galvenais rādītājs ir naftas plēves rādiusa r atkarībā no laika t $r(t)$.

Attiecībā uz pēkšņu avārijas izraisītu noplūdi, lokālu noplūdi ar noteiktu daudzumu naftas produktu, šo procesu shēmā var attēlot šādi.

Pirmais posms – notiek naftas izplūšana uz ūdens virsmas spēku iedarbībā, kas ir atkarīgi no gravitācijas (ūdens blīvums ir vairāk nekā naftas blīvums, tādēļ nafta "paaugstinās" paceļas virs jūras virsmas). Otrais posms – (spēka posms) naftas izplūšana uz ūdens virsmas spēka iedarbībā.

Galvenā problēma, kas jārisina, ir fizikālās un ķīmiskās naftas īpašības izmaiņas izplūšanas laikā, naftai izšķīstot ūdenī un iztvaikojot.

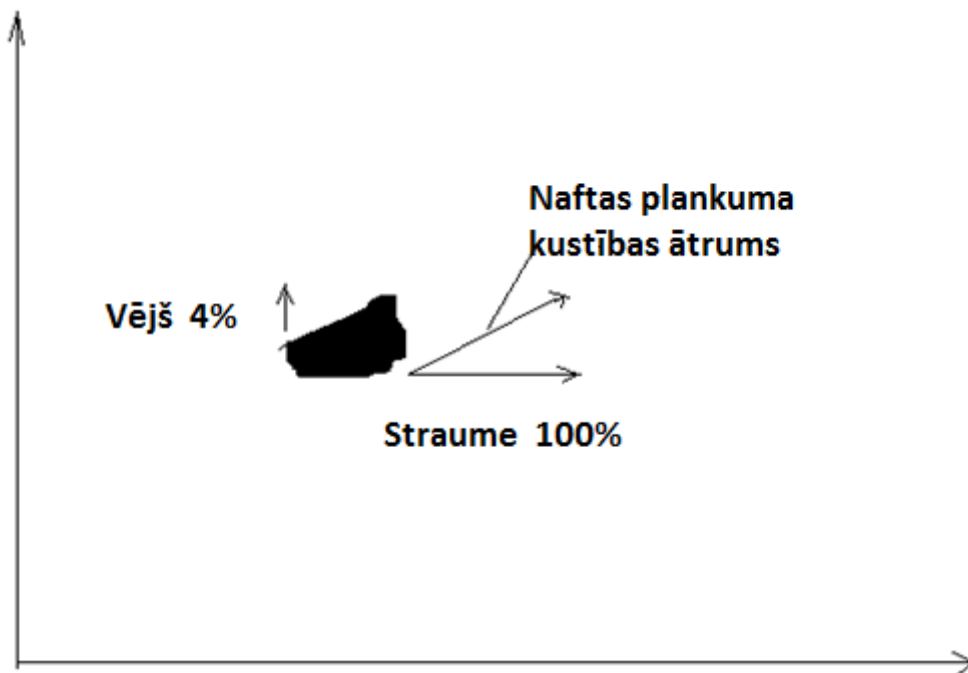
Automātiskā sistēma izmanto korekcijas algoritmu, kurā caur programmas nodrošinājuma interfeisu sistēma saņem informāciju, kas saņemta ar TGK derīgās slodzes palīdzību, par naftas piesārņojuma plankumu izkārtojumu uz ūdens akvatorijas virsmas (ar video, multispektrālo, termālo, hiperspektrālo kameru).

Datu saņemšanas precizitātes paaugstināšanai par naftas plēves biezumu un naftas produkta veidu tiks izmantoti TGK dati. Lai noteiktu veidu, tiek izmantoti multispektrālo un hiperspektrālo kameru novērojumi un provju atlases metode, izmantojot TGK.

Plankuma plēves izmēru tālāku palielinājumu nosaka virspusējais vējš un straume, turbulentā difūzija. TGK realizē izplūšanas monitoringu un, izmantojot iegūtos datus, izmantojot kustības pētījuma vizuālās kartes, t.i. dreifa, naftas plankumu, kas tiek noteikts ar vēja iedarbību, straumes un virspusējās viļņošanās iedarbību.

Naftas plankuma, kas iegūts ar analītiskā aprēķina algoritmu, kustības korekcijas īstenošanai monitoringa dati tiek pārveidoti par informāciju uz kartes un caur lietotāja noteiktiem laika intervāliem tie tiek projicēti uz plankuma formas. Naftas plankuma sadalīšanās gadījumā uz

vairākiem plankumiem katram no tiem atsevišķi tiek noteikti kustības parametri (ātrums un kustības vektors pie koordinātu bāzes sistēmas) un naftas plankuma rādiusa izmaiņas.



3.10. att. Naftas plankuma izplatīšana.

Excel programma analizē 2 naftas plankuma izplatīšanās gadījumus. Pirmkārt, vēja un straumes neesamības gadījumā nafta izplūda uz visām pusēm vienādi, veidojot apli, kura rādiuss mainās laikā. Noteiktā laika posmā tiek veikti plankuma rādiusa aprēķini. Otrkārt, jā ir zināmi vēja un straumes ātrumi upē vai jūras akvatorijā, kas saņemti ar meteoroloģiskās novērošanas palīdzību (anemometra izmantošanu), aprēķina dreifu (3.10. att.).

Plankuma dreifa virziens tiek noteikts straumes un vēja vektoru saskaitīšanas rezultātā.

Divu komplanāro vektoru saskaitīšanas rezultējošais vektors ir aprēķināms ar kosinusu

$$V_{\text{pe3.}} = [V_1^2 + V_2^2 - 2 V_1 V_2 \cos(180^\circ - \alpha)]^{1/2} \quad (3.14)$$

kur V = ātruma vektora skaitliskā nozīme;

α = leņķis starp 1. un 2. vektoru.

leņķis starp rezultējošo vektoru un vienu no izejošajiem vektoriem var tikt aprēķināts ar sinusu teorēmu:

$$\beta = \arcsin[V_2 \cdot \sin(180^\circ - \alpha) / V_R] \quad (3.15)$$

kur, α = leņķis starp izejošajiem vektoriem

Matemātikas modeļa radīšanas vienkāršošanai un, ņemot vērā to, ka monitorings tiek veikts reālā laikā, izmantojot TGK, kas nodod galvenos parametrus reālā laika režīmā aprēķina veikšanai, pieņemts, ka naftas plankuma izplūšana uz jūras virsmas notiek spēku iedarbībā, kas ir atkarīgi no

gravitācijas un viskozas berzes. Naftas plankumu galvenie raksturojumi ir rādiuss un biezums. Izmantojot masas saglabāšanas vienādojumu naftas plankuma elementāram apjomam un kustības vienādojumu, tiek aplūkots procesa matemātiskai modelis, ko simetriskā gadījumā var iztēloties kā masas saglabāšanas vienādojumu.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial(rvh)}{\partial r} = 0 \quad (3.16)$$

Kustības vienādojums

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial r} = -g\delta \frac{\partial h}{\partial r} - \frac{\tau}{\rho_0 h} \quad (3.17)$$

kur h — naftas plēves biezums, v — vidēji pēc plēves biezuma kustības ātrums, τ — tangenciālais spriegums plankuma apakšējā robežā, g — brīva kritiena paātrinājums, $\delta = (p_w - p_0)p^{-1}$, p_w , p_0 — attiecīgi ūdens un naftas blīvums, r — radiālā koordināta, t — laiks.

Tā kā naftas plēvju izplatīšanās process notiek lēnām, var ņemt vērā tajā kustības paātrinājumu un vienkāršot kustības vienādojumu. Tā kā galvenais parametrs, kas iespaido naftas plēves izplatīšanos ir naftas produkta stigrība un tātad tangenciālais nostiepums plēves apakšējās robežās.

$$\tau = \mu \times V/h \quad (3.18)$$

kur μ — naftas stigrība.

$$V = -\frac{\rho_0 \times \delta \times g \times h^2}{\mu} \frac{\partial h}{\partial r} \quad (3.19)$$

Naftas plēves sākotnējais izvietojums acumirkļīgas sakoncentrētas naftas noplūdes gadījumā tiek attēlots atkarībā no apjoma ar nosacījumu

$$h(r, 0) \neq 0 \quad \text{pie } r \neq 0$$

$$2\pi \int_0^\infty (hr^2) r(d(r) = Q_0 \quad (3.20)$$

kur Q_0 — izplūdušās naftas sākuma apjoms.

Pamatojoties uz radītā matemātiskā modeļa, reālajā laikā naftas plēvei ir galīgs rādiuss $r_k(t)$

:

$$r_k(t) = \varepsilon_0 \left(\frac{Q_0 \times \alpha \times t}{8\pi^3} \right)^{1/8} \quad (3.21)$$

$$\alpha = \rho_0 \times \delta \times g / (4\mu) \quad (3.22)$$

Konstanta

$$\varepsilon_0 = 4/\sqrt[8]{162} \quad (3.23)$$

Maksimāls plēves biezums atkarībā no laika tiek noteikts pēc formulas:

$$h(0,t) = \frac{\sqrt[3]{3}}{4} \left(\frac{Q_0}{2\pi\alpha t} \right)^{1/4} \times \varepsilon_0^{2/3} \quad (3.24)$$

Metodoloģijas modelī tiek izmantots aprēķins līdz korekcijas momentam, kad tiks saņemti dati no TKG. Iespējamais piesārņojuma kustības un izplatīšanās process tiek noteikts analītiski. Izmantojot datus no video, multispektrālām, termālām un hiperspektrālām kamerām, piesārņojuma plankuma izmērus un naftas produktu doto krāsu kodu bāzi uz ūdens virsmas un spektru līmeņus kā arī plēves krāsu kodu bāzi un plēves biezuma spektru, tiek noteikts naftas produkta veids. Atbilstoši stingrībai un blīvumam tiek aprēķināts Q_0 izplūdušās naftas sākotnējais apjoms pēc formulas:

$$Q_0 = S \times h \quad (3.25)$$

Atkarībā no plankuma formas sākotnējiem novērojumiem tiek izvēlēts plankuma tips, kurš ir īpaši piemērots aproksimācijai. Algoritma optimizācijai ir definēti 3 tipi:

- 1 aplis
- 2 elipse
- 3 taisnstūris

3.4. Naftas piesārņojuma monitoringa algoritms

Monitoringa īstenošanai jūras ostu un naftas produktu pārkraušanas termināļu akvatorijās un rajonos, kur pastāv kuģu avārijas iespēja, ilgstošas emisijas gadījumā tiek noteikts emisijas sākotnējais ātrums (t/st.) un emisijas ātrums pēc noteikta laika posma (t.i. ātruma laika gradients).

Avārijas gadījumā programmā ir ievadāmi izliešanas parametri, pie kuriem attiecas: emisijas koordinātes (ģeogrāfiskās), emisijas datums un laiks, naftas produkts (lietotājam piedāvā izvēlēties vajadzīgo naftas produktu no datu bāzes, kurā ietvertas naftas produktu – iespējamo piesārņotāju fiziskās un ķīmiskās īpašības, plankuma izmēri un plēves blīvums), emisijas tips – ilgstošs vai acumirkļīgs.

Līdz korekcijas momentam aprēķins tiek veikts pie pastāvīga emisijas ātruma (pie divu ātrumu vienādības) vai pie lineāri krītošās/augošās emisijas ātruma (pie ātrumu nevienādības). Modelī ir paredzēts gadījums, kad piesārņojuma avots turpina kustēties. Šajā gadījumā ir uzdodams avota ātrums mezglos un virziens, kuri skaitās pastāvīgi līdz korekcijas momentam. Acumirkļīgas emisijas gadījumā ir uzdodams emisijas apjoms.

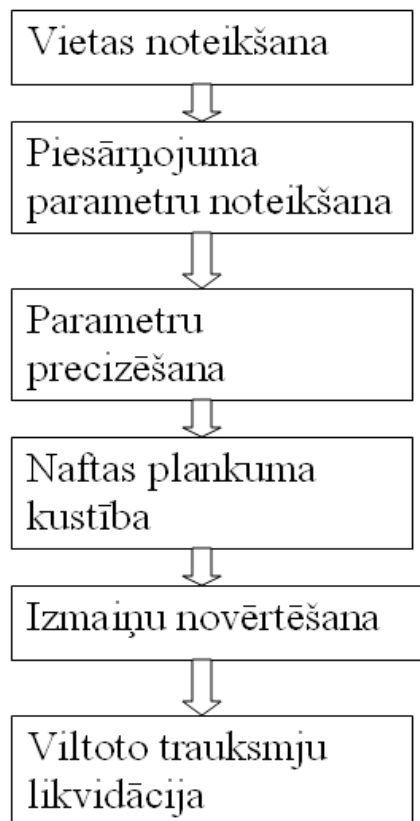
Naftas plankumu izplatīšanās aprēķinam uz jūras akvatorijas virsmas programmā ir paredzēti zināmā un nezināma naftas produkta varianti. Abos gadījumos ir jāievada plankuma atklāšanas

datums un laiks, orientējošais plankuma biezums (pēc noklusējuma – 10 mikroni). Nezināma produkta gadījumā – produkts ar stigrības un blīvuma vidējo nozīmi ir ievadāms no naftas produktu datu bāzes.

Tā kā naftas plankumi uz attēliem, kas nodoti ar TKG, parasti ir elipses formā, bet var pieņemt arī pietiekami rēgainu formu atkarībā no rajona dinamikas ārējo faktoru īpatnībām, tad, lai vienkāršotu un unificētu plankumu aprēķinu, tiek aproksimēti kā daudzstūri.

Modelī ir paredzētas divas plankumu aproksimācijas metodes – manuālā un automātiskā. Manuālās metodes izmantošana ļauj vairāk precīzi aproksimēt plankumu formu, bet ir nepieciešami plankumu attēli un iespēja darboties ar tiem.

Izmantojot TKG sensoru operatīvos datus, tiek izveidots grafiskais modelis. Izmantojot programmas interfeisu, tiek ievadīts plankumu vai taisnstūru daudzums, galējo punktu ģeogrāfiskās koordinātes (minimālais un maksimālais platums un atbilstošie garumi, minimālais un maksimālais garums un atbilstošie platumi – kopā 4 pāri) katram plankumam vai taisnstūrim.



3.11. att. Algoritms.

Izpildot naftas izplūšanas vietas definēšanas pirmo fāzi, automātiskā vadības sistēma nosūta TKG uz ūdeņu akvatorijas monitoringa rajonu. Monitorings ir izveidots, pamatojoties uz kompleksveida atklāšanas metodi, kas ietver sevī video kameras, termālās kameras un

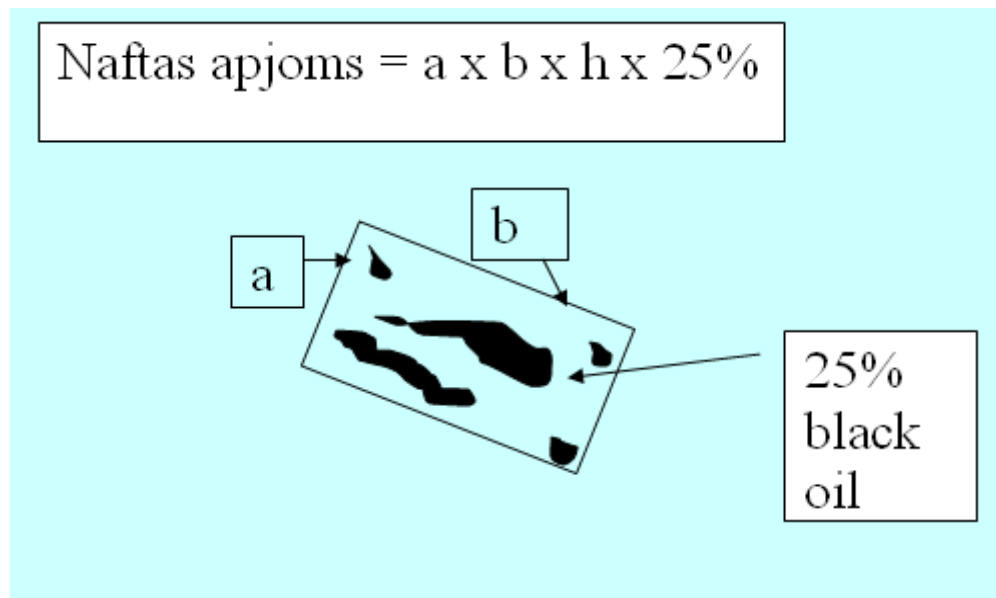
multispektrālās kameras izmantošanu. Lai noteiktu iespējamā naftas piesārņojuma apgabalu, tiek izmantotas trīs papildinošas pieejas piesārņojuma monitoringam:

- iespējamās izplūšanas krāsas un krāsas koda salīdzinājums ar piesārņojumam blakus esošo ūdeni;
- piesārņotā rajona videonovērojuma datu salīdzinājums ar ūdenskrātuves tīrajiem rajoniem;
- paredzamo naftas plankuma izmaiņu monitorings noteiktā laikā periodā t.

Tiek noteiktas plankuma tipveida formu koordinātes un dekartas koordinātes.

Otrā fāze ietver sevī piesārņojuma parametru definēšanu (3.11. att.).

Naftas plankuma un tā parametru monitorings ir nepieciešams piesārņojuma izplatīšanās plānošanai ūdenskrātuves teritorijā, un izejošo datu definēšanai, lai analizētu naftas slāņa izplatīšanos uz ūdens virsmas un operatīvās reakcijas stratēģijai. Plankuma formas tipveida figūras pārklājuma procents un biezums ir nepieciešami sākuma apjoma aprēķinam (3.12. att.).



3.12. att. Plankuma formas tipveida figūras pārklājuma procents.

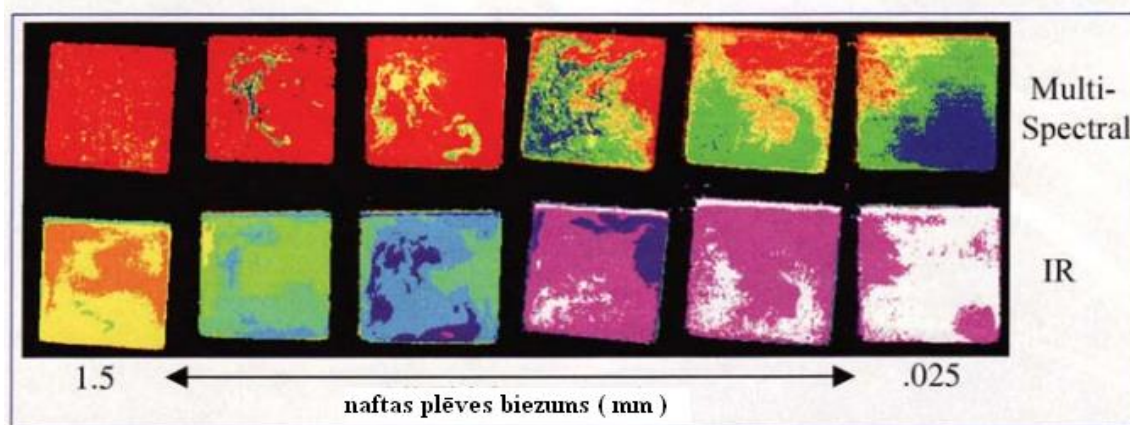
Iespējamā piesārņojuma plēves aptuvenā biezuma definēšanai tiek izmantota paredzamā naftas plankuma krāsu kodu tabula. Tabulas izmantošana rajona novērojumam ar VNIR kameru ļauj noteikt paredzamo piesārņojumu fiksācijas sākuma etapā un radīt naftas plankuma izplatīšanās modeli.

Krāsu kodi

Kods	Apraksts Ārējais izskats	Slāņu biezuma intervāls (mikrons)
1	Blāzma (sudrabs / pelēks)	No 0,04 līdz 0,30
2	Varavīkšņains	No 0,30 līdz 5,0
3	Metālisks	No 5,0 līdz 50
4	Vienlaidu īsta naftas krāsa	No 50 līdz 200
5	Vienlaidu īsta naftas krāsa	No 200 un vairāk

Lai palielinātu precizitāti un novērstu iespējamo viltus piesārņojumu fiksēšanu, ko izraisa ārēji faktori, tiek izmantots naftas biezuma mērījuma algoritms ar multispektrālo attēlu palīdzību, kas nodrošina augstu precizitāti un ir universāls jebkādām akvatorijām un dažādos meteoroloģiskajos un atmosfēras apstākļos.

Izmantojot multispektrālos attēlus, kas saņemti, izmantojot TKG lietderīgo slodzi, ar multispektrālo kameru, lai definētu naftas biezumu, tiek izmantota multispektrālā klasificēšanas metode, kurā naftas plēves spektru rezultāti tiek kalibrēti atbilstoši biezumam, pielietojot ar provju atlases palīdzību saņemtos datus [35] (3.13. att.).



3.13. att. Plankuma formas tipveida figūras pārklājuma procents.

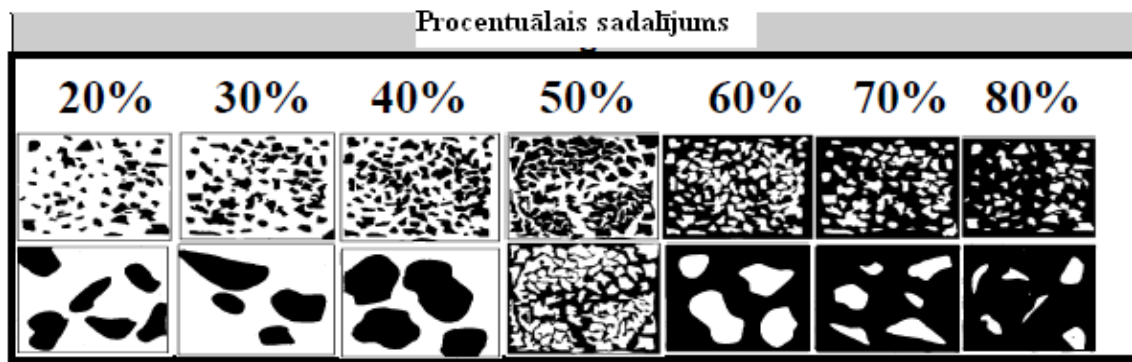
Izmantojot multispektrālo kameru, tiek ņemti vērā saņemtie augstas precizitātes rezultāti, kad ir iespēja definēt maza biezuma plēves un maza precizitāte, definējot liela biezuma plēves.

Ultravioleto un redzamās multispektrālās kameras datu izmantošanai, lai attēlotu naftas piesārņojumu, ir daži svarīgie ierobežojumi:

- tāpat kā naftas plēves biezuma vizuālā novērtējuma gadījumā ar VNIR kameras izmantošanu, jēlnaftas un mazuta plēves (IFO) ar biezumu vairāk kā apmēram no 0,1 līdz 0,2 milimetriem neļauj izkliedētajai gaismai pilnā mērā izklūst cauri plēvei, un tādējādi ir redzams gandrīz melns vai ļoti tumšs atspoguļots attēls;
- monitoringa nodrošināšanai tumšajā laikā, kad multispektrālās kameras un VNIR kameras izmantošana nav iespējama naftas plēves biezuma mērījumam, kuru biezums ir vairāk kā 0.1 mm, TGK lietderīgajā slodzē tiek uzstādīta infrasarkanā kamera.

Infrasarkanā kamera nevar noteikt mirdzēšanu uz ūdens virsmas, bet plānās plēves temperatūras kontrasta dēļ var parādīties vēsākas nekā apkārtējais ūdens gan dienā, gan naktī, jo naftas vielām ir zemākas izstarošanas spējas nekā ūdenim. Biezākās plēves darbojas kā saules siltuma lamatas un ir siltākas nekā ūdens dienas laikā saulainos laikapstākļos. Pēc saulrieta to temperatūra izlīdzinās.

Nākamajā posmā notiek novērtējums un relatīvo proporciju reģistrācija (tipveida plankuma seguma procenti), tīrs ūdens un katra krāsa (vai biezums) uz izplūšanas rajona virsmas. Vizualizēšanai tiek izmantota procentuāla seguma grafiskais attēls ar sadalījumu 10 % (3.14. att.).



3.14. att. Procentuālā seguma grafiskais attēls.

Lai definētu liela apjoma plankumus ar dažādiem krāsu kodiem un biežumiem, metodoloģijā tiek izmantota pilna naftas apjoma definēšanas programma. Plankums tiek sadalīts atsevišķos rajonos. Katrai zonai tiek aprēķināti rajoni ar atbilstošo krāsas kodu pēc formulas:

$$S_k = \%P \times Sr \quad (3.26)$$

kur $\%P$ – zonas seguma procents ar atbilstošo krāsas kodu;

Sr – rajona laukums.

Tālāk katra koda (krāsa) naftas plankuma apjoms tiek aprēķināts, reizinot laukumu ar S_k noteiktu krāsu naftas plēves biezumu katrā krāsā. Aprēķini tiek veikti pēc algoritma EXCEL programmā (3.15. att.).

Apraksts Biezums / Naftas plēves krāsa	Krāsas seguma procents % P	Krāsas rajona laukums Sk m ²	h, krāsas biezums	Krāsas koda plankuma apjoms Vi
blāzma (sudrabs / pelēks)	25	100	0,0001	0,00025
Varavīkšņains	25	15	0,0003	0,0001125
Dzeltens -bruns	30	45	0,001	0,00135
Neizteiktas krāsas	25	45	0,01	0,01125
Gaiš bruns vai melns	20	32	0,1	0,064
Nepārtraukts tumšā brūns / melns	30	11	1	0,33
Kopā				0,4069625

3.15. att. EXCEL programma.

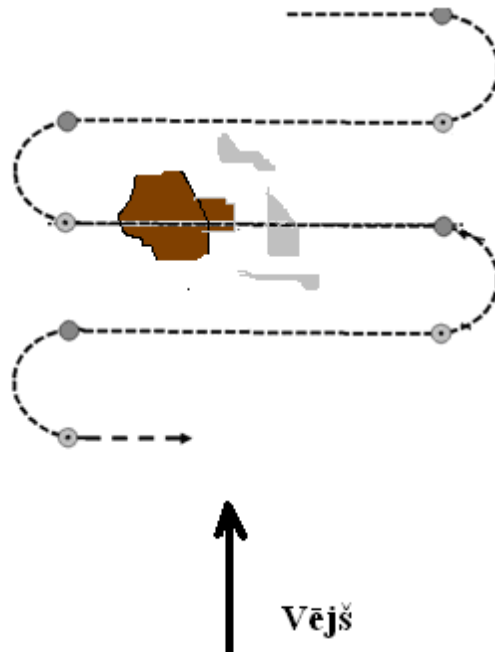
Analoģisks algoritms tiek izmantots, izpildot monitoringa misiju ar termālo, multispektrālo un hiperspektrālo kameru izmantošanu. Pēc aptuvena izplūdušās naftas apjoma definēšanas automātiskā programma īsteno naftas plankuma izplatīšanās prognozēšanas aprēķinus akvatorijas virsmā.

Trešā fāze ietver sevī sākotnējās informācijas precizējumu par piesārņojumu ar TGK izmantošanu. Atrāšanās vietas un naftas izplatīšanās prognostiskais uzdevums ūdens virsmā tiek risināts analītiski, izmantojot vēja un straumes datus, jo šie faktori ietekmē naftas izplatību.

Sakarā ar kļūdām, kas saistītas ar naftas kustības prognozēšanu, automātiskā sistēma plāno sistemātisku meklēšanu no gaisa, lai fiksētu naftas esamību vai neesamību lielā ūdens virsmas laukumā. Regulāra video, spektrālā, termālā vai fotogrāfiskā naftas plankuma reģistrācija uz ūdens virsmas var būt derīga informācijas pārraidei par piesārņojuma pamata parametriem avārijas vadības centram un atbildīgajiem dienestiem.

Šajā posmā notiek analītiski aprēķinātās izplatības prognozes korekcija un tiek noteikti naftas plankuma fizikālie, ķīmiskie raksturojumi, parametri, kas aprēķināti pēc TGK saņemtajiem datiem reālā laika režīmā (naftas plankuma rādiuss).

Peldošajam naftas plankumam ir tendence pagarināties un orientēties paralēli vēja virzienam, pieņemot garu un šauru svītru formu, kas tipiski izvietojas 30–50 metru attālumā viena no otras. Lai paaugstinātu naftas atklāšanas varbūtību, rekomendē organizēt "kāpņveida meklējumus" šķērsvirzienā attiecībā pret dominējošo vēju (3.16. att.).



3.16. att. Lidojuma traektorija.

Viens no naftas plankuma galvenajiem parametriem ir krāsa, kura sniedz svarīgu priekšstatu par naftas kārtas biezumu.

Naftas plankuma brūnā vai oranžā krāsa norāda uz ūdens-naftas emulsijas varbūtēju klātbūtni.

Izpildot lidojumu saistībā ar lidojuma uzdevumu, izmantojot uz borta uzstādīto aparāturu, tiek noteikts piesārņojuma raksturojums – svītra, plankums, apgabals, lente. Tiek precizēts ļoti svarīgs parametrs, kurš tiek izmantots naftas plankuma izplātīšanas analītiskajiem korekcijas aprēķiniem – plankuma priekšējā mala. Ja rodas nepieciešamība precizēt informāciju par naftas plēves biezumu, tiek izmantots TGK ar lietderīgo slodzi, kas ļauj īstenot paraugu atlasi no ūdens virsmas.

Konteiners ar pozitīvu peldspēju nodrošina paraugu ņemšanu no ūdens virsmas neatkarīgi no viļņu augstuma. Parauga ņemšanas process un transportēšana notiek automātiskajā režīmā. Pēc

TGK nolaišanās bāzē, piemērām, krastā vai uz jūras kuģa borta, konteiners tiek nodots laboratorijā, lai veiktu ņemto paraugu analīzi. Ja ir nepieciešams paņemt paraugus dažādos punktos, hermētiskajā nodalījumā tiek uzstādi vairāki autonomi moduļi ar konteineriem.

Salīdzinot TGK novērojumu rezultātus ar informāciju, kas tika saņemta iepriekšējo lidojumu laikā, var arī iegūt priekšstatu par situāciju laikā. Vācamās informācijas raksturs, tās reģistrācijas un prezentācijas piemērotās metodes būs atšķirīgas atkarībā no piesārņojuma un detalizācijas pakāpes mēroga, kas vajadzīgs, lai sasniegtu programmā noteikto iepazīšanās lidojuma mērķi ar noteiktiem laika intervāliem.

Pēc datu apstrādes, kas saņemti no TGK, lidojuma plāna izpildē korekcijas algoritms īsteno izplūdušā naftas produkta apjoma pārrēķinu. TGK derīga slodze iekļauj sevī GPS uztvērēju, ar kura palīdzību tiek noteiktas naftas plankuma malas robežpunktu koordinātu uzdotajās laika atstarpēs. Automātiski tiek izrēķinātas rādiusa Δr izmaiņas laika atstarpes posmā:

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (3.27)$$

$$\Delta r = r(t_2) - r(t_1) \quad (3.28)$$

Tāpat tiek izrēķināta atšķirība starp naftas plankuma analītisko prognozi un faktisko rādiusu prognozes uzticības pakāpes definēšanai vai pārrēķināšanas nepieciešamībai ar citiem parametriem (stigrība, naftas plēves biezums).

Tālāk ar saņemto datu palīdzību tiek noteikts naftas produktu precizētais apjoms pēc formulas:

$$Q_0 = \frac{8\pi^3 \times \sqrt[1/8]{\frac{r_k(t)}{\varepsilon_0}}}{\alpha \times t} \quad (3.29)$$

Apjoms, kurš iegūts analītiskā ceļā, tiek salīdzināts ar apjomu, kurš iegūts pēc novērojumu rezultātiem. Pamatojoties uz salīdzinājumu un reālajiem datiem, tiek veikta korekcija un naftas izplatīšanās jauna prognoze. Īpaši plānas plēves vai piesārņojuma ticamības pārbaudes nepieciešamības gadījumā tiek veidots TGK lidojuma plāns, lai ņemtu paraugus un TGK tiks aprīkots ar lietderīgu slodzi un konteineru. Pēc lidojumu plāna izpildes konteiners tiek nosūtīts uz laboratoriju un tiek noteikts naftas produkta veids un plēves biezums.

Izmantojot modeli, tiek izrēķināts sākotnējais naftas apjoms, kurš tiek precizēts uz reālo datu bāzes, pēc formulas:

$$Q_0 = 2 \times \pi \times \alpha \times t \times \sqrt[1/4]{\frac{4 \times h(0,t)}{\sqrt[3]{3} \times \varepsilon_0^{2/3}}} \quad (3.30)$$

Aprēķinu parametru korekcija ietver sevī iespējamās korekcijas perioda izmaiņas, prognozes periodu, aprēķina rezultātu iegūšanas periodu, kā arī aprēķina veikšanas periodu līdz izplūšanas likvidācijai.

Veicot jūras akvatorijas monitoringu avārijas gadījumā, TGK reālā laika režīmā nodod avārijas objekta koordināšu izmaiņas, emisijas izbeigšanos un naftas izkliešanās uz ūdens virsmas. Piemēram, avota likvidācijas rezultātā, emisijas ātruma izmaiņas rezultātā un avota kustības ātruma vai virziena izmaiņas rezultātā.

Ceturtā fāze ietver sevī naftas plankumu kustības novērošanu, izmantojot TGK reālā laika režīmā.

Naftas plankuma kustība tiek attēlota ar vektoru naftas piesārņojuma zonas ģeometriskajā centrā, ko rāda summāras straumes ātrums (plūdmaiņas un dreifējošais vējš). Pēc datu apstrādes, ko ieguvis TGK, izpildot lidojuma plānu, korekcijas algoritms īsteno naftas plankuma centra korekciju reālā laika režīmā. Izmantojot TGK lietderīgo slodzi un GPS ierīci, tiek noteikts ļoti svarīgs parametrs, kurš tiek izmantots naftas plankuma izplatības korekcijas analītiskajiem aprēķiniem – plankuma priekšējā mala. Tā kā naftas plankums izplatās uz virsmas nevienmērīgi ārēju faktoru iedarbības dēļ (straume, vējš, viļņi), saņemto datu apstrādē tiek noteiktas naftas plankuma virsotņu koordinātes un ar gravitācijas metodi izrēķināts smagumcentrs. Pēc monitoringa rezultātiem saņemtie caur uzdotajām laika atstarpēm ar analītisko aprēķinu smaguma centri ļauj aprēķināt virzienu un naftas plankuma kustības faktisko ātrumu. Tādējādi, pamatojoties uz informācijas bāzi, kas saņemta, izmantojot TGK, lai ņemtu vērā dominējošo vēju un straumju ietekmi, var prognozēt ātrumu un peldošās naftas pārvietošanās virzienu no atrašanās vietas, kurš ir zināms uz šo brīdi, un pielietot prognozējamā vektora korekciju.

Piektā fāze ietver sevī izmaiņu novērtējumu un saņemto datu analīzi uzdotajās laika atstarpēs. Pēc TGK izpildīto lidojumu plānu rezultātiem tiek izvērtēti kritēriji, lai noteiktu dažādus izplūšanas fāzes ilgumus. VNIR un IR kameru digitālie attēli, mulispektrālie un hiperspektrālie attēli sniedz pēc nozīmes vērtīgu informāciju [3]. Sistemātiski saņemtos rezultātus var izmantot informācijas par izplūšanas avotu apstiprinājumam un lēmumu pieņemšanai attīrīšanas pasākumu laikā (piemēram, par metodēm un optimālo momentu, lai pabeigtu operāciju) un apsektu apkārtējās vides atjaunošanas procesu.

Emulsiju slāņa un citu viskozo naftas veidu biezuma mērījums ir īpaši apgrūtināts tā ierobežotās izplatīšanās dēļ. Spēcīgu viļņu gadījumā tāpat var būt grūti vai neiespējami pamanīt naftas veidu ar zemāku peldspēju īpaši, ja tas ir pakļauts atmosfēras parādību ietekmei, un šādu naftu var gremdēt viļņi un ilgu laiku tā var atrasties pie pašas virsmas. Aukstā ūdenī daži naftas

veidi ar augstu sastingšanas temperatūru sacietē, veidojot neprognozējamas formas un šo peldošo formu veidi var maldināt attiecībā par izplūdušās naftas kopējo apjomu.

Izmantojot TGK ar lietderīgo slodzi un dažādiem sensoru veidiem, ļauj reālā laikā saņemt precīzu informāciju par dinamiskiem procesiem.

Izmaiņu novērtējumam tiek izmantotas izmaiņu novērtējuma trīs metodes, kuras ir saistītas savā starpā, izpildot monitoringa lidojuma plānu:

- datu salīdzināšana, kas saņemti pirms un pēc noplūdes;
- datu salīdzināšana no piesārņotajām un nepiesārņotajām (kontroļu) vietām;
- izmaiņu monitorings laika gaitā.

Sestā fāze ietver sevī atklāšanas kļūdas izslēgšanu. Kļūdu var izraisīt viltus attēli, kuru pamatā ir mākoņu ēnas, aukstā un siltā ūdens masu sajaukums, duļķains un silts ūdens, peldošas aļģes, smilšu sēkļi. Kļūdu pārbaudi veic, izmantojot tipveida algoritmu. TGK lidojuma uzdevumā tiek ietverts parauga ņemšanas algoritms. Parauga ņemšanas process un transportēšana notiek automātiskajā režīmā.

3.5. Monitoringa tehnoloģijas izstrāde, izmantojot TGK grupu

3.5.1. Monitoringa tehnoloģijas, izmantojot TGK grupu, uzdevuma risināšanas metožu analīze

Galvenais TGK grupas sistēmas uzdevums ir naftas noplūdes konstatēšana un novērošana, ņemot vērā parametru izmaiņas laika gaitā. TGK grupas misija ietver trīs scenārijus: ir zināmas naftas noplūdes koordinātes, TGK veic jūras akvatorijas monitoringu ar mērķi konstatēt naftas noplūdes, TGK veic naftas izplūdumu izplatīšanās monitoringu un mēra tādus parametrus kā naftas plankuma biezumu. Galvenā prasība – uzdevums ir jārisina reālā laika režīmā. Uzdevums var būt kā vairāki aģenti, kas kontrolē dažādu objektu misiju. Multiaģenti ir TGK ar lietderīgajām slodzēm naftas piesārņojumu konstatēšanai. Visiem TGK lietderīgajā slodzē ir redzamā un infrasarkanajai gaismai tuvā (VNIR) kamera, siltuma un multispektrālā kamera. Katrs aģents ir ierobežots ar sensoru raksturlīknēm, un tam ir jāizpilda noteiktu ceļu apakškopas monitorings. TGK grupas sistēmas ieviešana ļauj efektīvi plānot resursus jūras telpā un laika ierobežojumos. Ņemot vērā naftas izplūduma dināmiskās izmaiņas, šī pieeja situācijas tūlītēju izmaiņu gadījumā palīdzēs veikt jaunu lidojuma trajektorijas plānošanu.

Multiaģentu sistēmai ir priekšrocības, salīdzinot ar vienu TGK. Galvenā priekšrocība ir uzdevumu sadale starp grupas TGK. Lielas jūras akvatorijas platības monitoringa laikā viens TGK nespēj pildīt misiju sekojošo ierobežojumu dēļ:

- monitoringa zonā ir divi vai vairāki naftas izplūdumi;
- liela maršruta garuma dēļ lidojuma misija ir jāizpilda, izmantojot autopilotu;
- gadījumā, ja tiks iegūta informācija par naftas izplūdumu, TGK tiks nosūtīts monitoringa veikšanai tikai uz tām zonām, kuras aptver virszemes vadības stacija;
- naftas izplūduma kontroles misijas ilgums ir ierobežots ar TGK autonomitāti;
- viena TGK izmantošana ļauj realizēt tikai vienu monitoringa platformas tipu, kas padara par neiespējamu dažādu lietderīgu slodžu efektīvu izmantošanu. Piemēram, TGK platformas ar nekustīgiem spārniem nevar izmantot naftas paraugu ņemšanai [35].

Konkrēti, TGK grupas ir jākontrolē operatoriem-nespeciālistiem, kuru galvenais uzdevums ir novērošana nevis TGK kontrole [38]. Ņemot vērā statisku un dinamisku objektu kopas klātbūtni jūras akvatorijā, TGK grupa ir jāvada ar speciālās operētājsistēmas palīdzību. Turklāt, piemēram, tādā sistēmā kā „spiets” ar vairākiem TGK, monitoringu veicošo mobilo ierīču darbība ir jāorganizē, izmantojot standartizētus noteikumus. Naftas plankumu konstatēšanas misija, ko izpilda vairāki TGK, iekļauj lielu naftas izplūdumu aptvertu platību monitoringu. Vairāku aģentu vadības metode šajā gadījumā balstās uz vairāklīmeņu vadības sistēmu, kas sastāv vismaz no diviem līmeņiem: augsta un zema. Augsts līmenis saņem globālo informāciju un informāciju par statistiskiem un dinamiskiem objektiem no AIS. Tāda sistēmas arhitektūra ļauj kontrolēt grupas darbību monitoringa zonas teritorijā bez sakara ar aģentiem. Galvenā priekšrocība ir spēja noteikt TGK uzdevumu pirms tie atstāj sakaru ar virszemes staciju rajonu, un spēja izpildīt misijas uzdevumus informācijas par atsevišķu aģentu stāvokli neesamības apstākļos. Augstā līmenī var salīdzināt dažādus TGK darbības organizēšanas algoritmus un monitoringa veikšanai, pielietot novērtētu optimālu risinājumu. Turklāt šī arhitektūra var izmantot optimizācijas algoritmu novērošanas objektu apmeklēšanai, aprēķinot dinamiskā objekta stāvokli. Dinamiskās vides mērķi var attēlot kā punktus ar tādiem galvenajiem parametriem kā sākuma ātrums un kurss [34].

Augstā līmenī pēc visas ieejas informācijas analīzes vairāklīmeņu diagrammā tiks noteikta „spieta” forma un centra stāvoklis. Augsta līmeņa controllerim ir jāoptimizē „spieta” dinamika (proti, tā stāvoklis un ātrums), tā forma, izmērs un kustības raksturs attiecībā pret misijas mērķiem scenārijā, kura īpašība ir misijas operatora neesamība.

TGK vadība augstā līmenī ļauj veikt kontroli rajonos ar normāliem sakariem un apgabalos, kur sakari ar TGK var tikt pazaudēti. Šis arhitektūras tips nodrošina spēju mainīt monitoringa uzdevuma risinājumu katrā posmā ar mērķi optimizēt maršrutu. Šajā sistēmā TGK var efektīvi pildīt divu tipu uzdevumus: augsta līmeņa uzdevumus un monitoringa uzdevumus zemā līmenī.

Hierarhiskā lēmumu pieņemšanas loģika ir jāpielieto, lai nodrošinātu efektīvāku misijas pabeigšanu un ātru reaģēšanu uz misijas vai sistēmas izmaiņām.

Pastāv TGK grupas vadības metode, izmantojot informāciju par ieejas parametriem. Šis vadības sistēmas tips izmanto trīs informācijas līmeņu tipus: globālu, lokālu un TGK aģentu stāvokli [39]. Šīs metodes izmantošana izveido globālo līmeni, izmantojot visus iespējamus ieejas datus no ārējās sistēmas.

Viena no sistēmas arhitektūras koncepcijām iekļauj četrus vadības līmeņus [40]. Katrā līmenī nosaka atsevišķus vadības elementus: lēmuma pieņemšana, aģentu maršruta plānošana, katra novērošanas objekta novērošana un aģenta, kas izslēdzies no monitoringa sistēmas tehnisku problēmu dēļ, iespējama aizvietošana. Šīs sistēmas arhitektūras priekšrocība ir iespēja realizēt aizvietošanas principu, kad pastāv TGK pazaudēšanas risks. Ņemot vērā to, ka galvenais mērķis ir sistēmas maksas un vadības uzdevumu risināšanas laika samazināšana, kontroles sistēmai ir jāiekļauj trīs līmeņi: lēmuma pieņemšana, aģentu maršruta plānošana, katra interesējošā objekta novērošanas plānošana. Vairāku TGK vadībai ir jābūt „elastīgai”, lai nodrošinātu iespēju pārvietot mobilās virszemes stacijas. Ņemot vērā dinamisko vidi, ir jānodrošina iespēja realizēt globālajā līmenī tūlītēju reaģēšanu, pamatojoties uz esošo informāciju. Ārkārtīga piesārņojuma gadījumā ir ļoti svarīgi pielietot centralizēto vadību un noteikt uzdevumu, kas izmanto tikai sākotnējo informāciju. Šī tipa uzdevuma izpildes laikā tiks analizēta no aģentiem iegūtā informācija, un jaunas galvenais uzdevums tiks noteikts nākamajiem aģentiem. Kā piemērs – pēc informācijas par piesārņošanas gadījumu saņemšanas no atbildīgās organizācijas nozīmētajā apgabalā tiks nosūtīti divi vai vairāki TGK. Pēc sākotnējās novērošanas izpildes centralizētās sistēmas operators augstā līmenī noteiks uzdevumu TGK, kas aprīkoti ar paraugu ņemšanas ierīcēm vai citu lietderīgu slodzi [35]. Augstāki automatizācijas līmeņi prasa pareizu vadības stratēģiju pielietošanu, lai efektīvi samazinātu operatora slodzi, vienlaicīgi izvairoties no problēmām, kas saistītas ar automatizāciju, piemēram, novirze sistēmā, sarežģītība un samazināta informētība par situāciju [41].

Kontroles realizēšana augstā līmenī ļauj pēc vizuālās informācijas saņemšanas no aģenta mainīt rajonu un TGK grupas pozīciju.

Gravitācijas metodes pielietošana smaguma centra atrašanai tiks izmantota TGK pozīciju optimizēšanai. Tas ļaus organizēt zema līmeņa sakarus ar augstu līmeni, izmantojot atgriezenisko saiti. Visiem zema līmeņa moduļiem ir jābūt pieslēgtiem augstam līmenim ar komunikācijas iespēju. No TGK grupas iegūto novērošanas datu apstrāde dod iespēju pieņemt lēmumu augstā līmenī.

Naftas izplūdumu monitoringa misiju var attēlot augstā līmenī kā apgabalus ar augstu, vidēju un zemu naftas piesārņojuma līmeni.

Sistēmas efektivitātes uzlabošanai var tikt realizēts smaguma centra princips. Lielu jūras akvatorijas platību var sadalīt rajonos ar dažādu piesārņojuma risku. Monitoringa rajons parasti var iekļaut statiskus un dinamiskus objektus. Katram rajonam var aprēķināt smaguma centru. Pēc apakšrajonu gravitācijas centru noteikšanas augstā līmenī tiks aprēķināts monitoringa rajona gravitācijas centrs.

Tāda sistēmas struktūra ļauj vienkāršot zema līmeņa uzdevumus. Šie uzdevumi ietver tikai navigāciju uz objektiem, ko aprēķina speciālais augsta līmeņa sistēmas algoritms, kas paredzēts objekta aplidojuma trajektorijas noteikšanai un monitoringa sensoru izvēlei. Multi-TGK darbojas autonomi, kad sistēmas programmnodrošinājums spēja veidot – un tam ir uzdots pieņemt svarīgus lēmumus reālā laika režīmā bez cilvēka piedalīšanās vai kontroles no tā puses [42].

Sadalīšana apakšuzdevumos ar ierobežotu mainīgo skaitu kā TGK grupas izmēra un formas samazināšanas metode uz „mazu” vadāmo aprēķina punktu matricu nodrošina efektīvākās vadības iespēju [43]. Augstā līmenī ir jābūt izstrādātai telpiskai videi, ko nosaka slēgta kontūra. Naftas izplūdumu konstatēšanai šī vide tiks izveidota, izmantojot speciālos algoritmus. Ņemot vērā misijas specifiku augstā līmenī pēc informācijas saņemšanas par piesārņojumu reālā laika režīmā, TGK grupā uzdevumu efektīvai izpildei var tikt sadalīti apakšgrupās. Šajā gadījumā informācija no viena TGK sensora tiks nodota citiem grupas locekļiem. Naftas izplūdumu izplatīšanās modelis ļauj nosūtīt TGK informāciju navigācijai uz uzdoto pozīciju. Šī pozīcija tiks aprēķināta, pamatojoties uz varbūtību pieeju un pēc informācijas saņemšanas no TGK sensoriem tiks koriģēta. Šī stratēģija ļauj paaugstināt TGK grupas efektivitāti. Augstā līmenī no TGK sensoriem saņemtā informācija tiks izmantota naftas izplatīšanās modeļa pārrēķinam. Pozīcija, kas iegūta no pārrēķinātā naftas izplatības modeļa uz ūdens virsmas, tiks nosūtīta uz norādīto TGK grupu. Augstā līmenī tiks aprēķināta katra TGK lidojuma maksa, kas balstās uz iegūto informāciju. TGK lidojuma maksa var būt novērošanas trajektorijas garums. Augstā līmenī pēc naftas izplatīšanās modeļa pārrēķina, izmantojot speciālos novērošanas algoritmus, tiks aprēķināta objekta novērošanas lidojuma trajektorija. Šī vadības stratēģija augstā līmenī sniedz iespēju naftas plankuma robežas monitoringam uz ūdens virsmas reālā laika režīmā.

Pēc naftas piesārņojuma incidentu analīzes jūras akvatorijai ir jāizstrādā vadības cikls vairākiem TGK, kas ir augsta līmeņa daudzpakāpju cikls, ko realizē vairākos posmos.

Pirmais posms ir reaģēšana uz incidentu, kas saistīts ar naftas piesārņojumu. Augstā līmenī sistēma reālā laika režīmā saņem informāciju no TGK aģentiem, satelītu attālas zondēšanas

sistēmām, informāciju par kuģiem monitoringa rajonā. Naftas plankums ir avārijas notikums. Sistēmas arhitektūra ļauj nodrošināt notikumu diskrešu vadību.

Otrais posms ir dinamiskā plānošana. Šajā posmā augstā līmenī tiek izpildīta uzdevumu formulēšana un pārplānojumi.

Trešais posms ir uzdevumu un vadības stāvokļu saskaņošana un pārskatīšana reālā laika režīmā. Šajā posmā notiek savlaicīga uzdevumu pārdalīšana. Tas nozīmē, ka, saņemot ieejas informāciju par naftas plankumu, TKG grupa, kas patrulē monitoringa rajonus ar zemu piesārņojuma riska līmeni, var tikt novirzīta uz rajoniem, kas ir tuvākie naftas izplūdamam.

Ceturtais posms ietver pašu monitoringu un uzdevumu izpildes kontroli.

Naftas piesārņojuma monitoringa misijas plānošanas uzdevums ir ļoti sarežģīts, jo ir atkarīgs no daudziem ārējiem faktoriem. Daži ārējie faktori nevar tikt iegūti reālā laika režīmā. Plānošanas veiksmīgai izpildei augstā līmenī ir nepieciešama iespēja veikt centralizēto vadību. Centralizētā kontrole ļauj izpildīt korigējošas darbības. Nestandarta situācijās augstā līmenī var tikt pielietotas manuālas plānošanas vai darbību korekcijas. Naftas piesārņojuma monitoringam ir nepieciešama lēmumu atbalsta sistēma. Lēmumu atbalsta sistēma ļauj plānošanas laikā kontrolēt dažādus plānus, izmantojot reālajā laikā iegūto informāciju.

Mērķu sadalīšanas un misijas plānošanas uzdevumam katram TKG ir daudzi risinājumi. Galvenie parametri risinājumam ir: objektu sadalīšana TKG starpā, monitoringa objektu lidojuma plāns vienam TKG, objektu monitoringa veikšanas laiks. Sakarā ar šo galvenais optimizācijas kritērijs ir objektu monitoringa veikšanas laiks.

Dinamiski mainīgai sistēmai, piemēram, lielajam jūras akvatorijas rajonam ar daudziem kuģiem, var izmantot dinamiskās programmēšanas principu un uzdevuma sadalīšanu uz apakškopas, lai samazinātu risinājuma laiku.

Pirmais posms ir objektu sadalīšana vairāku TKG starpā. Šī posma mērķis ir TKG maršrutu, kam ir minimālais laiks starp grafa sākuma un beigu punktiem, kopas izveidošana, ņemot vērā, ka eksistē TKG grupa.

Otrais posms ir optimālā objektu novērošanas maršruta izveidošana katram TKG. Šo uzdevumu var attēlot kā grafu, kur virsotnes ir objekti, šķautnes ir lidojuma maksa un lidojuma laiks. Šo uzdevumu var atrisināt, izmantojot dinamiskās programmēšanas metodi un zaru un robežu metodi.

Trešais posms ir objekta tipa noteikšana, monitoringa lidojuma trajektorijas un iespējamās papildu trajektorijas pielietošana tipiskiem objektiem, ja tas nepieciešams.

Pirmo posmu var attēlot kā TGK grupas darbības noteiktas objektu matricas monitoringa laikā. Sistēma iekļauj n TGK, $n > 1$, un vadības sistēmu. Mērķu matricu var attēlot kā objektu kopu, izmantojot ģeogrāfiskās koordinātes. Uzdevumu var formulēt kā punktu skaitu no vairākiem N punktiem, kas nodrošina minimālo lidojuma laiku katram TGK:

$$T = \min_i \sum_{m=1}^m T_i, \quad (3.31)$$

kur T – laiks.

Šajā posmā ir jāizveido objektu matrica ar lidojuma laika maksu. Jūras akvatorija ir attēlota kā apgabals ar objektiem. Turklāt objekti, kam izmanto tipiskus algoritmus, iedalās četrās galvenajās grupās:

- *punktveida orientētie objekti* – tiek aprakstīti ar objekta centra ģeogrāfiskajām vai Dekarta koordinātēm. Tie ir objekti, kuru izmērs nepārsniedz kameras redzamības diapazonu novērošanas lidojuma augstumā;
- *lineārie objekti* ir iegareni objekti, aplidojot kurus, TGK pārvietojas pa vienu un to pašu ceļu, iekrīt kameras redzamības diapazonā un tiek raksturoti ar pagrieziena punktus savienojošo līniju koordinātēm;
- *virsmas objekti* ir objekti, kas ir ierobežoti ar poligonu. To uzņemšana tiek veikta vairākas reizes. Tos raksturo poligons, kas aptver novērošanas objektu (apgabals, kur tiek veikts ūdens piesārņojumu monitorings), un virsotņu koordinātes;
- *virsmas objekti ar dināmiskām raksturlīknēm* (naftas izplūdumi).

Pēc objektu matricas izveidošanas TGK grupa ir jāsadala atsevišķos TGK.

Augstā līmenī vairāku TGK maršrutu plānošana ir jāizpilda katrai objektu grupai. Dinamiskās vides mērķi var attēlot kā punktu ar tādiem galvenajiem parametriem kā sākuma ātrums un kurss. Mērķus iedala četrās grupās ar ātrumu $V=0$, $0 < V < 14$, $14 < V < 23$ un $23 < V$ (mezglos) [34]. Objekti ar ātrumu $V=0$ ir statiskie objekti. Statiskajiem objektiem galvenais uzdevums ir objekta apmeklēšana novērošanai vai parauga ņemšanai. Objekti ar ātrumu $V > 0$ ir dinamiskie objekti. Šo pieeju izmanto tad, kad meklēšanas apgabalu sadala šūnās, un algoritms koordinē aģenta meklēšanas uzdevumus, pamatojoties uz meklēšanas apgabala šūnu novērtēšanu [44].

Šim algoritmam ir noteikti trūkumi. Plašai meklēšanai ir nepieciešams TGK skaits N , kas vienāds ar šūnu skaitu L . Šajā gadījumā kustīgu mērķu meklēšanas izpildes laiks ir lielāks, nekā izmantojot algoritmu ar zināmiem mērķa kustības parametriem. Algoritms šiem mērķu tipiem iekļauj monitoringa mērķi ar zināmiem kustības parametriem. Lai attēlotu kustīgu objektu (kuģi),

izmanto traversa peldēšanas metodi. Šī metode ļauj aprēķināt objekta stāvokli, kā arī kursu un attālumu līdz nākamajam punktam. Šajā gadījumā jūras mērķa attālumu līdz sākuma punktam aprēķina pēc sekojošās formulas: $D = V \times t$, kur V ir kuģa ātrums mezglos, t ir laiks [34]. Telpiskiem objektiem ar dinamiskām raksturlīknēm kustības ātrumu un vektoru var aprēķināt, izmantojot ārējos faktorus – tādus, kā vējš, viļņu augstums un tecējums. Monitoringa misijas laikā nelegālu un avārijas naftas izplūdumu konstatēšanai uzdevumu var formulēt kā mērķa ar nezināmām ģeogrāfiskajām koordinātēm vai varbūtēju atrašanās vietu meklēšanu.

Pastāv arī pieeja, kā būtība ir monitoringa apgabala sadalīšana koordinātu tīkla šūnās un multiāģenta nozīmēšana katrai šūnai. Galvenais šīs metodes trūkums ir ilgs meklēšanas laiks, izmantojot centralizēto vadības režīmu. Labākos rezultātus ar samazinātu TGK meklēšanas laiku sniedz varbūtību pieeja, saskaņā ar kuru objekta pastāvēšanu aprēķina, ņemot vērā to, ka iepriekšējās varbūtības šai šūnai ir slikti zināmas [45]. Meklēšanas sektoru skaits tiks noteikts ar sadalīšanas funkcijas palīdzību. Šai pieejai arī ir trūkums – zema precizitāte. Ekoloģiskajām misijām nepieciešami augstas kvalitātes dati izstrādāto programmu izpildei. Pastāv metodes naftas izplūduma robežas atsekošanai, izmantojot modeļu prognozējošo kontroli un universālo interpolēšanu. Universālā interpolēšana ir interpolācijas metode, kas cieši saistīta ar regresijas analīzi [46].

Pastāv arī TGK, kas izpilda daudzus uzdevumus pilsētas vidē, grupas decentralizētās kopīgās vadības metode [47]. Šajā algoritmā katrs aģents izmanto savu redzesloku un analizē šo informāciju, salīdzinot ar datiem, kas iegūti no blakus esošiem aģentiem. Pēc informācijas apstrādes tiek izveidots aģenta lidojuma lauks nākamā objekta meklēšanai. Šis algoritms prasa izmantot aģentu, kas aprīkots ar informācijas un retranslācijas ierīcēm, kas samazina sakaru drošumu. Decentralizētajam algoritmam, liela daudzuma ārējās informācijas dēļ, nepieciešams vairāk laika, lai aprēķinātu monitoringa lidojuma plānu.

Šī metode prasa būtiskus skaitļošanas sistēmas resursus un nevar tikt izmantota zemā vadības sistēmas līmenī.

Tādējādi, gadījumiem, kad naftas izplūdumu konstatēšanai tiek izmantota multiāģentu sistēma, šajā darbā tika izstrādāts speciālais algoritms (sk. 3.3.2. p.).

3.5.2. Monitoringa tehnoloģijas izstrāde, izmantojot TGK grupu.

Vairāku TGK naftas izplūdumu konstatēšanas darbības var attēlot ar mainīgajiem C_i – TGK koordinātēm plaknē, naftas izplūduma robežas punkta stāvokli O_{ii} . Ņemot vērā, ka tīra ūdens un naftas izplūduma robežas noteikšana sastāv no diskrētiem notikumiem augstā sistēmas līmenī,

TGK i ir jāizveido vadošais risinājums U_{ii} . Optimālās vadības (risinājuma) atrašanas procedūra balstās uz rekurentās attiecības $f_{n-1}(S_l) = optimum[R_{l+1}(S_l, U_{l+1}) + f_{n-(l+1)}(S_{l+1})]$, $l = \overline{0, n-1}$ analīzes, kur risinājums $U_l = (u_l^1, \dots, u_l^m)$ ir izvēlēts 1. solī; $S_l = (s_l^1, \dots, s_l^m)$ ir sistēmas stāvoklis 1. pakāpē; Rl ir tiešais 1. stadijā sasniegtais efekts; f_{n-1} ir $n - 1$ soļiem sasniegtā efekta optimālā vērtība; n ir soļu (posmu) skaits [34]. S_{ii} ir diskrētais notikums, brīdis, kad TGK i konstatēja naftas izplūduma robežas punktu. Vadošais risinājums, kas ir atrasts augstā līmenī, ir TGK trajektorijas aktuālais nākamais ceļa punkts zemā līmenī.

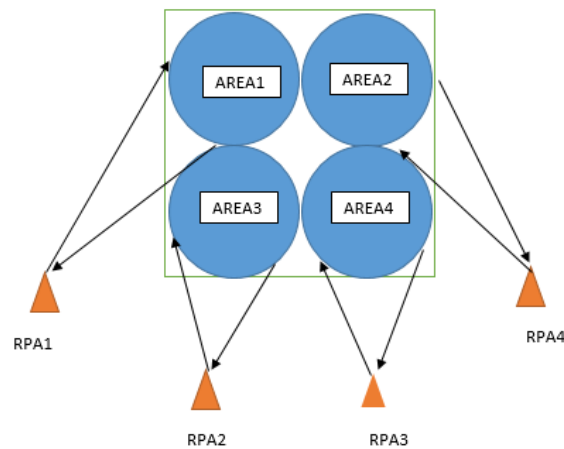
Noteiktos laika intervālos sistēmas augstā līmenī tiek ģenerēta komanda, kas ņem vērā jauna naftas plankuma robežas punkta atrašanas varbūtību. Tas ir nepieciešams, jo naftas izplūdums, izplatoties uz virsmas, parasti sadala naftas plankumus mazākās daļās.

Risinājumu atrod, ņemot vērā novērojamo plankuma robežas punktu matricu un reālo konstatēšanas punktu S_{ti} . Risinājums U_{ti} vienam TGK, kas tiek pieņemts augstā līmenī, ir atkarīgs no ārējās informācijas. Kad informācija tika iegūta no satelītu monitoringa sistēmas vai no aprēķinātā matemātiskā modeļa, TGK vektors tiks virzīts no TGK pašreizējām koordinātēm līdz varbūtējai S_{ti} atrašanās vietai. Pēc pirmā naftas izplūduma robežas punkta konstatēšanas TGK sāk ievākt informāciju par tekošo konstatēto punktu S_{ii} . Galvenais TGK vadības princips ir modelis vektoru formā $\dot{x} = f(x, u, t)$, kur $t \in [t_0, t_k]$, un $x(t_0) = x_0$. Šajā vienādojumā $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ir TGK stāvokļa vektors (koordināšu vektors), $u = (u_1, u_2, \dots, u_m)$ ir vadošais vektors, $f = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ ir to argumentu vektoriālā funkcija, $[t_0, t_k]$ ir laika intervāls, kurā tiek izpildīts TGK lidojums [34]. Šajā posmā vadošā komanda ir atkarīga no konstatētām naftas plankuma robežas punkta koordinātēm.

Avārijas situācijā ir jānosaka naftas izplūduma robežas koordinātes. Tā ir ļoti svarīga informācija par naftas izplūdumu likvidēšanu un maksimāli efektīvu resursu izmantošanu attīrīšanai. Robeža tiks noteikta, izmantojot tīra ūdens un naftas plankuma kritēriju. Naftas plankuma konstatēšana tiks veikta zemā līmenī ar TGK kontrolleri. Šim mērķim tiks izmantots algoritms katra tipa sensoram, kas uzstādīts lietderīgajā slodzē. Tas ir nepieciešams naftas plankuma īpašību dēļ, precīzie rezultāti tiks iegūti, izmantojot noderīgu slodzi ar integrētiem sensoriem. Sensora datu apstrādes laikā algoritms padod signālu „jā” tīra ūdens gadījumā vai signālu „nē” gadījumā, kad ūdens ir piesārņots. Saņemot signālu „jā”, TGK sāk paplašinātu kvadrāta meklēšanu. Šīs meklēšanas laikā attālumu starp meklēšanas līnijām nosaka sensoru redzamības diapazons. Paplašinātas meklēšanas trajektorija tiks pabeigta, kad konstatēšanas signāls „jā” tiks saņemts vairāk nekā 100 m līnijas garumā. Pēc tam TGK tiks novirzīts, izmantojot algoritmu, citā stāvoklī aiz pārbaudītā kvadrāta kontūras. Kustības virziens jaunajā TGK pozīcijā

būs uz līnijas, kur reģistrētu signālu maina signāls no “jā” līdz “nē”. Šajā gadījumā TKG grupa izpilda statisko objektu robežas meklēšanas uzdevumu. Gadījumā, ja tiek izmantota centralizētā pieeja, aģents (dispečers) noteiks uzdevumu kā rajonu novērošanu, kas ir atkarīgs no TKG skaita. Sākumposmā smaguma centrs atradīsies konstatēšanas punktā. Informācijas saņemšanas laikā no TKG smaguma centrs tiks pārrēķināts. Šajā algoritmā, kad TKG atradīs naftas plankuma robežas kontūras punktus, to koordinātes varēs izmantot iespējamam naftas plankuma izplatības aprēķinam.

Monitoringa apgabalu var attēlot kā virsmas platību, kas iekļauj visus iespējamu mērķu tipus. Lai uzdevuma izpildei ir paredzēta TKG grupa, kas aprīkota ar devējiem un atrodas punktos ar ģeogrāfiskajām koordinātēm, kur R ir TKG kopa $R = \sum_{i=1} R_i$, ko var izmantot monitoringa laikā (3.17. att.).



3.17. att. TKG grupas sistēma, lai veiktu naftas izplūduma konstatēšanu.

Monitoringa objektu aplidošanas maršruta optimizēšanas uzdevuma atrisināšanai, izmantojot optimizācijas kritērijus, laiku analizē, izmantojot divas dažādas metodes. Šī problēma, kas saistīta ar jūras monitoringu, ir jārisina reālā laika režīmā. Šajā gadījumā visi interesējošie objekti tiks attēloti matricā ar dinamiskajiem un statiskajiem objektiem. Šajā matricā tādu dinamisko objektu kā naftas izplūdums, koordinātes tiks aprēķinātas reālajā laikā [34]. Sistēmas augstā līmenī notiek objektu sadalījuma problēmas risināšana starp TKG. Tas ir objektu norīkošanas uzdevums TKG kopai. Šo problēmu var atrisināt, izmantojot centralizēto vadību augstā līmenī. Jūras akvatorijas rajonā ir daudzi objekti, kuriem nepieciešams naftas piesārņojuma monitorings. Sistēmas resursu un atrisināšanas laika minimizēšanai rajons tiks sadalīts apakšrajonos. Katram apakšrajonam tiks aprēķināts objektu gravitācijas centrs. Tāda pieeja augstā līmenī ļauj attēlot objektu apmeklēšanas uzdevumu kā grafu.

Šo problēmu var attēlot kā divas grafa daļas. Vienu grafa daļu attēlo TGK kopa. Otrā grafa daļa ir apakšrajonu kopa $S = \{0, 1, \dots, n\}$. Katram apakšrajonam ir svars W_k , $k=0, n$. Apakšrajonu svaru attēlo visu rajonā esošo objektu tipu apmeklēšanas laika maksa. Laika vērtība tiks aprēķināta kā laiks, kad visi objekti tiek apmeklēti no apakšrajonu smaguma centra, un visu objektu monitoringam nepieciešamais laiks. Šķautnes svara noteikšanai izmanto sekojošo formulu [34]:

$$w_{ij} = t_{flightij} + t_{surveillance}, \quad (3.32)$$

kur $t_{flightij}$ ir lidojuma no iepriekšējā objekta laiks un $t_{surveillance}$ ir objekta novērošanas misijas ilgums [34].

TGK un apakšrajonus savienošo šķautņu kopa tiks izmantota risinājuma atrašanai augstā līmenī.

Efektivitātes uzlabošanai un laika minimizēšanai vairāku TGK maršrutizācijas risinājumam augstā līmenī šī darba ietvaros ir izstrādāti speciāli algoritmi. Monitoringa veidus iedala piecās kategorijās: naftas piesārņojuma sākotnējā meklēšana, punktveida objektu monitorings, lineāro objektu monitorings, telpisko objektu monitorings, dinamisko telpisko objektu monitorings. Šiem naftas piesārņojuma monitoringa tipiem tika izveidota datubāze ar trajektoriju un uzdevuma izpildes laiku. TGK maršruta plāns būs atkarīgs no uzdotajiem uzdevumiem, objekta meklēšanas metodes un mobilitātes, izmēra, redzamības un izvietojšanās blīvuma rajonā [3].

Algoritma realizācijas ieejā pieņem sekojošo informāciju: lidojuma augstums, sensoru redzesloks, lidojuma ātrums, pagrieziena rādiuss, vēja virziens un objekta koordinātes. Nākamajā posmā nosaka novērošanas zonas platumu un lidojuma trajektoriju, ņemot vērā objekta tipu. Atsevišķu jūras rajonu detalizētai apskatīšanai monitoringa rajonā izmanto taisnus paralēlus maršrutus [3]. Pēc TGK orientēšanas pret vēju un atbilstošas trajektorijas izvēles izpilda objekta monitoringa maršruta pagrieziena punktu aprēķinu. Šajā noslēguma posmā aprēķina maršruta garumu un, ņemot vērā TGK vidējo ātrumu, nosaka uzdevuma izpildes laika maksu. Telpisko statisko un dinamisko objektu monitoringam tika izstrādāts algoritms, kas iekļauj monitoringa kvalitātes novērtēšanas kritērijus. Uz algoritma ieeju nosūta sekojošo informāciju: lidojuma augstuma diapazons atkarībā no TGK platformas tipa, lietderīgās slodzes tips, lietderīgās slodzes parametri, pagrieziena rādiuss, TGK autonomitāte. Algoritms saņem informāciju par telpiskā objekta veidu (statiskais vai dinamiskais). Nākamajā posmā nosaka novērošanas parametrus: lidojuma augstums, sensoru redzesloks, pagrieziena rādiuss. Nākamajā posmā aptuveni aprēķina telpiskā objekta platību. Pēc tam objektu sadala nelielos gabalos. Tāda metode dod iespēju novērot tādus objektus kā naftas izplūdumi ar nestandarta perimetru. Pēc objekta formas analīzes no

datubāzes tiks izvēlēta optimālā trajektorija. Pēc tam tiks noteikta lidojuma kvalitātes funkcija monitoringa laikā. Programmnodrošinājums pārbaudīs lidojuma ciklu, izmantojot nepārtrauktus funkcijas intervālus, pēc tam tiks pārbaudīti lokālie minimumi. Lidojuma trajektorijas garumu objektam noteiks kvalitātes kritērijs. Uzdotā uzdevuma izpildei, kad lietderīgās slodzes sensori pārslēdzas novērošanai, tiek ņemti vērā ārējie faktori, turklāt lidojuma ātrumu aprēķiniem pieņem par pastāvīgu. Īsākā trajektorija, ņemot vērā lidojuma ātrumu, atbilst īsākajam misijas izpildes laikam. Kā lidojuma kvalitātes kritēriju statistiskajiem un dinamiskajiem objektiem izmanto kvadrātu pārklāšanos. Šo kritēriju var noteikt pēc lidojuma, kad pārklāšanos salīdzina ar objekta kvadrātu. Kvadrāts pārklājumiem ietver divas taisnas trajektorijas un trajektorijas pagriezienu. Kvadrātu, kas pārklājas uz taisnām trajektorijām, aprēķina pēc formulas:

$$\sum_{i=1}^n h_i 2x, \quad (3.33)$$

kur h ir lidojuma augstums;

x ir sensora redzesloks;

n ir taisnu gabalu skaits.

Izstrādātā metode ļauj atrisināt problēmu, izmantojot ārējo informāciju, kas ir iegūta, neizmantojot TGK lietderīgo slodzi. Regulārie monitoringa uzdevumi sadarbībā ar satelītu monitoringa sistēmu iekļauj jūras ūdeņu novērošanu pie krasta termināliem, ostu zonās, kuģu kustības maršrutu novērošanu, kas balstās uz automātiskās identifikācijas sistēmas (AIS) informācijas (sevišķi tankkuģu) analīzi, iecirkņu monitoringu, kur varētu būt nelegāls piesārņojums [3].

Katram apakšrajonam nozīmē vienu TGK. Optimālā risinājuma atrašanai izmanto uzdevuma, ko izpilda vairāki TGK, laika minimizēšanas kritērijus. Vairāku TGK izpildāmo lidojumu svaru summēšana $w = \sum_0^m w_{ij}$ ir jāminimizē, izmantojot mērķfunkciju. Sistēmas arhitektūra ļauj naftas izplūduma konstatēšanas gadījumā pārrēķināt jaunus datu matricas parametrus un mainīt vadošo risinājumu. Šāda pieeja ļauj organizēt sistēmas dekompozīciju līmeņos un dod iespēju minimizēt iespējamo naftas piesārņojuma monitoringa risinājumu kopu.

Pirmā pieeja ir optimālā maršruta meklēšana, izmantojot Deikstras algoritmu grafā. Ņemot vērā, ka parasti šo algoritmu izmanto vienam aģentam, objektiem ir jābūt sadalītiem TGK starpā. To ir paredzēts izpildīt ar operatora, kurš sadalīs telpiskos rajonus apakšrajonos, palīdzību. Apakšrajonā objekti tiks attēloti kā slēgts grafs. Daudzas nekustīgu objektu aplidošanas maršruta problēmas var izskatīt kā komivojažiera problēmu (TSP), kas gadu desmitiem tika novērtētas pēc

daudziem kritērijiem, un risinājums tika izstrādāts kā integrēta lineārā programmēšana [48]. Lineārās programmēšanas metodes var tikt realizētas tikai nelielam statisko objektu skaitam [34]. Šim algoritmam ir liela precizitāte, bet īsākā maršruta atrašanai nepieciešams daudz laika. Robotu un tālvadības gaisa kuģu maršrutizācijai var izmantot heuristiskos algoritmus.

Grafu teorijā risinājumu var atrast, izmantojot risinājumu koku. Grafs G ir koks. Grafa virsotnes ir risinājumu koka mezgli. Risinājumu koks iekļauj iekšējos mezglus un ārējos mezglus (lapas). Iekšējais mezgls ir risinājuma mezgls ar diviem vai vairākiem zariem, kur tiks pieņemts lēmums, kurš nākamais koka mezgls tiks apmeklēts. Šis lēmums tiek pieņemts, izmantojot lēmuma pieņemšanas funkciju. Ārējiem mezgliem nav zaru, un tie apraksta ieejas datu vai risinājumu klasifikāciju. Risinājums sākas saknes mezglā, jo tam nav ieejas šķautņi. Šajā mezglā tiek aprēķināta risinājuma funkcija. Lēmuma pieņemšanas funkciju TGK monitoringa misijai var attēlot kā lidojuma laiku maršrutā, šo lielumu fiksē nākamajā mezglā. Piemēram, ja telpiskajā rajonā ir objektu kopa N , risinājumu kokam ir N ārējie mezgli. Galvenais uzdevums ir risinājuma meklēšana – kā sadalīt koku paralēlās apakškopās. Atrādot risinājumu, tiks izpildīta stāvokļa klasificēšana. Šis algoritms analizē, kurā mezglā sākas, kurš mezgls seko, un kad tiek atrasts noslēguma mezgls. Šādas pieejas priekšrocība ir klasificēšana bez daudziem aprēķiniem. Risinājumu koku var attēlot kā noslēgto grafu. Galvenā pieeja optimālā risinājuma atrašanai mezglu starpā ir problēmas atrisināšana, izmantojot Deikstras algoritmu, kurš ietver vairākas heuristikas transportlīdzekļa novirzīšanai beigu stāvoklī un palīdz novērst nevajadzīgus aprēķinus, izslēdzot nevajadzīgu stāvokļa analīzi [34]. Algoritms ir saistīts ar heuristiskām metodēm. Heuristiskās elementu izvēles metodēs atrisināšanai ieteicams izmantot dažus dabīgās atlases noteikumus. Šā algoritma laiks ir vienāds:

$$\theta(E) = \theta(V^2), \quad (3.34)$$

kur V ir grafa virsotņu skaits.

Šo algoritmu var realizēt tikai vienam TGK kā grupas daļai, jo tas ir determinēts. Lielu aprēķinu laiku izraisa nepieciešamība apmeklēt katru mezglu, lai atrastu optimālo maršrutu. Izpildīto aprēķinu rezultāti parāda, ka koka algoritmam ir ļoti zema precizitāte virsotņu skaitam, kas ir lielāks par pieciem [34]. Šo algoritmu var izmantot multiāģentu sistēmā ar nosacījumu, ka pastāv noteiktas monitoringa objektu kopas, bet katram TGK ir vienmērīgi sadalīta objektu apakškopa. Šis nosacījums var tikt realizēts, izmantojot centralizētā monitoringa sistēmu.

Otrā pieeja ir multiāģentu sistēmas izmantošana ar aģentu decentralizēto kontroli. Parasti sistēmas arhitektūra ir tāda pati, kā biogēnajā sistēmā, piemēram, „spietā” un citās. Galvenā priekšrocība ir atsevišķu TGK darbības autonomija, struktūrvienību apmācības iespēja un

kolektīvās komunikācijas sistēma. „Skudru kolonijas” algoritms ir viena no veiksmīgākajām metodēm, ko izmanto „spieta” intelektam [49]. „Skudru kolonijas” algoritma galvenā priekšrocība ir feromonu aktivitātes kritērijs. Biogēnajā kolonijas sistēmā skudras, atgriežoties uz koloniju, atzīmē pēdas ar feromoniem. Feromona galvenā īpašība ir iztvaikošana laika gaitā. Tas nozīmē, ka skudru algoritmu var izmantot matricai ar objektiem, kur ir attēlots visu objektu apmeklēšanas laiks. Biogēnajā skudru kolonijā skudru pārvietošanās tiek veikta netīšā veidā. Tas nozīmē, ka feromons ir varbūtības lielums, un precizitātei ir nepieciešama TGK kustība ilgstošu laiku.

Pozitīva atgriezeniskā saite – liels feromona daudzums nodrošina optimālu īsu maršrutu. Negatīva atgriezeniskā saite šajā algoritmā motivē TGK atrast jaunus risinājumus ar īsāku garumu. Spieta robotu tehnika balstās uz sociālo kukaiņu metaforu un uzsver tādus aspektus, kā decentralizētā kontrole, ierobežotie sakari starp aģentiem, lokālā informācija, globālās uzvedības rašanās un izturība [50]. Ir ierobežojums, ka pirms rezultātu pielietošanas tiks izveidots matemātiskais modelis, kas ir jātestē ar noteiktu eksperimentu skaitu. Skudru algoritmu TGK var attēlot kā TGK kopu R:

$$R_m = \{R_1, \dots, R_m\}, \quad (3.35)$$

kur m ir TGK skaits.

TGK mērķis ir atrast optimālo maršrutu. Šis mērķis ir skudru, kuras ceļo pa dažādiem maršrutiem dažādos virzienos, uzvedības matemātiskā modelēšana ar mērķi atrast optimālo maršrutu. Šim mērķim izmanto mērķu matricas attēlošanu kā grafu G (V, E). Atrisināšanai ir jānosaka feromona uz maršruta lielums. Maršruts ir attēlots kā grafa šķautnes, kas saista grafa virsotnes. Tiek ņemts vērā, ka TGK, kas pārvietojas pa grafa šķautni E, atstāja noteiktu feromonu. Šis feromons ir saistīts ar izvēles optimālumu. Feromons, kas palika uz šķautnes ij, iztvaiko laika gaitā. Feromona izmaiņas laikā t kā likumsakarību var attēlot ar formulu:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t) \quad (3.36)$$

kur:

$$\tau_{ij} = \sum_{R=1}^m \Delta\tau_{ij}^R(t) \quad (3.37)$$

kur R ir katrs TGK; m ir TGK skaits katrā iterācijā; $\rho \in (0,1]$ ir feromona iztvaikošanas koeficients, ko nosaka TGK darbības aktivitāte.

TGK pārlidojuma no virsotnes i līdz virsotnei j varbūtību var attēlot ar formulu:

$$P_{ij}(t) = \frac{\tau_{ij}(t)^\lambda \left(\frac{1}{t_{ij}}\right)^\beta}{\sum \tau_{ij}(t)^\lambda \left(\frac{1}{t_{ij}}\right)^\beta} \quad (3.38)$$

kur τ_{ij} ir feromona līmenis; λ un β ir konstantes, kas nosaka risinājuma meklēšanas tipu, λ ir objekta izvēle ar minimālām laika izmaksām, β ir risinājums ar feromona līmeni; t_{ij} ir laika maksa starp virsotnēm i un j .

Laika maksa starp virsotnēm t_{ij} ir proporcionāla feromona daudzumam uz šķautnes, tas nozīmē, ka minimālā laika maksa būs šķautnei ar maksimālo feromonu daudzumu. Diemžēl, izmantojot tikai pozitīvu atgriezenisko saiti, pamatojoties uz maksimālo feromonu daudzumu, iegūtajā rezultātā TKG transportēšanas organizēšana tiks veikta tikai vietējā optimālajā maršrutā. Šo trūkumu var novērst, izmantojot atgriezenisko saiti – feromona iztvaikošanu. Feromona iztvaikošanas laiks var tikt noteikts eksperimentāli un tā uzlabo optimālā risinājuma kvalitāti. Galvenā priekšrocība ir labākā risinājuma meklēšana ar lielu skaitu eksperimentu ar optimāluma kritēriju τ . Šī īpašība padara algoritmu par labāko lielām dināmiskajām objektu matricām. Galvenā problēma ir tā, ka risinājuma atrašanai ir nepieciešama augsta sistēmas resursu ietilpība. No otras puses šī pieeja dod iespēju atrast racionālu risinājumu.

3.5.3. Monitoringa tehnoloģijas algoritma efektivitātes novērtējums

Risinājumu koka algoritma un „skudru” algoritma novērtējums parāda, ka tos var realizēt sistēmai ar vairākiem TKG. Ņemot vērā, ka naftas izplūduma dinamiku apraksta matemātiskais modelis ar pastāvīgi mainīgām koordinātēm, efektīvu monitoringa misiju var efektīvi izpildīt TKG $n>1$. Risinājumu koka algoritmu var izmantot tikai vienam TKG. Tam sākumā ir jāuzbūvē centralizētā sistēma, kurā rajoni ir sadalīti apakšrajonos vienam TKG. Šā algoritma realizēšanai tika izstrādāta augsta līmeņa sistēma ar diviem sadales līmeņiem. „Skudru” algoritmu var izmantot decentralizētajā sistēmā ar laika izmaksu matricu, kas ietver lielu skaitu objektu. Izskatīto algoritmu efektivitātes novērtēšanai tika veikta SVID analīze (Tabulas 3.2. un 3.3.)

3.2.tabula

RISINĀJUMU KOKA ALGORITMA SVID ANALĪZE

Stiprās puses	Augsta risinājuma precizitāte
Vājās puses	<ul style="list-style-type: none"> • Objektu skaits $n<20$ • Nepieciešams liels sistēmas atmiņas apjoms • Liels aprēķināšanas laiks • Var tikt pielietots tikai vienam TKG
Iespējas	<ul style="list-style-type: none"> • Izmantošana sistēmā ar centralizēto vadību, kurā rajons tiek sadalīts apakšrajonos vienam TKG
Draudi	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoringa misija vienīgā TKG avārijas gadījumā var netikt izpildīta

SVID analīze rāda, ka risinājumu koka algoritmam ir priekšrocības objektu skaitam, kas mazāks par 20.

3.3.tabula

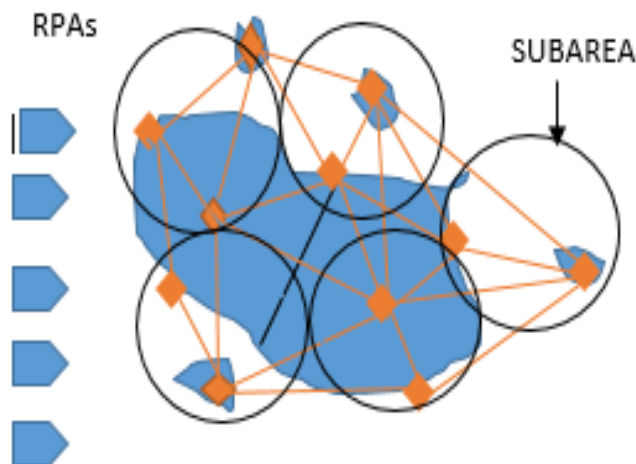
SKUDRU KOLONIJAS ALGORITMA SVID ANALĪZE

Stiprās puses	<ul style="list-style-type: none"> • Izmantošana matricām ar lielu skaitu objektu • Iespēja atrast optimālo risinājumu, mainot TGK skaitu vai konstantes
Vājās puses	<ul style="list-style-type: none"> • Risinājums balstā uz varbūtību pieeju • Zema precizitāte • Stipra atkarība no konstantēm, ko nosaka eksperimentu skaits
Iespējas	<ul style="list-style-type: none"> • Izmantošana decentralizētajā sistēmā, izmantojot regulējamo negatīvu feromona atgriezenisko saiti
Draudi	<ul style="list-style-type: none"> • Iegūtais risinājums tikai ar lokālu optimālo maršrutu • Liels aprēķināšanas laiks mezglu skaitam, kas lielāks par 100

SVID analīze rāda, ka skudru kolonijas algoritmam ir vairāk priekšrocību, nekā risinājumu koka algoritmam, objektu skaitam, kas lielāks par 20.

Veikto analīžu rezultāti parāda, ka daudzlīmeņu vadības sistēmai, lai iegūtu optimālo risinājumu ar minimālo aprēķināšanas laiku, abi algoritmi ir jāintegrē. Ņemot vērā naftas piesārņojuma monitoringa misijas specifiku, TGK grupas vadības sistēmā ir jāizmanto centralizētā un decentralizētā sistēma. Tas nozīmē, ka dažos gadījumos sistēma var darboties bez operatora. Dažos gadījumos var izmantot atgriezenisko saiti ar dispečeru.

Tātad efektīvākais risinājums ir šajā darbā piedāvātā kompleksā pieeja efektīva monitoringa uzdevuma atrisināšanai, izmantojot TGK grupu. Šajā gadījumā naftas izplūdumu konstatēšanas misiju, izmantojot vairākus TGK, var ieplānot, izmantojot gan risinājumu koka algoritmu, gan skudru kolonijas algoritmu (3.18. att.).



3.18. att. Kompleksa pieeja naftas izplūdumu konstatēšanai.

Naftas konstatēšanas misijas praktiskai realizēšanai ir nepieciešams optimālais risinājums uzdotajā varbūtības intervālā. Šis ierobežojums ļauj atrisināt problēmu ar reģentiem bez sarežģītas programmnodrošinājuma resursu izmantošanas. Sākotnējo ieejas datu formulēšanai algoritmam tiek ņemts vērā, ka TGK grupveida lidojumā lido ar vidējo ātrumu un ir saistīti ar objektiem ar taisnām līnijām. Tāds misijas attēlojums ir tipisks statistiskā tipa objektiem. Naftas piesārņojumu konstatēšanas misijas izpildes laikā daži objekti kustās (piemēram, kuģi).

Lai noteiktu šķērsosšanās ar kustīgu objektu punktu, izmanto sekojošas funkcijas: funkciju, kas nosaka objekta pārvietošanās vienā no punktiem uz taisnes, gar kuru objekts pārvietojas, laiku; funkciju, kas nosaka TGK kustību līdz minētajam punktam [34]. Tāda misijas uzdevuma uzdošana vadības sistēmas augstā līmenī ļauj neizmantojot imitācijas modeli aģentiem un objektiem. Šāda pieeja ļauj vienkāršot taisņu garuma un TGK lidojuma laika aprēķinu. Kompleksās pieejas algoritmam augstā līmenī ir jāaprēķina laika maksas matrica visiem objektiem. Šī matrica tiks izmantota gan centralizētajam algoritmam, gan skudru kolonijas algoritmam. Objektu sadalīšana TGK grupas starpā ir jāveic, izmantojot abus algoritmus. Galvenais ierobežojuma kritērijs TGK sadalīšanai augstā līmenī ir objektu skaits n . Abu algoritmu pielietošana daudzlīmeņu sistēmā ļauj kombinēt efektu augstā līmenī. Ņemot vērā objektu matricas lielo izmēru, pēc objektu analīzes un matricas izmēra samazināšanas dinamiskajā sistēmā atrod risinājumu, izmantojot heuristisko algoritmu vienam TGK.

Centralizētā sistēma, kad vadības centrs sadala uzdevumus katram TGK, var būt efektīva, ja TGK autonomitāte netiek izmantota optimāli. Ņemot vērā risinājumu koka algoritma augstu precizitāti, to var izmantot objektu skaitam $n < 20$, vai rajonu sadala apakšrajonos, kur objektu skaits ir $n < 20$. Naftas izplūduma dinamiskās izmaiņas var tikt aprēķinātas saskaņā ar piedāvāto modeli.

Attiecībā uz naftas izplūdumu monitoringu un atklāšanu dažādiem autonomiem aģentiem ir daudz risinājumu. Augstā līmenī tiks izveidots naftas piesārņojumu konstatēšanas maršruts TGK grupai. Šī informācija tiks nosūtīta grupai, kas iekļauj m TGK. Optimālo risinājumu var iegūt ar algoritma, kurā izmanto risinājumu koka un „skudru kolonijas” algoritmus, palīdzību. Šajā algoritmā ir realizēti divi scenāriji. Pirmajā scenārijā monitoringa objektu sadali aprēķina, atrisinot laika maksas dinamiskās matricas objektu grafu. Šajā scenārijā monitoringa objektu kopu var sadalīt apakškopās. Katrai apakškopai augstā līmenī tiks aprēķināts objektu gravitācijas centrs. Šajā apakškopā objekti tiks savienoti ar taisnām līnijām. Šāds attēlojums ļauj zemā līmenī, izmantojot slēgto grafu G, atrast optimālo maršrutu vienam TGK. Monitoringa misijas uzdevumu var attēlot kā visu grafa G mezglu (V, E) apmeklēšanas procesu, sākot ar sākuma punktu un atgriežoties sākuma punktā [34]. „Spieta” uzvedības izstrādei ir jāparedz matemātiskais modelis gan atsevišķiem aģentiem, gan visam spietam.

Otrajā scenārijā laika izmaksu dinamiskās matricas objektu sadalīšanai TGK starpā izmanto „skudru kolonijas” algoritmu. Šajā algoritmā var tikt pielietots ierobežojums feromona iztvaikošanai. Šajā pieejā feromonu skaits ir atkarīgs no TGK skaita, kas izmanto tiešo grafa līniju. Nelielā laika intervālā var ņemt vērā feromona iztvaikošanu. Šis parametrs dod iespēju augstā līmenī reālajā laikā realizēt jaunu pārrēķinātu matricu, ja situācija mainīsies. Abos scenārijos iegūtie risinājumi tiks salīdzināti. Salīdzināšanai tiks izmantots sarežģītības kritērijs. Sarežģītības kritēriju var attēlot kā 2. scenārija rezultātus, kas dalīti ar 1. scenārija rezultātiem. Ja sarežģītības kritērijs > 1 , pēc 1. scenārija iegūtais risinājums tiks izmantots kā optimālie maršruti TGK grupai.

Šī pieeja ļauj izmantot abu algoritmu stiprus parametrus un izslēgt vājus parametrus. Iespēja pārslēgties no viena algoritma uz otro ļauj iegūt risinājumu atbilstoši misijas uzdevuma izmēriem un minimizēt problēmu.

4.BEZPILOTA LIDOJOŠĀS PLATFORMAS IZSTRĀDE JŪRAS AKVATORIJAS NAFTAS PIESĀRŅOJUMA MONITORINGAM

4.1. Monitoringa uzdevumu un prasību formulējums bezpilota platformai

4.1.1. Monitoringa uzdevumu formulējums

Pēdējā laikā Eiropas Savienības valstīs un pasaulē atzīmē pastāvīgu tālvadības gaisa kuģu izmantošanas pieaugumu. TGK ir vieglas, nedārgas aviācijas platformas, kas tiek vadītas no zemes, kas var nest derīgo slodzi ar uzņemšanas iekārtām vai sensorus. TGK piedāvā ekologiem daudzsoļu ceļu uz drošu, savlaicīgu un ekonomiski efektīvu apkārtējās vides parādību monitoringu telpas un laika izšķirtspējā [37]. Tos izmanto, lai risinātu plašu klāstu uzdevumu, kas saistīti ar ekoloģisko monitoringu, informācijas novērtēšanu, operatīvo uzņemšanu. Noteikto uzdevumu risināšanā visvairāk izmanto maza izmēra TGK un TGK ar darbības rādiusu līdz 1000 km (4.1. tabula).

4.1. tabula

TGK klasifikācija

Klase	Svars	Darbības rādiuss	Derīgā slodze	Darbības ilgums
Mikro	< 5 kg	< 10 km	1 kg	1 stunda
Mini	< 20 kg	<100 km	< 5.8 kg	<20 stundas
Vidēja diapazons	<150 kg	<200 km	< 40 kg	<24 stundas

Ar monitoringu saistīto uzdevumu izpildē visvairāk izmanto lidmašīnu tipa TGK. Helikopteru tipa TGK nodrošina iespēju ņemt paraugus, vertikālo pacelšanos un nosēšanos. Ņemot vērā jaunās tehnoloģijas, kas ļauj samazināt enerģiju, helikopteru tipa TGK ir virkne priekšrocību, salīdzinot ar lidmašīnu tipa TGK.

Risinot akvatorijas piesārņojuma monitoringa uzdevumus, TGK ir būtiskas priekšrocības, salīdzinot ar satelītu sistēmām, lielo aviāciju un jūras kuģiem:

- samazinātas prasības apkalpojošā personāla apmācībai un skaitam;
- iespēja izveidot pilnīgi automatizētus kompleksus;
- mobilitātes paaugstināšana uz izmēra un svara raksturlielumu rēķina;
- iespēja bāzēties gar piekrastes līniju uz jūras kuģiem un ostās pie novērošanas objektiem;
- pastāvīgas novērošanas nodrošināšana 24 stundas diennaktī un tūlītēja reaģēšana;
- iespēja pacelties bez prasībām, ko ierobežo pacelšanās un nosēšanās noteikumi;

- iespēja izmantot augstumā līdz 100 m, kas ir drošs pilotējamo gaisa kuģu lidojumiem.

Monitoringam var izmantot mikro vai mini TGK, kas aprīkoti ar frontālo un sānu videokameru un termokameru, digitālajām kamerām, kas veic lidojumu uzdotajā trajektorijā uzdotajā rajonā 10–15 km attālumā no vadības virszemes stacijas krastā, naftas platformas vai uz kuģa [3].

TGK var tikt aprīkots ar šādām monitoringa ierīcēm (borta derīgo slodzi) naftas izplūdumu monitoringam: optiskā diapazona kameras, infrasarkanā diapazona kameras (siltumvizori), hiperspektrālie redzamā diapazona sensori, kombinētā diapazona (optiskā un infrasarkanā diapazona) kameras, optiskie fotoaparāti, radioraidītāji. Tādējādi, lai veiktu attālināto zondēšanu diapazonā, kas ir tuvs infrasarkanajam, var izmantot filmas, filtrus un kameras ar konstrukcijām, kas līdzīgas tām, kas paredzētas izmantošanai ar redzamu gaismu [3]. Viena no TGK galvenajām priekšrocībām ir iespēja integrēt citu naftas piesārņojuma attālās zondēšanas sistēmu rezultātus, izpildot lidojumus. Ikdienas novērošanas uzdevumi sadarbībā ar satelītu monitoringa sistēmu sastāv no piekrastes termināļu, jūras ūdeņu, ostu stāvvietu novērojumiem, kuģu (sevišķi tankkuģu) transporta ceļu novērošanas, pamatojoties uz automātiskās identifikācijas sistēmas (AIS) informācijas analīzes, kuģu maršrutu, kuros tiek veikta naftas nelegāla izmešana, inspekcijām [3]. Naftas avārijas noplūdes un tā likvidācijas gadījumā lidmašīnu un helikopteru tipa TGK saskaņā ar IMO (International Maritime Organization) prasībām var nodrošināt piesārņojuma raksturlīkņu monitoringu un analīzi 24 stundu laikā. Naftas plankuma izplatīšanas dinamiku un dreifu atseko, izmantojot TGK derīgās slodzes sensoru, un pārraida taktiskajam reaģēšanas koordinācijas centram [3]. TGK dodas uz kontroles zonu, izpilda telpas zonas vai objekta gaisa novērošanu, izmantojot plānu, ko sastāda operators. TGK lidojuma procesā šajā rajonā nosūta teritorijas un esošo objektu videoattēlus virszemes stacijām reālā laika režīmā. Parasti TGK nosūta telemetriju atpakaļ to virszemes stacijai reālā laika režīmā, izmantojot dažādus vides veidus augsta ātruma datu pārraidei [3].

Naftas piesārņojumu monitoringam ir nepieciešama nepārtraukta novērojumu veikšana laikā, vadoties no pārdomātās attālās zondēšanas līdzekļu sadalīšanas telpā. Monitoringa sistēmai ir jābūt attālai, sadalītai, ar daudziem sensoriem un automatizētai.

TGK izmantošana naftas piesārņojuma monitoringa organizēšanai jūras akvatorijā palīdzēs novērst esošo attālās zondēšanas instrumentu trūkumus, tostarp paaugstināt naftas piesārņojumu noteikšanas precizitāti automatizētās monitoringa sistēmās. Dažas par monitoringu atbildīgās organizācijas piedāvāja izmantot tālvadības lidmašīnu, lai nodrošinātu reaģēšanas personālam ekonomiskākus risinājumus [51]. Bet šobrīd nepastāv lētas komerciālas sistēmas, kas spēj

nodrošināt ticamu attālo zondēšanu ar augstu naftas piesārņojumu konstatēšanas jūtīgumu. TGK lietderīgās slodzes pielietošana, izmantojot dažādus sensoru tipus, būtiski paaugstinās izmēramo piesārņojuma parametru ticamību un precizitāti. Automātiskā sistēma, izmantojot TGK, nodrošinās sekojošo uzdevumu atrisināšanu:

- lielu jūras akvatoriju platību monitorings;
- nepārtraukta jūras akvatorijas ekoloģiskā monitoringa nodrošināšana;
- naftas plankuma izplatīšanās monitorings dinamikā;
- paraugu ņemšana, izmantojot piesārņojuma identifikācijai speciāli projektēto TGK;
- piesārņojuma produkta tipa noteikšana;
- kuģu naftas piesārņojuma pierādījumu identificēšana un apkopošana;
- operatīvās informācijas nodrošināšana atbildīgajiem dienestiem avārijas gadījumā, kas izraisījusi naftas piesārņojumu.

4.1.2. Prasības bezpilota lidojošas platformas izveidei

Izvēloties TGK jūras misijām, ir jāņem vērā sekojošie principi: ticamība, atbilstība jūras novērošanas prasībām, vadības vienkāršums un visbeidzot – cena [52].

Izstrādājot prasības TGK kompleksa sastāvā, tika ņemti vērā sekojošie galvenie parametri, kas nepieciešami jūras akvatorijas naftas piesārņojuma monitoringa misijas veikšanai jūras akvatorijā.

1. *TGK lidošanas ātrums un tālums*, ņemot vērā plašu monitoringa diapazonu. Monitoringa izpildes nodrošināšanai TGK ātrumam ir jābūt diapazonā no 0 km/h līdz 180 km/h. Saskaņā ar HELCOM statistisko datu analīzi, lielākais skaits avāriju un nesankcionēto naftas noplūžu notiek piekrastes tuvumā. Izmantojot TGK ar darbības rādiusu 95 km, tiek atrisināta monitoringa problēma. Turklāt, izmantojot TGK, kuriem ir iespēja pacelties no kuģiem, papildus palielina to operatīvo mobilitāti [3].
2. *Iespēja veikt monitoringu relatīvi neatkarīgi no laika un apkārtējās vides apstākļiem*. Vēja ātrums vai jūras viļņošanās nedrīkst būtiski ietekmēt naftas piesārņojuma konstatēšanu, TGK ir jābūt iespējai veikt monitoringa misiju ar vēja ātrumu līdz 15 m/s lietūs un miglas apstākļos [3]. TGK ir jābūt aprīkotam ar iekārtām, kas ir noturīgas pret agresīvas vides, kas ir sāļš jūras ūdens, iedarbību.

3. TGK iekārtām ir jānodrošina iespēja ņemt paraugus no ūdens virsmas lidojuma režīmā. Lai nodrošinātu piesārņojuma dinamikas kontroli, ir jānosaka naftas plēves biezums un jākontrolē tās izmaiņas laika gaitā.
4. *Iespēja nodot informāciju par monitoringa rezultātiem reālā laika (on-line) režīmā.* Komunikācijas sistēmai ir jānodrošina iespēja nolasīt naftas plankuma izplatīšanās dinamikas novērošanas datus reālā laika režīmā. Turklāt datu pārraides kanāli tiek pakļauti dažādu traucējumu iedarbībai. Attiecīgi ir svarīgi noteikt datu pārraides kanālu konfigurāciju un vadību, lai pastiprinātu spēju nepakļauties traucējumu iedarbībai [53].

Izstrādātā attālās vadības kompleksa sastāvā ietilpst 2 tipu TGK – helikoptera un lidmašīnas tips, – kas ir aprīkoti ar monitoringa veikšanas un paraugu ņemšanas ierīcēm.

Izmantojot divu tipu TGK ar to unikālajām iespējām un raksturlielām ūdens kvalitātes un naftas piesārņojuma monitoringam, ļaus vienlaicīgi veikt lielākas platības rajonu monitoringu, kā arī, ja nepieciešams, nodrošināt paraugu ņemšanu piesārņojuma zonā. Lidmašīnas tipa („fixed-wing”) TGK ir aprīkots ar daudzfunkciju lietderīgās slodzes sistēmu, kas orientēta uz maksimālo komplektēšanu ar novērošanas, analīzes un datu pārraides līdzekļiem jebkādos apstākļos un jebkādā situācijā. TGK noderīgās slodzes sistēma, lai iegūtu visprecīzāko informāciju par ūdens piesārņojuma pakāpi, ļauj vienlaikus izmantot VNIR videokameru, siltuma kameru un hiperpektrālo vai daudzspektrālo kameru. Šī tipa TGK ir orientēts uz ilgstošu operēšanu un lielu monitoringa platību. TGK ir aprīkots ar unikālu drošības sistēmu lidojumiem virs zemes un ūdens virsmas ar pasīvu un aktīvu aizsardzību, ja rodas avārijas situācijas. Helikoptera tipa TGK ir vairākrotoru platforma ar iespēju vertikāli pacelties un nolaisties un ilgstoši karāties, saglabājot uzdoto pozīciju. Šīs platformas tips ļauj attiekties no darbietilpīgām un neefektīvām piesārņojuma monitoringa metodēm, izmantojot mobilās paraugu ņemšanas stacijas un kuterus. Speciālais algoritms ļauj izmantot platformu naftas un bakterioloģiskā piesārņojuma monitoringam un paraugu ņemšanai no ūdens virsmas. Ārkārtas situācijā, ko izraisa naftas izplūdums, platforma tiek izmantota naftas plankuma izplatīšanās dinamikas novērošanai reālā laika režīmā un paraugu ņemšanai no ūdens virsmas, izmantojot speciālo konteineru, kas ļauj noteikt naftas plēves biezumu.

4.2. Bezpilota platformas komponentu funkcionālās iespējas un tehniskās raksturlielnes

Katra konkrēta TGK izmantošana naftas piesārņojuma monitoringam, ņemot vērā ārējos faktorus, prasa dažādas lietderīgās slodzes kombinācijas. Viena no galvenajām problēmām ir tā, ka

TGK jau ir projektēts, ņemot vērā vispārinātas prasības. Rezultātā aparātūras, kam bija jānodrošina problēmas atrisināšana ar augstu konstatēšanas varbūtību, atlase ir grūts uzdevums.

Atrisinot problēmu, nepieciešams TGK izstrādes stadijā noteikt lietderīgās slodzes svaru vairākfunkciju lietošanai. Šajā gadījumā efektīvs problēmas risinājums ir atsevišķa lietderīgās slodzes moduļa izveidošana. Modulim ir jānodrošina iespēja uzstādīt nepieciešamo aparāturu un sensorus saskaņā ar TGK tehnisko specifikāciju. Sensori modulī ir jāuzstāda, ņemot vērā specifiskās monitoringa misijas prasības. Lietderīgajai slodzei, kas tiek nostiprināta uz TGK korpusa, ir jānodrošina elastība, izmantojot dažādu tipu sensorus, laika minimizēšana, sagatavojoties misijai [3].

Specifiskās videonovērošanas prasības ir optiskā izšķirtspēja, precizitāte un spektra josla.

Redzamajā diapazonā optika strādā tajā pašā spektrālajā diapazonā kā cilvēka acs. Daži fotouztvērēji ir noskaņoti uz dažādiem viļņa garumiem redzamā spektra ietvaros krāsu attēla iegūšanai. Šis diapazons ir ērts, veicot ūdens virsmas sākotnējo novērošanu. Videokameras, kas atšķir pamatkrāsas, izmantošana ļauj veikt piesārņojuma dokumentālo apstiprināšanu. Monitoringam, izmantojot lidmašīnas, Bonnas vienošanās paredz metodoloģiju, kura izmanto 5 krāsas kodus, kas liecina par naftas piesārņojuma esamību. Tā kā pašas naftas krāsa, kā arī optiskie efekti, ir atkarīgi no meteoroloģiskajiem apstākļiem, augstuma, novērošanas leņķa un jūras ūdens krāsas, attēlu nevar tīri raksturot no redzamās krāsas viedokļa. Lai novērstu šo problēmu, tika izstrādāta sistēma ar koda „attēlu”, izmantojot terminus, kas nav atkarīgi no konkrētiem krāsu nosaukumiem. Lietderīgā slodze iekļauj attiecīgu sistēmu ar elektrooptisko telekameru, dati no kuras tiek pārraidīti uz vadības staciju. Tāda lietderīgā slodze ir viegli projektējama kopējās masas ietvaros līdz 5 kg [3]. Redzamā diapazona sensori nevar normāli strādāt nakts laikā, jo tie balstās uz saules gaismas atstarošanas spēju. Lai novērstu problēmu, izmantojot nakts laikā, lietderīgo slodzi var papildināt ar prožektoru. Redzamā diapazona sensorus var izmantot mērķu konstatēšanai un dokumentēšanai tikai nelielā attālumā, jo nav metožu, kas nodrošina naftas izplūdumu konstatēšanu lielā attālumā. Turklāt redzamā diapazona sensori ir plaši pieejami un var tikt viegli uzstādīti uz TGK. Videokamerām ir zemāka izšķirtspēja, nekā fotokamerām, bet tās joprojām tiek plaši izmantotas naftas izplūdumu attāļajai zondēšanai. Attāļajā zondēšanā tuvajā infrasarkanajā starojumā var izmantot filmas, filtrus un kameras ar konstrukcijām, kas ir līdzīgas izmantošanai ar redzamo gaismu paredzētām ierīcēm [54].

Redzamo, ultravioleto un multispektrālo sensoru izmantošana naftas piesārņojuma monitoringam sākotnējai novērtēšanai tika veikta SVID analīze (4.2. tab.). Galvenais SVID analīzes mērķis bija novērtēt iespējas uzlabot RPA lietderīgo slodzi..

Redzamo, ultravioleto un multispektrālo sensoru izmantošana naftas piesārņojuma monitoringam

SVID analīze

Stiprās puses	Var atcelt viltus trauksmi, izmantojot dažādas spektra joslas Ekspluatācija dažādos apkārtējās vides apstākļos Var konstatēt maza biezuma naftas plēves
Vājās puses	Viltus trauksmes, ko izraisa vēja plankumi, saules stari, biogēnās plēves
Iespējas	Iespēja apstrādāt uz borta, izmantojot satelītu sakaru sistēmu Detalizētāka datu analīze tiek veikta uz zemes, izmantojot datus no atmiņas ierīces. Energijas ekonomijai dati tiek ierakstīti atmiņas ierīcē noteiktās koordinātēs
Draudi	Ierobežoti ar laika apstākļiem piezemes vējš > 15 m/s viļņa augstums > 2 m

Hiperspektrālie attēla sensori izmanto plašu klāstu caurlaides joslu redzamajā spektrā, lai nodrošinātu kvalitatīvu datu komplektu un konstatētu interesējošus objektus labāk nekā vienas joslas attēla sensors. Hiperspektrālais attēls ir attālās zondēšanas daļa, kurā attēlu spektrometrs savāc simtiem attēlu dažādos viļņa garumos vienai un tai pašai telpas zonai (Gonsales, S., Sančess, 2013). Hiperspektrālie attēli ir ārkārtīgi sarežģīti un prasa jaunus apstrādes algoritmus, lai atbilstu reālā laika prasībām tādos pielietojumos kā naftas izplūdumu un ķīmiskā piesārņojuma karšu sastādīšana. Hiperspektrālo sensoru projektēšana nodrošina elastīgus un iestatāmus parametrus spektrālo joslu skaitam un izšķirtspējai spektra redzamajā un infrasarkanajā daļā. SVID analīzes rezultāti ir sniegti 4.3. tab.

Hiperspektrālo sensoru izmantošanas SVID analīze naftas piesārņojuma monitoringam

Stiprās puses	Var atcelt viltus trauksmi Var konstatēt visus ogļūdeņražu tipus Var aptuveni noteikt naftas plēves biezumu Iespēja aptuveni noteikt 3 galvenos naftas produktu tipus
Vājās puses	Ierobežojumi saules apgaismojumā Izmantošanai nepieciešams specializētais datu analīzes programmnodrošinājums Augsta cena
Iespējas	Iespēja eksperimentēt, izveidojot datu bāzi datu apstrādes laika minimizēšanai Lietderīgās slodzes ar siltuma un hiperspektrālo sensoru izmantošana aptuvenai naftas kārtas biezuma noteikšanai Detalizētāka datu analīze tiek izpildīta uz zemes, izmantojot datus no atmiņas ierīces Energijas ekonomijai dati tiek ierakstīti atmiņas ierīcēs noteiktās koordinātēs
Draudi	Neizdodas konstatēt gaišus naftas produktus Ierobežoti ar laika apstākļiem piezemes vējš > 15 m/s viļņa augstums > 3,5 m

Optiski bieza naftas kārtā absorbē saules starojumu un atkārtoti izstaro šī starojuma daļu siltumenerģijas veidā, galvenokārt diapazonā no 8 līdz 14 μm . TGK lietderīgajā slodzē ir uzstādīta infrasarkanā kamera. Infrasarkanā kamera nevar konstatēt mirgošanu uz virsmas, bet nosaka plānas plēves temperatūru. Kontrasts var likties aukstāks nekā apkārtējais ūdens dienā un naktī, jo naftas vielām ir zemāka izstarošanas spēja nekā ūdenim. Biezumi, kuros notiek šīs pārejas, ir slikti izpētīti, bet dati liecina par to, ka pāreja starp karsto un auksto kārtu ir no 50 līdz 150 μm , bet minimālā konstatējamā kārtā ir no 10 līdz 70 μm [55]. Plānākas plēves parasti absorbē saules siltumu un attiecīgi augšējā naftas kārtā ir siltāka nekā ūdens saulainas dienas garumā. Ja naftas plēve ir ļoti plāna, tā atrodas siltuma līdzsvarā ar apkārtējo ūdeni, un temperatūra būs vienāda. Pēc saulrieta tās atgriežas augstāka starojuma situācijā nekā ūdens, jo to īpašības ir atšķirīgas. Diennakts monitoringam tumšajā laikā, kad tiek izmantota multispektrālā kamera VNIR, eļļas plēves ar biezumu virs 0,1 mm biezuma mērīšanai kamera netiek izmantota.

TGK lietderīgās slodzes sensoru SVID analīze 4.2. un 4.3. tabulā parāda, ka ir jāizstrādā integrētā lietderīgā slodze. Analīzes laikā tika noteikts, ka konstatēšanas uzlabošanai un viltus trauksmes novēršanai ir jāattīsta noteikšanas metodes. SVID analīze noteica, ka tikai viens sensors nevar sniegt informāciju, ko pieprasa naftas izplūdumu monitoringa programma.

Izstrādājot integrēto lietderīgo slodzi, tika formulētas sekojošas prasības:

iespēja izmantot vairākus sensorus, lai novērstu viltus trauksmes;

pagarināt novērošanas laiku līdz 24 stundām (dienā un naktī);

savākt naftas paraugus, izmantojot speciālu ierīci.

Pētījuma gaitā tika izstrādāta paraugu savākšanas metode un ierīce. Noteikšanas metode naftas piesārņojuma klātbūtnei jūras akvatorijas rajonā ietver parauga ņemšanu no jūras virsmas, parauga sagatavošanu transportēšanai un piegādei norādītajā vietā, izmantojot TGK. TGK izmantošanas optimizēšanai naftas piesārņojuma monitoringa misijas izpildes laikā tika izstrādāta integrētā lietderīgā slodze ar multispektrālajiem, siltuma sensoriem un paraugu ņemšanas ierīci. Šai lietderīgajai slodzei tika veikta SVID analīze (4.4. tab.).

Integrētās lietderīgās slodzes ar multispektrālo sensoru un termokameru un paraugu ņemšanas ierīces izmantošanas naftas piesārņojuma monitoringam SVID analīze

Stiprās puses	Viltus trauksmes atcelšana ar 100 % varbūtību Iespēja konstatēt visus naftas produktu veidus Paraugšs tiks transportēts konteinerā, un analīzes tiks veiktas laboratorijā Naftas plēves un naftas biezuma noteikšana uz ūdens virsmas
Vājās puses	Rezultāti ir jāapstiprina laboratorijas analīzei
Iespējas	Lietderīgās slodzes izmantošana ar hiperspektrālo sensoru multispektrālā sensora vietā konstatēšanas rezultātu uzlabošanai
Draudi	Ierobežo laika apstākļi piezemes vējš > 18 m/s viļņa augstums > 4 m

SVID analīze parāda, ka integrētajai lietderīgajai slodzei ir vairāk priekšrocību nekā vienam sensoram. Apdraud šo izmantošanas veidu tikai ļoti slikti laika apstākļi.

4.3. Ūdens provju ņemšanas no tālvadības gaisa kuģa borta ierīču un tehnoloģijas izstrāde

4.3.1 Provju ņemšanas galveno uzdevumu noteikšana, veicot naftas piesārņojuma monitoringu ar TGK palīdzību

Nacionālās vides aizsardzības likumdošana ietver prasības naftas piesārņojumu kontroles un to seku likvidācijas programmu izveidošanai. Galvenais mērķis ir esošā naftas izplūduma novērošana, lai noteiktu vides piesārņojuma avotu un ietekmi uz jūras vidi. Informācija par naftas produktu tipu ir ļoti svarīga, lai pieņemtu lēmumu par cilvēkam un dabai bīstamu naftas izplūdumu likvidācijas stratēģiju. Naftas izplatīšanās pa ūdens virsmu tiek prognozēta, izmantojot daudzus ārējos faktorus. Atbildīgajai organizācijai arī ir jāprecizē naftas plankuma izplatīšanās prognozes, izmantojot vizuālos novērojumus. Parasti ar attālās zondēšanas palīdzību konstatētais piesārņojums ir jāpārbauda, ņemot proves, izmantojot kuģus un kuterus. Viena no kompleksā monitoringa pieejām ir piesārņojuma platības noteikšana, izmantojot attālo zondēšanu. Informācija par naftas piesārņojumu, ko iegūst, izmantojot attālās zondēšanas tehnoloģijas, nav pietiekama kvalitatīvam monitoringam. Naftas piesārņojuma gadījumā ir nepieciešams, saskaņā ar starptautiskajām prasībām, veikt laboratorijas analīzes, lai noskaidrotu vainīgo kuģi vai piesārņojuma objektu. Veicot laboratorijas pētījumus, var noteikt starpību starp naftas produktu veidiem un izplūdušā

naftas produkta sakaru ar avotu. Atkarībā no analīzes tipa ir nepieciešams minimizēt ūdens provju piegādes laikus laboratorijā. Ideālajā gadījumā ir jāizveido infrastruktūra, kas ļauj nosūtīt visas ūdens proves uz centrālo vai reģionālo laboratoriju dažu stundu laikā pēc provju ņemšanas [56].

Viens no svarīgākajiem monitoringa uzdevumiem ir ticamas, objektīvas un nepieciešamas informācijas iegūšana piesārņojuma rakstura noteikšanai un tā likvidācijai. Piesārņojošo vielu parādīšanās ūdenī naftas plankumu veidā notiek tikai pēc nokrišņiem vai avārijas noplūdēm īsā laika posmā. Šos gadījumus var atsekot ar ūdens provju ņēmēju palīdzību. Tāpēc ātrs ūdens kvalitātes novērtējums ir nepieciešams, lai noteiktu piesārņojuma avotus un uzlabotu ūdens kvalitātes kontroli.

Naftas piesārņojums ir gadījuma parādība un šajā sakarā, izveidojot provju ņemšanas programmu, ir jāņem vērā ārējie faktori. Galvenais ārējais faktors ir ūdens cirkulācija piesārņojuma rajonā. Informāciju par ūdens cirkulāciju var iegūt, izmantojot okeanogrāfijas boju datus un naftas plankuma robežas kustības monitoringa rezultātus reālā laika režīmā.

Lai veiktu efektīvo monitoringu, ir nepieciešams izstrādāt teorētiski pamatotu un praktiski realizējamu metodoloģiju, kas ļauj risināt sekojošus uzdevumus:

- provju sākotnējā ņemšana un katras proves parametru reģistrācija;
- provju sekundārā ņemšana naftas plankuma robežas precizēšanai un paplašinātu laboratorijas analīžu veikšanai.

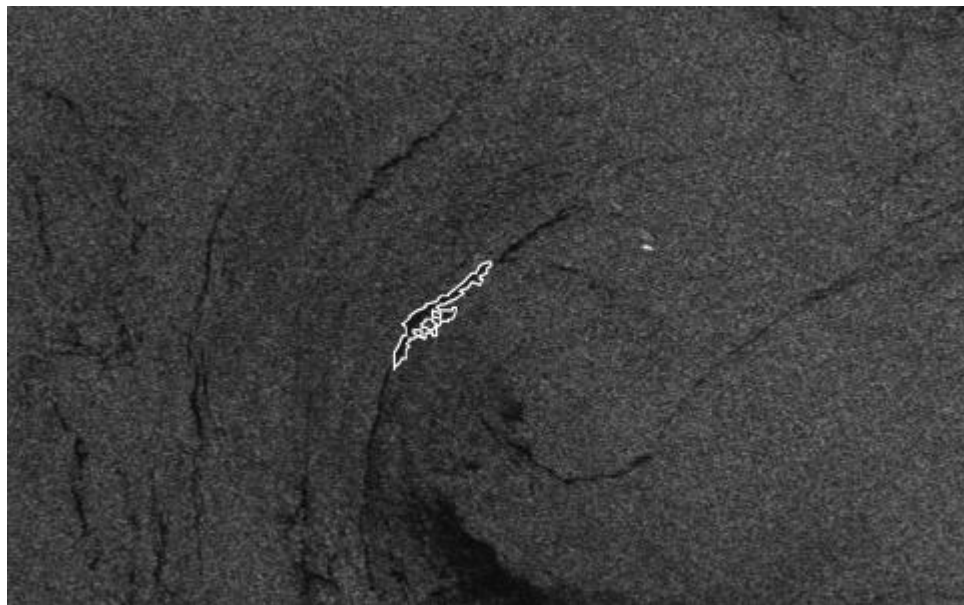
Metodoloģijas pielietošana praksē ļaus atbildīgajām organizācijām nodrošināt naftas piesārņojuma kontroli un operatīvu likvidāciju.

4.3.2. Naftas piesārņojuma monitoringa ar attālo zondēšanas līdzekļu izmantošanu programmu trūkumu analīze

Izpildot naftas noplūdes monitoringa programmu, ir nepieciešams veikt novērojumus jebkurā laika brīdī. Attiecīgi naftas piesārņojuma konstatēšanas ierīcēm TGK lietderīgajā slodzē ir jābūt atkarīgām no laika apstākļiem, piemēram, lietus un miglas. Vēja ātrums vai jūras viļņošanās arī nedrīkst ietekmēt naftas piesārņojuma konstatēšanu. Nopietna problēma ir naftas piesārņojuma viltus konstatēšana blakus sēkļiem un krasta līnijai. Galvenais attālās zondēšanas sensoru trūkums ir tas, ka tie nenodrošina monitoringu sliktos laika apstākļos, dienā un naktī.

Jūras aļģu klātbūtne ir ļoti izplatīta parādība Vidusjūrā un Baltijas jūrā no maija līdz septembrim, un daži no attēliem var būt līdzīgi naftas piesārņojumam. Attēlā 4.1. ir parādīts

neprecīza, ar satelīta palīdzību iegūtā, attēla noteikšanas piemērs, kur attēla daļa aļģu ziedēšanas dēļ var tikt identificēta kā naftas izplūdums.



4.1. att. No satelīta iegūtais uzņēmums, kas ir kļūdaini identificēts kā naftas izplūdums (parādīts ar gaiši baltas kontūras līniju) [10].

Monitorings ar kosmiskajiem attālās zondēšanas līdzekļiem izmanto tikai novērojamo parametru metodiku.

Galvenais esošo programmu trūkums ir neiespējamība iegūt informāciju reālā laika režīmā. Šī informācija ir galvenais faktors naftas piesārņojuma programmas izstrādes procesā.

Efektīvas monitoringa programmas izveidošanai, izmantojot matemātisko modeli, ir nepieciešams noteikt naftas plankuma biezumu noteiktā laikā. Naftas plēves biezuma mērīšanai ir svarīga nozīme, lai izveidotu naftas noplūdes dinamiskās izplatīšanās modeli. Tomēr ar vienkārši naftas noplūdes relatīvā biezuma konstatēšanu un attēlošanu nepietiek naftas monitoringam, ja to veic kompleksā ar likvidācijas un piesārņošanas programmu. Naftas plēves biezuma mērīšana uz ūdens virsmas var nodrošināt informāciju par naftas daudzumu un, ja noplūdes virsmas platība ir zināma, pamatojoties uz šo informāciju, aprēķināt kopējo naftas tilpumu. Ķīmisko vielu un noturēšanas sistēmas pielietošanas gadījumā tās ir jāizmanto uz naftas plankuma biezākās daļas. Provju ņēmēju izmantošana var sniegt noteiktu priekšstatu par naftas plankuma relatīvo biezumu un palīdzību, izveidojot attīrīšanas metodoloģiju no naftas piesārņojuma. Visi minētie nosacījumi rāda, ka ir nepieciešams izveidot TGK ar naftas piesārņojuma provju ņemšanas ierīci no ūdens virsmas. TGK izmanto dažādu vides monitoringa uzdevumu izpildei iegūto datu augstas

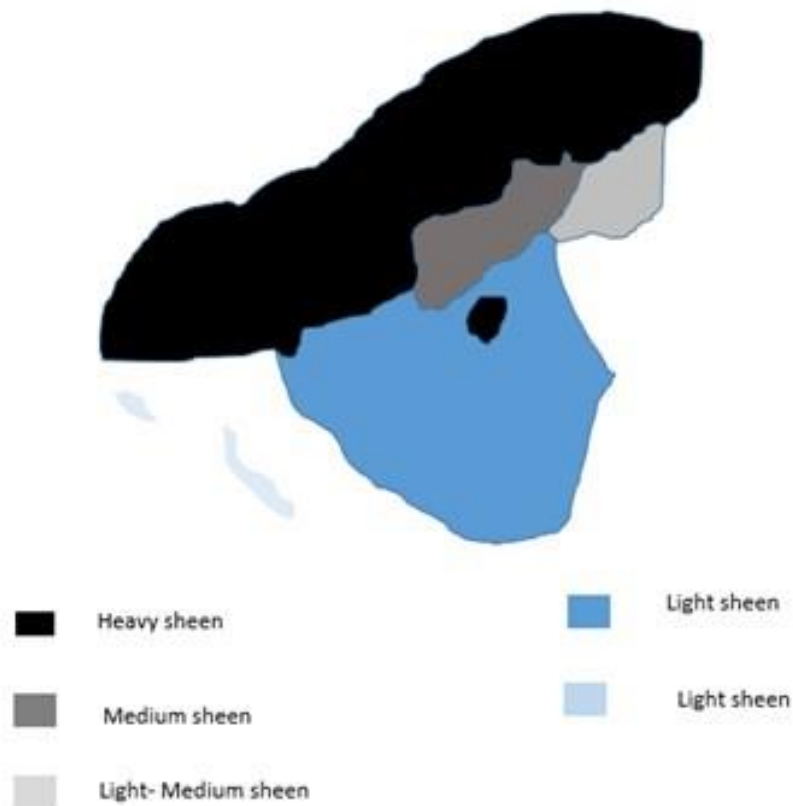
aktualitātes dēļ. TGK iegūst attālās zondēšanas datus ar augstu telpisko izšķirtspēju. TGK ir attālās zondēšanas līdzeklis ar elastīgu lokālo vadību un ekonomisku degvielas patēriņu. [3].

4.3.3. Prasības provju ņemšanai izmantojamam tālvadības gaisa kuģim

Veicot naftas izplūduma monitoringu, lai noteiktu piesārņojuma smaguma pakāpi, ir jāizmanto provju ņemšanas programma, lai novērtētu kopējo ietekmi uz vidi. Proves ir jāņem telpiskajos rajonos ar uzdotajām koordinātēm visā piesārņojuma sektorā.

Procedūras provju ņemšanai no ūdens virsmas mainīsies atkarībā no naftas plēves izmēra un biezuma, laika apstākļiem un jūras stāvokļa izplūduma vietā, naftas produkta tipa, kā arī ņemot vērā visus nepieciešamos piesardzības pasākumus.

Kā naftas izplatīšanās dinamiskā rakstura piemērs (4.2. att.) ir attēlota naftas izplūduma parametru izmaiņu aina 24 stundu laikā intervālā.



4.2. att. Naftas izplūduma parametru izmaiņas 24 stundu laikā [35].

Naftas plankums tika konstatēts Naragansetas līcī 24 stundas pēc tam, kad tankkuģis World Prodigy uzsēdās uz sēkļa 1989. gada 23. jūnijā. Apraksts apakšējā kreisajā stūrī parāda, cik bieza bija naftas kārtā uz virsmas, kuģa atrašanās vieta ir parādīta ar zvaigzni.

Veiktās analīzes gaitā tika izpētītas dažādas provju ņemšanas metodikas. Ņemot vērā provju ņemšanas metožu daudzveidību no naftas piesārņojuma sektoriem, ir noteikts, ka naftas piesārņojumu konstatēšanas ticamība lielā mērā ir atkarīga no provju ņemšanas metodēm.

IMO ir izstrādājusi speciālo dokumentu ar ieteikumiem provju ņemšanai naftas piesārņojuma gadījumā. Provju ņemšanas metodes iedalās divās galvenajās metodēs:

- naftas plēves noņemšana, iesmeļot ar provju trauku;
- provju ņemšana, izmantojot speciālo teflona sīkšūnu sietu [35].

Vienu vai otru provju ņemšanas metodi izmanto atkarībā no izplūduma fiziskajām un ķīmiskajām raksturlīknēm. Galvenokārt šo metodi izmanto provju ņemšanai no biežajām plēvju kārtām no virsmas, viskozas naftas, naftas globulu un sveķu lodīšu provju ņemšanai. Izmantojot šo metodi, proves kontainers kalpo kā ierīce provju ņemšanai. Izpildot uzdevumus, kas realizēti, ņemot proves ar krasta apsardzes kuģu vai kuteru palīdzību, atklājās vesela virkne negatīvo faktoru. Galvenais risks ir saistīts ar naftas produktu toksiskumu un uzliesmošanas iespējamību un paaugstināto bīstamību attiecībā uz personālu. Nākamais negatīvais faktors ir peldlīdzekļu zems ātrums, kādēļ palielinās provju ņemšanas laiks no paredzētajiem punktiem un ilgs laiks to transportēšanai uz laboratoriju. Norādītajai provju ņemšanas metodei ir arī virkne citu trūkumu sakarā ar iespējamību ņemt proves tikai peldlīdzekļa personālam (subjektīvie faktori). Provju ņemšanai ierīci (trauku) iegremdē ūdenī un savāc eļļas kārtu vai naftas daļiņas no ūdens virsmas. Process turpinās, kamēr provju ņemšanai ierīce neuzpildīsies aptuveni uz $\frac{3}{4}$. Procedūru nepieciešamības gadījumā atkārti, līdz naftas savākšana netiks pabeigta. Šo metodi nedrīkst pielietot arī plānu plēvju provju ņemšanai.

Ņemot proves, izmantojot speciālo teflona sīkšūnu sietu, provju ņemšana tiek veikta lēni, pārvietojot sīkšūnu sietu caur naftas plēvi un izmantojot naftas fiziskās īpašības. Naftas plēves proves satur ļoti nelielu daudzumu naftas un, jo plānāka ir plēve, kuras provi ir nepieciešams iegūt, jo augstāks ir proves piesārņošanas risks ar vielām uz provju ņemšanas ierīces. Pabeidzot procedūru, sīkšūnu sietu iepakoj konteinerā. Trūkums ir arī tas fakts, ka pēc procedūras konteineram ir jāpiestiprina etiķete ar identifikācijas datiem.

Provju ņemšanas mehānisma, kas nodrošina monitoringa programmas prasības, izstrādei tika novērtēti dažādi provju ņemšanas ierīces sistēmas mehānismu varianti.

Ierīces datus iedala šādās kategorijās [35]:

- konteiners ar atvērtu atvērums šķidruma ievākšanai;
- konteiners ar hermetizācijas ierīci.

Šīs ierīces var izmantot tikai ar helikoptera tipa TGK. Pie helikoptera tipa TGK korpusa piekarināts konteiners nevar nodrošināt provju ņemšanu uz ūdens virsmas vai uzdotā dziļumā. Hermetizācijas ierīci parasti iedarbina ar trosi, tas samazina hermetizācijas drošumu.

4.5. tabula

Ūdenī iegremdējamā konteintera izmantošanas naftas piesārņojuma monitoringam efektivitātes
SVID analīze

Stiprās puses	Konstrukcijas vienkāršums Zema cena
Vājās puses	Hermetizācijas trūkums vai zems hermetizācijas drošums Piekarināmās troses izmantošanas nepieciešamība Nav iespējams paņemt proves no ūdens virsmas vai uzdotā dziļumā Nav iespējams uzstādīt konteineru ar provju TGK korpusā
Iespējas	Ierīču (elektromagnētisko vārstu), ko vada TGK komandu modulis, izmantošana ņemšanai un hermetizācijai
Draudi	Nav iespējams paņemt naftas plēvju proves no ūdens virsmas Iespēja, ka lidojuma laikā tiks norauta trose ar konteineru

Pastāv arī tehniskais risinājums ar sūkņa izmantošanu. Pielietojot sūkni, konteineru ar paņemtajām provēm var izvietot TGK korpusā. Šis risinājums ļauj ar ūdenī iegremdētā sūkņa palīdzību uzpildīt konteineru. Šim provju ņēmēja tipam ir būtiski trūkumi – nepieciešamība pēc proves ņemšanas mazgāt sūkni ar tīru ūdeni un sarežģīta vadības sistēma. Pat izmantojot augstuma kontroles ierīci, tādu provju kā naftas plēves ņemšana no ūdens virsmas nav iespējama. Sūknis šajā gadījumā nevarēs darboties gaisa iekļūšanas dēļ.

Ūdenī iegremdējamā konteīnera izmantošanas naftas piesārņojuma monitoringam SVID analīze

Stiprās puses	Iespēja izvietot konteīneru ar provēm TGK korpusā Sūkņa kontroli veic TGK komandu modulis Proves hermetizācija
Vājās puses	Augsts enerģijas patēriņš sūkņa darbības laikā Nepieciešamība piekārt sūkni zem TGK korpusa Nav iespējams paņemt proves no virsmas
Iespējas	Sūkņa un konteīnera izvietošana TGK korpusā, ja tiek izmantots TGK ar nosēšanos uz ūdens virsmas
Draudi	Nav iespējams paņemt naftas plēvju proves no ūdens virsmas Iespēja, ka lidojuma laikā tiks norautas šļūtenes un sūkņi

TGK izmantošana vizuālo datu iegūšanai par naftas piesārņoto zonu sniedz sākotnējo informāciju jaunas monitoringa un provju ņemšanas punktu programmas izstrādei. Monitoringa sistēma, izmantojot TGK ar integrēto provju ņemšanas ierīci, ļaus novērtēt izplūduma bīstamības pakāpi un novērtēt sekas dabas resursiem, pamatojoties uz raksturīgo naftas produktu tipu datubāzēm.

Novērojot ūdens akvatoriju, svarīgākās darbības ir piesārņojuma dinamikas un naftas satura līmeņa izmērīšana ūdens virsmā. Šo parametru iegūšana ir iespējama, tikai izmantojot provju ņemšanas ierīces. Ņemot vērā TGK naftas izplūdumu provju ņemšanas misijas specifiku, provju ņemšanas ierīces svars ir iekļaujams TGK svara līdzsvara vienādojumā. Sakarā ar to galvenā prasība lietderīgajai slodzei ir neliels provju ņemēja svars. Turklāt TGK dzinējam ir jānodrošina pietiekama vilce, lai paceltu lietderīgo slodzi [57]. Grūtības, izmantojot naftas izplūduma proves, kas saistītas ar nosēšanos uz ūdens virsmas, var pārvarēt uz provju attālās ņemšanas rēķina. Turklāt TGK, ko izmanto lidošanai virs ūdens, ir jāaprīko ar speciālo ierīci peldēšanai avārijas nosēšanās gadījumā [35].

Analīzes gaitā tika noteikti ārējie faktori, kas var traucēt TGK, kas paredzēts naftas proves ņemšanai, darbībai. Šie faktori ir vēja ātrums un viļņa augstums. TGK izmantošana naftas provju ņemšanas misijai ir ierobežota ar vēja ātrumu virs 14 m/s un viļņa augstumu virs 2 metriem [35].

Salīdzinot ar autonomajiem virsūdens un zemūdens kuģiem ar provju ņemšanas ierīcēm, TGK papildus nodrošina arī aerofotografēšanu.

Noderīgā slodze provju ņemšanai ir jāuzstāda uz RPA apakšējās malas ar speciālo ierīci atvienošanai avārijas gadījumā [35].

Naftas izplūdumu provju ņemšanas TGK izstrādei tika formulēti sekojošie pamatuzdevumi:

- nepieciešamība integrēt provju ņemšanas sistēmas moduli TGK korpusā;

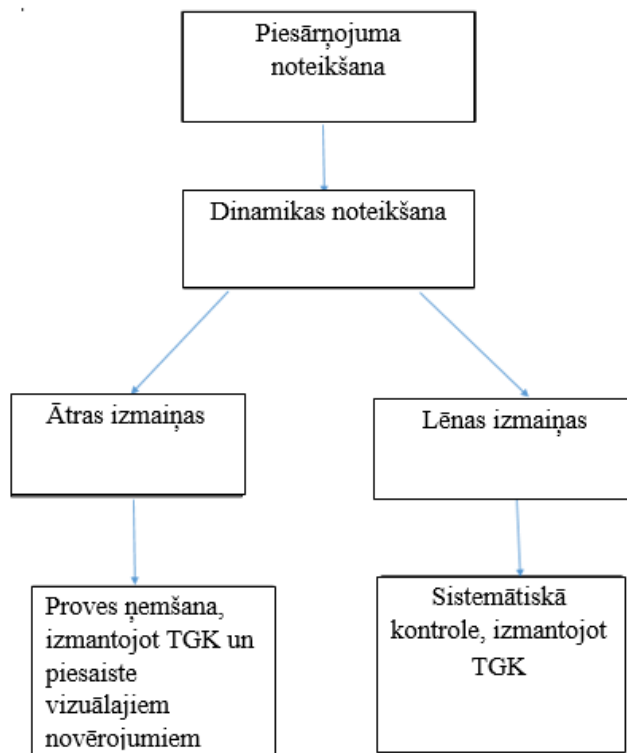
- sistēmas nodrošināšana ar optiskajiem sensoriem;
- drošas navigācijas algoritma izstrāde proves ņemšanas procesā;
- GPS moduļa esamība parauga ņemšanas laika un koordinātu noteikšanai;
- proves hermetizācijas mehānisma izveidošana transportēšanai uz laboratoriju;
- ierīces izstrādāšana biezas naftas plēves provju ņemšanai un provju ņemšanai dziļumā;
- attālās provju ņemšanas iespējas nodrošināšana mazā augstumā;
- provju konteineru bloka uzstādīšanas TGK korpusā;
- naftas izplūduma paraugu ņemšanas nodrošināšana bez sūkņa, ņemot vērā iesūkšanās negatīvo augstumu;
- TGK svara minimizēšana.

4.3.4. Ūdens provju ņemšanas no tālvadības gaisa kuģa borta ierīču un tehnoloģijas izstrāde

Nepilnību novēršana un monitoringa sistēmai izvirzīto laikmetīgo prasību uzskaitē iespējama, izmantojot TGK. Šis risinājums ir komplekss un ļauj veikt piesārņojuma konstatēšanu un provju ņemšanu ar mērķi apstiprināt rezultātus. TGK izmantošana, veicot monitoringu, ļauj vizuāli noteikt piesārņojuma rajonus, izmantojot noderīgās slodzes sensorus. Iegūtie dati, piemēram, piesārņojuma plankumi ir jāsalīdzina ar ūdens akvatorijas piesārņojuma novērtēšanas parametriem. Tam ir nepieciešama provju ņemšana no ūdens virsmas, lai pārbaudītu vizuālo novērojumu rezultātu precizitāti. Izmantojot kompleksus, kas iekļauj TGK, iespējams praktiski pastāvīgi atsekt situāciju objektā.

Šo problēmu risinājums ir ierīces izstrāde provju attāļajai ņemšanai ar TGK palīdzību.

Rīcības algoritms pēc piesārņojuma atrašanas ir sniegts (4.3. att.).



4.3. att. Naftas piesārņojuma monitoringa algoritma shēma, izmantojot TGK.

Izstrādājot efektīva un kvalitatīva naftas piesārņojuma monitoringa risinājumu, novērojumi, izmantojot TGK, tika iedalīti sekojošos galvenajos veidos:

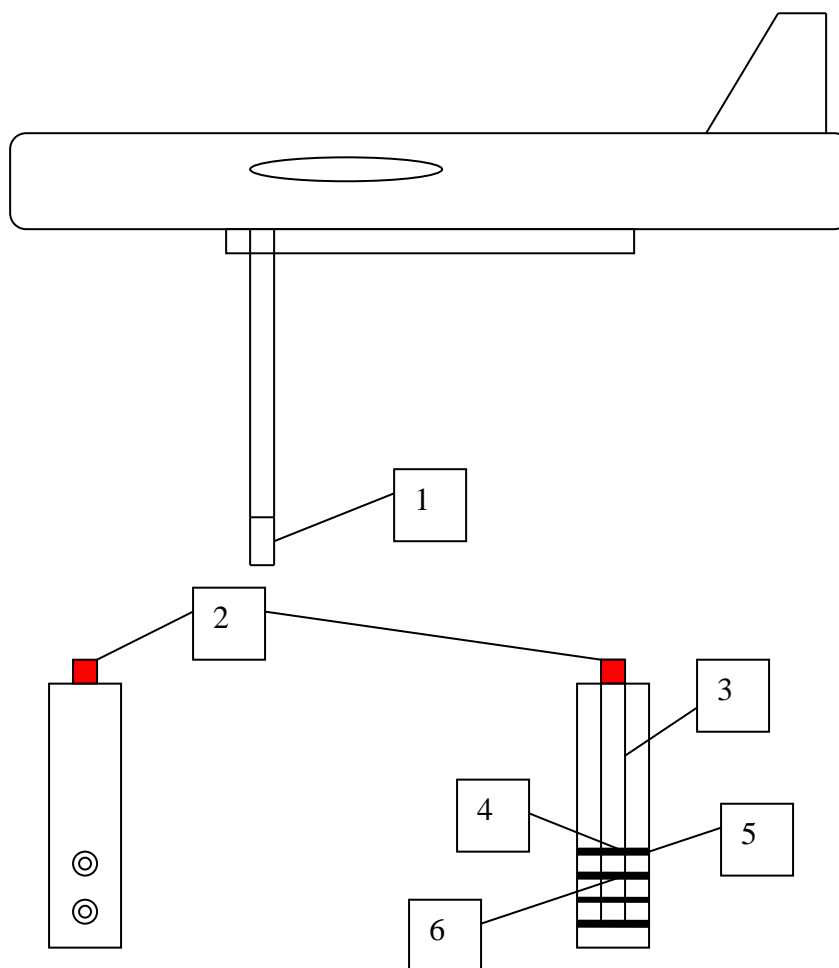
- pastāvīgie jūras akvatorijas rajonu novērojumi ar mērķi kontrolēt piesārņojuma avotu stāvokli un atklāšanu;
- periodiskie lielas platības rajonu novērojumi. Racionālam monitoringam noteiktā laikposmā veic paraugu ņemšanu visā teritorijā. Šai gadījumā tiek veikti pastāvīgie novērojumi;
- vienreizējā provju ņemšana tiek veikta konkrētajā rajonā un ir nepieciešama vizuālo novērojumu apstiprināšanai.

Provju ņemšanai dažādos jūras akvatorijas rajonos, pamatojoties uz veikto SVID analīzi, tika izstrādāti divi provju ņemšanas ierīču tipi. Pirmais tips ir paredzēts izmantošanai vienreizējās ņemšanas gadījumā konkrētā rajonā un vizuālo novērojumu apstiprināšanai. Šī tipa ierīces var uzstādīt lidmašīnas un helikoptera tipa TGK korpusā.

Pastāvošo problēmu operatīvā monitoringa un novēršanas programmas īstenošanai pētījuma procesā tika izstrādāta metode un ierīce jūras akvatorijas un iekšējo ūdeņu naftas piesārņojuma kontrolei. Metode un ierīce ietver proves ņemšanu no ūdens virsmas, sagatavošanu transportēšanai,

iespējamā naftas piesārņojuma noteikšanu ar mērierīces palīdzību, datu pārraidi pa datu pārraides kanālu, piesārņojuma telpas attēlošanu elektroniskajā kartē un proves piegādi uz norādīto vietu, izmantojot tālvadības gaisa kuģi ar nekustīgiem spārniem (TGK).

Izvēloties TGK elektroniskos komponentus, ir jāņem vērā vairāki nosacījumi; elektroniskās daļas ir jāizvēlas atkarībā no nepieciešamās lietderīgās slodzes un lidojuma laika, kā arī to savietojamības. TGK kopējā lietderīgā slodze ir atkarīga no vilces, ko tā var nodrošināt. Tātad naftas piesārņojuma provju ņemšanas iespējas ir ierobežotas. Ņemot vērā prasības tālam lidojuma rādiusam, TGK ar nekustīgiem spārniem atrisina attālās zondēšanas uzdevumu no piekrastes attālos rajonos.



4.4. att. TGK ar nekustīgiem spārniem, kas ir aprīkots ar speciālo provju ņemšanas ierīci.

Ierīce, kas shematiski parādīta 4.4. attēlā, ietver TGK ar nekustīgiem spārniem, kas ir aprīkots ar speciālo provju ņemšanas ierīci (1), kas uzstādīta metāla turētājā uz TGK korpusa [58].

Izstrādājot provju ņemšanas ierīci, tika izmantoti inovatīvi risinājumi. Lai nodrošinātu provju ņemšanu un iespējamā naftas piesārņojuma tūlītēju noteikšanu, tika izstrādāta ierīce ar tās korpusā

iebūvētu piesārņojuma konstatēšanas sensoru. Lai nodrošinātu kvalitatīvu informāciju par ūdens stāvokli, tiek paredzēta provju ņemšana dažādos līmeņos.

Provju ņemšanas ierīces konstrukcija iekļauj cilindrisku provju ņēmēju ar elektromagnētisko vārstu ar atsperi 2, kas savienots ar stangu 3 ar buksi ar virzuļiem 5 no provju ņēmēja kameras. Provju ņēmēja cilindriskajā korpusā ir izveidoti atvērumi ūdens pieņemšanai proves ņemšanas laikā. Provju ņēmēja augšējā sekcijā augšējā virzulī ir uzstādīts fotorezistors 4, bet apakšējā virzulī gaismas diode 6. Šis risinājums nodrošina iespēju pēc proves ņemšanas veikt ūdens proves kontroli uz naftas produktu un piesārņojuma klātbūtni. Mēršūniņa, kas sastāv no fotoelementa un diodes, naftas produktu klātbūtnē (tiek reģistrētas optiskās izmaiņas) raida signālu uz TGK EVM un tālāk caur sakaru sistēmu signālu vadības centram.

Naftas vai naftas produktu izplūdumu atklāšanas tehniskais rezultāts jūras akvatorijā ir naftas produktu atklāšanas un savākšanas operativitātes palielināšana uz ūdens objektu virsmas, naftas vai naftas produktu izplūdumu koordinātu noteikšanas precizitātes palielināšana, naftas vai naftas produktu izplūduma izplatības prognozēšana īstermiņa un ilgtermiņa laikposmā, darba iespēja jebkuros klimatiskajos apstākļos un neatkarība no parametra diena/nakts.

Šis risinājums, izmantojot koordinātas, kurās TGK ir paņēmis paraugu, attēlot daudzlīmeņu elektroniskajā kartogrāfiskajā sistēmā piesārņojuma izplatīšanās dinamiku.

Metodi īsteno sekojoši. TGK tiek nosūtīts uz ūdens provju ņemšanas zonu ar zināmām GPS koordinātēm. Pēc TGK atlidošanas uzdotā zonā elektroniskais vadības modulis (EVM) dod komandu atvērt provju ņemšanas ierīces hermētiskā nodalījuma vārtes. Lidojuma kontrolieris spēj saņemt datus no dažādiem devējiem un vadīt dažādas ierīces, piemēram, servopievadus. Pēc vārtņu atvēršanas EVM dod komandu pagriezt provju turētāju vertikālā stāvoklī. TGK nolaižas augstumā, kurā provju ņemšanas ierīce pieskaras ūdens virsmai. Kad provju ņemšanas ierīce pieskaras ūdens virsmai, EVM dod solenoīda vārstam komandu atvērt provju ņemšanas ierīces sadalītāju. Provju ņemšanas ierīces korpusā ieplūst ūdens. EVM dod solenoīda vārstam komandu aizvērt provju ņemšanas ierīces sadalītāju. Sadalītāja virzuļi veic paņemta proves hermetizāciju provju ņemšanas ierīces korpusā. EVM dod komandu pagriezt provju turētāju horizontālā stāvoklī. Pēc provju turētāja pagriešanas pabeigšanas EVM dod komandu aizvērt provju ņemšanas ierīces hermētiskā nodalījuma vārtes. Proves ņemšanas un transportēšanas process tiek veikts automātiskajā režīmā. Mēršūniņa, kas sastāv no fotoelementa un diodes, naftas produktu klātbūtnē (tiek reģistrētas optiskās izmaiņas) padod signālu uz TGK EVM un tālāk caur sakaru sistēmu signālu vadības centram, vienlaicīgi tiek nodotas arī proves ņemšanas punkta koordinātes. Iegūtā informācija par piesārņojumu tiek attēlota elektroniskajā kartogrāfiskajā sistēmā. Pētījuma procesā ir izstrādāts

TGK ar nekustīgiem spārniem, kas paredzēts provju ņemšanai, naftas piesārņojuma noteikšanai, informācijas nodošanai tiešsaistē un proves transportēšanai. Uzdotu monitoringa uzdevumu atrisināšanai TGK, atšķirībā no citām ierīcēm, ir aprīkots ar provju ņemšanas ierīci, kas uzstādīts TGK korpusa nodalījumā ar turētāja, kas izvirzās darba stāvoklī, palīdzību. Provju ņemšanas procedūras juridisko prasību nodrošināšanai tika izstrādāta konstrukcija ar cilindriskās formas provju ņemšanas ierīces konteineru, kas sastāv no 2 sekcijām ar atvērumiem un sadalītāju ar virzuli iekšā, solenoīda vārstu, kas atver provju ņemšanas ierīces sadalītāju un pēc proves ņemšanas veic konteineru hermetizāciju, mēršūniņu provju ņemšanas konteinerā, kas naftas piesārņojuma konstatēšanas gadījumā padod signālu uz elektronisko vadības moduli un nodod informāciju par piesārņojumu ar attēlojumu elektroniskajā kartogrāfiskajā sistēmā. Šī tehniskā ierīce nodrošina naftas piesārņojuma monitoringu lielos attālumos.

Šis risinājums dod iespēju pēc proves ņemšanas veikt ūdens proves kontroli uz naftas un piesārņojuma esamību. Mēršūniņa sastāv no fotoelementa un gaismas diodes, naftas produktu klātbūtnē (tiek reģistrētas optiskās izmaiņas) padod signālu uz TGK elektronisko vadības bloku un tālāk caur sakaru sistēmu signālu vadības centram.

Metodi panāk sekojoši: pirmkārt, TGK tiek nosūtīts uz ūdens provju ņemšanas zonu ar zināmām GPS koordinātēm. Pēc TGK atlidošanas uzdotā zonā elektroniskais vadības modulis (EVM) dod komandu atvērt provju ņemšanas ierīces hermētiskā nodalījuma vārtes. Pēc vārtņu atvēršanas TGK dod komandu pagriezt provju turētāju vertikālā stāvoklī. TGK samazina lidojuma augstumu, lai pieskartos ar provju ņemšanas ierīci ūdens virsmai. Kad provju ņemšanas ierīces konteiners pieskaras ūdens virsmai, EVM dod elektromagnētiskajam vārstam komandu atvērt provju ņemšanas ierīces buksi. Provju ņemšanas ierīces korpusā ieplūst ūdens. EVM dod elektromagnētiskajam vārstam komandu aizvērt provju ņemšanas ierīces buksi.

Bukses virzuļi veic paņemtas proves hermetizāciju provju ņemšanas ierīces korpusā. EVM dod komandu pagriezt provju turētāju horizontālā stāvoklī. Pēc provju turētāja pagriešanas EVM dod komandu aizvērt provju ņemšanas ierīces ūdensnecaurlaidīga nodalījuma vārtes. Proves ņemšana un transportēšana tiek veikta automātiski. Mēršūniņa sastāv no fotoelementa un gaismas diodes, kas naftas produktu klātbūtnē (tiek reģistrētas optiskās izmaiņas) padod signālu uz TGK elektronisko vadības bloku un pēc tam caur komunikācijas sistēmu dod signālu vadības centram, vienlaicīgi nododot proves ņemšanas punkta koordinātes. Iegūtā informācija par piesārņojuma izpausmēm tiek attēlota daudzlīmeņu elektroniskajā kartē. Ja ūdens objekta akvatorijā tiek konstatēti naftas vai naftas produktu izplūdumi, informācija, kas satur izplūduma koordinātes, kā

arī izplūduma izplatīšanās prognozi, tiek nodota pa radiosakaru līdzekļiem uz kuģa, kas ir aprīkots ar spārnu aizsprostojumu uzstādīšanas sistēmu, bortu.

Pēc nolaišanās kontainers ar provēm tiek piegādāts uz laboratoriju analīžu veikšanai.

2. *tipa ierīce* ir izstrādāta, lai nodrošinātu provju pastāvīgu ņemšanu uzdotos jūras akvatorijas rajonos. Izveidojot ierīci, tika noteikts uzdevums ņemt plānu plēvju proves un identificēt piesārņojumus. Lai nodrošinātu monitoringa programmas prasības, tika izstrādāts inovatīvais risinājums, kas konteina nolaišanai uz ūdens virsmas un atgriešanai korpusa nodalījumā izmanto mikrovinču [59].

Ņemot vērā dažādus ārējos faktorus un naftas plankuma izplatīšanās dinamiku, plānu naftas plēvju provju ņemšanai pētījuma procesā tika izstrādāta provju ņemšanas metode.

Izgudrojums attiecas pie baseina jūras ūdens un iekšējo ūdeņu piesārņojuma ar naftas produktiem un līdzekļu kontroles metodēm. Pētījuma procesā tika piedāvāta metode ūdens provju ņemšanai uz naftas piesārņojuma esamību akvatorijā, kas ietver proves ņemšanu no ūdens virsmas, provju sagatavošanu transportēšanai un piegādei uz norādīto vietu ar tālvadības gaisa kuģa (TGK) palīdzību.

Provju ņemšanai piekrastes rajonos pētījuma procesā tika izstrādāta ierīce, kas sastāv no vertikālās pacelšanās un nolaišanās TGK, kas ir aprīkots ar speciālo ierīci provju ņemšanai provju ņēmējā, kas izpildīts plastmasas konteinerā ar pozitīvu peldspēju. Konteina struktūra iekļauj metāla sietu un speciālo plāno teflona sietu. Kontainers ir paredzēts provju ņemšanai no ūdens virsmas. TGK komplekss veic proves ņemšanu no naftas izplūduma virsmas. Konteina nolaišana uz ūdens virsmas un pacelšana TGK speciālajā nodalījumā tiek veikta, izmantojot kompakto vinču. Kontainers ar pozitīvo peldspēju nodrošina proves ņemšanu no ūdens virsmas, neskatoties uz jūras virsmas stāvokli un viļņu augstumu.

Pēc ūdens provju ņemšanas uz virsmas un konteina pacelšanas uz TGK borta tas tiek novietots hermētiskajā nodalījumā, kas ir paredzēts viena vai vairāku konteineru novietošanai.

TGK hermētiskais nodalījums ir aprīkots automātiski vai ar tālvadības pults palīdzību ar aizveramām vārtņēm, kas ir blīvētas ar teflona blīvējumu.

Provju ņemšana un transportēšanas process tiek veikti automātiski. Pēc TGK nolaišanās bāzēšanas iecirknī (piemēram, krastā vai uz kuģa borta) kontainers tiek nodots uz laboratoriju provju analīzei. Ja pēc monitoringa plāna ir nepieciešama provju ņemšana no virknes punktu hermētiskajā nodalījumā, tiek uzstādīti vairāki neatkarīgi moduļi ar konteineriem. Atšķirībā no esošajām provju ņemšanas metodēm, vertikālās pacelšanās un nolaišanās provju ņemšanas TGK ir aprīkots ar speciālu kompakto vinču. Vinčas esamība ļauj veikt attālu zondēšanu ar provju ņemšanu

neatkarīgi no laika apstākļiem. Inovatīvais risinājums ir tas, ka provju ņemšanas ierīce ir izpildīta plastmasas konteīnera ar pozitīvu peldspēju veidā un ir aprīkota ar speciālo teflona sietu ar nelielām šūnām proves iegūšanai no ūdens virsmas. TGK ar konteineriem, kas novietoti hermētiskajā nodalījumā, izmantošanas metode ļauj izpildīt juridiskās prasības naftas piesārņojuma provēm. Pētījuma procesā tika veikta esošo naftas piesārņojuma noteikšanas metožu un līdzekļu analīze.

TGK nevar tikt piesārņoti ar naftas produktiem vai naftas produktu plēvi laikā, kad no naftas izplūdumiem tiek ņemta prove. Izstrādātās ierīces galvenās priekšrocības ir sekojošas:

pēc provju ņemšanas procedūras paņemtās proves saskaņā ar IMO standartiem un Bonnas vienošanos var izmantot analīzēm;

nafta izplūst pa ūdens virsmu nenoteiktas formas plankumā ar biezumu h . Plēves biezums mainās laika gaitā. Eļļas plēves biezums h var būt mikrons. Šo provju ņemšanas ierīci var izmantot provju ņemšanai no naftas izplūdumu rajoniem un ūdens provju ar plānām naftas plēvēm (“varavīksnes spīdums”, “zils spīdums”, “sudrabains spīdums”) ņemšanai.

TGK augsts ātrums un liels darbības rādiuss ļauj veikt lielu jūras akvatorijas platību monitoringu.

Izstrādātās provju ņemšanas ierīces novērtēšanai tika izpildīta SVID analīze.

4.7. tabula

Provju ņemšanas ierīces izmantošanas naftas piesārņojuma monitoringam SVID analīze

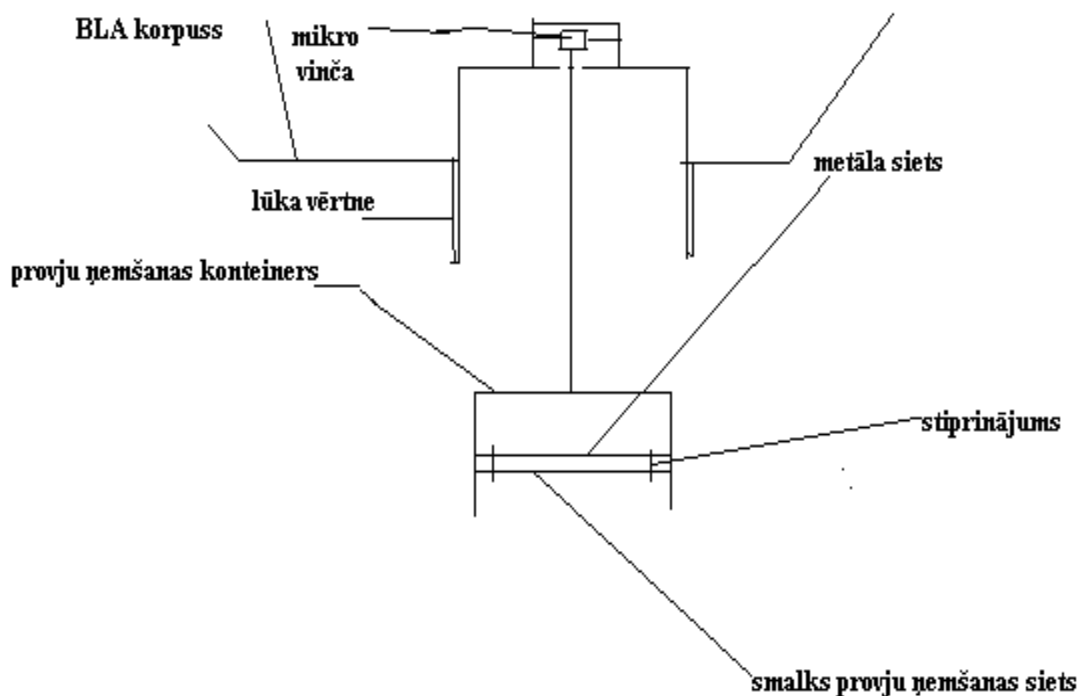
Stiprās puses	Iespēja noteikt naftas produktu, kas izraisīja piesārņojumu Proves var izmantot analīzēm saskaņā ar starptautiskajiem standartiem Prove tiks transportēta hermētiskajā konteīnerā, šis risinājums izslēdz paņemtas proves piesārņošanas iespējamību Naftas plēves biezuma noteikšana ar lielu precizitāti Provju ņemšanas procesa pilnīga automatizācija Provju ņemšanas laika saīsināšana, izpildot izplūduma monitoringu, par 80%, salīdzinot ar esošajām metodēm Riska samazināšana personālam, kas īsteno provju ņemšanas programmu
Vājās puses	Ja naftas plēves biezums pārsniedz 0,2 mm, ir jāizmanto divu tipu provju ņemšanas ierīces
Iespējas	Noderīgās slodzes ar mēršūniņu izmantošana, kas sastāv no fotoelementa un gaismas diodes, ļauj noteikt piesārņojumu proves ņemšanas brīdī
Draudi	Izmantošanu ierobežo laika apstākļi: piezemes vējš > 18 m/s viļņa augstums > 4 m

SVID analīze rāda, ka noderīgajai slodzei ar provju ņemšanas ierīci ir lielas priekšrocības. Draudi šim izmantošanas veidam ir tikai ļoti slikti laika apstākļi.

Tālāk ir aprakstīta metodoloģija ar izstrādātā otrā tipa TGK izmantošanu naftas izplūduma provju ņemšanai jūrā.

TGK izmantošana provju ņemšanas laikā ļauj konkretizēt apstākļus piesārņojuma zonā, iegūstot papildu izejdatus. Iegūstamo ziņu analīze ļauj pamatot pieņemamos lēmumus piesārņojuma likvidēšanā.

Ierīce ir paredzēta izmantošanai ar vertikālās pacelšanās un nolaišanās TGK (att. 4.5). TGK ir paredzēts lidojumiem ar vēja ātrumu līdz 15 m/s un ir aprīkots ar ūdens provju ņemšanas konteineru nodalījumu. Konteineru nolaišanai uz ūdens virsmas un konteineru ar paņemto ūdens vai naftas produktu provju pacelšanai TGK izmanto mikrovinču. Saskaņā ar provju ņemšanas standartiem piesārņojuma kontroles, analīzes un likvidēšanas laikā proves ņemšanas konteiners ir jāaizvērt pēc proves ņemšanas. Konteineru blīvējumu pēc provju ņemšanas un pacelšanas ar vinču nodrošina divas lūkas ar TGK nodalījuma, kas paredzēts konteineram, teflona blīvējumu. Kad TGK atlido provju ņemšanas zonā, elektroniskais vadības modulis dod komandu atvērt lūkas. Pēc lūku atvēršanas elektroniskais vadības modulis dod mikrovinčai komandu nolaist konteineru. Kad konteiners sasniedz ūdens virsmu, elektroniskais vadības modulis apstādina vinčas spoli. Konteineru konstrukcija nodrošina ūdens un naftas plēves proves ņemšanu, izmantojot teflona sīkšūnu plāksni. Pēc konteineru pieskaršanās un atrašanās naftas izplūduma plankumā elektroniskais vadības modulis dod vinčai komandu pacelt konteineru. Pēc pacelšanas elektroniskais vadības modulis dod komandu apstādināt vinčas spoli un aizvērt lūkas, veicot konteineru ar paņemto provi aizvēršanu un hermetizāciju. Proves ņemšanas ierīce sastāv no plastmasas konteineru ar metāla sietu ar spailēm konteinerā teflona sīkšūnu plāksnei (teflona plāksne no naftas izplūdumu provju komplekta). Konteiners ar pozitīvu peldspēju ļauj paņemt proves no ūdens virsmas, neskatoties uz jūras virsmas stāvokli un viļņu augstumu. Proves ņemšanas process un transportēšana tiek veikti automātiskajā režīmā. Pēc nolaišanās konteiners tiek nodots laboratorijā analīžu veikšanai, un uz TGK uzstāda jaunu konteineru. Ja nepieciešams ņemt proves vairākos punktos, nodalījumā uzstāda moduli ar 10 mikrokonteineriem ar atsevišķu lūku katram mikrokonteinerim un vinču, kam uz darba vārpstas uzstādītas 10 spoles. Ņemot provi, elektroniskais vadības modulis ieslēdz proves ņemšanas konteineru spoles elektromagnētisko uzdevu un dod lūcai komandu atvērties. Mikrovinča nolaiž proves ņemšanas konteineru. Pēc proves ņemšanas vinča paceļ konteineru, elektroniskais vadības modulis dod lūcai komandu aizvērties un atslēdz konteineru spoles elektromagnētisko uzdevu.



4.5. att. Provju ņemšanas ierīce.

Pateicoties datu savākšanas atvieglošanai, vieglie TGK uzlabos, ja ne „revolucionizēs” telpisko ekoloģiju (Anderson 2013). Provju ņemšanas metodika, kas balstās uz TGK platformu, nodrošinās naftas izplūdumu datu precizitāti reālā laika režīmā. Misiju plānošana, integrējot Automātiskās identifikācijas sistēmas (AIS) informācijas un novērošanas sistēmu ar krasta radiolokatoru ļaus minimizēt monitoringa misijas lidojuma laiku un TGK ekspluatācijas izdevumus [35].

Izstrādātā metodoloģija ir aprobēta praksē. Ir realizēti divi scenāriji vidējā izmēra naftas izplūduma provju ņemšanai. Pirmajā scenārijā provju ņemšanu veica vides aizsardzības darbinieki, izmantojot laivu peldēšanai izplūduma zonā un automašīnu provju pārvadāšanai uz laboratoriju. Otrajā scenārijā naftas izplūdumu proves ņēma TGK ar iebūvētu provju ņēmēju.

Izmantojot TGK, naftas izplūdumu provju ņemšanas programmas laiks samazinājās par 80 procentiem [35]. TGK var izmantot kā autonomās sistēmas platformu, kas palīdz naftas izplūdumu provju ņemšanā.

SECINĀJUMI

1. Tika veikta jūras vides naftas piesārņojuma monitoringa ar attālo zondēšanu galveno uzdevumu un metožu analīze. Tika analizēti Baltijas jūras akvatorijas piesārņojuma līmenis un avoti. Tika identificētas jūras virsmas naftas piesārņojuma problēmas un monitoringa galvenie uzdevumi. Tika novērtētas esošās jūras virsmas naftas piesārņojuma monitoringa ar attālo zondēšanu sistēmas, kuras izmanto kuģus, satelītus, pilotējamos gaisa kuģus. Konstatēts, ka ir nepieciešams izstrādāt naftas piesārņojuma nepārtraukta monitoringa metodoloģiju ar TGK lietošanu. Lai novērstu viltus piesārņojuma indikācijas, nepieciešams izstrādāt paraugu ņemšanas ierīces.

2. Ir izstrādāts TGK optimālo lidojuma maršrutu monitoringa laikā sastādīšanas procedūras matemātiskais modelis. Problēmas formulēšanai tiek noteikts, ka pastāv mērķu kopa ar konkrētiem parametriem, tādiem kā mērķa tips, kustības vienādojums, pēdējās no jūras kuģniecības monitoringa sistēmām iegūtās pozīcijas, attēlošanas formulējums (punkts, līnija un platība). Jūras objektu naftas piesārņojumu monitoringa novērošanas misijai ko izpilda TGK, optimizēšanai, ņemot vērā kritērijus, tiek analizēta mērķu matricas apmeklēšana. Mērķi dinamiskajā vidē attēloti kā punkti ar galvenajiem parametriem, tādiem kā sākotnējais ātrums un kurss. Objekta, piemēram, kuģa, kustību atrisina ar zināmu objekta pārvietošanās parametru palīdzību.

3. Tika izstrādāts TGK lidojuma maršruta, veicot monitoringa uzdevumu, optimizācijas algoritms un programmatūra. Algoritms, kas realizē zaru un robežu metodi, sastāv no viena tipa soļu secības un atrod optimālo risinājumu galīgā soļu skaitā. Kad visi elementi ir izskatīti, dekompozīcijas algoritms beidz darbību, un pašreizējais ieraksts ir labākais risinājums. Pretējā gadījumā nepārbaudītajos elementos tiks izvēlēta perspektīva kopa. Tā ir pakļauta sadalīšanai. Process turpinās, līdz tiks pārbaudīti visi sadaļas elementi. Šim algoritmam ir augsta precizitāte. Algoritmu var lietot kopā ar dinamisko programmēšanas algoritmu. Šī pieeja ļauj izmantot abu algoritmu stipros parametrus un izslēgt vājos parametrus. Iespēja pārslēgties no viena algoritma uz otro ļauj iegūt risinājumu atbilstoši misijas uzdevuma objektu skaitam un minimizēt monitoringa laiku.

4. Tika izstrādāta jūras akvatorijas naftas piesārņojuma nepārtraukta monitoringa metodoloģija. Monitoringa metodoloģiju īsteno atbilstoši algoritmam, kas ietver automātisko bezpilota lidojošas platformas (BLP) pacelšanu, nosēšanos un objektu aplidošanu. Šī pieeja ļauj iegūt informāciju par ūdens piesārņojumu reāllaikā režīmā. Metodoloģija ietver arī atklāšanas kļūdas izslēgšanu. Viltus attēli, ko rada mākoņu ēnas, peldošas aļģes, smilšaini sēkļi, tiks

pārbaudīti, izmantojot tipveida algoritmu, kā iespējama piesārņojums. TGK lidojuma uzdevumā tiek ietverts proves ņemšanas algoritms.

5. Tika izstrādāts naftas plankuma izplatīšanās uz ūdens virsmas matemātiskais modelis. Matemātiskajā modelī pieņemts, ka monitorings tiek veikts reāllaikā, izmantojot TGK, kas nodod galvenos parametrus reāllaika režīmā. Veicot aprēķinus, pieņemts, ka naftas plankuma izplūšana uz jūras virsmas notiek spēku darbībā, kas ir atkarīgi no gravitācijas un berzes. Aplūkotā procesa matemātisko modeli simetriskas ass gadījumā var iztēloties kā masas saglabāšanas vienādojumu. Pēc datu apstrādes, kas saņemti ar TGK, izpildot lidojuma plānu, korekcijas algoritms īsteno naftas plankuma parametru korekciju reāllaika režīmā. Pēc TGK datu apstrādes tiek noteikti naftas produkta veids, viskozitāte, blīvums un izplūdušas nafts sākotnējais apjoms.

6. Tika izstrādāta bezpilota lidojoša platforma, kas ir aprīkota ar vairāku veidu sensoriem (video, multispektrālām, termālām, hiperspektrālām u. c.) un īpašu ierīci provju ņemšanai no ūdens virsmas. Jūras akvatorijas ūdens provju ņemšana notiek no tālvadības gaisa kuģa borta lidojuma režīmā.

Bezpilota lidojošā platforma sastāv no vertikālas pacelšanās un nosēšanās TGK, kas aprīkots ar speciālu provju paņemšanas iekārtu, izgatavotu no speciāla konteineru ar pozitīvu peldamību. Konteineru konstrukcija ietver metālisku un speciālu teflona sīkšūnu sietus. Pēdējais ir paredzēts provju ņemšanai no ūdens virsmas un ir iekļauts naftas produktu piesārņojuma provju ņemšanas komplektā.

Konteineru iegremdēšana ūdens virsmā un konteineru pacelšana uz TGK borta pēc proves uzņemšanas tiek veikta, izmantojot mazgabarīta vinču. Pēc provju paņemšanas no ūdens un pieņemšanas uz TGK borta konteineru izvieto hermētiskā nodalījumā, kas paredzēts viena vai vairāku konteineru izveidošanai. Ierīce nodrošina provju paņemšanu no ūdens virsmas, neņemot vērā jūras viļņošanos un viļņu augstumu. Bezpilota lidojošas platformas izmantošana jūras akvatorijas naftas piesārņojuma monitoringa organizēšanai ļaus novērst esošo attālās zondēšanas līdzekļu trūkumus, tai skaitā paaugstināt naftas piesārņojuma noteikšanas automatizētās monitoringa sistēmas ticamību.

7. Tika izstrādāta ūdens provju ņemšanas tehnoloģija ar TGK palīdzību un šīs tehnoloģijas īstenošanas algoritms. Provju ņemšanas process un transportēšana notiek automātiskā režīmā. TGK tiek nosūtīts uz ūdens provju ņemšanas zonu ar zināmām GPS koordinātām. Pēc TGK ierašanās noteiktajā zonā kontrolētais elektroniskais vadības modulis (EVM) dod komandu atvērt vārtes hermetizētā nodalījumā. Pēc vārtes atvēršanas EVM dod komandu mikrovinčai nolaist konteineru. Konteineram, sasniedzot ūdens virsmu, EVM apstādina rotējošu vinčas spoli. Pēc

konteainera saskarsmes ar ūdens virsmu iespējamā naftas noplūdes rajonā EVM dod komandu vinčai pacelt konteineru ar paņemto provi. Pabeidzot konteainera pacelšanu ar EVM, dod komandu apstādināt vinčas spoli un aizvērt nodaļas vārtņes, veicot hermetizāciju. Pēc TGK nosēšanās bāzē (piemēram, krastā vai uz kuģa borta) konteineris tiek nodots paņemto provju analīzei laboratorijā. Nepieciešamības gadījumā ūdens proves ir iespējams ņemt dažādās akvatorijas vietās, tādā gadījumā nodalījumā tiek izvietoti vairāki autonomi moduļi ar konteineriem.

Avotu un izmantotās literatūras saraksts

- [1] Данилов А.С. Использование БЛА в системе экологического мониторинга загрязнения атмосферы, 2012, изд. Референт, Уссурийск, с. 26–29.
- [2] OPERATIONAL SATELLITE MONITORING AND DETECTION FOR OIL SPIL IN OFFSHORE OF UNITED ARAB EMIRATES Dr. H. Harahsheh a , Dr. S. Essa b, M. Shiobara c , T. Nishidai d , T. Onuma d
- [3] Urbahs A., Zavtkevics V.. Oil Pollution Monitoring of Sea Aquatorium Features with Using Unmanned Aerial Vehicles: Transport Means 2014: Proceedings of the 18th International Conference, pp.75–78, October 23–24, 2014, Kaunas, Lithuania. Kaunas: Kaunas Technologija.
- [4] Witte, F. 1986. Oil slick detection with a side looking airborne radar. Proc. of IGARSS'86, Zurich, 8–11 Sept. 1986, 1369–1374
- [5] Lombardini P.P., Fiscella B., Trivero P., Cappa C., Garrett W.D., Modulation of the spectra of short gravity waves by sea surface films: slick detection and characterization with a microwave probe, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1989, Vol. 6, pp. 883–890.
- [6] Oil spill detection by satellite remote sensing Camilla Brekke^{a,b,*}, Anne H.S. Solberg^b
^aNorwegian Defence Research Establishment, Postboks 25, 2027 Kjeller, Norway ^bDepartment of Informatics, University of Oslo, Postboks 1080 Blindern, 0316 Oslo, Norway
- [7] Hühnerfuss, H., and W. D. Garrett (1981), Experimental sea slicks: Their practical application and utilization for basic studies of air-sea interaction, J. Geophys. Res., 86, 439–447, doi:10.1029/JC086iC01p00439.
- [8] Bondur, V.G., Modern approaches to processing large hyperspectral and multispectral aerospace data flows, Izv., Atmos. Ocean. Phys., 2014, vol. 50, no. 9, 840–852. doi 10.1134/S0001433814090060
- [9] Goodman R. Overview and Future Trends in Oil Spill Remote Sensing. Spill Science & Technology Bulletin.1994;1.1:11–21.
- [10] Brekke C., Solberg A. Oil spill detection by satellite remote sensing // Remote Sensing of Environment. 2005. No 5. P. 1–13
- [11] Aerial Observation of Oil Pollution At Sea Operational Guide, CEDRE, 2006
- [12] <http://www.helcom.fi/news/Pages/Illegal-discharges-under-joint-surveillance-in-the-Baltic-and-North-Seas.aspx>
- [13] Annual 2012 HELCOM report on illegal discharges observed during aerial surveillance. 2012.
- [14] Karen Anderson Kevin J. Gaston Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology 2013 research gate

- [15] ENHANCED OIL SPILL SURVEILLANCE, DETECTION AND MONITORING THROUGH THE APPLIED TECHNOLOGY OF UNMANNED AIR SYSTEMS John Allen and Brian Walsh Volume 2008, Issue 1 – Journal 113 international oil spill conference
- [16] Campbell J.B., Wynne R.H.. Introduction to Remote Sensing, 5th Edition, New York, USA: The Guilford Press, 2011, p 667.
- [17] Coopmans C.. Architecture, Inertial Navigation, and Payload Designs for Low-Cost Unmanned Aerial Vehicle - Based Personal Remote Sensing, Utah State University, 2010.
- [18] Barenboim, G. M.; Borisov, V. M.; Golosov, V. N.; Saveca, A. Yu. New problems and opportunities of oil spill monitoring systems Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, Volume 366, 2015, pp.64–74
- [19] Muttin F.. Modeling of captive Unmanned Aerial System tele detecting oil pollution on sea surface, 2014. Available <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781119003021.ch7/summary>.
- [20] MAPPING OIL SPILLS IN THE CASPIAN SEA USING ERS-1/ERS-2 SAR IMAGE QUICK-LOOKS AND GIS Andrei Yu. Ivanov¹ & Ivan S. Ermoshkin² 1. P.P.Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences Nakhimovsky prospect 36, Moscow, Russia, ivanoff@sio.rssi.ru 2. Data + Bolshaya Gruzinskaya St. 10, Moscow, Russia, ier
- [21] http://lms.seos-project.eu/learning_modules/marinepollution/marinepollution-c02-ws02-p02-t.html
- [22] Bellman, R. 1957. Dynamic programming. Princeton, NJ, USA: Princeton University Press. 342 p.
- [23] Лежнев А. В. Динамическое программирование в экономических задачах. — Москва : Бином, 2010.
- [24] Беллман Р. Динамическое программирование. — Москва : Иностранная литература, 1960.
- [25] Сигал И.Х., Иванова А.П. Введение в прикладное дискретное программирование. М: Физматлит, 2007. 304 с.
- [26] Nemhauser G.N., Wolsey L.A. Integer and Combinatorial Optimization. New-York: A Wiley-Interscience Publication, 1999
- [27] Новиков, Д.А. Математические модели формирования и функционирования команд [Текст] / Д.А. Новиков. — М.: Физматлит, 2008. —188с.
- [28] Кормен, Т.Х. Алгоритмы: построение и анализ. / Т.Х. Кормен, Ч.И. Лейзерсон, Р.Л. Ривест, К. Штайн. —2-е изд. — М.: «Вильямс», 2006. — 1296 с.

- [29] Clausen, J.; Traff J. 1991. Implementation of parallel Branch-and-Bound algorithms – experiences with the graph partitioning problem, *Annals of Operation Research* Vol. 33, Issue 5: 331 – 349
- [30] Hung M.; Divoky J. 1988. A computational study of efficient shortest path algorithms, *Computers & operations research*, Vol. 15, no. 6: 567–576.
- [31] Guerin R; Orda A.2002. Computing shortest paths for any number of hops. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Volume: 10, Issue: 5: 613 – 620.
- [32] Савинков, А.Ю. Параллельный поиск нескольких независимых маршрутов на графе сети связей. / А.Ю. Савинков, С.В. Дмитриев, А.В. Кулаев, А.Е. Загородний. //Теория и техника радиосвязи. – 2013. – №3 – С. 37–43.
- [33] Yen, Jin Y. An algorithm for finding shortest routes from all source nodes to a given destination in general networks. / Jin Y. Yen. // *Quarterly of Applied Mathematics* – 1970. – №27 – С. 526–530.
- [34] Urbahs A., Zavtkevics V.. Remotely Piloted Aircraft route optimization when performing oil pollution monitoring of the sea aquatorium: *Aviation*, Volume 21, Nr2, 2017, p.70–74.
- [35]Urbahs A., Zavtkevics V. Water sampling method of oil pollution and for analysis using unmanned aerial vehicle with fixed wings and device for method perform. LV patent application P–15–88 2015–08–20
- [36] Urbahs A., Zavtkevics V. Unmanned aerial vehicle for collecting samples from the surface of water. EU patent EP3112840 (A1), 2017–01–04 (Application Nr. EP20150174649 20150630, 30.06.2015).
- [37] Urbahs A., Jonaite I. Features of the use of unmanned aerial vehicles for agriculture applications : *Aviation*, Volume 17, Nr.4, 2013, p. 170–175.
- [38] Walter B., Sannier A., Reiners D., Oliver J. UAV Swarm Control: Calculating Digital Pheromone Fields with the GPU. *The Journal of Defense Modeling and Simulation Applications, Methodology, Technology*. 2006:3:167–176.
- [39] Rubio, J., Vagners J., Rydsyk. Adaptive path planning for autonomous UAV oceanic search missions. *Intelligent Systems Technical Conference* 2004.
- [40] Cottam R., Ranson W., Vounckx R. Autocreative hierarchy II: dynamics self-organization, emergence and level-changing. *International Conference on Integration of Knowledge Intensive MultiAgent Systems*. 2003:766–773.
- [41] Cummings M., Bruni S., Mercier S., Mitchell P. Automation Architecture for Single Operator, Multiple UAV Command and Control. *International C2 Journal* 2007:1.

- [42] “Autonomous Civil Unmanned Aircraft Systems Software Quality Assessment and Safety Assurance”, AeroVations Associates, 2007
- [43] Belta C., Kumar V. Abstractions and control for groups of robots. *IEEE Trans. Robot* 2004;20:865–875.
- [44] Sun A., Liu H. Cooperative UAV Search for Moving Targets Using a Modified Diffusion Uncertainty Model. In *Proceedings of the AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*, Chicago, IL, USA 2009.
- [45] Bertuccelli L.,How J. Robust UAV Search for Environments with Imprecise Probability Maps. In *Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference*, Seville, Spain, 2005.
- [46] Zhang C., Pei H. Oil Spills Boundary Tracking Using Universal Kriging and Model Predictive Control by UAV. In *Proceedings of the 11th World Congress on Intelligent Control and Automation*, Shenyang, China,2014.
- [47] Hirsch M.. Schroeder D. On the Decentralized Cooperative Control of Multiple Autonomous Vehicles. *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles* 2015:1775–1810.
- [48] Dantzig G., Fulkerson R., Johnson S. Solution of a Large-Scale Traveling-Salesman Problem. *J. Oper. Res.Soc. Am.* 1954;2:393–410.
- [49] Fallahi K., Leung H., Chandana, S. An Integrated ACO-AHP Approach for Resource Management Optimization. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, San Antonio, TX, USA, 2009.
- [50] Soysal O., Sahin, E. A macroscopic model for self-organized aggregation in swarm robotic systems: *Swarm Robotics* 2007:27–42.
- [51] Fingas M., Brown C.E. (2014) Review of Oil Spill Remote Sensing In: *Marine Pollution Bulletin* (83), 1 pp. 9–23.
- [53] Gao, X., Mu, X., Sun, D., Liu, S., 2014, Study on Selection of Maritime Supervision Unmanned Aerial Vehicle and Mission Payloads, *CICTP: Smart and Sustainable Multimodal Transportation Systems*.
- [54] Lu, B.D., Liu, C.S and Huang Z.R., 2013, Research into the jamming methods to UAV measurement and control system, *Shipboard electronic Countermeasure*, 36, 24–27.
- [54] Campbell J.B., Wynne R.H.. *Introduction to Remote Sensing*, 5th Edition, New York, USA: The Guilford Press, 2011, p 667.

- [55] Pinel, N., Bourlier, C.(2010) Unpolarized Infrared Emissivity of Oil Films on Sea Surfaces. In: Journal Applied optics, Vol. 49,Issue 11,pp. 2116–2131
- [56] Batram J., Ballance, R.. Water Quality Monitoring – A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Programmes: Field Work and sampling, Chapter 5, World Health Organization, 1996.
- [57] Barve J., Patel K.. Modelling, Simulation and Altitude-Range-Analysis of Quad-copter UAV: IFAC Proceedings Volumes 47(1), 2014, p. 1126–1130.
- [58] Urbahs A., Zavtkevics V. Water sampling method of oil pollution and for analysis using unmanned aerial vehicle with fixed wings and device for method perform. LV patent application P-15-88 2015-08-20
- [59] Urbahs A., Zavtkevics V. Unmanned aerial vehicle for collecting samples from the surface of water. EU patent EP3112840 (A1), 2017-01-04 (Application Nr. EP20150174649 20150630, 30.06.2015).

PIELIKUMI

Function fDynamicTSP(n&, m&, arrD)

Dim i&, j&, k&, l&, im&, bN&, tmp&, d#, ans#

bN = $2^n - 1$

Const inf# = 1000000000#

ReDim t#(1 To bN, 1 To n), p&(1 To bN, 1 To n), a&(1 To n), b&(n)

t(1, 1) = 0

For i = 1 To bN Step 2

For j = IIf(i = 1, 2, 1) To n

t(i, j) = inf

If j > 1 And fGetBit(j, i) Then

tmp = i Xor $2^{(j-1)}$

For k = 1 To n

If fGetBit(k, i) And $k \neq j$ Then

d = t(tmp, k) + arrD(k, j)

If t(i, j) > d Then

t(i, j) = d

p(i, j) = k

End If

End If

Next k

End If

Next j, i

ans = inf

For j = 1 To n

 If arrD(j, 1) > 0 Then

 d = t(bN, j) + arrD(j, 1)

 If ans > d Then ans = d: k = j

 End If

Next j

i = bN

l = n

While i

 a(l) = k

 If k = m Then im = l

 j = k

 k = p(i, k)

 i = i Xor 2 ^ (j - 1)

 l = l - 1

Wend

For i = 0 To n

 b(i) = a((im + i - 1) Mod n + 1)

Next i

fDynamicTSP = b

End Function

Function fGetBit(nmb&, x&) As Boolean

 fGetBit = (x And 2 ^ (nmb - 1)) <> 0

End Function

```
Program Koks;  
uses crt;  
var  
  a:array[1..100,1..100] of integer;  
  posetil,q:array[1..105] of integer;  
  n,z,i,j,z:longint;  
Procedure Kokaalgor;  
var  
  ps,pe,max,min,k,l,j,x:longint  
begin  
  ps:=1;  
  pe:=1;  
  max:=0;  
  c:=0;  
  k:=z;  
  posetil[k]:=1;  
  q[ps]:=k;  
  for i:=1 to n do  
    for j:=1 to n do  
      begin  
        if a[i,j]>max then begin  
          max:=a[i,j];  
        end;  
      end;  
    end;
```

```

max:=max+1;
while ps<=n do begin
min:=max;
for i:=1 to n do
if (a[k,i]<>0) and (posetil[i]<>1) and (a[k,i]<min) then begin
min:=a[k,i];
x:=i;
end;
c:=c+a[k,x];
pe:=pe+1;
q[pe]:=x;
posetil[x]:=1;
ps:=ps+1;
k:=q[ps];
end;
c:=c+a[n,z];
n:=n+1;
q[n]:=q[1];
end;
begin
clrscr;
write('Ievadiet pilsetu skaitu:');
readln(n);
write('Ievadiet pilsetu no kura uzsakt');
readln(z);

```



```

for i:=1 to n do
  for j:=1 to n do
    begin
      if (i=j) then a[i,j]:=0;
      if (i<j) then
        begin
          write('Ievadiet attalumu suna (a['i','j,']=)');
          readln(a[i,j]);
          a[j,i]:=a[i,j];
        end;
      end;
    for i:=1 to n do
      begin
        for j:=1 to n do
          write(a[i,j],':':4);
        writeln;
      end;
      readln;
      Kokaalgor;
      writeln('cels koka algoritms:');
      for i:=1 to n do
        write(q[i],':':4);
      readln;
      writeln('tur');
      write(c);

```

```
writeln;  
readln;  
end.
```

```

1.  const COUNT_POINTS=6;
2.  type
3.    ARRNN=array[1..COUNT_POINTS] of integer;
4.    ARRNN=array[1..COUNT_POINTS,1..COUNT_POINTS] of integer;
5.  PROCEDURE FITSP(N,S,INF:INTEGER; VAR W:ARRNN; VAR
    ROUTE:ARRNN; VAR PATH_WEIGHT:INTEGER);
6.    VAR END1,END2,FARTHEST,I,INDEX,
7.        INSCOST,J,MAXDIST,NEWCOST,NEXTINDEX :INTEGER;
8.        CYCLE,DIST                :ARRNN;
9.  BEGIN
10.   FOR I:=1 TO N DO CYCLE[I]:=0;
11.   CYCLE[S]:=S;
12.   FOR I:=1 TO N DO DIST[I]:=W[S,I];
13.   PATH_WEIGHT:=0;
14.   FOR I:=1 TO N-1 DO
15.     BEGIN
16.       MAXDIST:=-INF;
17.       FOR J:=1 TO N DO
18.         IF CYCLE[J] = 0 THEN
19.           IF DIST[J] > MAXDIST THEN
20.             BEGIN
21.               MAXDIST:=DIST[J]; FARTHEST:=J
22.             END;
23.           INSCOST:=INF; INDEX:=S;
24.           FOR J:=1 TO I DO
25.             BEGIN
26.               NEXTINDEX:=CYCLE[INDEX];

```

```

27.
    NEWCOST:=W[INDEX,FARTHEST]+W[FARTHEST,NEXTINDEX]-
28.        W[INDEX,NEXTINDEX];
29.    IF NEWCOST < INSCOST THEN
30.    BEGIN
31.        INSCOST:=NEWCOST;
32.        END1:=INDEX; END2:=NEXTINDEX
33.    END;
34.    INDEX:=NEXTINDEX
35. END; { FOR J }
36. CYCLE[FARTHEST]:=END2; CYCLE[END1]:=FARTHEST;
37. PATH_WEIGHT:=PATH_WEIGHT+INSCOST;
38. FOR J:=1 TO N DO
39.     IF CYCLE[J] = 0 THEN
40.         IF W[FARTHEST,J] < DIST[J] THEN DIST[J]:=W[FARTHEST,J]
41.     END; { FOR I }
42. INDEX:=S;
43. FOR I:=1 TO N DO
44.     BEGIN
45.         ROUTE[I]:=INDEX; INDEX:=CYCLE[INDEX]
46.     END
47. END;
48. procedure THREEOPT(N:integer; var W:ARRNN; var ROUTE:ARRN);
49.     type SWAPTYPE =(ASYMMETRIC,SYMMETRIC);
50.     SWAPRECORD=record
51.         X1,X2,Y1,Y2,Z1,Z2,GAIN:integer;
52.         CHOICE           :SWAPTYPE
53.     end;
54.     var BESTSWAP,SWAP:SWAPRECORD;

```

```

55.   I,INDEX,J,K :integer;
56.   PTR       :ARRN;
57.   procedure SWAPCHECK(var SWAP:SWAPRECORD);
58.   var DELWEIGHT,MAX:integer;
59.   begin
60.     with SWAP do begin
61.       GAIN:=0;
62.       DELWEIGHT:=W[X1,X2]+W[Y1,Y2]+W[Z1,Z2];
63.       MAX:=DELWEIGHT-(W[Y1,X1]+W[Z1,X2]+W[Z2,Y2]);
64.       if MAX > GAIN then begin
65.         GAIN:=MAX; CHOICE:=ASYMMETRIC
66.       end;
67.       MAX:=DELWEIGHT-(W[X1,Y2]+W[Z1,X2]+W[Y1,Z2]);
68.       if MAX > GAIN then begin
69.         GAIN:=MAX; CHOICE :=SYMMETRIC
70.       end
71.     end
72.   end;
73.   procedure REVERSE(START,FINISH:integer);
74.   var AHEAD,LAST,NEXT:integer;
75.   begin
76.     if START <> FINISH then begin
77.       LAST:=START; NEXT:=PTR[LAST];
78.       repeat
79.         AHEAD:=PTR[NEXT]; PTR[NEXT]:=LAST;
80.         LAST:=NEXT; NEXT:=AHEAD;
81.       until LAST = FINISH
82.     end { if START <> FINISH }
83.   end; { RESERVE }

```

```

84. begin                                     { MAIN BODY }
85.   for I:=1 to N-1 do PTR[ROUTE[I]]:=ROUTE[I+1];
86.   PTR[ROUTE[N]]:=ROUTE[1];
87.   repeat { until BESTSWAP.GAIN = 0 }
88.     BESTSWAP.GAIN:=0;
89.     SWAP.X1:=1;
90.     for I:=1 to N do begin
91.       SWAP.X2:=PTR[SWAP.X1]; SWAP.Y1:=SWAP.X2;
92.       for J:=2 to N-3 do begin
93.         SWAP.Y2:=PTR[SWAP.Y1]; SWAP.Z1:=PTR[SWAP.Y2];
94.         for K:=J+2 to N-1 do begin
95.           SWAP.Z2:=PTR[SWAP.Z1];
96.           SWAPCHECK(SWAP);
97.           if SWAP.GAIN > BESTSWAP.GAIN then BESTSWAP:=SWAP;
98.           SWAP.Z1:=SWAP.Z2
99.         end; { for K }
100.        SWAP.Y1:=SWAP.Y2
101.      end; { for J }
102.      SWAP.X1:=SWAP.X2
103.    end; { for I }
104.    if BESTSWAP.GAIN > 0 then
105.      with BESTSWAP do begin
106.        if CHOICE = ASYMMETRIC then begin
107.          REVERSE(Z2,X1);
108.          PTR[Y1]:=X1; PTR[Z2]:=Y2
109.        end
110.      else begin
111.        PTR[X1]:=Y2; PTR[Y1]:=Z2
112.      end;

```

```

113.         PTR[Z1]:=X2;
114.         end { with BESTSWAP }
115.     until BESTSWAP.GAIN = 0;
116.     INDEX:=1;
117.     for I:=1 to N do begin
118.         ROUTE[I]:=INDEX; INDEX:=PTR[INDEX]
119.     end
120. end;
121. PROCEDURE TWOOPT( N:INTEGER; VAR W:ARRNN; VAR
    ROUTE:ARRN; VAR PATH_WEIGHT:INTEGER);
122.
123.     VAR AHEAD,I,I1,I2,INDEX,J,J1,J2,
124.         LAST,LIMIT,MAX,MAX1,NEXT,S1,S2,T1,T2:INTEGER;
125.     PTR
126.         :ARRN;
127. BEGIN
128.     FOR I:=1 TO N-1 DO PTR[ROUTE[I]]:=ROUTE[I+1];
129.     PTR[ROUTE[N]]:=ROUTE[1];
130.     REPEAT { UNTIL MAX = 0 }
131.         MAX:=0; I1:=1;
132.         FOR I:=1 TO N-2 DO
133.             BEGIN
134.                 IF I = 1 THEN LIMIT:=N-1
135.                 ELSE LIMIT:=N;
136.                 I2:=PTR[I1]; J1:=PTR[I2];
137.                 FOR J:=I+2 TO LIMIT DO
138.                     BEGIN
139.                         J2:=PTR[J1];
140.                         MAX1:=W[I1,I2]+W[J1,J2]-(W[I1,J1]+W[I2,J2]);
141.                         IF MAX1 > MAX THEN

```

```

141.      BEGIN  { BETTER PAIR HAS BEEN FOUND }
142.          S1:=I1; S2:=I2;
143.          T1:=J1; T2:=J2;
144.          MAX:=MAX1
145.      END;
146.      J1:=J2
147.      END; { FOR J }
148.      I1:=I2
149.      END; { FOR I }
150.      IF MAX > 0 THEN
151.          BEGIN          { SWAP PAIR OF EDGES }
152.              PTR[S1]:=T1;
153.              NEXT:=S2; LAST:=T2;
154.              REPEAT
155.                  AHEAD:=PTR[NEXT]; PTR[NEXT]:=LAST;
156.                  LAST:=NEXT; NEXT:=AHEAD
157.              UNTIL NEXT = T2;
158.              PATH_WEIGHT:=PATH_WEIGHT-MAX
159.          END { IF MAX > 0 }
160.      UNTIL MAX = 0;
161.      INDEX:=1;
162.      FOR I:=1 TO N DO
163.          BEGIN
164.              ROUTE[I]:=INDEX; INDEX:=PTR[INDEX]
165.          END
166.      END;
167.
168.      var
169.          W      :ARRNN=((0, 0, 0, 3, 3, 6),

```



```

170.          (0, 0, 1, 4, 1, 0),
171.          (1, 2, 0, 0, 0, 3),
172.          (4, 5, 0, 0, 0, 3),
173.          (4, 2, 0, 0, 0, 0),
174.          (7, 1, 3, 3, 0, 0)
175.      );
176.
177.      PATH_WEIGHT:integer;
178.      ROUTE :ARRN;
179.      i:integer;
180.  begin
181.      PATH_WEIGHT:=0;
182.      for i:=1 to COUNT_POINTS do ROUTE[i]:=i;
183.      FITSP(COUNT_POINTS,1,999999,W,ROUTE,PATH_WEIGHT);
184.      TWOOPT(COUNT_POINTS,W,ROUTE,PATH_WEIGHT);
185.      THREEOPT(COUNT_POINTS,W,ROUTE);
186.      for i:=1 to COUNT_POINTS do write(inttostr(ROUTE[i])+'->');
187.      write(inttostr(1)+' = '+inttostr(PATH_WEIGHT));
188.  end;

```