



Avdieieva L.Y., Romanyuk O.N., Seliutina H.A., Lemesko V., Sokolov O.M. et al.

INNOVATION IN DER MODERNEN WISSENSCHAFT
INNOVATIVE TECHNOLOGIE, INFORMATIK, SICHERHEITSSYSTEME,
VERKEHRSENTWICKLUNG, ARCHITEKTUR UND BAUWESEN,
PHYSIK UND MATHEMATIK

INNOVATION IN MODERN SCIENCE

INNOVATIVE TECHNOLOGY, COMPUTER SCIENCE, SECURITY SYSTEMS, TRANSPORT
DEVELOPMENT, ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION,
PHYSICS AND MATHEMATICS

Monographic series «European Science»
Book 30. Part 1.

In internationalen wissenschaftlich-geometrischen Datenbanken enthalten
Included in International scientometric databases

MONOGRAPHIE
MONOGRAPH

Authors:

Seliutina H.A. (1), Mysak P.V. (2), Mysak I.V. (2), Avdieieva L.Y. (3), Makarenko A.A. (3),
Turchyna T.Y. (3), Dekusha H.V. (3), Romanyuk O.N. (4), Bobko O.L. (4),
Zavalniuk Y.K. (4), Titova N.V. (4), Romanyuk S.O. (4), Stakhov O.Y. (4),
Bartovshchuk K.O. (5), Siekunova Y. (5), Postnikov Y. (6), Mysak P.V. (7),
Mysak I.V. (7), Lemeshko V. (8), Sokolov O.M. (9), Harhin V.H. (9)

Reviewers:

Avramenko Andrii Oleksandrovych, Corresponding Member of the National Academy of
Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of
Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine (3)
Ternovsky Valentin, Professor, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Odessa National
Maritime University (6)
Danchuk Victor, Dean of the Faculty of Transport and Information Technologies, Professor,
National Transport University of Kyiv (8)

Innovation in der modernen Wissenschaft: Innovative Technologie,
Informatik, Sicherheitssysteme, Verkehrsentwicklung, Architektur und
Bauwesen, Physik und Mathematik. Monografische Reihe «Europäische
Wissenschaft». Buch 30. Teil 1. 2024.

Innovation in modern science: Innovative technology, Computer
science, Security systems, Transport development, Architecture and
construction, Physics and mathematics. Monographic series «European
Science». Book 30. Part 1. 2024.

ISBN 978-3-98924-050-6

DOI: 10.30890/2709-2313.2024-30-01

Published by:

ScientificWorld-NetAkhatAV

Lußstr. 13

76227 Karlsruhe, Germany

e-mail: editor@promonograph.org

site: <https://desymp.promonograph.org>

Copyright © Authors, 2024

Copyright © Drawing up & Design. ScientificWorld-NetAkhatAV, 2024

*ÜBER DIE AUTOREN / ABOUT THE AUTHORS*

1. *Seliutina Halyna Anatoliyivna*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, State Biotechnological University - *Chapter 1*
2. *Mysak Pavlo Vasylovych*, graduate student, Lviv Polytechnic National University - *Chapter 2 (co-authored)*
3. *Mysak Ihor Vasylovych*, Candidate of Technical Sciences, Lviv Polytechnic National University - *Chapter 2 (co-authored)*
4. *Avdieieva Lesia Yuriivna*, Doctor of Technical Sciences, senior researcher, Institute of Engineering Thermophysics of National academy of Sciences of Ukraine - *Chapter 3 (co-authored)*
5. *Makarenko Andrii Anatoliiovych*, Candidate of Technical Sciences, Institute of Engineering Thermophysics of National academy of Sciences of Ukraine - *Chapter 3 (co-authored)*
6. *Turchyna Tetiana Yakivna*, Candidate of Technical Sciences, senior researcher, Institute of Engineering Thermophysics of National academy of Sciences of Ukraine - *Chapter 3 (co-authored)*
7. *Dekusha Hanna Valeriivna*, Candidate of Technical Sciences, senior researcher, Institute of Engineering Thermophysics of National academy of Sciences of Ukraine - *Chapter 3 (co-authored)*
8. *Romanyuk Oleksandr Nykyforovych*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnytsia National Technical University - *Chapter 4 (co-authored)*
9. *Bobko Oleksii Leonidovych*, Vinnytsia National Technical University - *Chapter 4 (co-authored)*
10. *Zavalniuk Yevhen Kostyantynovych*, graduate student, Vinnytsia National Technical University - *Chapter 4 (co-authored)*
11. *Titova Nataliia Volodymyrivna*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Odessa Polytechnic National University - *Chapter 4 (co-authored)*
12. *Romanyuk Serhii Oleksandrovyh*, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Odessa Polytechnic National University - *Chapter 4 (co-authored)*
13. *Stakhov Oleksii Yaroslavovych*, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Vinnytsia National Technical University - *Chapter 4 (co-authored)*
14. *Bartovshchuk Kateryna Oleksandrivna*, master, National University of life and environmental science of Ukraine - *Chapter 5 (co-authored)*
15. *Siekunova Yuliia*, Candidate of Historical Sciences, Associate Professor, National University of life and environmental science of Ukraine - *Chapter 5 (co-authored)*
16. *Postnikov Yevgen*, graduate student, Odessa National Maritime University - *Chapter 6*



17. *Mysak Pavlo Vasylovych*, graduate student, Lviv Polytechnic National University - *Chapter 7 (co-authored)*
18. *Mysak Ihor Vasylovych*, Candidate of Technical Sciences, Lviv Polytechnic National University - *Chapter 7 (co-authored)*
19. *Lemeshko Vasyl*, Candidate of Technical Sciences, Taras Shevchenko National University of Kyiv - *Chapter 8*
20. *Sokolov Oleksandr Mykolaiovych*, Candidate of Technical Sciences, senior researcher, V. Bakul Institute for superhard materials of NAS of Ukraine - *Chapter 9 (co-authored)*
21. *Harhin Vladyslav Herasymovych*, Candidate of Technical Sciences, senior researcher, V. Bakul Institute for superhard materials of NAS of Ukraine - *Chapter 9 (co-authored)*



Inhalt / Content

CHAPTER 1

FORMULATION OF SAFE PRODUCTS FROM FRUIT AND VEGETABLES RAW MATERIALS FOR HEALTHY NUTRITION

Introduction	8
1.1. The formation of ideas about the safety of food products and the assessment of the risk of food safety	9
1.2. Characteristics of toxic substances, sources of their entry and conditions of accumulation in food products	13
1.3. Analysis of modern methods of reducing toxic substances in plant raw materials	30
1.4. Development of methods for reducing nitrates in radish roots.....	39
Conclusions	43

CHAPTER 2

DEVELOPMENT OF LNG- INFRASTRUCTURE IN THE EUROPEAN UNION

Introduction	47
2.1. Entstehung und Entwicklung der Infrastruktur für verflüssigtes Erdgas	48
2.2. Bedeutung von LNG für die Europäische Union.....	51
2.3. LNG-Infrastruktur in der Europäischen Union.....	54
2.4. Herausforderungen und Perspektiven der Entwicklung der LNG- Infrastruktur.....	55
Conclusions	59

CHAPTER 3

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF THE BIOFUEL SECTOR IN UKRAINE

Introduction	61
3.1. Volume of Biofuel Production in Ukraine.....	64
3.2. Main Types of Biofuel	65
3.3. Geographical Distribution of Production.....	67
Conclusions	69

**CHAPTER 4****ANALYSIS OF GRAPHICS PIPELINES**

Introduction	71
4.1. Analysis of graphics pipelines stages.....	71
4.2. Analysis of graphics pipelines development.....	77
Conclusions	80

CHAPTER 5**PARTNERSHIP BETWEEN UKRAINE AND NATO:**

HISTORY AND PRESENT.....	81
---------------------------------	-----------

CHAPTER 6
**METHODS AND MODEL OF RISKS ASSESSMENT IN INFLUSION
OF HYDROMETEOROLOGICAL FACTORS DURING TOWING OF
SEISMIC OPERATIONS AND RISKS ASSESSMENT IN MANEUVERING
TOWING OPERATIONS**

Introduction	92
6.1. The method of assessing the structural stability of the "tug-seismic equipment" system during maneuvering.....	96
6.2. The method of determining the trajectory of seismic equipment in the stationary nature of marine towing	101
6.3. Model for assessing the navigational hazard during stationary towing of seismic equipment	114
6.4. Evaluation of the influence of the human factor and formation of the extremity matrix.....	120
6.5. Recommendations for the construction of a shipboard automated system for predicting the risks of towing operations	125
6.6. Method of assessing the complexity of the navigation situation	131
6.7. Recommendations for designing a towing operation with risk minimization.....	143
Conclusions	151

CHAPTER 7
**ESTABLISHING A ROBUST FOUNDATION FOR THE SUCCESSFUL
INTEGRATION OF BIM TECHNOLOGY IN UKRAINE**

Introduction	154
7.1. Methoden - SWOT-Analyse	157
7.2. BIM-Technologie	160
7.3. BIM-Adoption weltweit.....	161
Conclusions	162

**CHAPTER 8****COMPLEX FORMATION IN SOLUTIONS**

Introduction	164
8.1. Theoretical part	165
8.1.1. <i>Multivariate curve resolution</i>	165
8.1.2. <i>Quantum cluster equilibrium theory</i>	166
8.2. Experimental part	167
8.2.1. <i>Samples</i>	167
8.2.2. <i>FTIR spectroscopy</i>	167
8.2.3. <i>Raman spectroscopy</i>	168
8.3. Results and discussion.....	168
8.3.1. <i>Raman and ATR FTIR spectra</i>	168
8.3.2. <i>Multivariate curve resolution method</i>	170
8.3.3. <i>QCE calculations</i>	174
Conclusions	180

CHAPTER 9**THERMOSTABILITY OF PDC: FACTORS AFFECTING
THERMOSTABILITY AND WAYS TO IMPROVE IT**

Introduction	181
9.1. PDC plate technology and its disadvantages	181
9.2. Leaching of cobalt from diamond polycrystalline PDC layer	184
9.3. Technology for obtaining thermostable PDCs based on silicon impregnation of diamond powder	190
9.4. Technology of obtaining polycrystalline diamond compact materials without the use of metal bonds and solvents.....	195
Conclusions	197
 References	 199



KAPITEL 1 / CHAPTER 1 ¹
FORMULATION OF SAFE PRODUCTS FROM FRUIT AND VEGETABLES
RAW MATERIALS FOR HEALTHY NUTRITION
DOI: 10.30890/2709-2313.2024-30-00-018

Вступ

Застосування в агропромисловому секторі сучасних добрив та засобів захисту рослин, накопичення токсичних відходів у повітрі, воді і ґрунті призводять до погіршення стану природного середовища – основи для формування якості плодоовочевої рослинної сировини. В зв'язку з цим одним із наслідків забруднення довкілля є зростання вимог до якості та безпечності плодоовочевої сировини та отриманої із неї харчової продукції. Перспективним напрямом розвитку виробництва харчових продуктів є контроль та забезпечення якості рослинної сировини та розробка на її основі технологій продуктів оздоровчого спрямування, які крім визначеного функціонального призначення повинні бути екологічно чистими та безпечними для людини.

Виробництво безпечних і якісних продуктів оздоровчого харчування наразі знаходиться в центрі уваги широкого кола фахівців, що займаються розробкою технологій продуктів з плодів та овочів і визначенням критеріїв оцінки їх якості та безпеки. На сьогодні актуальним стає завдання контролю, регулювання та оптимізації вмісту біологічно активних речовин (БАР) рослин, що беруть участь в обмінних процесах і є чинниками нейтралізації і виведення шкідливих контамінантів із клітин організму людини. Найнебезпечнішими серед контамінантів є солі важких металів, нітрати, радіонукліди, пестициди, мікотоксини, які накопичуються в рослинній сировині на різних етапах її росту та агротехнологічної переробки. Шкідливі речовини, що потрапляють з плодами та овочами в організм людини, інкорпорується в клітинні структури та порушують природні обмінні процеси, приводячи до важких захворювань.

Тому актуальним завданням є розробка технологій та істотне збільшення виробництва харчових продуктів на основі рослинної сировини, що багата БАР -

¹*Authors: Seliutina Halyna Anatolyivna*



природними захисними факторами (мінеральними елементами, поліфенолами, антоціановими речовинами, антимікробними речовинами). Перспективною сировиною є коренеплоди редьки – традиційна для України дешева сировина, яка поки не знайшла належного застосування в харчовій промисловості. Інтенсивні агротехнології та екологічні чинники сприяють накопиченню у коренеплодах редьки шкідливих речовин, а відсутність ефективних технологій переробки не дозволяють одержати безпечні продукти високої якості. Тому актуальною є розробка технологій отримання продуктів із редьки високої якості та рівня безпеки з метою подальшого впровадження в виробництво доступних за ціною продуктів оздоровчого спрямування.

1.1. Формування уявлень про безпечність харчових продуктів та оцінка ризику небезпеки харчування

Безпечність харчового продукту характеризує його стан, який є результатом діяльності з виробництва та обігу, що здійснюється з дотриманням вимог, встановлених санітарними заходами або технічними регламентами, та забезпечує впевненість у тому, що харчовий продукт не завдасть шкоди здоров'ю людини, якщо він спожитий за призначенням [1].

До 80-х років XX ст. розвиток харчової токсикології базувався на беззастережному уявленні, що традиційні види харчових продуктів, які одержані з незабрудненої натуральної сировини, особливо, рослинного походження, є доброякісними і нетоксичними для людини. Непорушність такого уявлення спиралось на багатовіковий досвід «практичної» харчової токсикології, основним інструментом якої був метод спроб і помилок. У певній мірі цей погляд вплинув на розвиток досліджень і методологію харчової токсикології. Протягом тривалого часу головним завданням харчової токсикології була оцінка функціонального стану і морфологічних змін організму людини в умовах дії харчових компонентів або продуктів [2].



Наприкінці ХХ ст. сформувалось уявлення про те, що абсолютно нешкідливих харчових продуктів не існує. Адже всі продукти рослинного походження містять, так звані, продукти вторинного обміну рослин, до яких відносять глікозиди, алкалоїди, флавоноїди, терпеноїди, органічні кислоти. Вивчення складної і тонко організованої взаємодії між рослинами і тваринами призвело до відкриття, що присутність в рослинах токсичних продуктів вторинного обміну є способом захисту від вторгнення інших рослин у зону їх зростання, а також попереджає поїдання їх тваринами. Було встановлено, що рослини створюють навколо себе зони токсичності, гальмуючи в їх межах розвиток інших рослин. Таке явище одержало назву алелопатії. Доведено, що синтез токсинів спостерігається у багатьох культурних рослин, як зернових, так і овочевих. Іноді харчові продукти рослинного походження можуть накопичувати токсичні речовини в концентраціях, які викликають специфічні отруєння – харчові токсикози. Так, алкалоїд соланін, присутній в усіх сортах картоплі, здатен накопичуватись в ній і викликати навіть смертельні отруєння у разі позеленіння бульб під дією сонячних променів або внаслідок проростання картоплі.

Давно відома токсична дія ціаногенних глікозидів, які містяться в ядрах кісточкових плодів. У літературі описані випадки отруєнь при вживанні ядер абрикосів, вишень та слив, а також наливов, які протягом кількох років настоювались разом з кісточками і накопичили значну кількість синильної кислоти [3].

Низка продуктів рослинного походження містять токсичні білки, наприклад, рицин у рицині, інгібітори трипсину в бобових. Близько 40 видів рослинних продуктів (соєві боби, морква, капуста, горох, рис, соняшникова олія) містять, так звані, фітоестрогени. Надходження до організму сполук естрогенної будови може сприяти виникненню гормональних реакцій, впливаючи навіть на репродуктивну функцію [4].

У кінці ХХ століття в продуктах рослинного походження відкрито багато токсичних сполук, які відносяться до класу фенолів або похідних вуглеводів



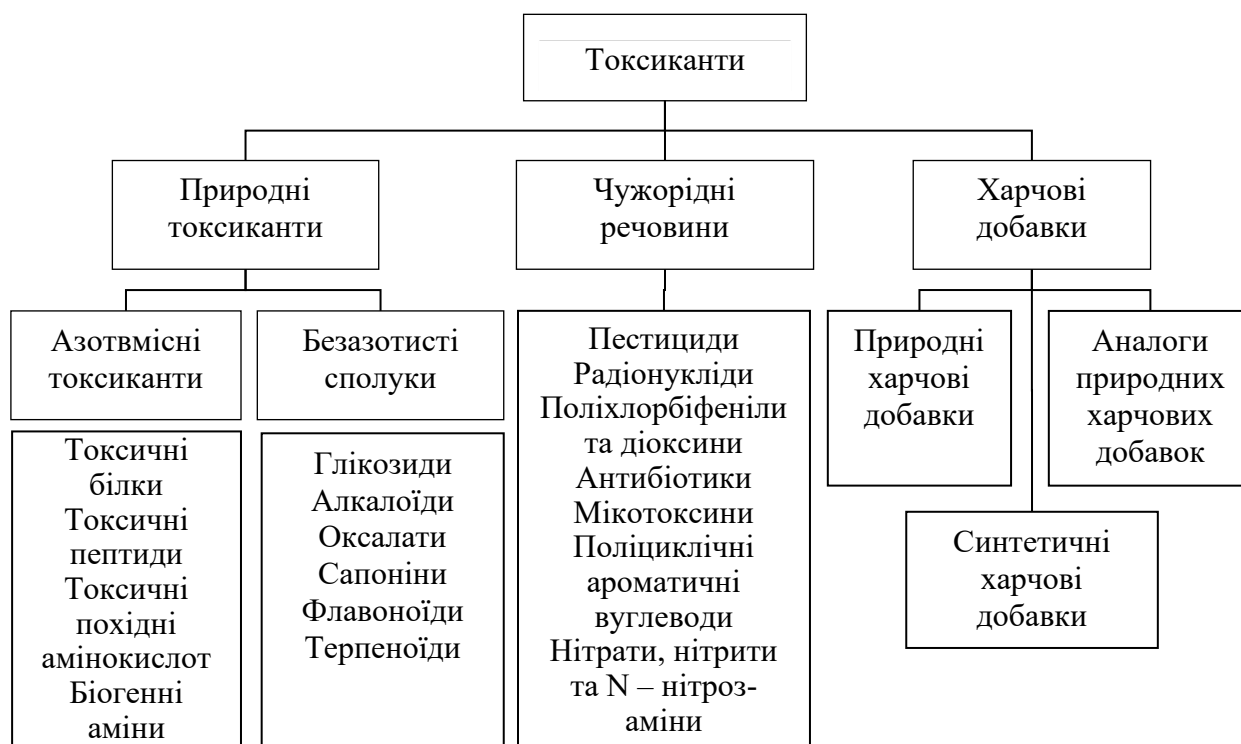
відносно простої будови. Описана токсичність щавлевої кислоти, що міститься у щавлі, шпинаті, салаті, ревені, баклажанах. Вважають, що щавлева кислота гальмує кінцевий етап процесу тканинного дихання в дихальному ланцюзі, інгібуючи фермент сукцинатдегідрогеназу. Встановлено, що пряму небезпеку становлять рослини, які містять понад 10% щавлевої кислоти на суху масу.

У кінці XX століття відкрито, що низка продуктів містять пресорні аміни, які сприяють підвищенню артеріального тиску крові. Такі продукти, як петрушка, морква, мускатний горіх містять галюциноген міристицин [5].

Розвиток харчової токсикології пов'язаний також із всезростаючою кількістю потенційно небезпечних хімічних сполук, які виробляє для господарчих потреб промисловість. У наш час загальна кількість відомих людині хімічних речовин сягає 6 мільйонів. Багато з них різними шляхами потрапляють до харчових продуктів (пестициди, нітрати, нітроти, токсичні елементи, антибіотики, гормони, харчові добавки тощо) [3]. Наведені дані дають можливість ще раз свідчити про помилковість уявлень щодо безпеки харчових продуктів і добавок рослинного походження [6]. Класифікація токсичних компонентів харчових продуктів наведена на рис. 1.1.

Розвиток науки привів до висновку, що абсолютно безпечних продуктів у природі не існує, оскільки не існує жодного компонента харчових продуктів, який не був би безпечним для тієї чи іншої частини населення. Такий підхід дав змогу сформулювати поняття ризику та його оцінку.

Оцінка ризику включає три основних критерії: важкість небезпеки, частоту та час появи ефекту. Важкість небезпеки може коливатися від слабо вираженої, що проявляється тимчасовим дискомфортом, до більш серйозних, але зворотних ефектів, і, врешті решт, до незворотних наслідків, включаючи смерть. Частота появи небезпеки обчислюється кількістю випадків або інтенсивністю виникнення даного ефекту. Час появи небезпеки зумовлює час виникнення ефекту з моменту дії небезпеки і може змінюватися від раптової появи ефекту до віддалених наслідків [7].



**Рис. 1.1 - Класифікація токсикантів хімічного походження
в харчових продуктах**

Прийняття поняття ризику та його оцінки зумовили необхідність розробки допустимих рівнів шкідливих речовин у харчових продуктах. У 70-х роках ХХ століття під егідою ФАО/ВООЗ була створена міжнародна програма розробки стандартів харчових продуктів. Головним її органом стала комісія «Кодекс Аліментаріус», членами, якої стали 117 країн світу. У результаті роботи комісії створені 18 томів, які містять близько 200 міжнародних стандартів на харчові продукти. У цей же період були розроблені державні стандарти на харчові продукти та на харчові добавки.

Все більшого значення набуває удосконалення програми токсиколого - гігієнічного обґрунтування безпечності харчових продуктів. Адже можливий негативний вплив на здоров'я людини не лише забруднювачів харчових продуктів, а й змінених характеристик самих продуктів харчування. Відомо, що традиційна харчова токсикологія базується на дослідженні значень обмеженої кількості фізіологічних, біохімічних та гігієнічних показників в умовах дії спожитої дози токсиканта [7, 8].



Таким чином, у XX ст. харчова токсикологія досягла значного розвитку. В основу її було покладено широке уявлення про тенденції токсичності харчових продуктів, сформульовано поняття безпечності харчових продуктів, дано характеристику ризику та його оцінки, розроблено гранично допустимі рівні токсикантів у харчових продуктах та високочутливі методи їх визначення. До досягнень харчової токсикології в XX ст. слід віднести також пояснення механізмів токсичності хімічних сполук природного та антропогенного походження [9].

1.2. Характеристика токсичних речовин, джерел їх потрапляння та умов накопичення у харчових продуктах

У сільськогосподарській сировині та харчовій продукції певною мірою накопичуються токсичні речовини, які об'єднують у такі групи: нітрати, пестициди, важкі метали, радіонукліди і мікотоксини. Зазначені види токсичних речовин мають різну хімічну природу, джерела потрапляння та умови накопичення у харчових продуктах. Визначення їх особливостей впливатиме на розробку ефективних технологій очищення овочевої сировини та створення безпечних і якісних продуктів харчування на їх основі.

Характеристика нітратів

Нітрати – це солі азотної кислоти, що є найбільш поширеною речовиною у природі. Навантаження нітратів на організм людини стало помітно зростати останнім часом. Ця проблема з'явилась внаслідок хімізації сільського господарства, застосування мінеральних добрив з наявністю азоту (калієва селітра KNO_3 , натрієва селітра NaNO_3 , аміачна селітра NH_4NO_3) для підвищення врожаїв сільськогосподарських культур. Накопичення в сировині та продуктах великі кількості нітратів є небезпечними для здоров'я людини. Людина порівняно легко переносить дозу 150-200 мг нітратів за добу, 500 мг вважається гранично допустимою дозою, а 600 мг за добу – доза, токсична для дорослої



людини, для грудних дітей токсичною є доза 10 мг за добу.

Головним чинником, що призводить до підвищеного накопичення нітратів, є нераціональне застосування азотних добрив, порушення агротехніки обробки сільськогосподарських культур тощо. Однак підвищений вміст нітратів у рослинах може бути зумовлений не тільки застосуванням великих доз азотних добрив, а також низкою інших чинників, які пов'язані із метаболізмом нітрогеновмісних сполук. Такими чинниками є співвідношення різних поживних речовин у ґрунті, освітлення, температура, вологість та ін. Чинники, що гальмують процес фотосинтезу, сповільнюють швидкість відновлення нітратів є включення їх до складу білків. Причиною підвищеного вмісту нітратів у овочах, вирощених під плівкою чи в теплицях за великої загущеності посіву, є нестача світла. Тому рослини з підвищеною здатністю акумулювати нітрати не слід вирощувати в затемнених місцях, наприклад у садах. Відомо, що вирощені на відкритому ґрунті овочі в період великої тривалості світлового дня, мають вищу харчову цінність, ніж вирощені в закритому ґрунті чи наприкінці літа, коли тривалість світлового дня менша. Краще освітлення і велика кількість сонячного світла сприяють асиміляції нітрогену з ґрунту, що зумовлює зниження вмісту нітратів у рослинах. Підвищення температури і вологості повітря також сприяють збільшенню активності нітритредуктази – НАДФН, що сприяє зниженню вмісту нітратів у плодах і овочах. На концентрацію нітратів у рослинах впливають і терміни збирання врожаю. Так, збільшення тривалості вегетації у весняний період позитивно позначається на зниженні вмісту нітратів у овочах [10].

Як свідчить практика, вміст нітратів у рослинних продуктах нерідко перевищує допустимі рівні. Це служить підставою для визначення шляхів їх правильного використання. Кількість нітратів в рослинах залежить від їх біологічних особливостей. В овочах найбільша кількість нітратів знаходиться в зелені (петрушки, кропу, салату та ін.), коренеплодах (редиски, буряка, моркви). Порівняно мало нітратів накопичується в томатах та картоплі. Між цими двома групами овочів проміжне місце займають огірки та капуста. Ранні овочі вмістять



нітратів більше, ніж пізні. Як правило, концентрація нітратів в тепличних овочах більша, ніж в овочах відкритого ґрунту. Відносно мало нітратів накопичується у фруктах та ягодах. Дослідження показують, що вміст нітратів в рослинних продуктах розподіляється нерівномірно. Так, наприклад, кількість нітратів в листях петрушки, укропу на 50...60% нижча, ніж в стеблах; кількість нітратів в верхній частині моркви на 80% менша, ніж у внутрішній. В огірках, редисці, навпаки, поверхневий шар вмістить на 70% нітратів більше, ніж внутрішній [10].

Характеристика пестицидів

Пестициди – це загальне найменування всіх хімічних сполук, що застосовуються в сільському господарстві для захисту культурних рослин від шкідливих організмів (*англ.* *pestis* – паразити, *cide* – знищувати). Основною сферою їх застосування є рослинництво. У всьому світі в середньому за рік застосовується близько 3,2 млн т гербіцидів, фунгіцидів та інсектицидів (у середньому по 0,5 кг на жителя планети). Нині у світі як пестициди використовуються близько 900 активних сполук, що входять до складу 60 тис. препаратів. Розрізняють наступні групи пестицидів:

– *хлорорганічні пестициди (ХОП)* застосовують як акарициди, інсектициди, фунгіциди. Вони зберігаються в оброблених рослинах до кількох місяців, в ґрунті – до десяти років. Під час вимивання ґрунтів опадами або підземними водами ХОП потрапляють до водойм і тривалий час зберігаються в них. Серед хлорорганічних пестицидів сильнодіючими отруйними речовинами є: хлор-суміш, гама-ізомер гексахлорану; високотоксичними – дихлоретан, гексахлорбутадиєн, тіодан, поліхлоркамфен; середньотоксичними – ДДТ, ДДД, поліхлорпірен, поліхлорбутан. Більшість із них мають виражені кумулятивні властивості з гонадотоксичною, мутагенною, канцерогенною дією.

– *фосфорорганічні сполуки (ФОС)* – токсичні високоліпідотропні речовини, які накопичуються в печінці, головному мозку, м'язах, жировій тканині. В організмі тварин ФОС можуть перетворюватися на найтоксичніші тіолові метаболіти. Нині близько 30 препаратів – інсектициди і акарициди – застосовують у рослинництві (хлорофос, метафос, карбофос, діюфос, ціодрин,



діазінон).

– *карбонатні пестициди* – похідні карбамінової, тіокарбамінової кислот, широко використовують як активні інсектоакарициди (севін, байгон, алкілсевін, дикрезил, бентіокарб, полікарбацин тощо), фунгіциди (цинеб, цирон, карботіон, бвноміл, ентракол, манеб тощо), нематоциди (карботіон тощо), гербіциди (ялан, карботіон, бетанал, тріалат, хлор ІФК). Більшість карбаматів є токсичними препаратами, а деякі з них мають ембріотоксичну і гонадотоксичну дію та кумулятивні властивості.

– *меркурійорганічні пестициди (МОП)* – сильнодіючі отруйні речовини чи високотоксичні препарати для людини, які використовуються обмежено – лише для оброблення насіння в боротьбі з бактеріальними і грибними захворюваннями. Небезпека цих препаратів для людини пов'язана не тільки з їхньою високою токсичністю, а й із леткістю, внаслідок якої пари меркурію утворюються за кімнатної та нижчої температур, що може призвести до тяжких отруєнь.

Пестицидне навантаження на людину в різних країнах різне залежно від асортименту споживаних продуктів, застосовуваної системи захисту рослин і регламентування вмісту пестицидів у харчових продуктах. Допустимі залишки пестицидів у продуктах – це офіційно дозволена нешкідлива кількість залишків пестицидів (в мг/кг) у тому чи іншому продукті. Надходження з їжею гранично допустимих залишкових кількостей пестицидів зазвичай не призводить до гострих отруєнь. Воно проявляється розтягнутою у часі хронічною дією зі слабо вираженою етіологією або практично не проявляється. Безпосередній контакт з пестицидними препаратами, споживання продукції з їх високим вмістом може стати причиною гострих отруєнь і навіть загибелі людей.

В Україні з числа досліджуваних 1200 проб овочів і фруктів у 25 виявлені залишкові кількості ДДТ, у 7 – ГХЦГ, у 8 – рогор. Тому організація постійного контролю за вмістом пестицидів у продуктах харчування є актуальною й для вирішення цієї проблеми в Україні діє Закон «Про пестициди і агрохімікати» (від 2.03.1995 р.), який регулює правові відносини, пов'язані з державною реєстрацією, виробництвом, закупівлею, транспортуванням, зберіганням,



реалізацією та безпечним для здоров'я людини і довкілля застосуванням пестицидів і агрохімікатів, визначає права й обов'язки підприємств, установ, організацій і громадян, а також повноваження органів державної виконавчої влади і посадових осіб у цій сфері [11].

Характеристика важких металів

Важкі метали відносяться до забруднюючих речовин, спостереження за якими обов'язкове у всіх середовищах. Солі важких металів крізь ґрунт, повітря, воду потрапляють у рослини, частини яких використовуються як продовольча сировина та продукти харчування. З харчовими продуктами до організму людини надходить майже 70 важких металів, в основному мікроелементів. Усі вони можуть проявляти токсичність, якщо споживаються в надлишкових кількостях. Налічується 20 токсичних важких металів, але вони неоднаковою мірою токсичні. Їх поділяють на три класи небезпечності:

- 1) високої токсичності (найнебезпечніші) – кадмій, ртуть, нікель, свинець, кобальт, арсен;
- 2) помірної токсичності – мідь, цинк, манган;
- 3) інші токсичні важкі метали.

Треба зазначити, що свинець і кадмій потенційно канцерогенні. Харчові продукти і продовольча сировина контролюються на вміст лише кадмію, міді, ртуті, свинцю, цинку, стануму, арсену і феруму.

Крім того, токсичність металів проявляється під час їхньої взаємодії один з одним. У деяких країнах (США, Німеччина, Фінляндія) на підставі сучасних досліджень дії важких металів на організм людини добові норми переглядають і навіть збільшують. Наприклад, у США добова норма споживання селену становить 10 мг (в Україні – 0,5 мг), що пояснюється його блокувальною дією щодо шкідливих і канцерогенних важких металів: кадмію, ртуті, свинцю.

За класифікацією Н. Реймерса, важкими слід вважати метали з густиною більше 8 г/см³. Таким чином, до важких металів відносяться Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg [12].

Сполуки ртуті (Hg) належать до найнебезпечніших забруднювачів



біосфери. Великі кількості цих сполук містяться у стоках хімічних заводів (підприємств, які виробляють натрію гідроксид, ацетальдегід), паперових і целюлозних виробництв, у продуктах спалювання кам'яного вугілля. Щороку в результаті спалювання кам'яного вугілля в атмосферу планети викидається близько 3000 т меркурію. Сполуки меркурію є діючою речовиною багатьох пестицидів, які використовуються для протравлення насіння рослин, а також для виробництва деяких лікарських препаратів, що використовуються в тваринництві. У ґрунті сполуки меркурію містяться у вигляді менш токсичного меркурію сульфуристого або можуть вноситися в нього з протравленим насінням (гранозан, агрозан, агронал, меркургексан тощо). В основних харчових продуктах вміст меркурію менший, ніж 60 мкг на 1 кг продукту. Токсична небезпека меркурію виражається у взаємодії з SH-групами білків. Блокуючи їх, меркурій змінює біологічні властивості тканинних білків та інактивує низку гідролітичних і окисних ферментів. Меркурій, який проникнув у клітину, може включитися в структуру ДНК, що позначається на спадковості людини. Органічні сполуки меркурію – стійкі речовини з кумулятивними властивостями. В організмі людини період їх напіврозпаду становить 70 днів. Метил меркурій та інші алкільні сполуки характеризуються ембріотоксичною і мутагенною дією. Перевірці на вміст меркурію мають піддаватися всі продукти у тих випадках, коли є підозра у неблагополучній екологічній ситуації [12].

Цинк (Zn) є компонентом ряду ферментних систем, що необхідний для утворення дихальних ферментів-цитохромів А і Б, цитохромоксидази (активність якої різко падає при недостатності цинку). Цинк пов'язаний з перетворенням сполук, що містять сульфгідрильну групу, функція яких полягає у регулюванні рівня окисно-відновлювального потенціалу в клітинах. При нестачі цинку у вакуолях кліток нагромаджуються поліфеноли, фітостерін, лецитин як продукти неповного окислення вуглеводів і білків; у листі спостерігається більше редукуючих цукрів і фосфору і менше сахарози та крохмалю. За відсутності цинку порушується процес фосфорилювання глюкози та значного зменшення в рослинах ростового гормону – ауксину. Цинк –



складовий компонент ферменту карбоангидрази. Входячи до складу карбоангидрази, цинк впливає на найважливішу фотохімічну реакцію утилізації вуглекислого газу рослинами і на процес виділення CO₂, тобто на процес дихання рослин.

Світове виробництво арсену (миш'яку – Ar) становить приблизно 50 тис. т на рік. Останнім часом виробництво арсену кожні десять років зростає на 25%. Основну небезпеку становить техногенне забруднення довкілля сполуками арсену навколо мідеплавильних заводів, підприємств, які переробляють кольорові метали, спалюють буре вугілля. Арсен використовують у виробництві барвників, скла й емалей. Внаслідок великого поширення в довкіллі та використання в сільському господарстві арсен наявний у більшості харчових продуктів. Зазвичай його вміст у харчових продуктах низький – менш як 0,5 мг/кг і зрідка перевищує 1 мг/кг, за винятком деяких морських організмів, що мають здатність акумулювати цей елемент. Крім гострого і хронічного токсичного впливу, сполуки арсену мають канцерогенну дію. Людина з різних джерел отримує щоденно приблизно 0,1 мг/кг арсену, що близько до максимально допустимого рівня. За підвищення концентрації арсену існує небезпека інтоксикації, оскільки його сполуки мають високу кумуляцію.

Кобальт (Co) постійно присутній в тканинах рослин. Кобальт бере участь в обмінних процесах. У живому організмі його вміст залежить від його рівня в рослинах і ґрунтах. Концентрація кобальту в рослинах в середньому складає 2,2...4,5·10⁻⁵% на суху речовину. У мікродозах кобальт є необхідним елементом для нормальної життєдіяльності багатьох рослин і тварин. Разом з тим підвищені концентрації сполук кобальту є токсичними.

Кадмій (Cd) – один із найнебезпечніших токсикантів зовнішнього середовища. У природному середовищі кадмій зустрічається в дуже малих кількостях, саме тому його отруйна дія була виявлена лише недавно. Сполуки кадмію в невеликих кількостях (0,1 мг/кг) містяться в ґрунті, багатьох продуктах, мінеральних добривах, деяких фунгіцидах. Найбільше кадмію надходить з рослинною їжею. Кадмій легко переходить із ґрунту в рослини, останні



поглинають до 70% його з ґрунту і лише 30% – із повітря. В окремих продуктах, досліджених у США, Австралії, Великій Британії, країнах СНД, виявлено такі кількості кадмію (мкг/кг): у хлібі – 2...4,3, зернових – 28...05, горосі – 15...19, квасолі – 5...12, картоплі – 12...50, капусти – 2...26, помідорах – 10...30, салаті – 23, фруктах – 9...42, рослинній олії – 10...50, цукрі – 5...13, яблуках – 2...19. Експерти ФАО вважають, що доросла людина з раціоном отримує 30...150 мкг кадмію на добу, причому в Європі – 30...60 мкг, в Японії – 30...100 мкг, у кадмієвих геохімічних районах – близько 300 мкг.

Кількість кадмію, що потрапляє до організму людини, залежить не тільки від споживання нею кадмієвмісних харчових продуктів, а й великою мірою від якості її дієти. Зокрема ферум може суттєво змінити акумуляцію кадмію. Достатня кількість феруму в крові, очевидно, гальмує його акумуляцію. Крім того, великі дози вітаміну D діють як протитрута під час отруєння кадмієм. ВООЗ вважає максимально допустимою величину надходження кадмію для дорослих людей 500 мкг на тиждень [12].

У довкіллі підвищений вміст плумбуму (свинцю – Pb) пов'язаний головним чином з техногенним забрудненням повітря, ґрунту, води. Джерела забруднення – енергетичні установки, які працюють на вугіллі, рідкому паливі, двигуни внутрішнього згорання, пальне з антидетонатором – тетраетилплумбумом. Промислові викиди, вихлопні гази двигунів потрапляють на ґрунт, траву, що призводить до збільшення плумбуму в кормових рослинах у десятки разів. Плумбум міститься в мікрокількостях майже повсюдно. У ґрунтах зазвичай його міститься від 2 до 200 мг/кг. У радіусі кількох кілометрів від підприємств, які переробляють плумбум, концентрація цього металу в деяких овочах і фруктах коливається в межах (мг/кг): у помідорах – 0,6...1,2, огірках – 0,7...1,1, у перці – 1,5...4,5, баклажанах – 0,5...0,75, картоплі – 0,7...1,5. У різних сортах винограду кількість плумбуму в цих районах досягає 1,8...3,8 мг/кг. Вміст його в пшениці і горосі коливається від 20 до 22 мг/кг, а в зеленій і сухій рослинній масі, які використовують як фураж, його вміст становить відповідно близько 60 і 36 мг/кг відповідно. Годівля сільськогосподарських тварин таким фуражем становить



серйозну небезпеку через забруднення плюмбумом молока і м'яса цих тварин. Частина плюмбуму, що потрапляє в організм тварин, виводиться з молоком і до 95% відкладається в кістках. Пестициди, що містять плюмбум, можуть збільшити вміст останнього у фруктах і овочах, а за досить тривалого використання таких пестицидів плюмбум надходить у продукти безпосередньо із забрудненого ґрунту. За даними ВООЗ, тривалий вплив плюмбуму за його концентрації в крові понад 70 мкг/мл може призвести до хронічної незворотної нефропатії. Експерти ФАО і ВООЗ встановили величину максимально допустимого надходження плюмбуму для дорослої людини – 3 мг на тиждень [13].

Купрум (мідь - Cu) міститься майже в усіх харчових продуктах. Добова потреба дорослої людини у купрумі становить 2...2,5 мг, тобто 35...40 мкг/кг маси тіла, дітей – 80 мкг/кг. Однак за нормального вмісту в їжі молібдену і цинку – фізіологічних антагоністів купруму, за оцінкою експертів ФАО, добове споживання останнього може становити не більше 0,5 мг/кг маси тіла (до 30 мг у раціоні).

Споживання в їжу великої кількості солей купруму спричиняє токсичні ефекти у людей і тварин, зазвичай зворотні. Під час випадкового потрапляння великих кількостей купруму в організм людей, які обробляють виноградники бордоською сумішшю, виявляються симптоми ураження легень, які гістологічно нагадують силікоз. Деякі автори зазначають взаємозв'язок між розвитком раку легень і нагромадженням купруму. Летальною для організму людини є концентрація купруму 0,175...0,250 г/добу. Гігієнічними вимогами до якості і безпеки продовольчої сировини й харчових продуктів передбачається обов'язковий контроль за вмістом купруму в харчовій продукції.

Характеристика радіонуклідів

Способи надходження радіонуклідів до організму людини з їжею досить складні і різноманітні. Розрізняють поверхневе (повітряне) і структурне забруднення харчових продуктів радіонуклідами. Під час поверхневого забруднення радіоактивні речовини, що переносяться повітряним середовищем, осідають на поверхні продуктів, частково проникаючи всередину рослинної



тканини. Ефективніше радіоактивні речовини утримуються на рослинах із ворсистим покривом і розгалуженою наземною частиною, у складках листя і суцвіттях. Затримуються не тільки розчинні форми радіоактивних сполук, а й нерозчинні. Однак поверхнєве забруднення порівняно легко видаляється навіть через кілька тижнів. Структурне забруднення радіонуклідами зумовлено фізико-хімічними властивостями радіоактивних речовин, складом ґрунту, фізіологічними особливостями рослин. Радіонукліди, що випали на поверхні ґрунту, упродовж багатьох років залишаються в його верхньому шарі, постійно мігруючи на кілька сантиметрів за рік у глибші шари. Це надалі призводить до їх накопичення в більшості рослин з добре розвиненою і глибокою кореневою системою.

Рослини за ступенем нагромадження радіоактивних речовин розташовуються в такій послідовності: тютюн (листя) > буряк (коренеплоди) > картопля (бульбоплоди) > пшениця (зерно) > природна трав'яна рослинність (листя і стебла). Найшвидше із ґрунту в рослини надходить стронцій-90, стронцій-89, йод-131, барій-140 і цезій-137. Сумарна радіоактивність рослин удесятеро вища, ніж тканин тварин.

Найбільш поширеними радіоактивними речовинами є стронцій-90 та цезій-137. Період напіврозпаду стронцій-90 складає 29 років. При потраплянні до організму його концентрація в крові вже через 15 хвилин досягає значної величини, а в цілому цей процес завершується через 5 годин. Стронцій вибірково накопичується насамперед у кістках і опромінюванню піддаються кісткова тканина, кістковий мозок, кровотворна система. Внаслідок цього розвивається анемія, звана в народі «недокрів'ям». Дослідження показали, що радіоактивний стронцій може знаходитися і в кістках новонароджених. Через плаценту він проходить в перебігу всього періоду вагітності, причому в останній місяць перед народженням в скелеті його накопичується стільки ж, скільки акумулювалося за всі попередні вісім місяців. Біологічний період напіввиведення стронцію зі скелету складає понад 30 роки [13].

Після стронцію-90 цезій-137 є найнебезпечнішим радіонуклідом для



людини. Він добре накопичується рослинами і, потрапляючи в харчові продукти, швидко всмоктується в шлунково-кишковому тракті. Цезій-137 – довгоживучий радіонуклід, період його напіврозпаду складає 30 років. До 80% цезію відкладається в м'язовій тканині. Радіація вражає імунну систему, послаблює опірність організму несприятливим факторам зовнішнього середовища, що виявляється в його слабкості і підвищеній схильності до захворювань. Біологічні процеси ефективно впливають на цезій, тому на відміну від стронцію, біологічний період напіввиведення цезію у дорослих людей коливається від 50 до 200 діб, у дітей в віці 6-16 років від 46 до 57 діб, а у новонароджених – до 10 діб. Причому близько 10% швидко виводиться з організму, решта – повільнішими темпами.

У 1996 році Національна комісія з радіаційного захисту населення України розробила «Допустимі рівні радіонуклідів цезію-134/137 і стронцію-90 у харчових продуктах та питній воді», які ґрунтуються на реальних раціонах харчування з урахуванням того, що молоко та м'ясо є основними дозоутворювачами.

Комісія Codex Alimentarius FAO/ВООЗ визначила, що допустимі рівні радіоактивних речовин у забруднених харчових продуктах, які реалізуються на міжнародному ринку і призначені для загального споживання, становлять: для цезію і йоду – 1000 Бк/кг, для стронцію – 100 Бк/кг, для плутонію й америцію – 1 Бк/кг. Варто зазначити, що, оскільки в людини в процесі еволюції не виробилися спеціальні захисні механізми від іонізуючих випромінювань, для запобігання несприятливим наслідкам для населення, за рекомендацією Міжнародної комісії з радіаційного захисту, очікувана ефективна еквівалентна доза не повинна перевищувати 5 мЗв (мілізіверт, 1 зіверт = 100 бер) за будь-який рік радіоактивного впливу.

Характеристика мікотоксинів

До елементів, що значно знижують якість фруктово-овочевої продукції та їх екологічну безпеку, відносяться мікотоксини – токсичні речовини складної хімічної будови, які продукуються мікроскопічними грибами. За типом



харчування та обміну речовин мікроскопічні гриби мають ознаки як рослин, так і тварин. Щорічний світовий збиток від розвитку пліснявих грибів на сільськогосподарських продуктах і промисловій сировині перевищує 30 млрд. доларів. У цей час відомо понад 500 токсичних метаболітів, які продукуються більше як 250 видами мікроскопічних грибів.

Мікотоксини найчастіше синтезуються недосконалими грибами родів *Fusarium*, *Aspergillus*, *Myrothecium*, *Stachybotrys*, *Trichoderma*, *Trichothecium*, *Penicillium* та ін. Більшість грибів є аеробними організмами, які виявляються майже усюди в надзвичайно малих кількостях і, здебільшого, є мікроорганізмами. Гриби споживають органічні речовини, де тільки дозволяють вологість і температура, усередині й поза приміщеннями. За оптимальних умов, гриби розмножуються та утворюють колонії, підвищуючи концентрацію мікотоксинів.

Найбільш небезпечні токсини представників роду *Fusarium*, *Aspergillus* і *Penicillium*. Ці мікроорганізми – постійні компоненти повітря, води, ґрунту, продуктів харчування і кормів. Переважну більшість штамів вказаних грибів утворюють мікотоксини і заражають широкий круг диких і культурних рослин. *Fusarium* заражає сільськогосподарські рослини в основному в полі, накопичення мікотоксинів в урожаї відбувається під час вегетації і може продовжуватися при зберіганні. Інфікування *Aspergillus* і *Penicillium* відбувається як в полі, так і при зберіганні, але токсини в основному накопичуються після збирання врожаю. Одночасна дія декількох видів *Fusarium* і *Aspergillus* здатна взаємно підсилити утворення шкідливих речовин. На швидкість цього процесу і кількість даних сполук впливають й інші гриби.

В даний час відсутні сорти сільськогосподарських культур, що стійкі до зараження токсиноутворюючими штамми грибів або мають здатність не накопичувати шкідливих речовин. Це пояснюється тим, що вказані патогени не є облігатними паразитами. На вегетуючих рослинах вони поведуться як біотрофи, на насінні – як некротрофи і у ґрунті на залишках рослин – як сапротрофи. Штами цих видів не мають ознак вірулентності. Тому в процесі



еволюції не утворилися генетичні коадаптовані системи «ген проти гена», властиві системи рослина – господар – облігатні паразити. Передбачається, що стійкість до фузаріозу має колос у пшениці, що контролюється двома-трьома великими генами, у кукурудзи і рису можливо декількома великими генами і генами-модифікаторами [14]. Існують лише уривчасті відомості про механізми рослин, що інгібують накопичення або прискорюють деградацію мікотоксинів в зерні і фруктово-овочевій сировині.

Потенційна й реальна небезпека мікотоксинів значно підсилюється їхньою високою стабільністю до різних несприятливих впливів, наприклад: кип'ятіння, обробка мінеральними кислотами, лугами й іншими агентами.

Існуючі класифікації мікотоксинів засновані переважно на їхній хімічній природі. Серед мікотоксинів зустрічаються не тільки речовини білкової природи, а й глюкозиди, стероїди, полікетиди, сесквитерпеноїди, різні гетероцикли, полісахариди, органічні кислоти, макролідні структури тощо. Вони синтезуються з досить обмеженого числа продуктів основного метаболізму, таких як ацетат, мевалонат, деякі амінокислоти шляхом конденсації, окислювання, відновлення, алкілювання, циклізації. У цей час добре вивчено п'ять основних шляхів біосинтезу мікотоксинів:

- полікетидний, характерний для афлатоксинів, стеригматоцистину, патуліну;
- терпеноїдний, характерний для великої групи трихотеценових мікотоксинів;
- через цикл трикарбонових кислот, характерний для рубратоксинів;
- амінокислотний, характерний для ергоалкалоїдів, споридесміну тощо;
- змішаний, характерний для похідних циклопіазонової кислоти.

Характерною рисою продуцентів мікотоксинів є їхня здатність синтезувати сімейства мікотоксинів. Ця особливість, хоча й не є для них унікальною, оскільки широко поширена серед мікроорганізмів, що утворюють антибіотики, дотепер не знайшла переконливого пояснення. Утворення сімейств мікотоксинів, що незначно розрізняються за будовою і фізико-хімічними властивостями, визначає виняткову складність виділення багатьох з них [16, 17].

Різноманіття структур, утворених тим або іншим штамом, з одного боку, –



значно ускладнює клінічну картину мікотоксикозів, а з іншого, – може служити ілюстрацією можливої багатовекторності біологічних ефектів мікотоксинів.

Про сучасний стан мікотоксикології можна судити за численними оригінальними публікаціями, присвяченими головним чином вивченню поширення токсиноутворюючих грибів і їх токсигенного потенціалу, хімічної природи мікотоксинів, методів їхнього визначення й біологічних властивостей [18, 19].

Наприклад, одними з перших, хто займався питаннями мікотоксинів у 70-ті роки були Нестерин М.Ф., Покровський А.А., Кравченко Л.В., Харченко С.Н., Тутельян В.А., Мочалов В.І. та ін. Найбільш вагомими є роботи Харченка С.Н. («Довідник по мікозам та мікотоксикозам сільськогосподарських тварин», 1982), Тутельяна В.А. («Оцінка забруднення харчових продуктів мікотоксинами», 1985), де представлені основні види, викладені методи дослідження мікотоксинів, виділення їх з грибів, представлені морфологічні характеристики продуцентів.

Одним з найбільш характерних властивостей більшості відомих мікотоксинів є їхня антимікробна активність. І не випадково багато хто з них спочатку виявлялися при пошуку антибіотичних речовин. Прикладом цього можуть служити цитринин, пеніцилова кислота, патулін, мікофенолова кислота, трихотецин тощо.

Антибіотичні властивості різних мікотоксинів вивчалися багатьма дослідниками: Білай В.І., Підопличком Н.М., Дахновським В.І., Зайченком А.М., Харченком С.М. та ін. При цьому в більшості випадків так чи інакше розглядалися прикладні аспекти. Однак з урахуванням високої токсичності нативних речовин даного класу представляється малоймовірним їхнє використання як антибіотики.

Найбільш поширені в продуктах харчування, що високотоксичні і несуть реальну небезпеку серед всіх мікотоксинів, – афлатоксини, охратоксин, патулін, трихотецени, зеараленон, цитринин, стеригматоцистин, рубратоксин.

Афлатоксин є одним з найбільш небезпечних мікотоксинів. Він володіє канцерогенною дією. У природі афлатоксинів зустрічається досить багато, але



більшою мірою вивчено тільки п'ять основних їх представників, що позначаються буквами латинського алфавіту B_1 , B_2 , C_1 , C_2 , M_1 . Частіше всі афлатоксини зустрічаються в таких продуктах харчування, як арахіс (земляний горіх) та кукурудза.

Охратоксин А відомий як один з найнебезпечніших контамінантів продуктів харчування та тваринних кормів. Продуктів, які можуть містити охратоксини, досить багато. Це злакові і продукти з них, сухофрукти, кава, чай, виноград, виноградний сік, вино, какао, шоколад, пиво, м'ясо, продукти зі свинини, бобові, молоко та молочні продукти, спеції, олії.

Макроциклічні тріхотецени (МЦТЦ) представляють групу високотоксичних вторинних метаболітів, що утворюються деякими видами мікроскопічних грибів, – причинних агентів токсикозу людини і тварин.

Тріхотецени продукуються грибами *Fusarium sporotrichiella*, *Fusarium solani*, *Fusarium graminearum* і ін. Включають більше 80 мікотоксинів, які підрозділяють на 4 типи: А (токсин Т-2, диацетоксискирпенол), В (дезоксиніваленол, ниваленол), С (порідін) і D (кротоцин).

Патулін – токсичний лактон (4-гідрокси-4Н-фуоро[3,2-с]піран-2-(6Н) -он), що має емпіричну формулу $C_7H_6O_4$. Його молекулярна маса – 154,12 Д. Він термостійкий, стійкий в розчинах кислот і лабільний в лужному середовищі. Вперше патулін був виділений в 1943 р. з культури гриба *Penicillium patulum* (синонім *Penicillium urticae*) як антибіотик. Спочатку патулін не вважали особливо небезпечним мікотоксином, проте в 1954 р. він став причиною загибелі 100 корів в Японії, що споживали корми, контаміновані продуцентами мікотоксину. Продуцентами патуліну можуть бути різні види грибів роду *Penicillium*: *P. expansum*, *P. claviforme*, *P. urticae* (*P. patulum*), *P. cyclopium*, *P. viridicatum*, *P. roqueforti*; а також роду *Aspergillus*: *A. clavatus*, *A. terreus*, *A. giganteus*. Патулін утворюють *Byssochlamys fulva* і *Byssochlamys nivea*. Виробляти патулін може також цвілевий гриб *P. mortensii* гриби роду *Paecilomyces*. Найбільш важливим продуцентом патуліну вважається гриб *P. Expansum* [20].



Патуліном переважно можуть бути контаміновані фрукти і деякі овочі. Найчастіше він зустрічається в яблуках. Аналізуючи особливості локалізації патуліну в деяких продуктах харчування, слід зазначити, що саме в яблуках він концентрується в основному в частині, що підгнила, тоді як в непошкодженій частині плоду виявляється тільки близько 1% загальної кількості токсину. Для томатів, незалежно від розмірів ділянки, що підгнила, патулін розподіляється рівномірно по всій тканині.

Експериментально встановлено, що цитрусові плоди і деякі овочеві культури (картопля, цибуля, редиска, редька, баклажани, цвітна капуста, гарбуз, хрін) володіють природною резистентністю до зараження продуцентами патуліну.

Температурний оптимум утворення патуліну спостерігається при 21...30°C. Токсин володіє термостійкістю і може зберігатися в процесі технологічної переробки. У ряді продуктів з яблук він був виявлений в концентраціях до 16 мл/кг. Проте, мабуть, це слід розглядати як виняток, оскільки зазвичай спостерігаються нижчі його концентрації – менше 10×10^{-9} г/кг [20].

Теоретично патулін розцінюється як індикатор якості. Завдання виключення псування продуктів, і, зокрема, яблук, при транспортуванні, зберіганні і переробці є фактично важкоздійснюваним. Тому доцільно застосовувати ефективний метод видалення патуліну. Він може бути виключений на етапі інспекції рослинної сировини – шляхом видалення зіпсованих потемніли частин яблук, що підгнили. Цей підхід знижує концентрацію патуліну до 90% від його початкового рівня, але трудомісткий і вельми тривалий. Фільтрування через деревне вугілля практично видаляє весь патулін з яблучного соку. Патулін інактивує багато ферментів унаслідок високої активності до сульфгідрильних груп. Тому обмежити кількість патуліну можна за рахунок введення компонентів, що містять сульфгідрильні групи, у вигляді натуральних харчових добавок типу зерна, м'яса, сира. Обробка діоксидом сірки також може бути застосована для зниження рівня патуліну.

У літературі наводяться результати медико-біологічних досліджень, підтверджуючі тератогенність патуліну. Крім того, він здатний порушувати



функції мітохондріальних і цитоплазми мембран, що створює небезпеку для організму людини і особливо дітей. Відомі також дані про його імунодепресивну дію.

Міжнародне агентство за вивченням раку на підставі дослідження токсичності патуліну в 1986 р. віднесло його до канцерогенів 3 групи або речовинам, для яких є недостатньо даних для достовірної класифікації. У наявних експериментальних дослідженнях не уточнені також особливості поглинання і метаболізму патуліну в організмі людини. Тому з дотриманням етичних правил Декларації Хельсінкі були проведені дослідження сироватки крові добровольців, що споживали сік з гранично допустимим рівнем патуліну.

Виявлення у патуліну високої токсичності, мутагенних і канцерогенних властивостей стало підставою для відношення його до особливо небезпечних мікотоксинів. Саме тому JECFA понизив тимчасове максимально допустиме потрапляння патуліну в організм людини з 1,0 до 0,4 нг/кг маси тіла в день. Це пов'язано з «концентрацією нульової дії» (*no effect level*) – КНВ, яка пов'язана з добовою дозою, що допускається, для людини (ДСД) формулою: $ДСД = 0,01 \text{ КНВ}$. При концентраціях до 43 нг/кг спостерігається відсутність ефекту при 100% гарантованій безпеці [20].

Патулін має властивості антибіотика широкого спектру дії, проте не використовується з лікувальною метою, оскільки було доведено його гостру токсичність у мишах, тератогенність у курячих ембріонів, імуносупресивну дію у мишах та кролів, здатність інактивувати ензими через високу спорідненість до сульфгідрильних груп. Даних щодо хронічного впливу патуліну на людей недостатньо, однак описано випадки гострого отруєння після прийому всередину, що супроводжувались зміною поведінкових реакцій, конвульсіями, ульceraцією, набряками, ентероколітом, нудотою та блюванням.



1.3. Аналіз сучасних способів зниження вмісту токсичних речовин в рослинній сировині

Проблема зниження вмісту шкідливих речовин у харчових продуктах у сучасних умовах дуже складна. Це пояснюється тим, що з метою підвищення врожайності сільськогосподарської продукції в ґрунт вноситься велика кількість хімічних добрив, які потім забруднюють продукти канцерогенними речовинами.

Сучасна наука і практика пропонує різні способи зниження канцерогенів. У зв'язку з цим важливо використовувати такі прийоми обробки овочів і ягід, які сприяли б зменшенню шкідливих речовин у продуктах харчування.

Звичайне промивання і механічне очищення продуктів (картоплі, столових буряків, моркви, капусти тощо) знижують вміст нітратів у середньому на 10%. Суттєве зменшення нітратів спостерігається при вимочуванні очищених продуктів. Так, при вимочуванні протягом 1 години картоплі, моркви, столових буряків рівень нітратів зменшується на 25...30%, зелені (петрушки, кропу, зеленої цибулі) – на 20%. Зменшення вмісту нітратів у продуктах можна досягти при приготуванні їжі. При кип'ятінні вони переходять у відвар, і при цьому зменшується вміст нітратів: у картоплі – на 80%, моркві і капусті – на 60...70%, буряках – на 40...50%. Під час консервування також знижується вміст нітратів у готових продуктах. Це досягається за рахунок переходу нітратів у розсіл (при квашенні) або маринад (при маринуванні та консервуванні). Під час виготовлення соків та сушіння овочів, навпаки, вміст нітратів збільшується порівняно з вхідною сировиною.

Більшість нітратів добре розчинні у воді, причому з підвищенням температури розчинність збільшується і досягає 40...80%.

З літературних джерел видно, що знизити вміст нітратів у зелених овочах дозволяє такий технологічний прийом, як короткотермінове промивання й очищення овочів у середньому на 10%, а замочування очищених продуктів у холодній воді на 30...60 хв. знижує вміст іонів NO_3^- від 15 до 30%. Також кількість нітратів в овочах буде тим менше, ніж дрібніше вони нарізані.



Дослідження Чупахіної Г.Н. показують спосіб зниження високого рівня нітратів в рослинах аскорбіною кислотою, який відрізняється тим, що зрізані рослини занурюють в 1,5% розчин аскорбінової кислоти на 24 години за відсутності світла. За відсутністю світла ефективність дії аскорбінової кислоти значно збільшується. Даний спосіб зниження високого рівня нітратів у рослинах може знайти застосування при отриманні високоякісної, екологічно чистої рослинницької продукції.

Серед сполук, що блокують нітрати і нітрити, ефективними антиоксидантами є токоферолі, а в ще більшому ступені – вітамін С. Для оцінки ролі аскорбінової кислоти в рослинах використовують індекс аскорбату (ІА) – відношення вмісту аскорбінової кислоти до кількості нітратів у даному продукті. Чим вище індекс, тим більше вплив аскорбінової кислоти і менше дія нітратів.

За даними Богатирьова Ю., введення в раціон овочевих або фруктових соків призводить до зменшення вмісту нітрозозамінів на 29,1...85,7%. Габолич Р.Д., посиляючись на закордонні дослідження, рекомендує добавляти 2-3 драже вітаміну С щодня, що в багатьох випадках цілком запобігає утворенню N-нітрозодиметиламіну.

Димитриєвич Л.Р. та інші вчені Харківського інституту громадського харчування досліджували вплив теплової обробки буряка на втрати іонів NO_3^- . Встановлено, що при запіканні він втрачав 17...21% іонів NO_3^- . При варінні в гарячій воді відзначено зниження нітратів на 41,5...42,8%, а зливання відвару через 15 хвилин після закипання знижував вміст нітратів ще на 3...4%. Відзначено, що здрібнювання буряка сприяє зниженню нітратів при тепловій обробці додатково ще на 35...43%. При тушкуванні та смаженні вміст нітратів у готових продуктах не перевищує 10%.

Боговський П.А. із співавторами встановили, що таніни, взаємодіючи з нітритами в кислому середовищі, здатні інгібувати утворення нітрозосполук. Згодом був виявлений ціла низка речовин: аскорбінова кислота та її похідні, пропілгаллат, α -токоферол, цистеїн, сульфамінова кислота, деякі феноли (гваякол, крезол), гетероциклічні сполуки, що містять азот, (пірол, індол),



похідні 1,2-дигідрохиноліну, гідразин, глютамин, сквален, глутатіон, кофеїн, вітамін А, йодид калію та інші, – здатних гальмувати утворення нітрозосполук.

Встановлено вплив зберігання на вміст нітратів у сільськогосподарській сировині. Правильне зберігання овочів призводить до зниження вмісту нітратів на 10...30% протягом 4 місяців. У випадку порушення умов зберігання продуктів відбувається накопичення в них більш небезпечних для здоров'я нітритів і амінопохідних, яке супроводжується інтенсивною втратою якості. Одним із способів різкого їх зменшення є зберігання продуктів при низьких температурах.

Для зниження залишкових кількостей пестицидів у продовольчій сировині і продуктах необхідна ретельна кулінарне і технологічне перероблення сільськогосподарської продукції. Усі способи зберігання, перероблення та приготування продуктів зазвичай сприяють зменшенню залишків пестицидів у їжі.

Руйнівна дія пестицидів виявляється на молекулярному рівні у вигляді порушень генетичного апарату, біомембран, білково-ферментних систем. У зв'язку з цим їх зменшення в рослинній сировині також важливо.

Багатьма авторами були досліджені залишкові кількості пестицидів. У роботах учених США, Швеції, Франції й Англії вивчалася дія миття, бланшування, стерилізації на окремі пестициди. Результати досліджень показали, що попередня обробка рослинної сировини, що містить пестициди, цілком видаляє отрутохімікат або залишають його сліди. Подальше збереження консервів призводить до руйнації залишків пестицидів, особливо фосфорорганічних. Виняток складають хлорорганічні препарати і ДДТ.

Гавриченко А.І. описав спосіб детоксикації пестицидів на рослинах, що вирощуються в умовах теплиці від фунгіцидів та акарицидів, що включає обробку рослин розчином детоксиканта, який відрізняється тим, що, з метою підвищення ефективності і безпеки праці, в якості розчину детоксиканта використовують 5...10% розчин гомогената, отриманого з надземної частини оброблюваних рослин. Таким чином, детоксикація рослин від хлор- і фосфорорганічних пестицидів на поверхні листя огірка гомогенату отриманих з



рослинних відходів огірка знижувала зміст зазначених пестицидів через 2 дні на 73,1%.

Зниження пестицидів при митті в проточній воді фруктів і ягід відзначали і співробітники Всесоюзного інституту гігієни і токсикології пестицидів, полімерних і пластичних мас. Ними було встановлено, що миття та очищення від шкірки на 45...80% знижує вміст фенкаптону, фозалону, ДДВФ, едитону, цинебу, купрозану тощо.

Недавніми дослідженнями японських вчених встановлено, що істотно знижують вміст фосфорорганічних пестицидів пектинові сполуки харчових продуктів. Особливо ефективним виявляється консервування, що включає процес бланшування плодів і ягід.

Американські вчені досліджували ступінь виведення залишків ДДТ, паратиону і карбарилу зі шпинату і зеленої квасолі: після бланшування і стерилізації виведено 94% залишків паратиону, 68...73% залишків карбарилу і 80% залишків ДДТ.

Здрібнювання і гомогенізація також зменшують вміст пестицидів за рахунок звільнення з тканин ферментів, що руйнують їх. Так, при гомогенізації залишки фосфорорганічних пестицидів зменшилися через 3 години на 70%, а через 24 години – на 85...94%. Було визначено, що залишкова кількість фенкаптону, фозалону і цидіалу, що містяться в ягодах при готуванні з них соків, знаходяться в основному у меззі.

За даними Р.В. Кржевова, Г.М. Тишко й ін. встановлено, що стерилізація зменшує вміст робору на 29%, миття цілих яблук – на 11%, миття очищених від шкірки і розрізаних на четвертинки – на 54%, бланшування додатково знижує вміст робору на 21% від вихідного. При готуванні яблучного варення (джему) вміст робору знижується в середньому на 86% від вихідного. Дослідження у ВНДІКГХ показали, що миття яблук знижує вміст фталофосу на 58%, пастеризація яблучного соку – на 66...76%. Стерилізація овочів сприяє руйнації фталофосу на 40...95%, а вміст хлорофосу у вишні знижувався на 34...47% [21].

Таким чином, з наведених прикладів видно, що залишкову кількість пестицидів у сировині можна зменшити завдяки таким технологічним прийомам,



як миття, здрібнювання, бланшування, гомогенізація, пастеризація і стерилізація.

Як було відзначено вище, споживання продуктів, що містять великі концентрації важких металів, можуть призводити до появи хронічних захворювань і отруєнь. Тому проблема максимального зниження їхньої кількості є дуже актуальною і вимагає пошуку ефективних способів виведення.

Як відомо, овочі, ягоди, фрукти і продукти їхньої переробки, що містять кальцій, цинк, залізо, селен, мідь, знижують токсичність свинцю. На думку Ревич Б.А., дієта з підвищеним вмістом вуглеводів, але з нестачею білків також сприяє абсорбції свинцю. Крім того, знижують токсичність свинцю вітаміни Е і С, а вітамін D збільшує поглинання кальцію і свинцю [21].

Вивчалася дія сорбентів рослинної продукції, на ступінь абсорбції важких металів у ШКТ людини. Так, абсорбцію цинку в організмі знижують такі компоненти їжі, як харчове волокно, фітинова кислота і кальцій.

Багатьма вченими досліджувалися питання зниження кількості важких металів у рослинній сировині після первинної і теплової обробки.

Дослідженнями Брилевського О.А. встановлено, що при митті овочів відбувається зниження вмісту кадмію на 10...40%, свинцю – на 40...70%, цинку – на 50...60%, міді – на 40...50%, миш'яку – на 20...30%. Більш ефективним визнаний спосіб подвійного варіння з використанням 0,1%-ного розчину оцтової кислоти. Тут утрати максимальні і склали для кадмію 78%, свинцю – 90%, міді – 42%, цинку – до 45%. При варінні на пару були відзначені мінімальні втрати важких металів.

Найбільш оптимальним рішенням задачі зниження кількості важких металів є виробництво нових композиційних продуктів харчування. Так, представляють інтерес дослідження про властивості нетрадиційних харчових детоксикуючих добавок. Результати розробок розкривають перспективи використання в якості добавок вторинних продуктів переробки рослинної і плодово-ягідної сировини. Експериментально підтверджені детоксикуючі властивості обліпихового шроту, айвового гніту, яблучного і морквяного порошоків. Ці продукти здатні зв'язувати 20...40% іонів свинцю, накопиченого в біологічних тканинах.



Запропоновано почати виробництво зброджених овочевих і фруктових соків із використанням молочнокислих бактерій. Ці продукти містять антиканцерогенні натуральні речовини. Вони є інгібіторами, що викликають гальмування утворення визначених канцерогенів або ферментів, що активізують канцерогени. Клінічними дослідженнями встановлено, що найбільш цінним збродженим соком є буряковий. Він гальмує утворення ракових клітин до 60% [22].

В останні роки роботами багатьох вчених доведено, що харчове волокно рослинної сировини, завдяки своїй молекулярній сорбції, здатні зв'язувати не тільки іони важких металів, але також нітрати, нітроти, аміак, радіонукліди стронцію, цезію і цілий ряд інших органічних речовин [23].

Зниження доз внутрішнього опромінення може бути досягнуте за рахунок зменшення в добовому раціоні частки найбільш інтенсивно забруднених продуктів (молоко, хліб, картопля й овочі), їхньої технологічної обробки (розведення, очищення, вимочування, рафінування), а також шляхом підвищення біологічної цінності традиційних продуктів харчування і створення нових, із заданими властивостями.

Так, за даними Цибульського П.П. та Липського Н.Ю. розроблено спосіб обробки сільськогосподарської та лісової продукції від радіоактивних і нітратних сполук, включає подрібнення продукту і його промивку водою при фізичному впливі в процесі останньої, який відрізняється і в якості фізичного впливу використовують акустичний вплив. Оброблена за запропонованим способом продукція підлягала перевірці на наявність вільних радикалів і парамагнітних центрів, виникнення яких пов'язане з кавітацією при високій щільності введеної енергії. Спосіб показав високу ефективність руйнування «гарячих часток» у кормах [23].

Співробітники Київського інституту радіаційної медицини сходяться в думці зі своїми латвійськими колегами і вважають, що до засобів профілактики накопичення радіонуклідів цезію і стронцію поряд із солями кальцію, харчовими волокнами і пектинами відносяться альгінова кислота та її солі, ферроцин і фітати.



Крім того, рядом досліджень доведено, що радіозахисний ефект мають амінокислоти, вітаміни С, Е, Р, РР, феноли, мінеральні солі, цукри та інші речовини, які містяться в овочах і фруктах. Тому з метою максимального використання цього ефекту в інституті харчової промисловості вченими Болгарії були розроблені плодовоовочевий коктейль і пюре з абрикосів і пшеничних зародків, що рекомендовані для харчування хворих раком і тих, що отримали певні дози опромінення.

Під керівництвом В.І. Циприяна вчені Київського медичного інституту пропонують підвищити в продуктах харчування вміст білка тваринного походження, вітамінів (А, Е), мінеральних елементів (К, Са), природних антиоксидантів (яблучний порошок, горобина, морська капуста, зародки злакових, кропива, кріп, петрушка, м'ята) і неспецифічних сорбентів. У результаті розроблено ряд принципово нових продуктів для профілактики можливих радіаційних впливів [24].

Виявлення афлатоксинів і патуліну в значних кількостях у рослинних продуктах веде до необхідності розробки способів їх детоксикації. Медико-біологічними вимогами встановлені обмеження вмісту афлатоксинів і патуліну в рослинних продуктах [25].

З літературних джерел відомо, що різні способи технологічної і кулінарної обробки сільськогосподарської сировини незначно знижують рівень афлатоксинів у ній. Для вирішення цієї задачі необхідно використовувати додаткові способи. У цілому їх можна розділити на дві групи:

- різні прийоми видалення токсинів,
- методи їх руйнації і перетворення в нешкідливі або малотоксичні сполуки.

Найбільш повного видалення афлатоксинів і патуліну можна домогтися попереднім сортуванням рослинної сировини. У процесі такого сортування видаляються плоди, ягоди й овочі з видимими місцями псування (наявність цвілі, зморщування, зміна кольору тощо), у яких, як відомо, головним чином і накопичуються мікотоксини.



В другу групу входять фізичні, хімічні і біологічні методи деградації та інактивації афлатоксинів.

Серед фізичних методів виділяють термічну обробку забруднених продуктів і екстракцію афлатоксинів водноорганічними сумішами. Дослідження багатьох вчених показують, що термообробка малоефективна: зниження вмісту токсинів не перевищує 40%. При екстракції ж можна видалити з продукту до 80% токсинів від вихідного.

В даний час багатьма дослідниками найбільш перспективними визнані хімічні методи інактивації афлатоксинів. Дослідами Piotrowska M. доведено можливість деградації афлатоксинів водними розчинами сильних кислот і лугів. Крім того, аналогічну високу активність відносно афлатоксинів B₁ і G₁ мають гідросульфіти, які широко використовуються при виготовленні джемів, фруктових соків, вин і сухофруктів.

Зтор Е., Поель П., Остендорп М., Брандль Ф. розробили винахід, який відноситься до способу зниження рівня забруднення мікотоксинами рослини або зібраного рослинного матеріалу. Зазначений спосіб полягає в обробці матеріалу для розмноження рослин флудіоксонілом, пророщуванні або вирощуванні зазначеного рослинного матеріалу з отриманням рослини і зборі рослинного матеріалу з зазначеної рослини. Технічний результат – зниження рівня забруднення мікотоксинами рослин і зібраних продуктів.

За розробленою в США і Франції технологією в деяких країнах застосовують газоподібний аміак або гідроокис амонію для знешкодження шротів із насіння олійних і кормової кукурудзи. Обробку аміаком проводять за підвищених тиску і температурі, при цьому руйнується 95...98% афлатоксинів. Тут дуже важливим є факт загибелі і грибів-продуцентів в умовах насичення аміаком.

Використання біологічних методів засновано на спроможності деяких бактерій, дріжджів і мікроскопічних грибів руйнувати або перетворювати афлатоксини в менш токсичні сполуки.

За даними Shen F., Shyu Y.T., для патуліну згубним є лужне середовище, у



якому він утрачає свою біологічну активність. Нагрівання при 80°C протягом 10...20 хвилин забрудненого яблучного соку знижує концентрацію патуліну до 50%. Дослідженнями Brackett R., Marth E. встановлено, що руйнації цього токсину сприяє також додавання аскорбінової кислоти.

Таким чином, перераховані способи знижують забруднення афлатоксинами і патуліном продуктів харчування, хоча і не призводять до повного їх усунення.

За хімічною структурою патулін є полікетидним лактоном. Патулін стійкий до температурної обробки, особливо в кислому середовищі, тому пастеризація не сприяє його знешкодженню. Патулін руйнується при ферментації, тому не виявляється ні в алкогольних напоях, виготовлених з фруктів, ні в оцтах, що готуються з фруктових соків. Патулін має властивість зв'язуватись з білками. Тому очистка соків, що включає центрифугування, ферментативну обробку та різні види фільтрації, дозволяє значно знизити вміст патуліну, оскільки понад 70% його залишається в м'якоті, вміст білків в якій значно вищий, ніж в рідкій частині. Патулін активно реагує з сірковмісними речовинами, що дозволяє досягти зниження його вмісту шляхом застосування антиоксидантів та антибактеріальних препаратів, що містять сірку в своєму складі, а також аскорбінової кислоти, тіаміну, піридоксину та кальцію пантотенату.

Біологічна активність патуліну зменшується в лужному середовищі та у присутності молекул, до складу яких входить меркаптогрупа, зокрема цистеїну або глутатіону.

Таким чином, існує велика кількість способів, які дозволяють знешкодити рослинну сировину від сторонніх токсичних речовин, таких як нітрати і нітроти, пестициди, солі важких металів, радіоактивні елементи та мікотоксини. Багато з технологічних прийомів можна використовувати для одночасного видалення декількох забруднювачів. Однак, вибір та комбінація технологічних прийомів та інших методів дуже індивідуальні та залежать від виду рослинної сировини, її будови, призначення та способу приготування.



1.4. Розробка способів зниження вмісту нітратів у коренеплодах редьки

Актуальним сьогодні є питання розширення асортименту продуктів оздоровчого харчування. Високу цінність має зокрема редька, яка є джерелом БАР (поліфенолів, антоціанових речовин, мінеральних елементів, антимікробних речовин), що є природними захисними факторами. Тому, створення і впровадження у виробництво продуктів із редьки, які б мали високий рівень якості, безпечності і мали оздоровчу спрямованість, є актуальним завданням.

Якісним необхідно вважати продукт, який вміщує достатню кількість БАР і не містить небезпечної кількості контамінантів. Важливим питанням при переробці редьки є пошук шляхів зниження вмісту нітратів, адже наші попередні дослідження підтверджують, що коренеплоди накопичують значну кількість шкідливих речовин саме в незадерев'янілій паренхімі, яка використовується в їжу, тому надалі за мету було поставлено максимально знизити вміст токсикантів та при цьому максимально зберегти антоціанові речовини сировини.

Видалення токсикантів з сировини значною мірою залежить від ступеня їх доступності для екстрагенту і міцності зв'язування структурами клітин. Багаторічними науковими дослідженнями доведено, що нітрати – стійкі речовини й не руйнуються при тепловій обробці, але добре вимиваються водою. Тому з метою зниження вмісту нітратів було обрано два варіанти обробки редьки, які полягають у витримуванні подрібнених коренеплодів у розчинах KCl та CaCl різних концентрацій.

Показано, що антоціанові речовини, які містяться у складі редьки сорту Серце дракона, нестійкі та легко руйнуються під дією різноманітних факторів: високої температури (вище 65°C), ферментів, кисню повітря, денного світла, важких металів, рН середовища. Ця нестійкість значно знижує харчову цінність розробленого продукту, тому необхідно підібрати такий спосіб зменшення концентрації нітратів, який буде також стабілізувати пігментний комплекс сировини.



В процесі обробки водні розчини KCl та CaCl позитивно впливають на збереження антоціанових речовин, а також призводять до руйнування клітинних зв'язків тканин, що утримують токсиканти, тому для більшого ефекту видалення нітратів редьку подрібнювали брусочками, кубиками дрібними – 10×10 мм, крупними кубиками – 20×20 мм та пелюстками товщиною 2...4 мм. Солі калію та кальцію негативно впливають на органолептичні властивості отриманих продуктів, тому їх додавали в обмежених кількостях. Визначення оптимальної концентрації водних розчинів KCl та CaCl проводили на основі органолептичної оцінки якості з одночасним відзначенням кольору сировини та її структури. Матриця експерименту представлена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Матриця експерименту з дослідження впливу виду подрібнення, тривалості витримки та концентрації розчинів KCl та CaCl на вміст нітратів

Фактори процесу обробки			Вміст нітратів після обробки розчином	
Вид подрібнення	Час витримки, хв	Концентрація KCl або CaCl, %	KCl, мг/кг	CaCl, мг/кг
Брусочки	10	0,5	1039,62	1194,17
Дрібний кубик 10 х 10 мм	10	0,5	768,34	1090,29
Крупний кубик 20 х 20 мм	10	0,5	774,00	1000,06
Пелюстками	10	0,5	789,58	998,79
Крупний кубик 20 х 20 мм	10	0,5	774,00	1000,06
Крупний кубик 20 х 20 мм	20	0,5	624,74	914,28
Крупний кубик 20 х 20 мм	30	0,5	623,98	913,96
Крупний кубик 20 х 20 мм	40	0,5	621,34	912,41
Крупний кубик 20 х 20 мм	20	0,5	624,71	914,28
Крупний кубик 20 х 20 мм	20	1,0	611,54	908,76
Крупний кубик 20 х 20 мм	20	1,5	639,85	906,84
Крупний кубик 20 х 20 мм	20	2,0	646,61	906,00

Показано, що більш ефективним є витримування редьки в розчинах солей калію (вміст нітратів зменшуються на 208,38...636,46 мг), ніж кальцію (зменшення нітратів складає 53,83...324,00 мг). Встановлено, що концентрація



CaCl впливає на органолептичні властивості редьки. Так, при концентрації 1,5 та 2,0% спостерігається отвердіння рослинної тканини, а при 2,0%, крім того, з'являється сторонній гіркий присмак, нехарактерний даному сорту редьки.

Встановлено, що розміри нарізки коренеплоду впливають на видалення з нього токсикантів під час витримування в водних розчинах KCl та CaCl. Так, подрібнення коренеплодів брусочками дає можливість знизити вміст нітратів на 16,7%, кубиками з гранями 20 мм – на 37%, пелюстками на 36%, 10 мм – на 38,5%. Таким чином, найбільше видалення нітратів спостерігається при витримуванні в водних розчинах редьки подрібненої на кубики з гранями 10 мм, проте варто відзначити, що в цьому випадку велика кількість антоціанових речовин сировини переходить до розчину, забарвлюючи його в інтенсивно рожевий колір. Тому для подальшого дослідження можливості зниження нітратів було обрано спосіб подрібнення кубиками з гранями 20 мм, який дозволяє знизити концентрацію шкідливих речовин на 37% [26].

З точки зору технології виробництва та видалення контамінантів важливим параметром є час витримування сировини у розчині. Витримування проводили протягом 10, 20, 30, та 40 хвилин. Найбільші втрати спостерігаємо при витримування протягом 30 й 40 хвилин (близько 50%), проте за цей час сировина значно втрачає й кількість антоціанових речовин. Тому вважаємо, що доцільно витримувати подрібнені коренеплоди протягом 20 хвилин, що дозволить зберегти антоціановий комплекс.

Одним з найважливіших параметрів є концентрація солей в розчинах KCl та CaCl, яка суттєво впливає, як на вміст контамінантів, так і на органолептичні характеристики. Встановлена оптимальна концентрація водних розчинів KCl, яка жодним чином не впливає на смакові властивості, але ефективно (майже на 21%) знижує вміст нітратів та стабілізує антоціановий комплекс редьки господарсько-ботанічного сорту Серце дракона. Вона становить 1,0%,.

Таким чином, оптимальною технологічною схемою для видалення токсичних речовин з редьки та збереження її антоціанового комплексу є: очищення коренеплоду, миття редьки, подрібнення кубиками з розміром граней



20 мм, та витримування в 1,0% розчині KCl протягом 20 хвилин.

Отримані результати досліджень дали можливість запропонувати технологію отримання нового продукту – квашеної редьки, сировиною для якої доцільно використовувати сорти Лебідка та Серце дракона, що відрізняються підвищеним вмістом цукрів (необхідна умова перебігу молочнокислого бродіння), а також не містять надмірної кількості летких речовин, які можуть, з одного боку, перешкоджати процесу сквашування (за рахунок бактерицидної здатності), а з іншого – надавати неприємні смако-ароматичні характеристики.

За допомогою математичного моделювання було визначено концентрації рецептурних компонентів «Редьки квашеної»: редька сорту Серце дракона 93,0%; сіль кухонна кам'яна 3%; цукор білий 2%, часник свіжий 0,5%; стручковий гіркий перець 0,5%; корінь імбиру 0,5%; корінь хрину 0,5% [27].

Харчова цінність квашеної редьки обумовлена речовинами сировини, котрі залишаються незмінними в процесі квашення та новоутвореними. Встановлено, що понад 87% хімічного складу розробленого продукту складає вода, а сухі речовини переважно представлені моно- та дисахаридами (3,1%), білками (1,2%) та клітковиною (1,1%). Завдяки низькому вмісту вуглеводів та жирів продукт має низьку калорійність (17,8 кКал/100 г). Варто зазначити, що у порівнянні з контролем, розроблений продукт має вищий вміст вуглеводів, що пов'язано з застосуванням в рецептурі додаткової кількості цукру, наявність якого дала змогу забезпечити відмінні смакові властивості отриманого продукту.

Загальна кількість зольних елементів у квашеній редьці становить 1,1%, зокрема макро- і мікроелементів, серед яких переважають Na, K, Ca, P. Так, вміст натрію становить 641,6 мг/100 г, що задовольняє добову потребу на 100%, а калію – 302 мг/100 г (близько 15% добової потреби).

До вітамінного складу квашеної редьки входять водорозчинний вітамін С у кількості 28,1 мг/100 г, що задовольняє близько 40% добової потреби в ньому. У свою чергу, продукт-аналог вміщує лише 16,7 мг/100 г аскорбінової кислоти, що пояснюється особливостями хімічного складу вихідної сировини та технологічними параметрами виготовлення продукції. Наявність антоціанів у



сорті Серце дракона обумовлюють корисні властивості розробленого квашеного продукту.

Визначено, що новий продукт за показниками якості та безпеки відповідає вимогам до маринованих овочевих консервів, так загальна кислотність складає 0,58%, вітамін С – 28,1 мг/100 г, антоціанові речовини 0,502 мг/100 г, концентрація нітратів становить 611,53 мг/кг, пестицидів, радіонуклідів та солей важких металів – сліди, мікотоксинів не виявлено.

Висновки

Таким чином, аналіз літературних джерел показав, що формування уявлень щодо безпечності овочевої сировини базується на дослідженнях в галузі харчової токсикології, які відмічають всезростаючу кількість потенційно небезпечних хімічних сполук, що застосовує для господарчих потреб аграрна промисловість. Із загальної кількості відомих людині хімічних речовин, що використовуються під час вирощування плодовоовочевої сировини, значна частина відносяться до шкідливих (пестициди, нітрати, нітроти, токсичні елементи, антибіотики, гормони, харчові добавки тощо) і різними шляхами потрапляє до харчових продуктів. На основі висновку із розвитку науки, що абсолютно безпечних продуктів у природі не існує, був сформований новий підхід, який включає поняття ризику і його оцінку. Оцінка ризику здійснюється за трьома основними критеріями: важкість небезпеки, частота та час появи ефекту. Прийняття поняття ризику та його оцінки зумовили необхідність розробки допустимих рівнів шкідливих речовин у харчових продуктах.

Показано, що у плодовоовочевій сировині та отриманих з неї харчових продуктах певною мірою накопичуються токсичні речовини, які об'єднують у такі групи: нітрати, пестициди, важкі метали, радіонукліди і мікотоксини. Зазначені групи токсичних речовин відрізняються між собою хімічною природою, джерелами потрапляння та умовами накопичення. Визначення цих особливостей



впливає на розробку ефективних технологій очищення овочевої сировини і створення технологій безпечних і якісних харчових продуктів з їх використанням.

Встановлено, що найбільш поширеними та небезпечними для здоров'я людини є великі кількості нітратів. Так, людина порівняно легко переносить споживання 150-200 мг нітратів за добу, 500 мг вважається гранично допустимою дозою. Доза в 600 мг за добу є токсичною для дорослої людини, а для грудних дітей токсичною є доза 10 мг за добу.

Пестицидне навантаження на людину в різних країнах різне та залежить від асортименту споживаних продуктів, застосовуваної системи захисту рослин і регламентування вмісту пестицидів у харчових продуктах. Надходження з їжею гранично допустимих залишкових кількостей пестицидів зазвичай не призводить до гострих отруєнь, а проявляється розтягнутою у часі хронічною дією зі слабо вираженою етіологією або практично не проявляється. Безпосередній контакт з пестицидними препаратами, споживання продукції з їх високим вмістом може стати причиною гострих отруєнь і навіть загибелі людей.

Небезпечними для організму людини є солі важких металів. Виділяють класи металів високої токсичності: найнебезпечніші (кадмій, ртуть, нікель, свинець, кобальт, арсен), помірної токсичності (купрум, цинк, магній) та інші токсичні важкі метали.

Актуальними з точки зору небезпечності після Чорнобильської катастрофи стали радіоактивні речовини. Рослини за ступенем нагромадження радіоактивних речовин розташовуються в такій послідовності: тютюн (листя) > буряк (коренеплоди) > картопля (бульбоплоди) > пшениця (зерно) > природна трав'яна рослинність (листя і стебла). Найшвидше із ґрунту в рослини надходить стронцій-90, стронцій-89, йод-131, барій-140 і цезій-137.

До елементів, що значно знижують якість овочевої продукції та їх безпеку, відносяться мікотоксини – токсичні речовини складної хімічної будови, які продукуються мікроскопічними грибами.

Сучасна наука і практика пропонує різні способи зниження концентрації шкідливих речовин. Звичайне промивання і механічне очищення продуктів



(картоплі, столових буряків, моркви, капусти тощо) знижують вміст нітратів у середньому на 10%. Суттєве зменшення нітратів спостерігається при вимочуванні очищених продуктів. Так, при вимочуванні протягом 1 години картоплі, моркви, столових буряків рівень нітратів зменшується на 25...30%, зелені (петрушки, кропу, зеленої цибулі) – на 20%. Зменшення вмісту нітратів у продуктах можна досягти при приготуванні їжі. При кип'ятінні вони переходять у відвар, і при цьому зменшується вміст нітратів: у картоплі – на 80%, моркви і капусті – на 60...70%, буряках – на 40...50%. Під час консервування також знижується вміст нітратів у готових продуктах. Це досягається за рахунок переходу нітратів у розсол (при квашенні) або маринад (при маринуванні та консервуванні).

Під час виготовлення соків та сушіння овочів, навпаки, вміст нітратів збільшується порівняно з вхідною сировиною. Більшість нітратів добре розчинні у воді, причому з підвищенням температури розчинність збільшується і досягає 40...80%. Для зниження залишкових кількостей пестицидів у продовольчій сировині і продуктах необхідне ретельне кулінарне і технологічне перероблення сільськогосподарської продукції. Усі способи зберігання, перероблення та приготування продуктів зазвичай сприяють зменшенню залишків пестицидів у їжі. При митті овочів відбувається зниження вмісту кадмію на 10...40%, свинцю – на 40...70%, цинку – на 50...60%, міді – на 40...50%, миш'яку – на 20...30%. Більш ефективним визнаний спосіб подвійного варіння з використанням 0,1%-ного розчину оцтової кислоти. Тут утрати максимальні і склали для кадмію 78%, свинцю – 90%, міді – 42%, цинку – до 45%. При варінні на пару були відзначені мінімальні втрати важких металів.

Розроблено спосіб видалення із плодоовочевої сировини радіоактивних і нітратних сполук, який включає подрібнення продукту і його промивання водою при фізичному впливі (акустичній обробці). Оброблена за запропонованим способом продукція підлягала перевірці на наявність вільних радикалів і парамагнітних центрів, виникнення яких пов'язане з кавітацією при високій щільності введеної енергії. Рядом досліджень доведено, що радіозахисний ефект



мають амінокислоти, вітаміни С, Е, Р, РР, феноли, мінеральні солі, цукри та інші речовини, які містяться в овочах. Виявлення афлатоксинів і патуліну в значних кількостях у рослинних продуктах веде до необхідності розробки способів їх детоксикації.

Наведено обґрунтування способу зниження вмісту нітратів у редьці. Видалення токсикантів з сировини значною мірою залежить від ступеня їх доступності для екстрагенту і міцності зв'язування структурами клітин. Виходячи з цього, оптимальною технологічною схемою для видалення токсичних речовин з редьки та збереження її антоціанового комплексу є: очищення коренеплоду, миття редьки, подрібнення кубиками з розміром граней 20 мм, та витримування в 1,0% розчині КСІ протягом 20 хвилин.

Запропоновано виготовлення нового продукту – квашеної редьки, для якої доцільно використовувати зразки редьки, які відрізняються підвищеним вмістом цукрів (необхідна умова перебігу молочнокислого бродіння), а також не містять надмірної кількості летких речовин, які можуть, з одного боку, перешкоджати процесу сквашування (за рахунок бактерицидної здатності), а з іншого – надавати неприємні смако-ароматичні характеристики. Визначено, що новий продукт можна віднести до оздоровчого харчування, а за показниками якості та безпеки він відповідає вимогам до маринованих овочевих консервів: загальна кислотність складає 0,58%, вітамін С – 28,1 мг/100 г, антоціанові речовини – 0,502 мг/100 г, концентрація нітратів становить 611,53 мг/кг, пестицидів, радіонуклідів та солей важких металів – сліди, мікотоксинів не виявлено.



KAPITEL 2 / CHAPTER 2 ²

ENTWICKLUNG DER LNG-INFRASTRUKTUR IN DER EUROPÄISCHEN UNION

DOI: 10.30890/2709-2313.2024-30-00-010

Introduction

Erdgas, ein Kohlenwasserstoff, der der Menschheit seit Jahrtausenden bekannt ist, wurde im Laufe der Geschichte auf verschiedene Weise genutzt. Eine der frühesten dokumentierten Verwendungen war in Delphi, wo Erdgas aus einer Felsenspalte austrat und eine Flamme speiste, von der man glaubte, dass sie Prophezeiungen in einem Tempel inspirierte. Die geheimnisvolle Natur dieser Flammen veranlasste viele Kulturen, sie göttlichen Quellen zuzuschreiben. Doch bereits um das Jahr 500 v. Chr. hatten die Chinesen begonnen, das Potenzial von Erdgas zu nutzen. Sie entwickelten ein rudimentäres System zur Beförderung von Erdgas, um Wasser zu erhitzen, das sie zur Gewinnung von Salz aus Meerwasser verwendeten. Die kommerzielle Förderung von Erdgas begann im mittleren 19. Jahrhundert und markierte den Beginn seiner bedeutenden Rolle auf den Energiemärkten. Seitdem ist Erdgas in der Energiemischung der größten Volkswirtschaften der Welt zunehmend wichtig geworden.

Das globale Wirtschaftswachstum hat die Nachfrage nach Energieprodukten erhöht und zu einem kontinuierlichen Anstieg des Verbrauchs an Primärenergie geführt. Im Jahr 1965 betrug der globale Verbrauch an Primärenergie 3.729 Mtoe. Bis 2014 stieg diese Zahl auf 12.928 Mtoe, fast das 3,5-fache des Verbrauchsniveaus von vor 50 Jahren. Diagramm 1 veranschaulicht die Veränderungen im Verbrauch von Primärenergie von 1965 bis 2014 und hebt die Unterschiede zwischen dem letzten Jahr jedes Jahrzehnts und 2014 hervor. Diese steigende Nachfrage nach Energie ist eine direkte Folge der wirtschaftlichen Expansion, da größere Produktionsmaßstäbe zu einem größeren globalen Energiebedarf geführt haben. Schwankungen in den jährlichen globalen Wachstumsraten des BIP spiegeln sich in entsprechenden Schwankungen im Verbrauch von Primärenergie wider, ein Trend, der besonders

²*Authors: Mysak Pavlo Vasylovych, Mysak Ihor Vasylovych*



während der globalen Wirtschaftskrise am Ende des letzten Jahrzehnts deutlich wurde.

2.1. Entstehung und Entwicklung der Infrastruktur für verflüssigtes Erdgas

In den letzten 35 Jahren hat die globale Wirtschaft nur einen Zeitraum der Rückwärtsbewegung erlebt, der im Jahr 2009 auftrat, als das Bruttoinlandsprodukt (BIP) um 0,1% sank. Trotzdem ist die globale Wirtschaft mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 3,48% gewachsen, begleitet von einem jährlichen Anstieg der Primärenergienachfrage um 1,92%. Die Verteilung der Energieressourcen, insbesondere der Kohlenwasserstoffe, auf der ganzen Welt verhindert, dass die meisten Länder ihren Energiebedarf allein mit inländischen Ressourcen decken können. Die fünf Länder mit den größten Erdölreserven halten fast 62% der globalen Vorkommen, während zehn Länder für 85% verantwortlich sind. Die Erdgasressourcen sind ähnlich konzentriert, wobei die fünf Länder mit den größten Reserven über 63% der globalen Vorkommen und die zehn Länder über 79% halten. Kohlevorkommen sind noch stärker konzentriert, wobei die zehn Länder über 91% der globalen Ressourcen besitzen.

Diese ungleiche Verteilung der Energieressourcen in Verbindung mit der wachsenden Nachfrage nach Energie hat den internationalen Handel mit Ressourcen, Brennstoffen und anderen Energieprodukten notwendig gemacht. Kohlenwasserstoffe spielen eine entscheidende Rolle in der globalen Energiemischung und machten im Jahr 2014 86,3% des Primärenergieverbrauchs aus, was zu einem kontinuierlichen Wachstum der internationalen Handelsvolumina führte. Heutzutage müssen die meisten Länder Energieressourcen importieren. Im Jahr 2014 war Russland das einzige der zehn größten Volkswirtschaften, das Nettoexporteur aller genannten Kohlenwasserstoffe war. Die Vereinigten Staaten, die größte Volkswirtschaft der Welt, importierten 39% ihres Rohölbedarfs und 4% ihres Erdgasbedarfs, obwohl sie Nettoexporteur von Kohle waren. Die Schiefergasrevolution in den USA hat die Produktion von Erdgas deutlich erhöht und die inländische Nachfrage nach Kohle



verringert, wodurch die USA im Jahr 2014 zum größten Erdgasproduzenten mit einem Anteil von 21,4% wurden, ein Anstieg um 6,1% gegenüber 2013.

China importiert 62% seines Öls, 6% seiner Kohle und 27% seines Erdgases. Japan, die drittgrößte Volkswirtschaft, ist fast vollständig von importierten Kohlenwasserstoffen abhängig, insbesondere nach der Fukushima-Nuklearkatastrophe im März 2011, die die Nachfrage nach Erdgas erhöht hat. Mehrere europäische Länder zeigen ebenfalls hohe Importabhängigkeiten. Deutschland importiert 100% seines Öls, 89% seines Erdgases und 43% seiner Kohle. Frankreich kann nur 1% seines inländischen Energiebedarfs mit eigenen Ressourcen decken. Italien importiert 90% seines Öls, 100% seiner Kohle und 88% seines Erdgases. Die Situation ist etwas besser im Vereinigten Königreich, wo die inländische Produktion 57% des Öl- und 55% des Erdgasbedarfs deckt, aber 76% der Kohle importiert werden. In Brasilien werden 27% des Öls, 79% der Kohle und 49% des Erdgases importiert. Indien, obwohl es der drittgrößte Kohleproduzent ist, importiert 32% seiner Kohle, 37% seines Erdgases und 77% seines Öls [1].

Die weltweite Nachfrage nach Energieressourcen hat zur Entwicklung verschiedener Transportmodelle für jede Ressource im internationalen Handel geführt. Aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften variieren diese Modelle. Öl wird seit dem 19. Jahrhundert auf dem Seeweg, per Bahn und durch Pipelines transportiert. Kohle wurde aufgrund ihrer Natur und ihrer frühen kommerziellen Nutzung lange über Land und auf dem Seeweg transportiert, wobei ihr industrieller Einsatz durch die industrielle Revolution des 18. Jahrhunderts gefördert wurde. Der groß angelegte Transport von Erdgas entwickelte sich viel später. Anfangs wurde es aufgrund seiner Eigenschaften lokal verwendet, der Durchbruch kam jedoch Ende des 19. Jahrhunderts mit dem Bau von dicht verschlossenen Pipelines bis etwa 160 km Länge. In den 1920er und 1930er Jahren wurde in den USA ein Erdgassystem entwickelt. Erdgas gewann als wichtiger Brennstoff 30 bis 40 Jahre später an Bedeutung, wobei der weltweite Verbrauch zwischen 1965 und 1975 um 83% stieg. Dies wurde durch die gestiegene Produktion in Ländern mit bedeutenden Erdgasreserven wie der Sowjetunion und den USA, die erste Ölkrise, die die Notwendigkeit alternativer Energiequellen verdeutlichte, und den



Bau von Pipelines aus sowjetischen Erdgasquellen vorangetrieben, ein Trend, der sich mit Russland fortsetzt. Die 1970er Jahre markierten den Beginn des groß angelegten internationalen Handels mit Erdgas, was den Verbrauch in Ländern ohne ausreichende inländische Produktion erheblich steigerte.

Flüssigerdgas (LNG) steht vor einer langfristigen strategischen Bedeutung für die Europäische Union, insbesondere für die Sicherung der wirtschaftlichen Entwicklung und der Energiesicherheit. Zu diesem Zweck verbessern die Mitgliedstaaten der EU ihre Energieinfrastruktur, um Zugang zu den globalen LNG-Märkten zu erhalten und jedem Land direkten oder indirekten (über Zwischenländer) Zugang zu Überseelieferungen von LNG zu ermöglichen. Die Nutzung dieser Infrastruktur wird weitgehend von den globalen Energiepreisen abhängen.

Die erhöhte Verfügbarkeit von LNG wird den Wettbewerb auf dem Gasmarkt steigern und marktbasierte Preise fördern. Dieser Wettbewerb könnte die Preise potenziell senken, insbesondere in den Anfangsstadien. Daher liegt es im Interesse der Europäischen Union, eine Energieinfrastruktur zu entwickeln, die den Import von LNG per Schiff aus verschiedenen Richtungen und Quellen ermöglicht und seinen flexiblen wirtschaftlichen Einsatz gewährleistet. Zusätzlich werden neue Anlagen gebaut, um die Nutzung von LNG als Kraftstoff im Straßen-, Schienen- und Seeverkehr sowie in der lokalen Wärme- und Stromerzeugung auszuweiten. Die Einrichtung geeigneter Lieferketten für LNG ist für diesen Zweck entscheidend [2].

Umweltüberlegungen sind ebenfalls von großer Bedeutung. LNG ist das sauberste fossile Brennstoff in Bezug auf Emissionen, dank seines Herstellungsprozesses, der das Verflüssigen und Raffinieren von Erdgas zur Entfernung von sauren Gasen, Schwefelverbindungen, Wasser und Quecksilber umfasst. Folglich führt die Verbrennung von LNG zu geringeren Emissionen von schädlichen Substanzen (wie Kohlendioxid, Stickoxiden, Schwefeldioxid und Asche). Dies, zusammen mit der wachsenden Vielseitigkeit seiner Anwendungen, macht LNG zu einem vitalen Brennstoff für die Wirtschaft.



2.2. Bedeutung von LNG für die Europäische Union

Das Ziel dieses Kapitels ist es, die Rolle von LNG in der Politik der Europäischen Union darzustellen. Die Ausrichtung dieser Aktivitäten wird nicht nur den EU-Energiemarkt, sondern auch die globalen Märkte beeinflussen. Die Bedeutung von LNG-Terminals auf dem gemeinsamen EU-Energiemarkt. LNG-Terminals spielen eine entscheidende Rolle auf dem vereinigten EU-Energiemarkt, indem sie die Energiesicherheit stärken und den Wettbewerb fördern, wodurch marktgetriebene Preise für das Produkt in ganz Europa sichergestellt werden. R. Dohms betont, dass die Funktionalität des vereinten EU-Energiemarktes von uneingeschränktem Zugang zu und der Fluidität von Energieressourcen und Strom abhängt. Forschungen von S. Dorigoni, C. Graziono und F. Pontoni legen nahe, dass auch bei höheren Preisen für LNG-Versorgung im Vergleich zu Erdgas über Pipelines der Zugang von LNG-Exporthäfen zum Erdgasmarkt die Wettbewerbsfähigkeit des Marktes unter bestimmten Bedingungen verbessern wird: das Eintreten neuer Wettbewerber, die Entwicklung des Spotmarktes und sinkende Kosten im Zusammenhang mit LNG. Die Forscher betonen auch die zunehmende Bedeutung von Spottransaktionen im Erdgasmarkt und weisen auf ihre entscheidende Rolle bei der Liberalisierung des EU-Energiemarktes hin [3].

Es stellen sich jedoch Fragen, ob die Entwicklung von LNG-Terminals die Integration oder Fragmentierung des Erdgasmarktes in Europa fördern wird. Eine Analyse der Entwicklung der LNG-Terminalinfrastruktur in der Europäischen Union zeigt, dass Länder mit fortschrittlichen Flüssiggas-Importeinrichtungen, wie Spanien, Frankreich, Italien und Portugal, nur eine begrenzte Interkonnektivität mit benachbarten Ländern aufweisen, wobei Frankreich und Italien keine Gasverbindung haben. Darüber hinaus ist die Durchsatzkapazität der Verbindungsleitungen zwischen Spanien und Portugal gering, und das Gasverbindungsnetzwerk in Badajoz ist bis 2035 vertraglich gebunden. Dies legt nahe, dass die Länder der Iberischen und Apenninhalbinsel möglicherweise ihre Gasmärkte regionalisieren möchten und zögern, die Interkonnektivität auszubauen, aufgrund von Bedenken hinsichtlich des



Markt Wettbewerbs. Folglich könnte die Entwicklung von LNG-Terminals möglicherweise die Etablierung eines vereinten EU-Energiemarktes verzögern und die Regionalisierungsphase verlängern.

Dennoch betrug die weltweite Nutzung der Importkapazität von LNG-Terminals im Jahr 2013 nur 35%, wobei Europas Verhältnis noch niedriger war, unter 25%. Dennoch würde im Falle einer politischen Krise, die die Versorgung Europas aus wichtigen Quellen unterbricht, das Importpotenzial von LNG-Terminals von unschätzbarem Wert. In einem solchen Szenario würde die Kombination von Eintritt in das Gassystem über LNG-Anlagen und Erdgasverbindungen die Verteilung der erforderlichen Ressourcenmengen an die Zielländer erleichtern. Dies unterstreicht, dass eine geopolitische Krise den Einfluss von LNG-Terminals auf den integrierten Energiemarkt grundlegend verändern und die Nutzung ihres Importpotenzials erheblich erhöhen würde. Unter stabilen politischen Bedingungen werden LNG-Terminals in dem Umfang genutzt, der von den Importeuren in EU-Ländern als profitabel erachtet wird, wodurch sie eine strategische Energieinfrastruktur darstellen, die darauf abzielt, die Diversifizierung der EU-Gasversorgungsquellen sicherzustellen [4].

Im Februar 2016 stellte die Europäische Kommission die "EU-Strategie für verflüssigtes Erdgas und Erdgasspeicher" vor, einen entscheidenden Bestandteil, der darauf abzielt, die Sicherheit und Diversifizierung der Erdgasversorgung zu gewährleisten. Frühere strategische Dokumente hatten konsequent die Notwendigkeit hervorgehoben, die Energiesicherheit zu stärken und das Spektrum sowohl der Richtung als auch der Quellen der Erdgasversorgung zu erweitern.

Schon im Jahr 2003 erkannte die EU das Potenzial von verflüssigtem Gas in ihrem Dokument "Europäische Energie- und Verkehrstrends bis 2030" und prognostizierte eine bedeutende Rolle für LNG bei der Integration regionaler Gasmärkte. Nachfolgende Prognosen im Jahr 2007 betonten die allmähliche Entwicklung des globalen LNG-Marktes im Laufe der Zeit. Eine Prognose von 2014 betonte die Notwendigkeit, die Infrastruktur in europäischen Ländern auszubauen, um die Entwicklung von LNG als Kraftstoff für den Straßenverkehr zu ermöglichen. Im Jahr



2011 betonte die Europäische Kommission erneut die Bedeutung der Erweiterung der Verbindungen zwischen den Erdgasnetzen der EU und Drittländern durch den Bau neuer Gasleitungen und LNG-Terminals und betonte den erheblichen Einfluss von LNG auf den globalen Erdgasmarkt. Die Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates (EU) Nr. 347/2013 betonte die zunehmende Bedeutung von Energiespeicheranlagen und Einrichtungen für die Aufnahme, Speicherung, Regasifizierung oder Dekompression von verflüssigtem Erdgas (LNG) in der europäischen Energieinfrastruktur. In der Europäischen Energie-sicherheits-strategie von 2014 und dem Europäischen Energie-verbund (EEV)-Projekt von 2015 wurden LNG-Lieferungen als entscheidend für die Diversifizierung der Erdgasversorgung nach Europa anerkannt. Öffentliche Konsultationen begannen im Juli 2015 bezüglich der EU-Strategie für die Nutzung von LNG und Erdgasspeicheranlagen im Rahmen des EEV, wobei die Schlüsselrolle von LNG bei der Diversifizierung, der Kontinuität der Versorgung und der verbesserten Wettbewerbsfähigkeit auf dem Gasmarkt betont wurde. Die Europäische Union ist bestrebt sicherzustellen, dass alle Mitgliedstaaten, einschließlich Bulgariens, Kroatiens, der Tschechischen Republik, Estlands, Finnlands, Ungarns, Lettlands, Rumäniens, der Slowakei und Sloweniens, Zugang zum Import von LNG erhalten, entweder direkt oder indirekt über benachbarte Länder. Eine verstärkte regionale Zusammenarbeit und eine erhöhte Anzahl von Interkonnektoren werden entscheidend sein, um dieses Ziel zu erreichen. Die EU erkennt bestehende Barrieren für potenzielle neue LNG-Lieferanten auf Terminal-ebene an, wie Lieferverträge, Zugang zu Gasübertragungssystemen und Speicheranlagen. Die Überwindung dieser Barrieren wird die Nutzung von LNG-Terminals optimieren. Darüber hinaus erkennt die EU LNG als attraktive Alternative zu bestehenden Brennstoffen an, insbesondere im Seetransport. Es wird jedoch entscheidend sein, Barrieren im Zusammenhang mit der Bunker-kapazität, regulatorischen Rahmenbedingungen und der Standardisierung entlang der Versorgungsketten zu überwinden, um seine Nutzung auszuweiten. Schließlich unterstreicht das Dokument die strategische Bedeutung von Speicheranlagen für die Gewährleistung der Energiesicherheit, was im Februar 2016 zur Ankündigung der "EU-Strategie für



verflüssigtes Erdgas und Erdgasspeicher" durch die Europäische Kommission führte [5].

2.3. LNG-Infrastruktur in der Europäischen Union

Das Modell zur Integration des gemeinsamen EU-Energiemarktes sieht die Erweiterung der Energieinfrastruktur vor, um den bidirektionalen und flexiblen Austausch von Energieressourcen zu erleichtern. Dieser integrierte Markt wird auf den Prinzipien des Marktwettbewerbs operieren, die durch geeignete regulatorische Rahmenbedingungen etabliert werden, die aus den Prozessen der Marktliberalisierung resultieren. Der Großhandelsmarkt, verankert durch Energietauschkmärkte und -hubs, wird eine entscheidende Rolle spielen. Ein integriertes Energiemarktmodell muss ein robustes System zur Sicherstellung der Erdgassicherheit umfassen, das über benachbarte Länder hinausreicht. Dies beinhaltet die Anerkennung der bedeutenden Rolle des LNG-Marktes neben Land- und Unterwasser-Pipelines und Erdgas-Interkonnektoren, um den Zugang zu globalen Erdgasressourcen zu gewährleisten. D.A. Wood hebt hervor, dass LNG von 1990 bis 2010 ein kontinuierliches Wachstum mit einer globalen jährlichen Rate von 7,2% verzeichnete, wobei bis 2020 sogar ein noch höheres Wachstum prognostiziert wird. Verflüssigtes Gas wird im integrierten Marktmodell eine wichtige Rolle spielen und einen schnellen Zugang zu zusätzlichen Gasvorräten durch LNG-Terminals ermöglichen. Im Falle einer langfristigen Energiekrise, die die unterirdischen Erdgasspeicherbestände erschöpft, wird LNG als zuverlässiges Element des Sicherheitssystems dienen. Es wird sich als eine praktikable Alternative zu Dieselöl und verdichtetem Gas erweisen und zu einem wichtigen Kraftstoff in den Bereichen Straßenverkehr, Schifffahrt und Luftfahrt werden.

Seine Bedeutung im Straßenverkehr wird weiter zunehmen, parallel zu immer strengeren Umweltstandards für Verbrennungskraftstoffe, die Trends im Luft- und Seeverkehr widerspiegeln. Dies zeigt sich in der Richtlinie 2012/33/EU, die eine Reduzierung des Schwefelgehalts in Schiffs kraftstoffen vorschreibt und den Weg für



eine breitere Nutzung von LNG-Kraftstoff im Seeverkehr ebnet. In nordischen Häfen werden feste LNG-Bunkerstationen eingerichtet, wobei Stockholm zu den ersten gehört, die Flüssigerdgas-Bunkerdienste mit der Schiff-zu-Schiff-Methode anbieten. In der Ostsee-Region bietet Schweden derzeit Bunkerdienste mit LNG an, und Polen steht kurz davor, sich mit seinem Świnoujście-LNG-Terminal anzuschließen. Die Bereitstellung dieser Dienste wird voraussichtlich bedeutende Einnahmen für Dienstleister, einschließlich Häfen, generieren [6].

Das Integrationsmodell für den gemeinsamen EU-Energiemarkt wird wahrscheinlich weitere Gesetzgebungsakte einführen, die emissionsarme Kraftstoffe wie LNG begünstigen. Folglich hängt die Entwicklung des verflüssigten Gasmarktes in Europa davon ab, die Infrastruktur auszubauen, um einen effizienten Transport und eine effiziente Verteilung dieses Kraftstoffs über Regionen und Länder hinweg zu gewährleisten.

2.4. Herausforderungen und Perspektiven der Entwicklung der LNG-Infrastruktur

LNG terminals spielen eine entscheidende Rolle bei der Diversifizierung der Erdgasversorgungsquellen und gewähren Importeuren Zugang zu globalen Märkten. Dies ist besonders wichtig für EU-Länder, die zuvor aufgrund von Konflikten zwischen Russland und der Ukraine oder Russland und Belarus Störungen in der Erdgasversorgung erlebt haben. Verflüssigungsanlagen für Gas verbessern die Energiesicherheit Europas, indem sie die Stabilität der Gasversorgung stärken. Die Internationale Energieagentur (IEA) betont, dass LNG-Terminals als Schutz vor Risiken im Zusammenhang mit Störungen in der Erdgasversorgung dienen. Die IEA hat das Modell der kurzfristigen Energiesicherheit (MOSES) entwickelt, das hervorhebt, dass LNG-Terminals als vitale Eingangspunkte in das Gassystem dienen und die Diversifizierung der Erdgaslieferanten ermöglichen. Folglich sind Länder mit mehr Möglichkeiten für den Gasimport widerstandsfähiger gegen Störungen in diesem



Bereich. Unter den EU-Mitgliedstaaten zeichnet sich Spanien durch seine erhebliche Abhängigkeit von verflüssigten Gaslieferungen aus. Dank einer gut etablierten Energieinfrastruktur, die sowohl den Import von Pipelines als auch den Zugang zu LNG-Terminals ermöglicht, verfügt Spanien über das vielfältigste Gassystem in Europa und importierte 2014 aus 11 verschiedenen Ländern. Im Falle eines geopolitischen Konflikts, der zu politischer Instabilität entweder im Land, das Erdgas über Pipelines exportiert, oder im Transitland führt, würde sich der Einfluss von LNG-Terminals auf die Gasversorgungssicherheit der EU noch stärker bemerkbar machen. Bei der Bewertung der aktuellen globalen Lage sind potenzielle bewaffnete Konflikte oder politische Instabilität in nordafrikanischen Ländern und der Russischen Föderation am wahrscheinlichsten. Russland nutzt häufig Erdgaslieferungen als politisches Instrument, um Druck auf Verbraucher auszuüben und politische Ziele voranzutreiben. Hinsichtlich südlicher Erdgasquellen für Europa wird ein zunehmender Wettbewerb zwischen Ländern mit bedeutenden kürzlich entdeckten Ressourcen beobachtet, wie Zypern, Ägypten, Israel, Libanon, Syrien und der Türkei. Sowohl Algerien als auch Katar streben danach, ihre Positionen als stabile LNG-Lieferanten für die EU beizubehalten. Darüber hinaus sind Länder, die in die Infrastruktur für den LNG-Export investieren, darunter die USA, Kanada und Australien, stark daran interessiert, Zugang zum europäischen Markt zu erhalten. Die Expansion des internationalen Flüssigerdgasmarktes hat den Wettbewerb unter den LNG-Exporteuren verschärft, die um Endkunden konkurrieren. Mit der Entdeckung weiterer bestätigter Erdgasreserven ist der Wettbewerb zwischen den Nationen in jüngster Zeit signifikant eskaliert. Das Aufkommen zahlreicher Unternehmen, die verflüssigte Gaslieferungen auf den globalen Märkten anbieten, hat den Bau neuer Gasverflüssigungsanlagen vorangetrieben. Derzeit gehören zu den Haupt-LNG-Exporteuren weltweit Katar, Malaysia, Australien, Nigeria, Indonesien, Trinidad und Tobago, Algerien, Oman und Jemen, wobei weitere Länder Anlagen zur Verflüssigung von Gas entwickeln wollen. Folglich nimmt der Wettbewerb zwischen den LNG-Exporteuren zu, was potenziell zu einer erhöhten politischen Spannung und vermehrten bewaffneten Konflikten weltweit führen könnte. In Europa ist auch ein Kampf um



Endkunden im Gange zwischen Pipeline-Erdgasexporteuren und Exporteuren von verflüssigtem Gas, das über das Meer durch LNG-Terminals transportiert wird. Dieser Wettbewerb ist für Verbraucher vorteilhaft, da er monopolistische Praktiken einiger Gasunternehmen auf dem europäischen Erdgasmarkt stört. Darüber hinaus hat er zu einer Etablierung von zwei Preiskategorien auf dem EU-Markt geführt: eine für Erdgas, das über Pipelines unter langfristigen Verträgen geliefert wird, indexiert auf die Preise von Rohöl und seinen Derivaten, und eine andere für Erdgas unter kurzfristigen Verträgen, die zunehmend an Großhandelsmarktpreise gebunden sind [7].

Seit 2008 ist der Preis für Erdgas unter kurzfristigen Verträgen im Vergleich zu dem unter langfristigen Verträgen von Russland, Norwegen und Algerien, die traditionell Preise an Rohöl indexieren, niedriger. Dies hat zu Neuverhandlungen von Preisen für langfristige Gasverträge geführt, insbesondere mit Gazprom, dem russischen Exporteur, der für das Einbeziehen unfairer Klauseln in seine langfristigen Verträge bekannt ist. Folglich haben LNG-Terminals den Wettbewerb auf dem Erdgasmarkt erheblich verstärkt, was zu niedrigeren Preisen für den Rohstoff auf dem europäischen Markt unter kurzfristigen Verträgen geführt hat. Dies wiederum übt einen größeren Druck auf Verhandlungen mit Lieferanten aus, die Erdgas unter langfristigen Verträgen anbieten. Aus der Sicht von Erdgas importierenden Ländern ist es daher entscheidend, über eine Energieinfrastruktur zu verfügen, die den Wettbewerb zwischen verschiedenen Exporteuren fördert. Länder, die nicht über die technischen Möglichkeiten verfügen, Erdgas aus verschiedenen Quellen und Richtungen zu importieren, sondern sich stattdessen auf eine einzige Quelle verlassen müssen, haben in Verhandlungen mit Exporteuren nur begrenzte Verhandlungsmacht. Eine solche Abhängigkeit ermöglicht es den Exporteuren, Vertragsbedingungen zu diktieren, einschließlich politischen Drucks oder der Androhung von Versorgungsunterbrechungen [8]. Daher sind der Ausbau der Energieinfrastruktur und die Umsetzung geeigneter Vorschriften für EU-Länder unerlässlich, um eine wettbewerbsfähige Entwicklung auf dem Erdgasmarkt sicherzustellen. Mit zunehmender Anzahl von Terminals in Europa wird der Wettbewerb intensiver, was



zu Veränderungen auf dem EU-Erdgasmarkt führen wird. Die meisten europäischen Länder haben langfristige Erdgaslieferverträge, die alle 2 oder 3 Jahre neu verhandelt werden können, um sich an sich ändernde Marktbedingungen anzupassen. Folglich wird die Erweiterung der LNG-Infrastruktur die Verhandlungsmacht der europäischen Länder in den Verhandlungen mit den bestehenden Erdgaslieferanten stärken [9].

One strategic objective of the European Union is to enhance its energy infrastructure to maximize the utilization of liquefied natural gas (LNG), which currently stands as the most promising source of gas supply to Europe. The existing and planned LNG facilities ensure supply continuity in emergency scenarios. However, the distribution of gas imported via sea is constrained by the pipeline capacity between countries with significant LNG import potential and other EU nations. Therefore, expanding the natural gas transmission infrastructure could enhance supply reliability in regions where pipeline-based supply might face disruptions [10]. Die Länder in Mittel- und Osteuropa weisen die schwächste LNG-Infrastruktur auf, was ein höheres Risiko von Versorgungsunterbrechungen während geopolitischer Krisen bedeutet. Im Gegensatz dazu kann dies unter politischer Stabilität zu einer verringerten Wettbewerbsfähigkeit auf dem Gasmarkt führen, insbesondere in Abwesenheit angemessener bidirektionaler Durchflusskapazitäten an Verbindungen. Folglich strebt die Europäische Union an, die Entwicklung der Energieinfrastruktur zu rationalisieren, um einen flexiblen Transfer von Energiequellen, alternativen Kraftstoffen und Elektrizität zu erleichtern. Ein weiteres Ziel der EU ist es, bis 2025 ein Netzwerk von LNG-Tankstellen in Seehäfen und bis 2030 in Binnenhäfen einzurichten. Diese Stationen sollen LNG-Terminals, Tanks, mobile Container, Bunkerschiffe und Lastkähne umfassen [11]. Die Mitgliedstaaten sollen ihre LNG-Übertragungsnetze ausweiten und ein Verteilungssystem zwischen den Lagerstätten und den LNG-Tankstellen einrichten. Es wird geschätzt, dass LNG-Tankstellen mindestens 400 km voneinander entfernt sein sollten, wobei die EU darauf abzielt, bis zum 31. Dezember 2025 eine bedeutende Anzahl öffentlich zugänglicher LNG-Tankstellen im TEN-T-Netzwerk einzurichten. Um den Ölverbrauch im Verkehrssektor zu reduzieren und alternative Kraftstoffe zu fördern, hat die Europäische Kommission im März 2011 den



Fahrplan für einen einheitlichen europäischen Verkehrsraum verabschiedet, der auf ein wettbewerbsfähiges und ressourceneffizientes Transportsystem abzielt. Um diese Ziele zu erreichen, ist eine beträchtliche Investition in den Ausbau der Infrastruktur für verflüssigtes Gas erforderlich, einschließlich der Niederskalenverteilung, was das Tempo der Entwicklung des LNG-Marktes in Europa maßgeblich beeinflussen wird. Die Einrichtung einer geeigneten Lieferkette für LNG ist für die Entwicklung eines Verteilungssystems in Europa von entscheidender Bedeutung. Die Sicherstellung einer effizienten Gestaltung der Lieferkette, wie von Experten wie R. Jokinen, F. Pettersson und H. Saxen betont, ist entscheidend für Kosteneinsparungen bei Investitionen und Betriebskosten. Eine typische Niederskalen-Lieferkette sollte ein großes LNG-Importterminal, kleine LNG-Terminals und eine Flotte von Schiffen und Lastwagen für den Transport von verflüssigtem Gas umfassen. [11].

Schlussfolgerungen

Die Mitgliedstaaten der Europäischen Union haben die Kapazität, jährlich 490 Milliarden Kubikmeter (bcm) Erdgas über Pipelines und 197 bcm über LNG-Terminals zu importieren. Derzeit verfügen Spanien, Frankreich, Portugal und Großbritannien über die fortschrittlichsten technischen Möglichkeiten für den Import von verflüssigtem Gas. Die Anteile von LNG am Gesamtgasverbrauch variieren jedoch je nach Land, wobei Spanien und Portugal etwa 50% nutzen, während die Niederlande weniger als 3% nutzen. Die Länder in Mittel- und Osteuropa, mit Ausnahme von Litauen und seinem neu errichteten LNG-Terminal, haben derzeit keinen Zugang zu LNG-Importen. Die Einrichtung eines Handelszentrums für verflüssigtes Gas hängt von ausreichender Energieinfrastruktur ab. Spanien, Großbritannien, Schweden, die Niederlande, Frankreich und Norwegen (obwohl kein EU-Mitglied) verfügen über die am weitesten entwickelte LNG-Infrastruktur in Europa. Diese Länder haben nicht nur LNG-Importterminals, sondern auch Systeme für die Niederskalenverteilung für den maritimen und Straßentransport. Die Einrichtung von LNG-Handelszentren erfordert



jedoch eine Erweiterung der LNG-Infrastruktur und ausreichende Kapazitäten von Pipelines oder Gasverteilungsnetzen. Derzeit dienen Gaszentren in Europa, ob physisch oder virtuell, hauptsächlich als Punkte für den Gasbezug und den Handel auf dem Großmarkt [12].

Bei der Analyse der europäischen Landschaft könnten potenzielle LNG-Handelszentren in Ländern wie Großbritannien, Spanien, Schweden, Frankreich, den Niederlanden, Belgien und Italien entstehen. Zum Beispiel hat sich Rotterdam mit seinem fortschrittlichen National Balancing Point (NBP) und seiner robusten Infrastruktur zu einem entscheidenden Gaszentrum in der nordwestlichen EU-Region entwickelt. Obwohl die meisten LNG-Infrastrukturen in bestimmten Ländern konzentriert sind, laufen Bemühungen, LNG-Anlagen in Portugal, Finnland und Deutschland auszubauen. In Mittel- und Osteuropa ist Polen darauf ausgerichtet, ein regionales LNG-Handelszentrum zu werden, indem es die Zusammenarbeit innerhalb der Visegrád-Gruppe und der Östlichen Partnerschaft nutzt [13].

Projekte im Zusammenhang mit der Entwicklung von LNG-Infrastrukturen können EU-Finanzierung erhalten, wenn sie als Vorhaben von gemeinsamem Interesse (Projects of Common Interest, PCIs) qualifiziert werden. Diese Projekte sollen zu den energiepolitischen Zielen der EU beitragen, die Integration des Energiemarktes verbessern und die Kohlenstoffemissionen reduzieren. Das Connecting Europe Facility (CEF) der Europäischen Kommission unterstützt solche Projekte und ersetzt das frühere Trans-European Transport Network (TEN-T). Viele LNG-bezogene Projekte haben EU-Finanzierung erhalten, was das Engagement der EU für die Förderung von LNG-Infrastrukturen und die Integration des Energiemarktes zeigt.



KAPITEL 3 / CHAPTER 3³

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF THE BIOFUEL SECTOR IN UKRAINE

DOI: 10.30890/2709-2313.2024-30-00-021

Вступ

Рівень розвитку і стан енергетики має вирішальний вплив на економіку та темпи економічного зростання у будь-якій країні. Потреби в енергії визначаються трьома основними факторами: економічним розвитком суспільства, науково-технічним рівнем виробничих процесів та приростом населення. Нафта, природний газ та вугілля є основними джерелами енергії світової економіки. Для зниження залежності від імпорту енергоносіїв уряди більшості країн світу спрямовують свої зусилля на розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) і збільшення ролі біоенергетичних видів палива. Це дасть змогу зменшити потреби у використанні викопних непоновлюваних джерел енергії, а також дозволить знизити гостроту проблем глобальної зміни клімату і забруднення природного середовища токсичними речовинами [1, 2].

За даними звіту (рис.1) Міжнародного енергетичного агентства за 2024 рік [3] у найближчі п'ять років світ має намір додати більше потужностей з відновлюваних джерел енергії, ніж було встановлено з моменту будівництва першої комерційної електростанції з відновлюваних джерел енергії понад 100 років тому. Згідно з основним прогнозом у цьому звіті, майже 3 700 ГВт нових відновлюваних потужностей буде введено в дію протягом 2023-2028 років завдяки підтримці політики в більш ніж 130 країнах. Планується що у 2028 році на ВДЕ припаде понад 42% світового виробництва електроенергії[4].

Україна відноситься до енергодефіцитних країн, яка задовольняє свої потреби в паливно-енергетичних ресурсах (ПЕР) за рахунок власного їх видобутку приблизно на 50 % [5]. Уведення в енергетичний баланс України біологічних видів палива, які за своєю природою є відновлюваними ресурсами акумульованої сонячної енергії – одне з актуальних завдань сьогодення. [6, 7].

³*Authors: Avdieieva Lesia Yuriivna, Makarenko Andrii Anatoliiovych, Turchyna Tetiana Yakivna, Dekusha Hanna Valeriivna*

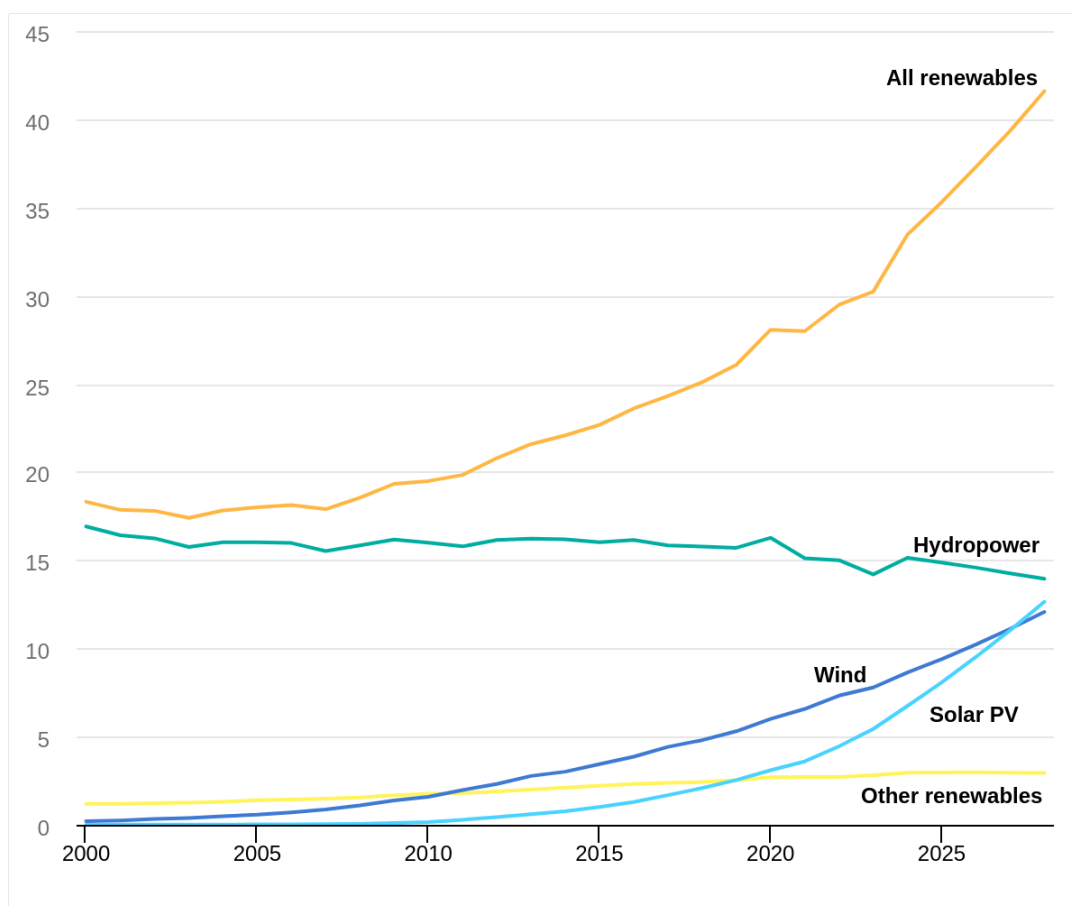


Рис. 1 - Частка виробництва електроенергії з ВДЕ за технологіями

В Україні існує значний потенціал для розвитку національного біоенергетичного сектору та заміни природного газу біомасою та твердими біопаливами. За попередніми розрахунками, в Україні є потенціал виробляти до 10 мільярдів кубометрів біометану на рік, переважно з сільськогосподарських відходів. До 2050 року країна може потенційно досягти загального обсягу виробництва біогазу/біометану 6 мільярдів кубометрів на рік, частина з яких буде доступна для експорту. Загалом, Україна має достатні ресурси для заміщення до 4 мільярдів кубометрів природного газу на рік внутрішніми біопаливами та біометаном до 2030 року. Україні потрібні національні проекти зі заміщення традиційних автомобільних палив альтернативами, такими як біодизель, біостанол, біометан та синтетичні рідкі палива[6].

Згідно прогнозів (рис. 2) Біоенергетичної асоціації України(UABIO) загальне споживання біопалив в Україні у 2050 році може становити 23 млн т н.е./рік[8].

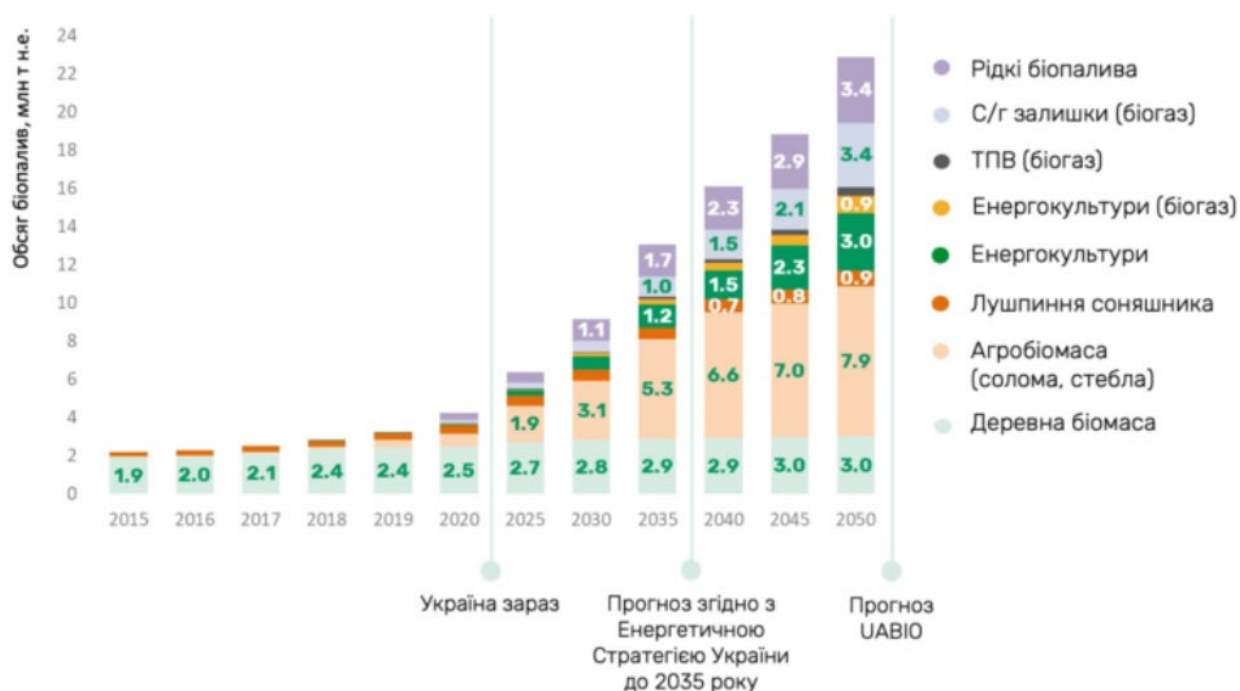


Рис.2 - Запропонована структура використання біопалив в Україні до 2050 року

Близько 50% цих біопалив використовуватимуться для виробництва теплової енергії і напряду замінюватимуть природний газ (еквівалентно заміщенню 13,7 млрд м³/рік природного газу). Інша частина замінюватиме вугілля і атомну генерацію для виробництва електроенергії, а також нафтопродукти на транспорті.

У період 2020-2050 років в Україні використання деревної біомаси залишатиметься на такому ж рівні, проте зростатиме частка використання соломи, стебел, лушпиння соняшника, сільськогосподарських залишків, енергокультур, рідких біопалив, твердих побутових відходів для виробництва енергії. Такий прогноз ґрунтується на розрахунках, які показують, що потенціал деревної біомаси та лушпиння соняшника в Україні у 2020 році вже використано на понад 90%.

Тому одним із головних пріоритетів для України залишається виробництво та використання біоенергетичних палив з енергетичних культур та вирощування біомаси для різних типів біопалив. Це допоможе зменшити використання невідновних джерел енергії, частково вирішити проблему залежності від імпорту



енергії та пом'якшити забруднення навколишнього середовища токсичними речовинами та парниковими газами[5-8].

Сучасний стан біопаливного комплексу України

Україна класифікується як країна з дефіцитом енергетичних ресурсів, оскільки в середньому задовольняє лише 53% своїх потреб у паливі та енергоресурсах. Видобуток вуглеводнів в Україні лімітується обмеженими запасами та необхідністю в мільярдних інвестиціях у їх розвиток. Відновлювані джерела енергії характеризуються природним поновленням протягом відносно коротких періодів, забезпечуючи стійке постачання електроенергії [9].

3.1. Обсяг виробництва біопалива в Україні

В Україні обсяг виробництва біопалива зазнає значного зростання протягом останніх років, відображаючи зростаючий інтерес до альтернативних джерел енергії. Згідно з даними Європейської Економічна Комісія ООН, загальний обсяг виробництва біопалива у країні зростає на 15% протягом 2023 року, склавши 1,5 мільйонів тонн еквіваленту нафтового палива. Це свідчить про значний потенціал українського біопаливного сектору та його важливу роль у диверсифікації енергетичного міксу країни.[10]

Домінуючим видом біопалива в Україні залишається біодизельне паливо, яке виробляється переважно з соняшникової олії та рапсу. У 2023 році обсяг виробництва біодизельного палива перевищив 900 тисяч тонн, що складає близько 60% загального виробництва біопалива в Україні. Також значний внесок у загальний обсяг виробництва біопалива робить біоетанол, вироблений з цукрового буряку та зерна. За останні роки спостерігається також зростання виробництва біогазу, яке стає все більш значущим у виробництві електроенергії та тепла.

Потенціал зростання виробництва біопалива в Україні підтримується не



лише внутрішнім попитом, але й зростаючим попитом на експорт. Країни Європейського Союзу є основними покупцями українського біопалива, враховуючи їхні амбіційні цілі зменшення викидів парникових газів та сприяння сталому розвитку.

Використання відновлюваних джерел енергії, що походять з біологічної сировини, має на меті не лише досягнення економічної незалежності від країн-експортерів енергії, а також покращення екологічної ситуації, зменшення швидкості антропогенного впливу на навколишнє середовище, пом'якшення зміни клімату та мінімізації енергетичних втрат[10, 11].

3.2. Основні види біопалива

Біопаливо виробляється різними методами, включаючи такі процеси перетворення біомаси, як ферментація, піроліз і переетерифікація. В результаті сировина перетворюється на рідке паливо, таке як етанол і біодизель, або газоподібне паливо, як біогаз.

Сировиною біомаси можуть бути такі с/г культури, як зерно, насіння, цукрові і олійні культури (цукрова тростина, кукурудза, соя, рослинні олії, водорості), відходи харчової промисловості та багато ін. [5-8, 12].

Біодизельне паливо: Біодизельне паливо є одним з найбільш поширених видів біопалива в Україні. Воно виготовляється переважно з рослинних олій, таких як соняшникова, соєва, рапсова тощо. Біодизель може використовуватися в дизельних двигунах без значних модифікацій, що робить його привабливим для транспортних та промислових застосувань.

Біоетанол: Біоетанол виробляється переважно з цукрового буряку та зерна, і використовується як альтернативне паливо у бензинових двигунах. Україна має значні ресурси для виробництва біоетанолу, особливо через великий обсяг вирощування цукрового буряку та зернових.

Біогаз: Біогаз є продуктом біологічного розкладання органічних матеріалів,



таких як органічні відходи, біомаса та добрива. Україна розвиває потужності з виробництва біогазу, особливо у сільському господарстві та на агропромислових підприємствах.

Найвагоміший розвиток біоенергетичного потенціалу стосується виробництва біоетанолу та біодизеля. Саме на цьому напрямку зосереджено більшість досліджень. Це так зване перше покоління біопалива. Нині близько 64% біоетанолу одержують із кукурудзи, 26 % – з цукрової тростини, 3% – з меляси, 3% – з пшениці, решта – з інших видів сировини, зокрема, з маніюки або цукрових буряків. Близько 77% світового виробництва біодизеля базується на використанні рослинних олій (37% олії ріпаку, 27% соєвої та 9% пальмової олій) або відпрацьованих оліях (21%) [13].

У 2019 р. світовими лідерами виробництва рідких біопалив (біоетанолу та біодизеля) стали США (48,2% і 19,5% світового виробництва), Бразилія (26,2% і 12,0% світового виробництва) та Європейський Союз (4,9% і 34,1% світового виробництва) [14].

Потенціал отримання рідкого моторного біопалива першого покоління в Україні оцінюється в 580 тис. т.н.е/рік біодизеля та 860 тис. т.н.е/рік біоетанолу (оцінка UABIO на основі даних потенціалу біомаси за 2021 рік).

Відповідно до проекту Національного плану дій з відновлюваної енергетики (НПДВЕ) до 2030р, [15] частка відновлюваної енергії в транспортному секторі має становити 14% у 2030 році. Очікуване споживання сягає 238 тис. т.н.е для біоетанолу та 87 тис. т.н.е для біодизеля в 2030 році (таблиця 1).

За останні 20 років у країні було розроблено та затверджено кілька відповідних програм, у тому числі Програму етанолу (2000 р) [16] та Програма розвитку дизельного біопалива (2006 р) [17], але їхня реалізація не мала успіху.

Розмаїття видів біопалива в Україні свідчить про різноманітність джерел сировини та технологій, які використовуються для його виробництва. Це дозволяє країні розвивати комплексний підхід до використання відновлюваних джерел енергії та зменшення залежності від традиційних видів палива. Україна має велику перевагу перед іншими країнами-експортерами біопалива, маючи



величезні запаси целюлозовмісної сировини у вигляді пшеничної соломи, стебла кукурудзи тощо. Для порівняння у 2019 році Україна зібрала 65 млн тонн зерна, де на 1 тону пшениці припадає 0,5 тонн соломи. Отже при наявних в Україні 32 млн тонн потрібно 5,5 тонн пшеничної соломи для виробництва 1 тонни біопалива. Цієї кількості сировини вистачає на постачання 6 млн тонн біопалива.

Таблиця 1. Оцінка потенціалу біоенергетичного сектору України

Технологія	Поточні обсяги виробництва (2021)	Потенціал розвитку 2035	Інвестиційний потенціал 2035, млрд євро 2050, млрд євро (довгостроковий сценарій)
Біометан/біогаз	150 млн м ³ СН ₄ (біогаз) 125 тис т.н.е (біогаз)	2012 млн м ³ (біометан) 1719 тис т.н.е (біометан)	4,0-5,4 33-44
Біоетанол	81,1 тис. т (2020) 51,1 тис т.н.е (2020)	555 тис т 350 тис т.н.е	0,87 3,9
Біодизель	-	322 тис т 300 тис т.н.е	0,62 2,3
Тверда біомаса	16,2 млн т 4,2 млн т.н.е	37,1 млн т 10,1 млн т.н.е	10,3 16,4

3.3. Географічне розподілення виробництва

Виробництво біопалива в Україні має географічно різноманітний розподіл, зосереджене переважно у регіонах, що відомі своєю високою врожайністю та доступністю сировини для виробництва біопалива.

Південні регіони: Південні області України, такі як Одеська, Миколаївська, Херсонська та Запорізька, відомі своєю високою врожайністю соняшнику та цукрового буряку, що робить їх ключовими центрами виробництва біодизельного палива та біоетанолу. Ці регіони також мають значний потенціал для виробництва біогазу з агропромислових відходів.

Північні регіони: Регіони на північному заході України, включаючи



Чернігівську, Рівненську та Волинську області, також мають потенціал для виробництва біопалива, зокрема біоетанолу з використанням кукурудзяних та пшеничних культур.

Центральні та західні області: Ці регіони, такі як Вінницька, Житомирська та Львівська області, мають довгу традицію вирощування зернових культур, що робить їх потенційними центрами виробництва біоетанолу. Також тут можна відзначити наявність біогазових установок, особливо на агропромислових підприємствах.

Східні області: Востаннє, але не менш важливо, східні регіони України, такі як Харківська, Сумська та Полтавська області, також активно розвивають виробництво біопалива, зокрема біодизельного палива зі соняшникової олії.

Географічне розподілення виробництва біопалива в Україні відображає різноманітність аграрного сектору країни та використання різних типів сировини для виробництва біопалива. Це сприяє регіональному розвитку та створює можливості для розширення виробництва у відповідності з місцевими умовами та ресурсами.

Географічна концентрація сільськогосподарських відходів дуже нерівномірна на території України. Солома пшениці та ячменю в основному доступна в південних та східних районах країни; залишки кукурудзи зосереджені в центральних та північних регіонах, тоді як найбільша кількість залишків соняшнику знаходиться в центральних та східних районах України.

Географічна концентрація вторинних сільськогосподарських залишків залежить від місцезнаходження відповідних харчових підприємств. Наприклад, найбільші олійноекстракційні заводи (генерація лушпиння соняшнику) розташовані у Вінницькій, Кіровоградській, Запорізькій, Миколаївській та Одеській областях України. Найбільші цукрові заводи (виробництво цукрової бурякової маси та меляси) розташовані у Львівській, Тернопільській, Вінницькій, Хмельницькій, Київській та Волинській областях.

Потенціал енергетичних культур залежить головним чином від наявності невикористаних сільськогосподарських угідь. Найбільший потенціал (рис. 3) – у



Чернігівській, Житомирській, Рівненській, Київській, Волинській та Львівській областях, де зосереджена майже половина всіх маловикористаних земель. Беручи до уваги лише занедбані сільськогосподарські угіддя, які не придатні для виробництва продовольчих культур поряд із меншими врожаями на цих землях, економічний потенціал енергетичних культур, призначених для виробництва твердого біопалива, становить 4-5 млн т н.е. для вирощування на території до 1 млн. га (2019). Додаткові 2,6 млн тонн можна отримати за рахунок вирощування кукурудзи для отримання біогазу на ще 1 млн га незадіяних сільськогосподарських земель[10, 18].

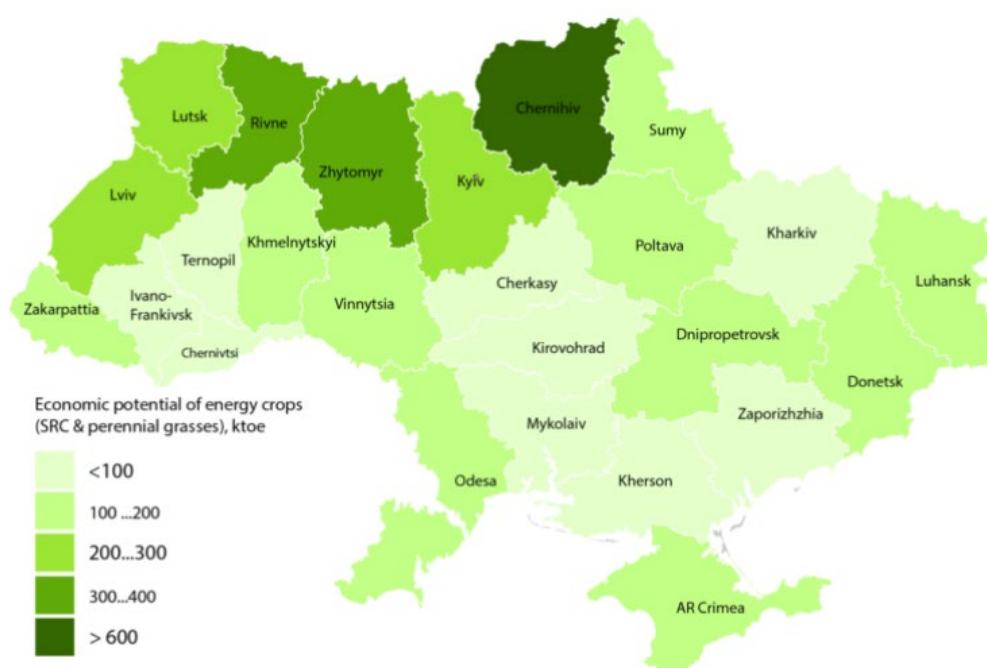


Рис. 3 - Потенціал енергетичних рослин, доступний для виробництва енергії в Україні, тис. т н.е. (економічний потенціал, загалом 4-5 млн т н.е.), 2019р.

Висновки

Підсумовуючи отримані результати аналізу біопаливного сектору в Україні, можна виділити наступні ключові моменти:

- стійке збільшення обсягів виробництва біопалива, що свідчить про великий потенціал цього сектору та його важливу роль у створенні різноманітності в енергетичному секторі України.
- різноманітність видів біопалива, що виробляються в Україні відкриває



широкі можливості для комплексного підходу до використання відновлюваних джерел енергії.

- географічно, виробництво біопалива розподілене по всій території країни, з урахуванням доступності сировини та інфраструктури, що створює основу для розвитку відповідних регіональних стратегій.

У цілому, розвиток біопаливного сектору є важливим кроком в напрямку досягнення енергетичної незалежності та зменшення негативного впливу на довкілля. Продовження інвестування у наукові дослідження та розвиток технологій біопалива може сприяти подальшому розвитку цього сектору та його позиціонуванню як екологічно сталого джерела енергії.



KAPITEL 4 / CHAPTER 4⁴

ANALYSIS OF GRAPHICS PIPELINES

DOI: 10.30890/2709-2313.2024-30-00-019

Introduction

Rendering of three-dimensional images [1, 2] in modern three-dimensional computer graphics systems is carried out according to a certain sequence of stages that form a graphics pipeline. Graphics pipelines are widely used to determine the hardware implementation of the stages of constructing three-dimensional images. The development of hardware and software, parallelization algorithms, artificial intelligence leads to the need of new graphics pipeline structures development.

4.1. Analysis of graphics pipelines stages

The main subsystems of the graphics 3D pipeline [3, 4, 5] (Fig. 1) are the scene description subsystem, the geometric subsystem, the rendering subsystem, and the visualization subsystem.

At the stage of describing the scene, its logical structure is formed. Scene's objects, their relative location and states, camera characteristics and light sources are defined.

At the stage of geometrical transformations, polygonal models of the of scene objects' surfaces are formed. Usually, the surface of the object is represented by triangles, which are the simplest two-dimensional shapes and provide a guaranteed decomposition of the surface. Displacement, rotation, and scaling transformations are performed on the objects for their correct placement in the space of the scene. Two-dimensional coordinates of points on the surface of the object are determined with the help of projection transformations.

⁴**Authors:** Romanyuk Oleksandr Nykyforovych, Bobko Oleksii Leonidovych, Zavalniuk Yevhen Kostyantynovych, Titova Nataliia Volodymyrivna, Romanyuk Serhii Oleksandrovyh, Stakhov Oleksii Yaroslavovych

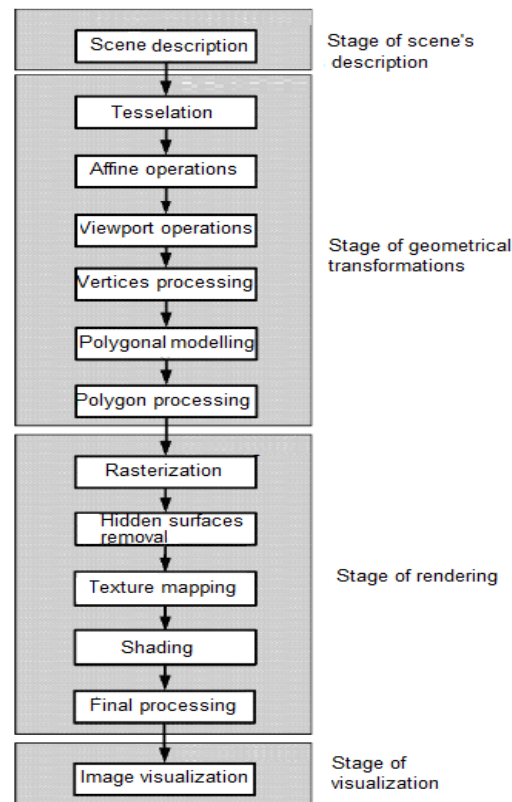


Figure 1 – General sequence of graphics pipeline stages

Source: [3]

At the rendering stage, up to 80% [2] of the calculations for the formation of three-dimensional scenes are performed. Rasterization of three-dimensional primitives and their subsequent shading are carried out.

During rasterization, the 3D polygons of an object's surface are converted into a set of 2D fragments for displaying on the screen. The rasterization process includes setting primitives, "moving along the edge", generating fragments. Primitives setup involves processing geometric primitives defined by vertices that have been transformed and projected into two-dimensional screen space coordinates. During "edge walking", the rasterizer determines which pixels on the screen intersect with geometric elements. This involves analyzing the edges of the primitives to find the pixels inside the boundaries of each triangle. After that, the rasterizer generates a fragment for each covered pixel.

Color intensity is determined for each pixel of the polygon. For this, the reflective properties of the material, the curvature of the surface of the object, the position of the



light source, and the position of the observer are taken into account. Usually, the value of the color intensity or the normal vectors between the vertices of the polygon is interpolated. Additionally, a texture mapping can be applied to the surface of the object. With the help of anti-aliasing methods, jagged contours are eliminated.

The final stage of the graphics pipeline lies in displaying the formed image on the screen. Here, the processed image fragments are combined and displayed as a complete scene. This involves copying the pixel data to the video memory, from where the image is output to the display.

To implement the stages of the graphics pipeline on the GPU, shader programs are used [6]. The main application programming interfaces for the implementation of shaders are DirectX and OpenGL. DirectX provides multimedia tools for developing graphics applications for Microsoft Windows, Xbox. OpenGL is used to develop cross-platform (Windows, Linux, Apple) graphics applications.

The described sequence of three-dimensional image formation stages is only general. Depending on the shader development application programming interface chosen by the developer and the specifics of the rendering task, the sequence of stages of the graphics pipeline may vary.

We compare the main stages of implementation of the graphics pipeline for OpenGL [7, 8] and DirectX [9] (Fig. 2).

The stages of the implementation of the graphics pipeline for OpenGL (see Fig. 2) [7, 8] include the specification of vertices, the usage of a vertex shader, a tessellation shader, a geometry shader, post-processing of vertices, primitive assembly, rasterization, the usage of a fragment shader, and the execution of per-sample operations.

At the stage of vertex specification [7, 8], an ordered list of primitive vertices of the object's surface is formed. Vertices can be characterized by attributes such as spatial coordinates, texture coordinates, and normal coordinates. Vertex buffer objects (VBO) are used to store information about vertices, and vertex array objects (VAO) are used to determine the necessary characteristics of vertices.

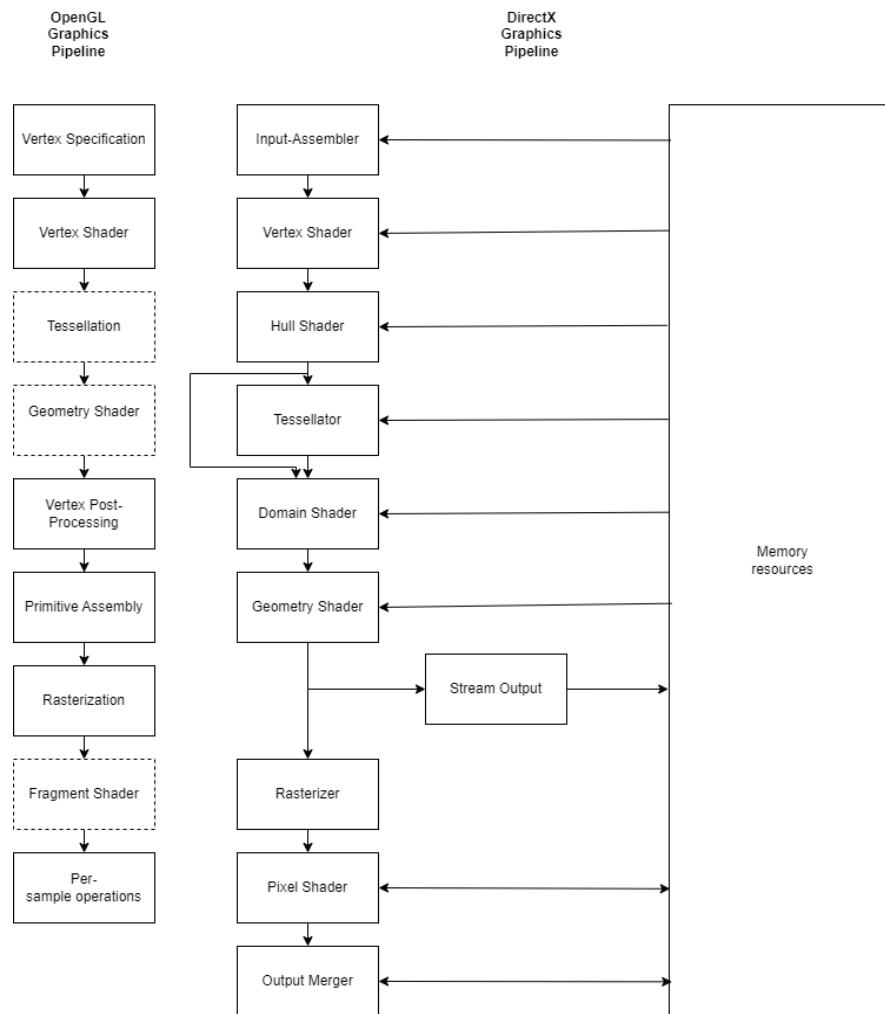


Figure 2 –Sequences of OpenGL and DirectX graphics pipelines stages

Source: [7, 8, 9]

The generated list of polygon vertices is submitted to the graphics pipeline for further processing.

Vertex shaders [7, 8] provide separate processing of each vertex and are used to determine the final coordinates of the vertices, calculate the lighting vectors in the vertices, and adjust further rendering. Optimization of the stage is possible by saving the results of vertex processing in the cache memory for their repeated use.

Usage of the tessellation shader [7, 8] is optional. Tessellation shaders perform further decomposition of polygons of the surface of the object. Two substeps are used: the tessellation control shader (determines the required level of tessellation of the given primitive) and the tessellation evaluation shader (determines the characteristics of the generated vertices).



The use of a geometry shader [7, 8] is also optional. Based on the input primitives, zero or more output primitives are formed. Changing type, removing, vertex modification and tessellation of primitive are all possible, the latter is the purpose of a tessellation shader and is not recommended. It is especially useful to use geometric shaders for multi-layer rendering, where a primitive is rendered for many images.

At the stage of post-processing of vertices [7, 8], sections of primitives lying outside the scope of viewing volume are cut off (clipping). In addition, based on the analysis of the location of polygons in the window space, primitives oriented against the observer are rejected (face culling).

At the stage of assembly of primitives, ordered sequences of polygons are formed on the basis of processed vertices. The simplified form of the stage is also applied before using the tessellation and geometric shaders.

At the rasterization stage [7, 8], three-dimensional polygons are transformed into a set of two-dimensional fragments.

The use of a fragment shader [7, 8] provides determination of the intensity and depth of color at each point of the polygon. To calculate color intensities, interpolated polygon vertices data (vectors of normals, incidence and reflection of light vectors, color intensity) are used. The stage may not be used in some cases, for example, when simple formation of primitive depth buffers is required.

To speed up the shading of fragments [10], it is recommended to avoid excessive normalization of vectors (in the case of small surface curvature or preservation of the unit length of the vector during transformation), store computationally complex information in the corresponding textures, perform preliminary visualization of the depth of fragments, move surface calculations to the vertex shader, use the smallest allowable accuracy of calculations and the most simple type of shader, reduce the size of textures, take into account the level of detail when shading fragments.

The stage of per-sample operations [7, 8] includes the implementation of a number of tests on the processed fragment. The z-depth test allows you to determine whether a fragment is covered by a fragment closer to the observer. If not, the corresponding pixel depth value is updated in the z-buffer. The pixel ownership test shows whether a



pixel's window is overlapped by another window. The scissor test allows you to discard fragments outside a defined rectangular part of the screen.

The resulting pixel color intensity values are recorded in the frame buffer.

The sequence of stages of the DirectX graphics pipeline [9] (see Fig. 2) includes the stages of input assembler, use of vertex shader, hull shader, use of tessellator, domain shader, geometry shader, stream output, rasterization, pixel shader, output merger.

The stage of input assembler [9] lies in the formation of primitives for processing in the pipeline based on the given vertices. Formed primitives receive identification numbers to avoid their repeated processing.

The stage of using the vertex shader [9] similarly provides positional transformations and calculation of lighting vectors for polygon vertices.

The stage of applying the hull shader [9] is the first tessellation stage of dividing the solid surface of the object into triangles. Based on the low-order surface model's control point sets, the tessellation factors for isolated surface patches are determined. The tessellation factors determine the level of subdivision of the surface patch.

The tessellator step uses the tessellation factors generated in the previous step to divide the surface into smaller triangles.

The domain shader stage lies in calculating the attributes of new vertices based on the generated polygons and predicted tessellation factors.

The stage of using the geometry shader [9] analogously lies in the processing of whole primitives and ensures the formation of output strips of triangles, strips of lines or lists of vertices to simplify or complicate the object model.

The stage of streaming output [9] lies in the permanent recording of the calculated data in the memory buffer for the possibility of re-submitting them to the input of the pipeline.

The rasterization stage is analogously the preparatory stage for the pixel shader stage. The three-dimensional geometric description of the scene is transformed into a two-dimensional set of points for shading.

At the stage of using the pixel shader [9], the color intensity of each point of the



primitive is analogously determined, taking into account the parameters of its vertices.

The step of output merger [9] lies in forming the final array of pixel color intensities for recording in the frame buffer based on combining the results of the pixel shaders.

In general, the graphics pipelines of OpenGL and DirectX correspond closely to each other. However, there is a difference in the terminology of the graphic pipeline stages and the peculiarities of approaches to individual stages of image formation. In particular, the OpenGL graphics pipeline contains only one stage of tessellation, which includes substages for determining the required level of surface decomposition (Tessellation Control Shader) and calculating the vertices of the formed primitives (Tessellation Evaluation Shader). At the same time, the DirectX graphics pipeline accommodates three separate stages for tessellation. At the first stage (Hull Shader) the decomposition level of the surface area is determined, at the second stage (Tessellator) the surface is divided into smaller primitives, at the third (Domain Shader) new vertices are calculated.

4.2. Analysis of graphics pipelines development

Let's consider the dependence of the features of the implementation of the stages of the graphics pipeline on the development of video cards. There are five generations of video card graphics pipeline models [11] (Fig. 3).

Graphic pipelines of the first generation video cards [11] (Voodoo Graphics, 1996) are characterized by the implementation of rasterization and raster operations using a graphics processor. Other graphics pipeline operations are implemented on the central processing unit (CPU).

A peculiarity of the stages of the graphics pipeline of second-generation video cards [11] (GeForce/Radeon 7500, 1998) is the implementation of vertex transformation and lighting adjustment (T&L) operations on graphics processors. That is, for the first time, all the main operations of the graphics pipeline were intended to



be implemented on the GPU.

Graphics pipelines of third-generation video cards [11] (GeForce3/Radeon 8500, 2001) are characterized by the introduction of software (shader) implementation for T&L calculations.

A peculiarity of the graphic pipelines of the fourth generation video cards [11] (Radeon 9700/GeForce FX, 2002) is the implementation of all the main stages of three-dimensional images formation using shader programs.

Stages of the graphics pipeline of the fifth generation video cards [11] (GeForce 8, Radeon R600, Intel GMA X3000) implemented with the help of shaders are characterized by the possibility of execution on any GPU block. Graphics pipelines of this type are called "unified". For example, all GPU units can be used to process the complex geometry of a 3D object.

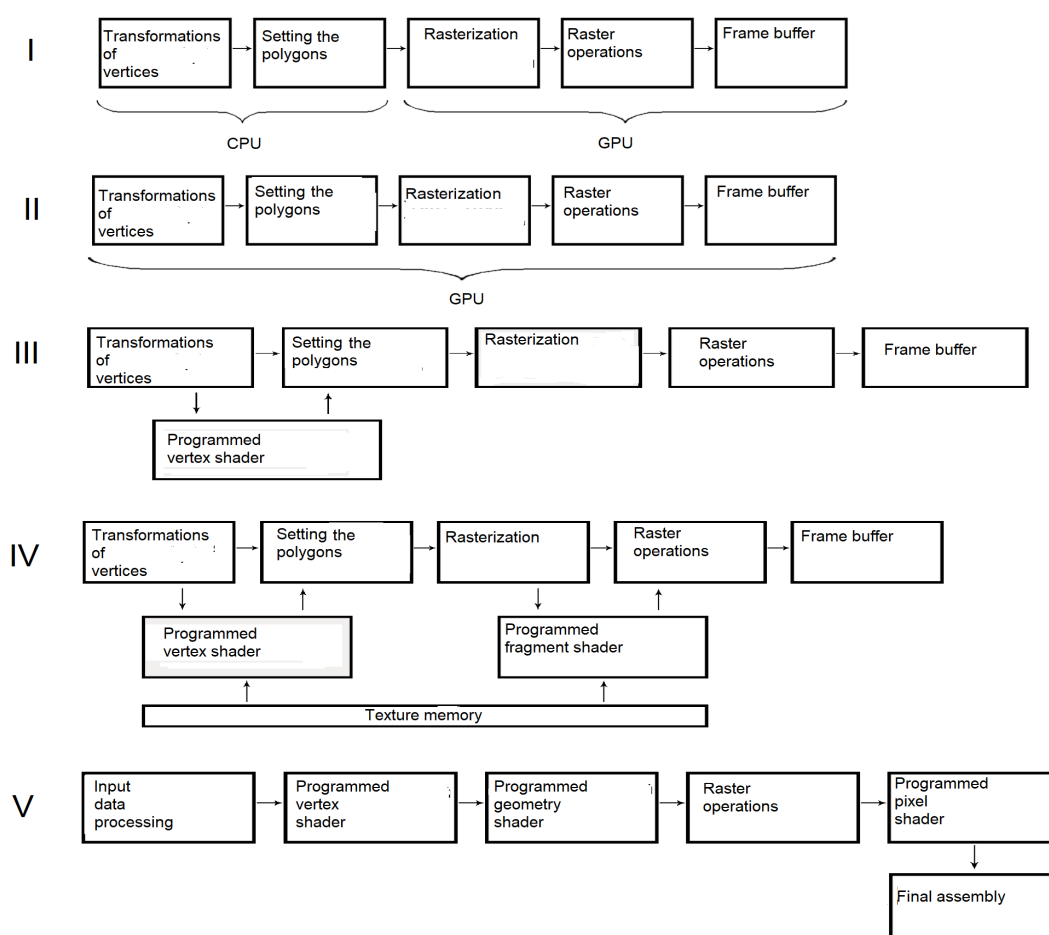


Figure 3 –Graphics pipelines stages of the first–fifth generation video cards

Source: [11]



A significant disadvantage of standard graphics pipeline models is their linear organization. To change partially processed data, you must wait for all stages of the pipeline to complete. Therefore, an augmented pipeline [12] (Fig. 4) was introduced, where it is possible to send data to the video memory from the intermediate stage of image formation.

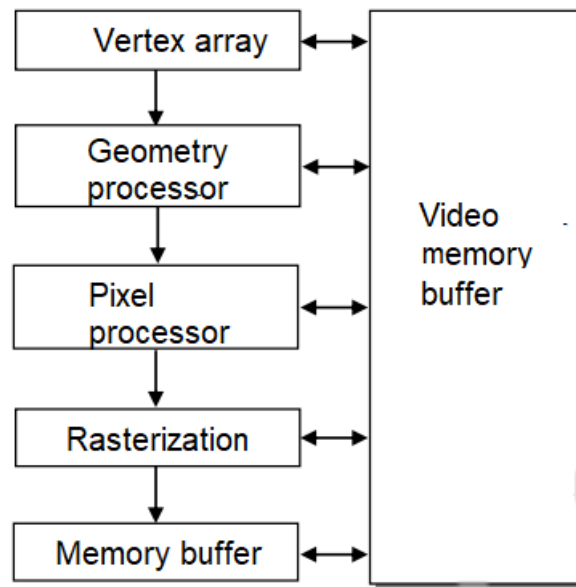


Figure 4 –Augmented graphics pipeline

Source: [12]

To ensure high-performance image formation, the graphics pipeline calculations are parallelized.

The most popular directions of parallelization of graphics pipeline tasks are parallelization of input primitives and parallelization of the pixel characteristics calculation. It is possible to sort primitives [13, 14] before the stage of geometric transformations (“sort first”), sort primitives after geometric transformations before rasterization (“sort middle”), sort fragments between rasterization and shading (“sort last”), sort pixels between shading and visualization (“image sort last”), sorting objects at each stage of image formation between different instances of graphic pipelines (“sort everywhere”).

For example, the model of the graphic pipeline from M. Kenzel et al. [15] includes the use of the “sort middle” principle to sort primitives in global memory between



blocks of geometric transformations and rasterization. Inside the block of geometric transformations, data is sorted in local memory between components of processing vertices and primitives according to the “sort everywhere” principle. Inside the rasterization block, the data is sorted in local memory between the boxes rasterizer, the tile rasterizer, and the fragment processing component according to the same principle. The approach ensures highly efficient use of available GPU resources and efficient use of memory bandwidth.

The development of artificial intelligence algorithms provides opportunities for optimizing the stages [16] of existing graphic pipelines. In particular, M. V. Harris and S. K. Semval [17] proposed the alternate use of a traditional graphic pipeline and a graphic pipeline based on deep learning in dynamic systems of frame formation. This approach provides a reduction in the time of visualization of a sequence of three-dimensional scenes. The advanced graphics pipeline based on deep learning (ADLGP) includes the division of the scene into small frame blocks of 4*4 px size, the generation of semantic text descriptions corresponding to the frame blocks, the generation of frame blocks from the text descriptions using the AttnGAN model and their assembly in final image, image quality enhancement using SRGAN.

Summary

The sequence of stages of the graphics pipeline depends on the specifics of the rendering task, the development of video cards, shaders and application programming interfaces. Promising directions for improving graphic pipelines are parallelization and provision of cyclic data processing, application of artificial intelligence algorithms.



KAPITEL 5 / CHAPTER 5 ⁵

PARTNERSHIP BETWEEN UKRAINE AND NATO: HISTORY AND PRESENT

DOI: 10.30890/2709-2313.2024-30-00-017

З початку російського вторгнення у 2014 році, а далі з його подальшою ескалацією Україна веде активну боротьбу за свою територіальну цілісність та суверенітет. У цій боротьбі важливу роль відіграє підтримка союзників, зокрема країн-членів НАТО. Після військової агресії росії 24 лютого 2022 року Україна звернулася до Заходу з проханням про допомогу, і НАТО відреагувало, надаючи як військову, так і політичну підтримку.

2016 рік став знаменним для України, адже саме тоді було створено Представництво НАТО. Ця структура, покликана забезпечувати розвиток співпраці безпосередньо на українській землі, об'єднала два важливих підрозділи:

- Центр інформації та документації НАТО (CIDN), заснований у 1997 році, відповідає за зберігання документації та інформації НАТО. Його основна мета – пояснити широкій громадськості діяльність НАТО та переваги альянсу між Україною та Альянсом.

- Офіс зв'язку НАТО, створений у 1999 році, відповідає за підтримку відносин між НАТО та США [1, с. 272]. Він відіграє значну роль у сприянні участі України в програмі НАТО «Партнерство заради миру», а також у процесі реформування країни. структури безпеки та оборони. Офіс підтримує постійний зв'язок із МЗС, Міністерством оборони, Міністерством інформаційної політики України, РНБО та іншими державними організаціями.

ЦІДН, як структурний підрозділ Управління громадської дипломатії штаб-квартири НАТО, має особливе значення. Він став першим інформаційним закладом НАТО в країні-партнері, забезпечуючи відкритий доступ до інформації для всіх зацікавлених.

Завдяки активній роботі ЦІДНу українці мають можливість [1, с. 272]:

⁵*Authors: Bartovshchuk Kateryna Oleksandrivna, Siekunova Yuliia*



- Ознайомитися з основними завданнями та пріоритетами НАТО.
- Роз'яснити для себе переваги співпраці з Альянсом.
- Отримати підтримку у сфері інформування громадськості та стратегічних комунікацій від української влади.

Діяльність Офісу зв'язку НАТО також не можна недооцінювати. До його поточних пріоритетів належать:

- Розширення політичного діалогу та практичної співпраці між НАТО та Україною.
- Допомога з впровадженням євроатлантичних реформ в Україні. Зміцнення демократії та трансформація у секторі безпеки та оборони України.
- Допомога в діяльності цільових фондів та реалізації програм Україна-НАТО, які сприяють безпеці.
- Координація зусиль усіх сторін, залучених до Альянсу, та інших міжнародних донорів на підтримку ініціативи українських реформ.
- Надання звітів, важливих даних і консультацій штаб-квартирі НАТО.

Представництво НАТО в Україні відіграє неоціненну роль у розвитку партнерських відносин між нашою державою та Альянсом. Завдяки роботі ЦІДНу та Офісу зв'язку НАТО українське суспільство отримує доступ до вичерпної інформації про НАТО, а також можливість брати активну участь у реформуванні вітчизняних структур безпеки та оборони.

З початку жорстокої російської агресії проти України Північноатлантичний Альянс рішуче виступив на підтримку суверенітету та територіальної цілісності України у межах її міжнародно визнаних кордонів. Ця непохитна позиція ґрунтується на принципах міжнародного права, поваги до свободи та демократії та прагненні до забезпечення миру та безпеки в Європі.

Рішучі кроки НАТО:

- Невизнання анексії Криму: Країни-члени НАТО не визнали і ніколи не визнають незаконну та нелегітимну анексію Криму росією. Це чіткий сигнал про те, що Альянс не буде терпіти порушення міжнародного права та територіальної цілісності України.



- Засудження дій росії: НАТО рішуче засудило дії росії, спрямовані на дестабілізацію ситуації на сході України, включаючи її військове втручання та підтримку бойовиків. Альянс чітко дав зрозуміти, що не буде потурати агресії та тиску з боку росії.

- Безпрецедентна допомога: НАТО надала Україні безпрецедентну допомогу у сфері безпеки та оборони. Ця допомога включає фінансову підтримку, поставки військового обладнання, навчання українських військових та реформи сектору безпеки.

- Посилення співпраці: Альянс посилив співпрацю з Україною у рамках різних програм, таких як План дій щодо членства в НАТО та Трастові фонди НАТО. Ці програми допомагають Україні втілювати необхідні реформи та модернізувати свої збройні сили.

Підтримка НАТО відіграє ключову роль у протистоянні російській агресії та захисті суверенітету та територіальної цілісності України. Ця підтримка дає Україні сили та ресурси, необхідні для захисту своєї свободи та демократії.

Підтримка НАТО також має важливе значення для безпеки та стабільності всього регіону. Сильна та стійка Україна є ключовим фактором стримування російської агресії та забезпечення миру та безпеки в Європі. Непохитна підтримка НАТО свідчить про те, що Альянс стоїть пліч-о-пліч з Україною у її боротьбі за свободу та демократію. Ця підтримка є не лише актом солідарності, але й інвестицією у безпеку та стабільність всієї Європи.

На Уельському саміті НАТО 2014 року було прийнято знаменне рішення: заснувати п'ять цільових фондів, спрямованих на підтримку України у п'яти критично важливих сферах:

1. Управління, контроль, зв'язок та комп'ютеризація (C4): Цей фонд сприяє модернізації українських систем командування та управління, покращенню зв'язку та інформаційної безпеки.

2. Логістика та стандартизація: Завдяки цьому фонду Україна отримує допомогу у вдосконаленні своїх логістичних систем, а також у переведенні їх на стандарти НАТО.



3. Кібернетична безпека: Кіберзагрози стають все більш актуальними, тому цей фонд покликаний допомогти Україні у захисті її критичної інфраструктури від кібератак.

4. Перепідготовка і соціальна адаптація військовослужбовців: Цей фонд надає підтримку українським військовослужбовцям, які пройшли зону АТО, у їх перепідготовці та соціальній адаптації до мирного життя.

5. Медична реабілітація: Цільовий фонд забезпечує українських військових, поранених під час бойових дій, якісною медичною реабілітацією [1, с. 274].

З 2000 року НАТО активно надає практичну допомогу та здійснює публічну дипломатію, що стало ключовим фактором успіху в реалізації понад 30 проектів. Цей дієвий механізм підтверджує свою ефективність протягом багатьох років. На Варшавському саміті 2016 року Північноатлантичний Альянс підтвердив свою рішучість продовжувати надавати стратегічні консультації та практичну підтримку Україні у сфері реформування сектору безпеки та оборони. Ця підтримка ґрунтується на Комплексній програмі допомоги (КПД), ухваленій на засіданні Комісії Україна-НАТО.

Мета КПД:

- Зміцнення та розширення підтримки України з боку НАТО.
- Підвищення обороноздатності України перед широким спектром загроз, включаючи гібридні.
- Вжиття заходів з розбудови сил, засобів та можливостей в секторі безпеки та оборони, адаптованих до конкретних потреб України.

Ключові напрямки [1, с. 276]:

- Стратегічні консультації: надання експертної допомоги у реформуванні сектору безпеки та оборони України.
- Практична підтримка: понад 40 цілеспрямованих програм у таких сферах, як:
 - Управління, контроль, зв'язок та комп'ютеризація (C4)
 - Логістика та стандартизація
 - Оборонно-технічне співробітництво
 - Кібернетична оборона



- Енергетична безпека
- Медична реабілітація
- Знешкодження саморобних вибухових пристроїв, розмінування та утилізація боєприпасів

- Стратегічні комунікації
- Протидія гібридній війні
- Реформа сектору безпеки
- Планування на випадок надзвичайних ситуацій цивільного характеру

Реалізація:

- Програми НАТО з розвитку та нарощування потенціалу
- Цільові фонди
- Програма «Наука заради миру та безпеки»

Оновлення:

- КПД було поглиблено на Мадридському саміті НАТО у 2022 році для збільшення допомоги Україні у зв'язку з повномасштабним вторгненням росії.
- У 2023 році Україна та НАТО створили Раду з управління проектами КПД для забезпечення ефективної реалізації програм допомоги.

Досягнення КПД:

Зміцнення обороноздатності України:

- Брюссельський саміт 2018 року: лідери НАТО визнали значний прогрес України у впровадженні КПД, підкресливши його роль у посиленні обороноздатності країни та налагодженні оперативної сумісності з Альянсом.
- Підтримка реформ: НАТО та країни-члени підтвердили свою відданість подальшій допомозі Україні у реалізації реформ у секторі безпеки та оборони.

Протистояння гібридним загрозам:

- Збільшення стійкості: Україна отримує значну підтримку у посиленні стійкості до гібридних загроз, зокрема через активізацію співпраці в рамках Платформи НАТО-Україна з протидії гібридним загрозам.

Додаткові результати:



- КПД сприяв модернізації українських збройних сил та їх приведенню до стандартів НАТО.
- Програма допомоги покращила командне управління, зв'язок та обмін розвідданими в українській армії.
- Збільшилася кількість українських військових, які пройшли навчання за стандартами НАТО.
- КПД також допоміг Україні у розвитку кібернетичної оборони та енергетичної безпеки.

КПД НАТО – це не просто програма допомоги, це дієвий інструмент, який сприяє реформуванню та зміцненню українського сектору безпеки та оборони. Завдяки цій програмі Україна стає більш стійкою до зовнішніх загроз та ефективніше забезпечує свою безпеку.

Окремі держави-члени НАТО постачають в Україну озброєння, боєприпаси і різні види легкої та важкої військової техніки, зокрема, протитанкові комплекси і системи ППО, гаубиці, безпілотні апарати, танки і винищувачі. Від початку повномасштабного вторгнення росії у лютому 2022 року, держави-члени Альянсу надали Україні військову допомогу, що оцінюється у майже 100 мільярдів євро. Близько половини цієї допомоги забезпечили Сполучені Штати Америки, а другу половину – європейські члени НАТО і Канада. До того ж військові інструктори НАТО навчають українських військових застосовувати цю техніку. Кожного дня, це реально змінює розстановку сил на полі бою і сприяє тому, щоб Україна була в змозі реалізувати своє право на самооборону, закріплене у Статуті Організації Об'єднаних Націй [2].

Додатково, НАТО здійснювала постійну моніторингову діяльність щодо ситуації на сході України, що допомагало у вчасному реагуванні на загострення ситуації та виявленні можливих загроз. Ця спільна робота сприяла збереженню стабільності та зменшенню напруги в регіоні.

В рамках цієї військової допомоги, НАТО також активно сприяла зміцненню обороноздатності та інфраструктури України, фінансуючи будівництво та модернізацію військових баз та спеціальних об'єктів.



Найбільший на даний момент пакет військової допомоги США виділили 6 січня 2023 року (3 млрд 75 млн доларів). Допомога включала бойові машини піхоти Bradley, бронетранспортери M113, артилерійські снаряди різного калібру, колісні машини HMMWV, боєприпаси для HIMARS, протитанкові ракети, патрони, гвинтівки та інше озброєння та техніку [3].

США залишаються основним донором України, і ситуація щодо цього державного партнерства лишається невизначеною. Вже у жовтні 2023 року президент Джо Байден вніс пропозицію до Конгресу щодо затвердження одного пакету фінансування, який охоплював Ізраїль, Україну та інші потреби. Для України ця ініціатива передбачала понад 61 мільярд доларів, у тому числі 11,8 мільярдів доларів прямої бюджетної підтримки.

Протягом 2022-2024 років, політична допомога НАТО Україні відігравала ключову роль у зміцненні державності та підтримці суверенітету країни в умовах геополітичних викликів та загроз. НАТО продовжує активно сприяти розвитку стратегічного партнерства з Україною, надаючи необхідну підтримку на різних рівнях.

Союзники по НАТО домовилися про широкий спектр політичної та практичної підтримки подальшої інтеграції України до НАТО та вирішили створити Раду Україна-НАТО. Про це йдеться в підсумковому комюніке саміту Альянсу, опублікованому у Вільнюсі [4].

Україна заслуговує на вступ до Північноатлантичного альянсу. Як повідомляють "Українські Новини", про це президент України Зеленський заявив на Мюнхенській конференції з безпеки. "Що стосується запрошення України до НАТО, ми на це сподіваємося, це наша мета. Я думаю, що ми на це заслуговуємо. У будь-якому випадку ми розраховуємо на зміцнення наших відносин і зміцнення співпраці у сфері озброєнь, і, можливо, для нас сьогодні пакет озброєнь, Пакет протиповітряної оборони, я вам правду кажу, це, мабуть, найважливіше сьогодні, особливо ті країни, які вагаються, щоб нас запросити в НАТО», – сказав Зеленський [5].

Протягом 2022-2024 років НАТО виявила значну політичну підтримку



Україні, яка проявилася у різноманітних аспектах. По-перше, альянс активно сприяв процесу європейської та атлантичної інтеграції країни. НАТО надавав консультації та технічну допомогу в удосконаленні українських законодавчих та інституційних структур з метою наближення їх до стандартів Європейського Союзу та альянсу.

По-друге, НАТО активно підтримує реформи в українському оборонному секторі. Це включало модернізацію та професійне навчання українських військових, а також допомогу в удосконаленні військової стратегії та планування оборони. НАТО сприяє розвитку військово-технічного співробітництва, надаючи Україні сучасне військове обладнання та технології.

Отже, НАТО забезпечує підтримку України у вирішенні регіональних суперечок та забезпеченні безпеки на її території. Це включає проведення спільних навчань та вправ з українськими військовими, обмін інформацією про ситуацію в регіоні, а також надання консультацій з питань стратегічного планування та оборонної політики.

Події останніх років свідчать про те, що відносини між Україною та НАТО виходять на новий рівень. Незважаючи на складне історичне минуле, існує "вікно можливостей" для інтенсивної співпраці. Цей процес ґрунтується на чіткому усвідомленні спільних викликів та прагненні до їх подолання.

Російська агресія проти України стала ключовим фактором, який змусив НАТО переглянути свою стратегію безпеки. Альянс чітко усвідомив, що російська федерація свідомо створює загрози на східних кордонах. Це призвело до посилення військової присутності НАТО в регіоні, а також до збільшення обсягів допомоги Україні.

Європейські країни-члени НАТО, усвідомлюючи зростання конвенційних загроз, ведуть мову про необхідність більше інвестувати у безпеку та оборону. Лідери Альянсу погодилися на розміщення чотирьох батальйонів на ротаційній основі на Східних кордонах. Це свідчить про чітку солідарність НАТО з Україною та про рішучість Альянсу захищати свою безпеку [6].

НАТО усвідомлює, що Україна є ключовим партнером у забезпеченні



безпеки в регіоні. Альянс надає Україні консультації з питань реформування Міноборони та структури збройних сил, а також сприяє переорієнтації українського ОПК на стандарти НАТО. Україна може сподіватися на допомогу Альянсу у відновленні військово-морських сил, взаємодію у протидії гібридним загрозам та посиленні співпраці в рамках трастових фондів.

Декларація Варшавського саміту НАТО 2016 року стала знаковим моментом у розвитку відносин між Україною та Альянсом. У Декларації Україні приділено чимале місце – понад 30 згадок. Це засвідчує про визнання НАТО важливості України як партнера та про прагнення Альянсу до поглиблення співпраці.

Зі свого боку Україна також вживає заходів для того, щоб відповідати очікуванням Альянсу. Розроблено Стратегічний оборонний бюлетень, який відповідає стандартам НАТО. Цей документ визначає пріоритети розвитку українських збройних сил, такі як нова структура управління, належне управління ресурсами, побудова бойових можливостей, забезпечення системи логістики і військової медицини у відповідності до стандартів Альянсу та формування військового резерву [6].

Відносини між Україною та НАТО виходять на новий рівень. Існує чітке усвідомлення спільних викликів та прагнення до їх подолання. НАТО надає Україні значну підтримку у реформуванні оборонного сектору та захисті її безпеки. Україна, у свою чергу, вживає заходів для того, щоб відповідати очікуванням Альянсу та стати надійним партнером. Ця співпраця має ключове значення для забезпечення безпеки та стабільності в Європі.

Реалізація положень Стратегічного оборонного комюніке України була б неможливою без фінансової підтримки НАТО та її держав-членів. Бюджет США на 2024 рік виділяє Україні приблизно 500 мільйонів доларів. Однак ці кошти будуть надані лише за умови виконання стратегічних орієнтирів, викладених у повідомленні.

Для координації процесу євроатлантичної інтеграції в Україні створено міжвідомчий комітет, який очолює віце-прем'єр-міністр з питань європейської



та євроатлантичної інтеграції Іванна Климпуш-Цинцадзе. Цей крок має вирішальне значення для відновлення повноцінної інституційної співпраці з НАТО та компенсації втрати інституційної пам'яті, яку Україна зазнала за часів Януковича [7].

Наразі розробляється Національний план інформування громадськості у сфері євроатлантичної інтеграції на 2024-2027 роки. Попередні подібні програми відчували брак фінансування, а звіти про їх виконання формувалися за рахунок діяльності громадських організацій. Успішна реалізація плану може стати важливим кроком на шляху до примирення між Україною та НАТО.

Окрім співпраці з усім НАТО, Україна також посилює військово-політичне та військово-технічне співробітництво з різними державами-членами НАТО. Тому під час Варшавського саміту було підписано угоду про взаємне постачання озброєння та військової техніки з Польщею. Угода також передбачає надання військово-технічних послуг. Створення передумов для встановлення поглиблених партнерських відносин з державами-членами Альянсу також опосередковано наближає Київ до стратегічної мети стати безпечним членом НАТО.

2024 рік відзначається певними змінами в самій структурі НАТО, які впливають на її відносини з Україною. Розширення альянсу шляхом прийняття нових членів, які мають схожі цілі і пріоритети з Україною, може стати новим кроком у зміцненні її безпеки та забезпеченні захисту від зовнішніх загроз. Крім того, уряди країн-членів НАТО можуть продовжувати надавати Україні допомогу у військовій та технічній сферах, підтримуючи її у процесі модернізації та підвищення бойової готовності.

На тлі зміни геополітичних динамік, відносини України з НАТО можуть бути підкреслені більшою важливістю для самого альянсу. Україна може стати стратегічним партнером для НАТО у контексті забезпечення стабільності в Східній Європі та обмеження впливу регіональних акторів, що мають агресивні амбіції. Такий підхід може знайти відображення в спільних військових навчаннях, обміні інформацією та розвідкою, а також у підтримці реформ в



українських військових структурах.

Сама Україна продовжуватиме робити акцент на своєму прагненні до євроатлантичної інтеграції. У 2024 році країна може приймати нові законодавчі та інституційні ініціативи з метою прискорення свого вступу до альянсу. Реформи в оборонному секторі, боротьба з корупцією, зміцнення демократичних інститутів – це лише деякі з напрямків, які можуть бути визначені як пріоритетні для України у контексті співпраці з НАТО.

Варто враховувати, що відносини України з НАТО у 2024 році також будуть сильно впливати зовнішніми факторами, такими як завершення війни, економічні зміни та світові кризи. У такому контексті Україна може знаходитися під тиском з боку зовнішніх акторів, які намагаються змінити її курс та відіграти протистояння з НАТО. Однак, на основі стабільної підтримки союзників і партнерів, Україна зможе зберегти свою позицію як ключовий гравець у регіоні та зміцнити свої відносини з НАТО.

Отже, історія співпраці між Україною та НАТО, особливо після російської агресії 2014 року, свідчить про важливість обох сторін для зміцнення обороноздатності, забезпечення мирного життя для громадян та підтримки міжнародного порядку. На основі аналізу поточного стану відносин, можна зробити висновок, що співпраця між Україною та НАТО має великий потенціал для подальшого розвитку. Розширення співпраці в таких сферах, як кібербезпека, енергетика та інфраструктура, може сприяти не лише зміцненню обороноздатності України, але й сприяти зміцненню стабільності та безпеки у регіоні загалом. Зокрема, важливо підкреслити необхідність подальших реформ українських військ, щоб забезпечити їх відповідність стандартам НАТО та підвищити ефективність оборони. Крім того, зусилля щодо спільних навчань та обміну досвідом можуть допомогти Україні зміцнити свої оборонні можливості та підвищити професійну підготовку своїх військових. У цілому, співпраця між Україною та НАТО є важливим елементом забезпечення безпеки та стабільності в Європі, і подальше зміцнення цих відносин може мати значний позитивний вплив на майбутнє регіону.

**KAPITEL 6 / CHAPTER 6⁶****METHODS AND MODEL OF RISKS ASSESSMENT IN INFLUSION OF HYDROMETEOROLOGICAL FACTORS DURING TOWING OF SEISMIC OPERATIONS AND RISKS ASSESSMENT IN MANEUVERING TOWING OPERATIONS****DOI: 10.30890/2709-2313.2024-30-00-022****Вступ**

Аналіз відомих досліджень [1, 2, 3] доводить, що буксирувальна операція пов'язана з множиною ризиків, одним із яких є ризик маневрування. Слід зазначити, що при буксируванні судно стає нестійким на курсі, хоч і зберігає функцію управління.

Якщо буксирувальна лінія закладена у кормовий клюз, її характеристики змінюються. Як наслідок, буксирувальник стає більш стійким на курсі, здатним слідувати запланованому напрямку, проте спостерігається зниження керованості судном. До того ж на керованість буксирувальника безпосередньо впливає й вага об'єкту буксирування. Чим більшою є вага об'єкту, який буксирується, тим більшим є вплив на стійкість буксирувальника. Непоодинокими є випадки втрати керованості буксирувальників через недооціненість вищенаведених факторів.

Маневреність буксирувальника у більшій мірі залежить від довжини буксирувальної лінії. Чим коротшою є буксирувальна лінія, тим меншою є маневреність судна. Такий вплив довжини буксирувальної лінії на маневреність буксирувальника пояснюється тим, що при повороті судно розвертається навколо центру ваги, під впливом дії керуючих гвинтів корма рухається вбік протилежний повороту. Це змінює напрямок діючого буксировочного зусилля, яке перешкоджає повороту судна. Корма буксирувальника відхиляється доти, доки похідна різниці буксировочної сили й сили на буксирувальній лінії не буде дорівнювати силі на керуючих гвинтах, що слід враховувати при здійсненні маневру. Швидкість такого маневру пропорційна довжині буксирувальної лінії. Для підвищення маневреності буксирувальника буксирувальна лінія має бути викладена з кормового клюза.

⁶*Authors: Postnikov Yevgen*



Слід зазначити, що термін «довга буксирувальна лінія» є некоректним, оскільки довжина буксированої лінії залежить від потужності буксирувальника. При буксированні важких об'єктів можливі ситуації втрати буксирувальником управління. У такому випадку застосовують спосіб бічного буксирования, проте такий спосіб є неприйнятним для буксирования сейсмічного обладнання.

Як правило, сейсмічне обладнання буксирують так званим буксированням на лінії. У такому випадку сейсмічне обладнання має бути закріплене так, щоб воно постійно утримувалось у кільватері буксирувальника. На таке положення впливають крен і диферент сейсмічного обладнання та місце кріплення троса на ньому.

Кращим кріпленням сейсмічного обладнання є таке положення, при якому сейсмічні коси утримуються в кільватері буксирувальника самостійно. На практиці оптимальним кріпленням сейсмічного обладнання є таке, що забезпечує відсутність крену й наявність невеликого диференту на корму. У такому випадку забезпечується стійкість маневрування сейсмічним обладнанням та буксирувальником.

При кріпленні на рівний киль об'єкт, що буксирується, потребує постійного корегування в кільватері. До того ж виникають ризики повної втрати управління; у такому випадку об'єкт, що буксирується, виводиться з кільватера й здійснює рух осторонь. Такий маневр можливий при повороті керма управління на декілька градусів вбік, що призводить до створення додаткового буксирувального опору, особливо якщо буксирувальна лінія закладена в кормовий клюз буксирувальника.

Якщо об'єкт, що буксирується, має диферент на ніс, то його вплив у кільватері буксирувальника є мінімальним. Такий об'єкт, як правило, відхиляється з головного курсу буксирования, створюючи сильні ривки буксирувальної лінії та має низьку піддатливість маневрам буксирувальника. Такий спосіб буксирования у більшості випадків є вимушеним, оскільки потребує обережності при маневруванні, набору швидкості та є надскладним у складних погодних умовах.



З точки зору маневреності, найкращим місцем кріплення буксирувального троса на об'єкті, що буксирується, є носовий край. Трос, що закріплений за кнехти, бітенги або інші обладнання, пропускається через носовий клюз. Можливе кріплення буксирувального тросу й за якірні клюзи. Кріплення буксирувального тросу на носовому краю сприяє його утриманню в кільватері буксирувальника. Віддалення точки кріплення троса від носового краю призводить до погіршення стійкості на курсі, а віддалення буксирувальника на відстань чверті довжини судна призводить до втрати управління. Для подолання такого недоліку застосовується додаткова диферентовка на кормі об'єкта, що буксирується.

На маневреність буксирування маломірних об'єктів безпосередньо впливає якість буксирувальної лінії. Як правило, використовують троси із синтетичної тканини, яка є достатньо міцною, еластичною, компенсує смикання при буксируванні та не створює провисання.

Під час виконання морської буксирувальної операції під впливом несприятливих погодних умов можлива зміна довжини буксирувальної лінії, яка має бути закладена в буксирний клюз. Такі дії обумовлені безпекою команди та запобігають перевертанню буксирувальника при хитавиці.

При буксируванні важних об'єктів при низькій швидкості довжина буксирувальної лінії не змінюється, а перебування команди на палубі обмежується.

При буксируванні декількох об'єктів одночасно використовують дві схеми об'єднання у склад суден.

При першому варіанті буксирувальник з'єднується з кожним об'єктом окремою буксирною лінією різної довжини. Довжина буксирувальної лінії повинна бути достатньою та створювати провис, щоб забезпечити буксирувальній лінії першого об'єкта перебування над нею. Довжина коротшої буксирувальної лінії повинна відповідати умовам та правилам безпеки буксирування. Така схема є економічно вигідною, оскільки швидкість складу суден – двох об'єктів, що буксируються, та буксирувальника знижується лише



на 10-15% порівняно із буксируванням одного об'єкта. Проте недоліком такої схеми є низька маневреність буксирувальника у випадку обриву хоча б одного буксирувального тросу.

Другий варіант буксирування передбачає послідовне з'єднання буксирувальника та об'єктів буксирування. Отже, буксирувальна лінія подовжується, що призводить до ускладнень при маневруванні та управлінні на мілководді. Така схема реалізується за сприятливих погодних умов, як наслідок, у морі чи океані застосовується вкрай рідко.

При буксируванні такі об'єкти є малокерованими, важко втримуються в кільватерному струмені буксирувальника, відхиляються від курсу. Для втримання на курсі малорозмірних об'єктів використовують спосіб розподілу тяги буксирувальника за допомогою біфілярного кріплення буксирної лінії. Відповідно до такого способу, на передніх кутах об'єкта, що буксирується, симетрично кріпляться рівні за довжиною троси, довжина яких має бути не менша відстані між точками кріплення. Проте, чим довшими є троси, тим стійкішим є об'єкт. Вільні кінці тросів поєднуються у буксирувальну лінію. При виході об'єкта, що буксирується, із кільватера відбувається зниження навантаження на внутрішній трос й збільшується на зовнішній, що призводить до відновлення позиції об'єкта в кільватері.

При буксируванні маломорехідних об'єктів, наприклад сейсмічного обладнання або платформи, об'єкт має завжди переміщатися по зовнішній кромці кільватерного струменя.

Слід зазначити, що маневри виконує тільки головний буксирувальник. Неузгодженість дій буксирувальників може призвести до аварії та втрати всього складу суден.

Таким чином, маневрування є найбільш складним елементом при проведенні буксирувальної операції сейсмічного обладнання. При виконанні даного елемента існує ризик виникнення складної навігаційної ситуації, що вимагає побудови системи управління ризиками та розроблення методу зниження ризику маневрування при проведенні буксирувальної операції



маломорехідного об'єкту на прикладі сейсмічного обладнання.

6.1. Метод оцінювання структурної стійкості системи «буксирувальник – сейсмічне обладнання» при маневруванні

Під час сейсмічної розвідки має проводитись постійний контроль сейсмічного обладнання та його поведінки в морі. Контроль, зазвичай, здійснюється технічними засобами об'єктивного контролю та візуально, особливо під час хитавиці. Перевірка стану буксирувальної лінії та положення сейсмічного обладнання проводиться систематично на розсуд судноводія. Також при підготовці до виходу в море проводиться технічне обслуговування буксирувального троса, змащувальні процедури в місцях кріплення, роллів і клюзів, здійснюється перевірка справності сейсмічного обладнання.

Перед початком буксирування сейсмічного обладнання дані його технічного стану відображаються у журналі буксирування. Під час сейсмічної розвідки у темний час доби або в умовах обмеженої видимості склад суден повинен вживати дії для попередження надмірного зближення з іншими суднами.

При погіршенні погодних умов під час сейсмічної розвідки судноводій буксирувальника має виконати низку дій для забезпечення безпеки складу суден:

- зниження швидкості буксирування;
- зменшення/збільшення довжини буксирувального тросу;
- вибір безпечного для складу суден курсових кутів за вітром та рівнем хитавиці;
- посилення спостереження за станом сейсмічного обладнання;
- згортання сейсмічного обладнання.

По закінченню сейсмічної розвідки керівник оформлює відповідні документи, в яких фіксується час початку та завершення буксирування, маршрут, події, що виникли під час розвідки. Дані сейсмічної розвідки оброблюються та узагальнюються.



Варіантом вирішення проблемних (аварійних) ситуацій у відносно стабільних структурах управління, до яких належить операція буксирування сейсмічного обладнання, є метод усереднення. Він використовується при дослідженні процесу функціонування структури організаційно-технічної системи, відповідальної за буксирування сейсмічного обладнання. Проте, складності використання методу виникають при практичній реалізації у випадку, коли наближення справедливо не для часового відрізка $[0; 1/\varepsilon]$, де $\varepsilon > 0$ – малий параметр, а для значно меншого часового інтервалу. При цьому не виконуються умови, які дозволяють виконати тільки перше наближення.

Одержимо наближення для часового проміжку $[0; 1/\varepsilon]$ методом стандартного усереднення. Стан системи управління безпекою судна, як система диференціальних рівнянь першого порядку, записаний у стандартному вигляді (1.1):

$$dx/dt = \varepsilon X(x, t, \varepsilon), \text{ де } x \in R^r, \varepsilon \in (0, \varepsilon], t \in [0, \infty). \quad (1.1)$$

Нехай функція $X(x, t, \varepsilon)$ рівномірно обмежена при $x = 0$. Тоді виконується умова Липшица за аргументом x :

$$|X(x_1, t, \varepsilon) - X(x_2, t, \varepsilon)| \leq M_{|x_1 - x_2|}, \text{ де } M = \text{const}, x_1, x_2 \in R^r.$$

У такому випадку кожна із задач Коші $x(0) = x_0$ для рівняння (1.1) буде мати тільки одне нелокально-продовжене рішення у формі $x(t, x_0, \varepsilon)$.

Рішенням правої частини усередненого рівняння (1.1) буде формула (1.2):

$$Z(x, \varepsilon) = (1/T)\varepsilon \lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T X(x, t, 0) dt, \quad (1.2)$$

при функції $X(x, t, \varepsilon)$, що допускає усереднення як обов'язкову умову, і коли функція $\sigma(\varepsilon)$ така, що $\sigma(\varepsilon) \rightarrow 0$ при $(\varepsilon) \rightarrow 0$ для будь-якої обмеженої області $\Omega \subset R^r$ буде виконуватися умова (1.3):

$$\limsup_{\varepsilon \rightarrow 0} \left| \varphi(x) - (\varepsilon/\sigma(\varepsilon)) \int_0^{\sigma(\varepsilon)/\varepsilon} X(x, t + s, \varepsilon) ds \right| = 0, \quad (1.3)$$

$$x \in \Omega \quad 0 \leq t \leq \varepsilon 1/\varepsilon.$$

У випадку виконання сформульованої умови межа виразу (1.2) може



виявитися неіснуючою або бути відмінною від функції $\varphi(x)$.

При використанні звичайного методу усереднення достатньо виконання умови для кожної з обмежених областей (1.4):

$$\limsup_{\varepsilon \rightarrow \infty} |X(x, t, \varepsilon) - X(x, t, 0)| = 0, x \in \Omega \quad 0 \leq t \leq \varepsilon 1/\varepsilon. \quad (1.4)$$

Допущення (1.4) свідчить про необхідність застосування звичайного методу усереднення. Якщо для будь-якої обмеженої області $\Omega \subset R^r$ виконується умова (1.4), тоді межа (1.3) існує тільки у випадку, якщо функція $X(x, t, \varepsilon)$ допускає усереднення. Тоді

$$\lim_{T \rightarrow \infty} (1/T) \int_0^T X(x, t, 0) dt = \varphi(x) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \varepsilon \int_0^{1/\varepsilon} X(x, t, \varepsilon) dt,$$

і умова (1.3) виконується для будь-якої обмеженої області $\Omega \subset R^r$ і будь-якої функції $\sigma(\varepsilon) = \varepsilon^\alpha$, де $\alpha < 1$.

Розширити можливості методу усереднення можливо, якщо припустити, що функція $X(x, t, \varepsilon)$ допускає усереднення й існує межа

$$\varphi(x) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \varepsilon \int_0^{1/\varepsilon} X(x, t, \varepsilon) dt,$$

а функція $\varphi(x)$ з постійної M буде задовольняти умові Липшица. Тоді задача Коші (1.5):

$$dx'/dt = \varepsilon \varphi(x'), x'(0) = x_0 \quad (1.5)$$

має тільки одне рішення $x'(t, x_0, \varepsilon)$.

Для будь-якої обмеженої області $\Omega \subset R^r$ та для будь-якого $\sigma > 0$ можна знайти таке число $\varepsilon_1 > 0$, при якому зі співвідношень $0 < \varepsilon \leq \varepsilon_1$ і $x_0 \in Q$, враховуючи умову (3.3), одержимо нерівність

$$\max |x'(t, x_0, \varepsilon) - x(t, x_0, \varepsilon)| < \sigma; \quad 0 \leq t \leq 1/\varepsilon.$$

Нерівність підтверджує факт, що за умови (1.3) функція $X(x, t, \varepsilon)$ приймає усереднене значення за проміжок часу приблизно $\sigma(\varepsilon)/\varepsilon$.

У цей же період часу $x(t, x_0, \varepsilon)$ зміниться на значення порядку $\sigma(\varepsilon)$. Отже, траєкторія $x(t, x_0, \varepsilon)$ у системи (1.1) виявиться подібною до траєкторії $x'(t, x_0, \varepsilon)$ усередненої системи (1.5). На цій підставі слід вважати, що представлений спосіб



методу усереднення буде застосований для більш широких допущень, і дозволить визначати відповідне приближення, поряд зі звичайним методом усереднення.

Процес управління ризиком у структурах, що забезпечують безпеку буксирування сейсмічного обладнання, має всебічно розглядати різні аспекти операції буксирування, пов'язані з ризиком, що передбачає визначення й аналіз ризику, оцінку помірному ризику із розрахунком можливості його зниження, застосовуючи контроль керуючих дій.

Визначення потенційних небезпек, їх аналіз та визначення відповідних ризиків є структурованим процесом, завдання якого полягає у визначенні ступеню ймовірності виникнення події та розміру ймовірних збитків та втрат від змін структури організаційно-технічної системи буксирування сейсмічного обладнання. Наслідками несприятливих подій слід вважати міру завдання шкоди людині, буксирувальнику, сейсмічному обладнанню або навколишньому середовищу. При здійсненні аналізу можливого ризику необхідно провести аналіз його похідних та наслідків:

- ідентифікація небезпеки, що полягає у визначенні причини реструктуризації системи;
- ймовірність виникнення небезпечної ситуації та частота її виникнення;
- втрати та збитки тієї чи іншої небезпечної ситуації, оцінка наслідків.

Для визначення ймовірності події застосовується індикаторна функція (1.6):

$$f(x) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } x(t, x_0, \varepsilon) - x'(t, x_0, \varepsilon) < \sigma, \\ 0, \text{ якщо } x(t, x_0, \varepsilon) - x'(t, x_0, \varepsilon) \geq \sigma. \end{cases} \quad (1.6)$$

Тоді вираз

$$\left[\int_0^t f(x) dt \right] / m$$

визначає частку в результаті розподілу кількості станів $x(t, x_0, \varepsilon) - x'(t, x_0, \varepsilon) < \sigma$ (одиниць) на загальну кількість m станів спостережень організаційно-технічної структури безпеки (одиниць і нулів).



У такому випадку рівність дає можливість визначити ймовірність (середню частоту) структурної стійкості організаційно-технічної структури, відповідальної за безпечне буксирування сейсмічного обладнання:

$$f^*(x) = \lim_{N \rightarrow \infty} \left[\left[\int_0^t f(x) dt \right] / m \right].$$

Нехай для будь-якої множини X функція $f^*(x)$ дорівнює постійній величині. Тоді, з урахуванням співвідношення:

$$\int_X f^*(x) dm = \int_X f(x) dm$$

одержимо таку рівність:

$$1/m \sum_{k=1}^m f(x) = m(x)/m(X) = \text{const} = p.$$

Отже, ймовірність стійкості організаційно-технічної структури, що забезпечує безпечне буксирування сейсмічного обладнання в будь-який момент часу визначена за допомогою значення p в межах теореми Боголюбова. У такому випадку часовій послідовності змін (1.1) структури організаційно-технічної системи буксирування сейсмічного обладнання притаманна властивість ергодичності.

Аналогічно до гіпотези повної ймовірності складної події виду (1.6), отримаємо значення ймовірності p_0 подій $x(t, x_0, \varepsilon) - x'(t, x_0, \varepsilon) \geq \sigma$, при яких порушується структурна стійкість та експлуатаційний стан складу суден буксирувальника та сейсмічного обладнання, які не відповідають умові безпечної експлуатації, а, отже, і навігаційної безпеки.

Запропонований метод усереднення дозволяє знаходити необхідне відповідне наближення для оцінки ймовірності стійкості структури організаційно-технічної системи управління навігаційним станом складу суден буксирувальника та сейсмічного обладнання в межах розширених припущень. Для підтримання стану структурної стійкості достатнім є привести до мінімуму величину p_0 , оскільки область реалізації послідовності структурних переходів



містить дві точки щільності. Ресурс буксирувальника та сейсмічного обладнання дозволяє забезпечити підтримку стійкості структури в системі управління станом навігації складу суден буксирувальника та сейсмічного обладнання.

Таким чином, удосконалено метод оцінювання структурної стійкості системи «буксирувальник – сейсмічне обладнання» при маневруванні, що забезпечує безпечне буксирування сейсмічного обладнання в будь-який момент часу, в якому на відміну від відомих, ймовірність стійкості структури в межах розширених припущень визначена за допомогою теореми Боголюбова та індикаторної функції, що дозволяє визначити потенційні небезпеки, ризики та розміри ймовірної шкоди людині, буксирувальнику, сейсмічному обладнанню або навколишньому середовищу від змін структури організаційно-технічної системи буксирування сейсмічного обладнання, а також визначити події, при яких порушується структурна стійкість та експлуатаційний стан складу суден буксирувальника та сейсмічного обладнання, які не відповідають умові навігаційної безпеки.

6.2. Метод визначення траєкторії сейсмічного обладнання при стаціонарному характері морського буксирування

Оскільки визначення траєкторії руху сейсмічного обладнання при швидкому маневрі відносно головного курсу є складною багатомірною задачею, то доцільним є застосування аналітичного методу. Аналітичний метод дозволить дослідити динаміку сейсмічного обладнання, враховуючи низку допущень та обмежень.

У математичній постановці задачі рух складу суден буксирувальника та сейсмічного обладнання замінено характерними точками, які описують їх рух. Характерними точками буксирувальника є точка з'єднання із буксирувальним тросом. Характерною точкою сейсмічного обладнання є точка кріплення до буксирувальної лінії. Умовна пряма, що з'єднує характерні точки



буксирувальника та сейсмічного обладнання, є базою буксирування.

Як відомо, динаміка системи складу суден буксирувальника та сейсмічного обладнання із врахуванням усіх впливаючих дій та прискорень є складним завданням гідродинаміки. Враховуючи схематизацію завдання, яке дозволить її спростити, виникає математична модель, що складається із системи нелінійних диференціальних рівнянь зі звичайними або частковими похідними. Як наслідок, заміщення руху складу суден буксирувальника та сейсмічного обладнання на їх характерні точки дає можливість уникнути розгляду низки надлишкових ускладнюючих обставин, проте принципово не вплине на результат розв'язання задачі.

Нехай одним із обмежень буде таке. Крива провисання буксирувальної лінії не враховується, а зміна курсу буксирувальника є незначною. Математичну модель за визначеним обмеженням можна записати як систему диференціальних рівнянь зі збереженням усіх членів не вище першого порядку. Враховуючи математичну модель, при зміні курсу буксирувальника траєкторію сейсмічного обладнання слід розглядати як плоску криву. У результаті дослідження динаміки складу суден буксирувальника і сейсмічного обладнання отримаємо дані щодо руху сейсмічного обладнання при швидких і помірних змінах курсу буксирувальника. Отримані дані є основою навігаційної безпеки при плануванні та виконанні завдань сейсмічної розвідки.

Нехай вага сейсмічного обладнання дорівнює m , а рух характерної точки сейсмічного обладнання B за умови довільного руху характерної точки буксирувальника A , тоді її вектор визначається як $r_A = r_A(t)$. Опис руху характерних точок буксирувальника та сейсмічного обладнання слід представити у вигляді диференціальних рівнянь.

Проведемо запис векторної рівності у скалярній формі: $x_A = x_A(t)$, $y_A = y_A(t)$. Таким чином, слід вважати, що характерна точка сейсмічного обладнання рухається під впливом двох сил:

– сила буксирувальної лінії F , що відображає реакцію буксирувальної лінії між характерними точками A та B , та прийнята як не значна;



– векторна сила опору руху R .

Векторна сила опору руху R визначається як

$$R = \psi(v) (v^*/v),$$

де v^* – вектор швидкості характерної точки B за модулем v ;

$\psi(v)$ – функція швидкості характерної точки A .

Враховуючи векторну рівність $r_B = r_A - AB$, отримаємо залежність для координат характерних точок (2.1):

$$x_B = x_A - L \cos \varphi, y_B = y_A - L \sin \varphi, \quad (2.1)$$

де L – буксирувальна лінія.

Диференціальні рівняння руху характерної точки сейсмічного обладнання B слід описати виразами (2.2) та (2.3):

$$md^2x_B/dt^2 = F \cos \varphi - R_x; \quad (2.2)$$

$$md^2y_B/dt^2 = F \sin \varphi - R_y, \quad (2.3)$$

де $md^2x_B/dt^2, md^2y_B/dt^2$ – похідні часу.

До рівняння (2.2) підставимо результуюче значення виразу (2.3) та отримаємо модуль вектора F . Результатом підстановки буде формула (2.4):

$$md^2y_B/dt^2 = (md^2x_B/dt^2 + R_x)(\sin \varphi / \cos \varphi) - R_y. \quad (2.4)$$

При наступному диференціюванні виразів (2.2) та (2.3) та підстановки отриманих значень до виразу (2.4) отримаємо (2.5):

$$\begin{aligned} m(d^2y_A/dt^2 \cos \varphi - d^2x_A/dt^2 - ad\varphi^2/dt^2) = \\ = -(\psi(v)/v)(dy_A/dt \cos \varphi - dx_A/dt - ad\varphi/dt), \end{aligned} \quad (2.5)$$

де $a = \text{const}$.

У результаті розв'язання диференціального рівняння (2.5) відносно φ , при підстановці результату виразу (2.1) отримаємо закон руху характерної точки сейсмічного обладнання B у залежності від часу. Якщо далі традиційно припустити, що опір середовища є пропорційним квадрату швидкості буксирувальника

$$\psi(v) = \lambda v^2,$$

то при диференціюванні виразу (2.5) отримаємо (2.6):



$$\begin{aligned} m(d^2 y_A / dt^2 \cos \varphi - d^2 x_A / dt^2 - a d\varphi^2 / dt^2) = \\ = -\lambda v (dy_A / dt \cos \varphi - dx_A / dt - a d\varphi / dt). \end{aligned} \quad (2.6)$$

Розглянемо два окремі випадки.

Перший випадок. Нехай буксирувальник рухається по запланованому маршруті без маневрування. У такому випадку траєкторія руху характерної точки A буксирувальника є прямою лінією. Якщо $x_A = vt$, то при $y_A = 0$ при диференціюванні виразу (2.6) отримаємо (2.7):

$$\begin{aligned} & (m/\lambda L) a d\varphi^2 / dt^2 \\ & + ((v/L) \sin \varphi + d\varphi / dt) \times \\ & \times \left[(v^2 / L^2) \cos^2 \varphi + ((v/L) \sin \varphi + (d\varphi / dt))^2 \right]^{1/2} = 0. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Другий випадок. Нехай траєкторія руху характерної точки буксирувальника A є циркуляцією радіусів $D/2 = R_C$. У такому випадку:

$$x_A = R_C \cos(vt/R_C), y_A = R_C \sin(vt/R_C).$$

При диференціюванні виразу (2.7) отримаємо (2.8):

$$\begin{aligned} & (m/\lambda L) a d\varphi^2 / dt^2 = \\ & = (mv^2 / \lambda L R_C^2) \sin(vt/R_C - \varphi) \\ & + [v \cos(vt/R_C - \varphi) - L d\varphi / dt] \times \\ & \times [(v/L)^2 \sin^2(vt/R_C - \varphi) \\ & + (v/L) \cos(vt/R_C - \varphi) + (d\varphi / dt)]^{1/2}. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Результати модельних випробувань наведені на рисунках 2.1 та 2.2.

Аналіз отриманих даних свідчить, що при натягу буксирувальної лінії в розглянутому діапазоні і швидкості руху складу суден буксирувальника та маломорехідного обладнання, враховуючи гідродинамічні особливості маломорехідного об'єкта, доцільно вважати, що $\Psi(v) = \lambda v^n$, де $n \rightarrow 1$. У такому випадку отримаємо лінійну залежність опору зовнішнього середовища відповідно швидкості буксирування $\Psi(v) = \lambda v$. Визначена залежність наведена на рисунку 2.3.

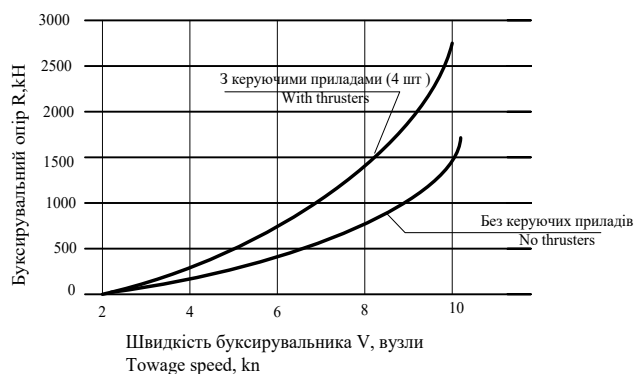


Рисунок 2.1– Залежність буксирного опору маломорехідного об'єкту від швидкості буксирування без врахування хитавиці
Джерело: розроблено автором

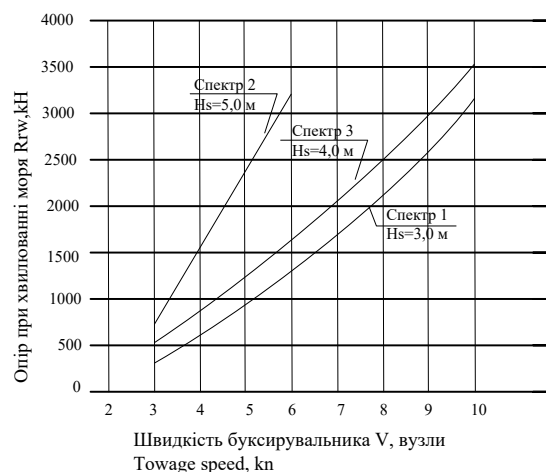


Рисунок 2.2 – Залежність буксирного опору маломорехідного об'єкту від швидкості буксирування з урахуванням хитавиці
Джерело: розроблено автором

З рисунку 2.3 очевидно, що вектор швидкості маломорехідного об'єкта співпадає з напрямком тяги буксирного судна, як наслідок диференційні рівняння 2.7 та 2.8 доцільно замінити виразом:

$$(m/\lambda L)ad\varphi^2/dt + [(v/L) \sin \varphi + d\varphi/dt]L = 0$$

або

$$(m/\lambda L)ad\varphi^2/dt + [d\varphi/dt - (mv^2/\lambda L) \sin (\beta + \varphi - vt/R_c)/R_c \cos \beta] = 0.$$

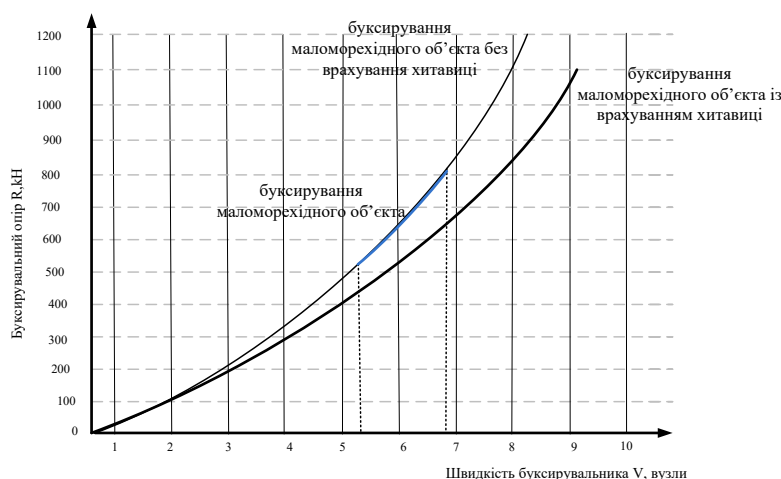


Рисунок 2.3– Узагальнений аналіз залежності буксирного опору від швидкості буксирування

Джерело: розроблено автором



При буксируванні маломорехідних об'єктів величину $m/\lambda L$ слід вважати малим параметром. При допущенні, що $m/\lambda L \rightarrow 0$ отримаємо диференціальне рівняння плоскої кривої, яка описує рух маломорехідного об'єкта при компенсуванні розхитування буксирувальника, яка є трактрисою прямої лінії (2.9):

$$d\varphi/dt + (v/L) \sin \varphi = 0. \quad (2.9)$$

Як наслідок, якщо виконується морське буксирування для подій виду $x(t, x_0, \varepsilon) - x'(t, x_0, \varepsilon) < \sigma$ або $x(t, x_0, \varepsilon) - x'(t, x_0, \varepsilon) \geq \sigma$, для опису траєкторії маломорехідного об'єкта слід використовувати аналітичний опис трактиси прямої лінії (рисунок 2.4).

Розглядаючи рисунок 2.4, справедливо відмітити, що між кутом φ та курсовим кутом існує залежність $q_B = \pi - \varphi$. Тому, як наслідок, маємо співвідношення $q_B/dt = -d\varphi/dt$. Рівняння (2.9) слід записати як (2.10):

$$dq_B/dt - (v/L) \sin q_B = 0. \quad (2.10)$$

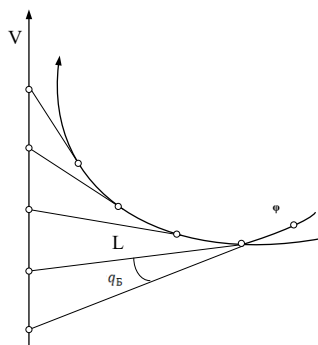


Рисунок 2.4 –Опис траєкторії сейсмічного обладнання

Джерело: розроблено автором

У результаті інтегрування залежності (2.10) отримаємо:

$$L(q_B - q_{B0}) = \int_0^t v \sin q_B dt,$$

де q_B – кут між напрямком маломорехідного об'єкта у початковий момент часу та діаметральною площиною буксирувальника після повороту судна;

$q_{B0} = \pi - \Delta K$, де ΔK – величина зміни курсу буксирувальника.



Як наслідок, вираз траєкторії для сейсмічного обладнання отримаємо з формули (2.10):

$$dq_B / \sin q_B = (v/L) dt.$$

Провівши його інтегрування, маємо:

$$\int_{q_{B0}}^{q_B} dq_B / \sin q_B = (v/L) \int_0^t dt.$$

Звідки

$$\ln \left[(tg(q_B/2)) / (tg(q_{B0}/2)) \right] = vt/L$$

або

$$tg(q_B/2) = (ctg(\Delta K/2)) \exp S/L, \quad (2.11)$$

де S – рух буксирувальника після маневру.

Формула (2.11) є рівнянням трактиси прямої лінії, а отже при повороті буксирувальника на кут q_B кут буксирувальника поступово зміщується до 180° , як наслідок, траєкторія руху маломорехідного об'єкта стає подібною до траєкторії буксирувальника. Слід вважати, що траєкторія руху маломорехідного об'єкта є асимптотою.

Як наслідок, отримаємо математичні залежності при апроксимації траєкторії руху маломорехідного об'єкта за умови: $x(t, x_0, \varepsilon) - x'(t, x_0, \varepsilon) < \sigma$, що необхідно для рішення завдань забезпечення безпеки навігації при плануванні операцій з буксирування.

Диференційне рівняння (2.10) можна отримати через послідовність геометричних операцій, розглянувши траєкторію руху маломорехідного об'єкта. Нехай зміна курсу буксирувальника (поворот) відбулася миттєво, а подальший рух є прямолінійним та непротяжним. За умови, що в деякий момент часу база буксирувальника L формує своєю траєкторією кут q_B , відновимо перпендикуляр до напрямку характерних точок складу суден, буксирувальника – A та маломорехідного об'єкта – B , отримаємо центр повороту на прямій (точка C). Отже величина миттєвої кутової швидкості прямої AB визначається як $dq_B/dt = v/AC$. Визначення векторно-графічним способом миттєвого центру повороту



точки C наведено на рисунку 2.5.

Зважаючи, що $AC = L/\sin q_B$, отримаємо (2.12)

$$dq_B/dt - (v/L) \sin q_B = 0. \quad (2.12)$$

Очевидно, що формули (2.11) та (2.13) тотожні.

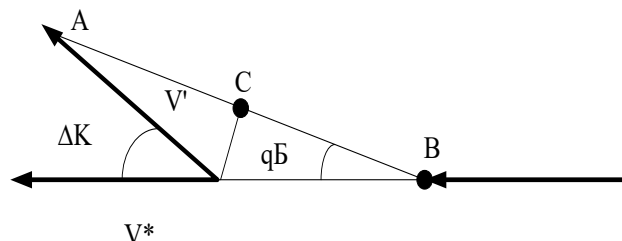


Рисунок 2.5 – Визначення векторно-графічним способом миттєвого центру повороту точки C при маневруванні

Джерело: розроблено автором

Слід зазначити, що графічно можна відобразити траєкторію руху маломорехідного об'єкта, в тому числі при маневруванні.

Розглянемо випадок зміни курсу буксирувальника, коли кут буксирувальника змінено відносно первісного курсу на $\Delta K = \pi - q_{B0}$. Як наслідок, буксирувальник рухається за новим курсом. L – відстань по горизонталі між буксирувальником і маломорехідним об'єктом.

Для побудови траєкторії руху маломорехідного об'єкта необхідно виконати процедуру, яка складатиметься з таких послідовних етапів:

- 1) визначення та відбір на лінії нового курсу буксирувальника набору точок n , розташованих рівномірно на малій відстані одна від одної;
- 2) з'єднання цих n точок прямою лінією;
- 3) відкладання відрізка a , рівного довжині L ;
- 4) з'єднання точок з прямою лінією та відкладання відрізка b , до дорівнює довжині L .

Аналогічно для точок B , G та ін.

З'єднання точок a , b , B та інших дозволить сформувати траєкторію руху маломорехідного об'єкта – трактрису прямої лінії (рисунок 2.6).



Але графічний метод побудови траєкторії маломорехідного об'єкта не дозволяє визначити загальні закономірності його руху залежно від головного курсу буксирувальника. А отже, виникає необхідність визначення руху буксирувальника у параметричному вигляді для визначення загальних закономірностей руху маломорехідного об'єкта.

Розглянемо рисунок в обрисі прямокутної системи координат. Траєкторія маломорехідного об'єкта є кривою другого порядку, де L – довжина дотичної, та має постійне значення, а диференціальне рівняння матиме вигляд:

$$y^2 + AB^2 = L^2,$$

де $y = L \sin q_B$.

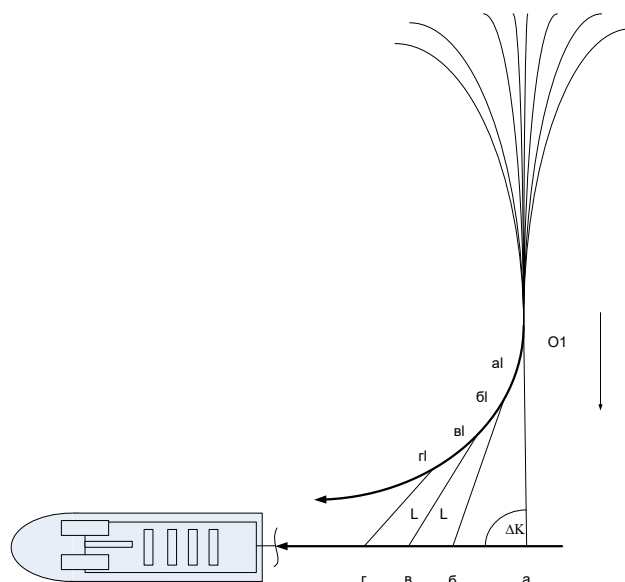


Рисунок 2.6 – Траєкторія руху маломорехідного об'єкта при зміні курсу ΔK на 90 градусів вправо

Джерело: розроблено автором

Розрахунок довжини дотичної здійснюється за виразом:

$$AB = \frac{ydy}{dx}.$$

Тоді

$$L^2 \sin^2 q_B + L^2 \sin^2 q_B (dx/dy)^2 = L^2$$

і, отже,

$$dx = \operatorname{ctg} q_B dy.$$



Підставляючи у цей вираз значення $dy = L \cos q_B \cdot dq_B$, одержимо

$$dx = L(\cos^2 q_B / \sin q_B) dq_B,$$

а після інтегрування цього виразу остаточно знайдемо

$$x = L \ln \operatorname{tg}(q_B/2) + L \cos q_B + C.$$

Таким чином, параметричні рівняння трактиси прямої лінії можуть бути представлені таким чином:

$$x = L \ln \operatorname{tg}(q_B/2) + L \cos q_B;$$

$$y = L \sin q_B.$$

З параметричних рівнянь трактиси очевидно, що параметр q_B змінюється в інтервалі: $0 < q_B < \pi$:

$$q_B \rightarrow \begin{cases} 0, & \text{при } x \rightarrow -\infty \text{ і } y \rightarrow 0; \\ \pi, & \text{при } x \rightarrow \infty \text{ і } y \rightarrow 0; \\ \pi/2, & \text{при } x \rightarrow 0 \text{ і } y \rightarrow L. \end{cases}$$

Враховуючи отриману залежність, справедливим є твердження, що вісь абсцис є асимптотою трактиси. Для всіх значень q_B та $(\pi - q_B)$ мають однакові значення y , а значення x відрізняються лише знаком, оскільки трактиса симетрична осі ординат. Як наслідок, при симетричному русанні буксирувальника маломорехідний об'єкт має симетрично відхилятися від курсу буксирувальника.

Розглянемо інші властивості трактиси прямої лінії:

1. Визначення радіуса кривизни у довільній точці трактиси:

Радіус кривизни дорівнює $R_K = dS/dq_B$, де

$$dS^2 = dx^2 + dy^2 = L^2(\cos^4 q_B / \sin^2 q_B) d^2 q_B + L^2 \cos^2 q_B d^2 q_B = L^2 \operatorname{ctg}^2 q_B d^2 q_B.$$

Звідси отримаємо вираз (2.13):

$$dS = L \operatorname{ctg} q_B dq_B. \quad (2.13)$$

Радіус кривизни в довільній точці трактиси можна записати так (2.14):

$$R_K = L \operatorname{ctg} q_B. \quad (2.14)$$

Подальшим кроком є визначення координат центру кривизни трактиси, використовуючи радіус кривизни. Графічно для довільної точки трактиси визначаємо координати.



Покрокове визначення координат центру кривизни трактриси складається у такому:

- нанесення із точки A на осі абсцис відмітки на траєкторії руху маломорехідного об'єкта в точці M із радіусом $L = AM$;
- порівняння лінії перетину з перпендикуляром AN у точці N .

Оскільки $MN = L \operatorname{ctg} q_B$, то точка N є центром кривизни трактриси.

Аналогічно визначимо координати центру кривизни, спираючись на рисунок 2.7:

$$x_K = x - L \cos q_B = L \ln \operatorname{tg} q_B;$$

$$y_K = L \operatorname{cosec} q_B.$$

Визначимо еволюту трактриси, використовуючи вираз для координат центру кривизни. Якщо кут q_B розглядати як параметр, то можна отримати параметричне рівняння еволюти трактриси. Виключаючи із цих виразів параметр q_B , знайдемо:

$$y_e = (L/2)(\exp(x/L) + \exp(-x/L)) = L \operatorname{ch}(x/L).$$

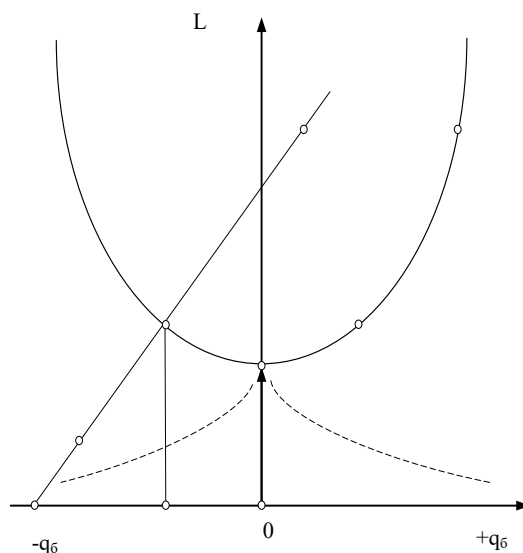


Рисунок 2.7 – Евольвента ланцюгової лінії, де L – довжина буксирної лінії, [м]; $-q_B, +q_B$ – курсові кути на буксируєний об'єкт

Джерело: розроблено автором

З аналізу виразу слідує, що еволютою трактриси є ланцюгова лінія. Як наслідок, трактриса є евольвеною ланцюгової лінії (рисунок 2.7).



Довжина дуги трактиси, відкладена відносно точки $M_0(0, L)$ відповідної до довільного значення q_B , дорівнює величині (2.13), тобто (2.15)

$$S = \int_{x/2}^{q_B} L \operatorname{ctg} q_B dq_B = -L \ln \sin q_B. \quad (2.15)$$

Натуральне рівняння трактиси b можна одержати, якщо усунути із виразів (2.14) і (2.15) параметр q_B :

$$R = L(\exp(2S/L) - 1)^{1/2}.$$

Розглянемо кінематичні властивості трактиси прямої лінії.

Нехай точка A рухається вздовж прямої з постійним вектором швидкості V .

Визначимо параметричні рівняння руху точки B :

$$\begin{aligned} x_B &= x_A - L \cos(\pi - q_B), \\ y_B &= L \sin q_B \end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned} x_B &= x_A - L \cos q_B, \\ y_B &= L \sin q_B. \end{aligned} \quad (2.16)$$

Якщо $x_A = vt$, де t – час, то система рівнянь (2.16) матиме вигляд (2.17)

$$\begin{aligned} x_B &= vt - L \cos q_B, \\ y_B &= L \sin q_B. \end{aligned} \quad (2.17)$$

Для початкових умов $x = 0$, $q_B = \pi/2$ рівняння трактиси у параметричній формі доцільно записати як:

$$\begin{aligned} x_B &= L \ln \operatorname{tg} (q_B/2) + L \cos q_B, \\ y_B &= L \sin q_B. \end{aligned}$$

Підставляючи дві останні системи рівностей, одержимо

$$vt = L \ln \operatorname{tg} (q_B/2)$$

або

$$\operatorname{tg} (q_B/2) = \exp(vt/L).$$

Використовуючи відомі тригонометричні формули, опишемо $\sin q_B$ і $\cos q_B$:

$$\begin{aligned} \sin q_B &= (2 \exp vt/L)(1 + \exp 2vt/L), \\ \cos q_B &= (1 - \exp 2vt/L)(1 + \exp 2vt/L). \end{aligned}$$



Зазначимо, що праві частини формул є гіперболічними функціями

$$\begin{aligned}\sin q_B &= \operatorname{sch}(vt/L), \\ \cos q_B &= -\operatorname{th}(vt/L).\end{aligned}$$

Оперуючи останніми формулами, отримаємо параметричні рівняння руху сейсмічного обладнання (2.18):

$$\begin{aligned}x_B &= vt - L \operatorname{th}(vt/L), \\ y_B &= L \operatorname{sch}(vt/L).\end{aligned}\tag{2.18}$$

Рівняння руху сейсмічного обладнання дозволяють визначити проекції його швидкості на осі координат:

$$\begin{aligned}v_{Bx} &= dx/dt = v_t h^2(v_t/L), \\ v_{By} &= dy/dt = -v \operatorname{sch}(-v_t/L)/ch^2(v_t/L)\end{aligned}$$

і, відповідно, модуль вектора швидкості:

$$v_B = v_t h(v_t/L) = -v \cos q_B.$$

Використовуючи систему рівностей (2.19), можна знайти прискорення точки B , відповідно, на осях OX і OY :

$$\begin{aligned}w_{Bx} &= d^2x/dt^2 = (2v^2/L) \operatorname{sch}^2(v_t/L) \operatorname{th}(v_t/L), \\ w_{By} &= d^2y/dt^2 = (v^2/L) \operatorname{sch}(v_t/L) (2\operatorname{th}^2(v_t/L) - 1).\end{aligned}$$

Модуль прискорення в точці B матиме вигляд:

$$w_B = (v^2/L) \operatorname{sch}(v_t/L) = (v^2/L).$$

Для дотичного прискорення в цій точці отримаємо

$$w_{Bt} = (v^2/L) \operatorname{sch}^2(v_t/L),$$

а для нормального прискорення справедливим є вираз

$$w_{Bn} = (v^2/L) \operatorname{sch}(v_t/L) \operatorname{th}(v_t/L).$$

Враховуючи взаємозв'язок між тригонометричними та гіперболічними функціями, отримаємо

$$q_B = \arcsin(\operatorname{sch}(v_t/L)).$$

Кутова швидкість і кутове прискорення відрізка AB дорівнює:

$$\begin{aligned}\omega &= -(v/L) \operatorname{sch}(v_t/L), \\ \varepsilon &= (v^2/L^2) \operatorname{th}(v_t/L) \operatorname{sch}(v_t/L).\end{aligned}$$



Враховуючи властивості гіперболічних функцій, швидкість маломорехідного об'єкта при буксируванні здатна змінюватися від нуля при $t = 0$ до значення v при $t \rightarrow \infty$.

Аналогічно методу визначення швидкості маломорехідного об'єкта при буксируванні, можна визначити інші кінематичні характеристики, наприклад, траєкторію руху маломорехідного об'єкта при його буксируванні з врахуванням відхилення судна-буксира. Визначені особливості кінематичного стану маломорехідного об'єкта дозволять враховувати його параметри при розробці проекту буксирування й плану буксирування лінією із врахуванням умов навколишнього середовища із дотриманням норм навігаційної безпеки.

6.3. Модель оцінювання навігаційної небезпеки при стаціонарному буксируванні сейсмічного обладнання

Характерною рисою моделі безпечного плавання є розглянуті спрямовані переходи системи «буксирувальник – сейсмічне обладнання» з режиму безпечного плавання в режим небезпечного плавання, тобто урахування ризиків. Даний напрямок дослідження обумовлений необхідністю контролю стану безпеки навігації, при якому можна здійснювати рух по заданій смузі положення й з урахуванням фіксованої ймовірності знаходження сейсмічного обладнання та буксирувальника в цій смузі. Стан навігаційної безпеки при стаціонарному плаванні за заданим планом переходу курсу можна описати векторним лінійним рівнянням [4].

Припустимо, що для системи «буксирувальник – сейсмічне обладнання» зафіксована подія $x(t, x_0, \varepsilon) - x'(t, x_0, \varepsilon) \geq \Sigma$, яка показує, що має місце асимптотичне спрямування траєкторії сейсмічного обладнання до траєкторії буксирувальника. При асимптотичному спрямуванні траєкторії «маломорехідного» об'єкта до траєкторії буксирувальника переважають активаторні властивості середовища.



Взаємодія активаторних сил середовища та інгібіторних сил, що існують на буксирній лінії, може реалізовуватися в рамках математичних моделей дифузійних процесів. Якщо далі вважати цю гіпотезу можливою, то стан навігаційної безпеки системи при стаціонарному русі за заданим планом переходу курсу можна описати векторним лінійним рівнянням (3.1):

$$\frac{dY}{dt} = a(Y, t) + b(Y, t)\Theta, Y(t_0) = Y_0, \quad (3.1)$$

де Y – n -мірний вектор стану навігаційної безпеки системи «буксирувальник – сейсмічне обладнання»;

$a(Y, t)$ – n -мірний вектор;

$b(Y, t)$ – матриця порядку $n \times n$;

$\Theta(t)$ – вектор білого шуму Гаусса з математичним сподіванням $m(t)$ та матрицею інтенсивностей $G(t)$;

Y_0 – вектор початкового стану, із щільністю ймовірності $f(y_0)$ [5].

На підставі літературних джерел [6, 7] допустимо, що щільність ймовірності розподілу фазових координат $\omega(y, t)$ системи (3.1) при загальних припущеннях щодо можливості диференціювання функцій $a(Y, t)$ та $b(Y, t)$ може бути описана рівнянням Фоккера-Планка-Колмогорова:

$$\frac{\partial \omega(y, t)}{\partial t} = -\text{div } \pi(y, t),$$

де $\pi(y, t)$ – вектор щільності потоку ймовірності [5].

Його складові за позитивними напрямками осей координат дорівнюють (3.2):

$$\pi_i(y, t) = A_i(y, t)\omega(y, t) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{\partial [B_{ij}(y, t)\omega(y, t)]}{\partial y_i}, \quad (3.2)$$

де A_i – коефіцієнт зносу;

B_{ij} – коефіцієнти дифузії, які для рівняння (3.2) визначаються за формулами:

$$A_i = a_0(y, r) + \frac{1}{2} \sum_{p,q,r=1}^n G_{pq}(t) B_{pq}(y, t) \frac{\partial B_{ir}(y, t)}{\partial y_p} + \sum_{j=1}^n B_{ij}(y, t) m_j(t),$$



$$B_{ij} = \sum_{p,q,r=1}^n G_{pq}(t) B_{iq}(y, t) \partial B_{jq}(y, t).$$

Рівняння (3.2) необхідно розглядати в якості рівняння збереження імовірності, при цьому кількість імовірності, яка проходить за одиницю часу в позитивному напрямку характеризується потоком π_i .

Виходячи з цього допустимо, що перехід системи «буксирувальник – сейсмічне обладнання» з безпечного навігаційного стану в небезпечне, визначається моментом його перетинання границь сфероїда S_q^δ , де відбувається процес поглинання [8]. Дане припущення підтверджується інтегруванням рівняння (3.26) при дотриманні заданих граничних умов, що впливають із фізичного змісту забезпечення безпечної навігації.

У зв'язку з цим доцільно наділити границю сфероїда S_q^δ функцією поглинання $v^*(y, t)$ [8]. При цьому поглинання станів навігації буксирної системи «буксирувальник – сейсмічне обладнання» описується узагальненим рівнянням Фоккера-Планка-Колмогорова [9] (3.3):

$$\frac{\partial \omega^*(y, t)}{\partial t} = -\text{div } \pi^*(y, t) - v^*(y, t), \quad (3.3)$$

де $\omega^*(y, t)$ – функція щільності ймовірності непоглинутих станів;

$\pi^*(y, t)$ – вектор щільності потоку ймовірності з компонентами:

$$\pi_i^*(y, t) = A_i(y, t) \omega^*(y, t) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{\partial [B_{ij}(y, t) \omega^*(y, t)]}{\partial y}.$$

При цьому $v^*(y, t)$ – щільність поглинання ймовірності (функція поглинання), відповідна події $x(t, x_0, \varepsilon) - x'(t, x_0, \varepsilon) \geq \Sigma$.

Щільність імовірності визначається умовами поглинання й в області зміни фазових координат характеризується функцією поглинання $v^*(y, t)$ [5]. Допустимо, що процес поглинання протікає на поверхні сфероїда і його можна описати рівнянням (3.4):

$$v^*(y, t) = \delta(a(y) - \gamma(t)) c_1(t) (n^0 \pi(y, t)), \quad (3.4)$$

де $a(y) - \gamma(t)$ – параметричне рівняння гіперповерхні сфероїда, який є



границею фазової області W ;

δ – дельта-функція;

n^0 – зовнішня нормаль до поверхні сфероїда S_q^δ ;

$c_1(t)$ – коефіцієнт повноти поглинання.

Введення рівнянь поглинання дозволяє знайти рішення (3.4) для всієї області фазового простору системи (3.1) при початковій умові $\omega^*(y, t) = f(y_0)$ і нульових граничних умовах для $y_i = \pm\infty (i = 1, \dots, n)$.

У даному випадку функція $\omega^*(y, t)$ не є нормованою за рахунок існування ефекту поглинання. Інтеграл від цієї функції по всій поверхні області фазового простору W дає можливість визначити поточну ймовірність знаходження буксирного системи «буксирувальник – сейсмічне обладнання» в безпечному стані, тобто:

$$P_1(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \omega^*(y, t) \partial y \leq 1,$$

при цьому для $t = t_0$ значення $P_1(t_0) = 1$. Тоді шукану поточну ймовірність переходу навігаційного процесу буксируємої системи «буксирувальник – сейсмічне обладнання» в небезпечний стан навігації з максимальною кількістю ризиків можна розрахувати за формулою:

$$P_0(t) = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} \omega^*(y, t) \partial y.$$

Для визначення значення функції $P_1(t)$ складемо диференціальне рівняння її змін. Проінтегрувавши рівняння (3.3) по нескінченній області існування вектора Y , отримаємо диференціальне рівняння (3.5):

$$P_1^*(t) = - \int_{-\infty}^{\infty} v^*(y, t) \partial y, \quad (3.5)$$

оскільки

$$\int_{-\infty}^{\infty} \operatorname{div} \pi(y, t) \partial y = 0.$$



Далі, підставивши у праву частину (3.5) з (3.4) залежність $v^*(y, t)$ та нормуючи $\omega^*(y, t)$, отримаємо (3.6):

$$P_1^*(t) = P_1 c_1 - \int_S (n^0 \pi(y, t)) \partial y, \quad (3.6)$$

де S – поверхня заданого сфероїда S_q^δ ;

$\pi(y, t)$ – нормалізований вектор потоку ймовірності, який дорівнює $\pi(y, t) = \frac{\pi^*(y, t)}{P_1(t)}$ і має компоненти:

$$\pi_i(y, t) = A_i(y, t) \omega(y, t) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{\partial [B_{ij}(y, t) \omega(y, t)]}{\partial y_i}.$$

Таким чином, для подальших досліджень використовуємо нормовану щільність імовірності фазових координат, яка дорівнює відношенню виду:

$$\omega(y, t) = \frac{\omega^*(y, t)}{P_1(t)}.$$

Приймаючи, що поглинання реалізацій всередині сфероїда S_q^δ для функції поглинання буде пропорційним щільності ймовірності перебування всередині

$$v^*(y, t) = c_2(t) \omega^*(y, t) \quad (3.7)$$

при $c_2(t) > 0$, що враховує інтенсивність поглинання.

Далі, помістивши (3.7) у праву частину формули (3.6), отримаємо (3.8):

$$P_1^* = -P_1 \int_{S_q^\delta} c_2(t) \omega(y, t) dy. \quad (3.8)$$

Запишемо отримані залежності (3.6) та (3.8) у скороченому вигляді (3.9):

$$P_1^* = -P_1 \eta(t), \quad (3.9)$$

а початкову умову зафіксуємо виразом $P_0(t_0) = 1$.

Введена до рівняння (3.9) функції $\eta(t)$ характеризує поведінку функції поглинання $v^*(y, t)$ всередині сфероїда й на його поверхні. Для характеристики поглинання станів навігації буксирної системи «буксирувальник – сейсмічне обладнання» на поверхні сфероїда функцію $\eta(t)$ представимо у вигляді:



$$\eta(t) = \int_S (n^0 \pi(y, t)) \partial y,$$

а при поглинанні цих же станів всередині сфероїда функцію $\eta(t)$ перетворимо до вигляду:

$$\eta(t) = \int_{S_q^\delta} (c_2(t) \omega(y, t)) \partial y.$$

Для розв'язання рівняння (3.9) при фіксованій початковій умові $P_0(t_0 = 0) = 1$ використаємо залежність (3.10):

$$P_1(t) = \exp \left[- \int_0^t \eta(\tau) d\tau \right], \quad (3.10)$$

отже, імовірність переходу буксирної системи «буксирувальник – сейсмічне обладнання» у небезпечний стан за межі поверхні сфероїда S_q^δ може бути визначено за формулою (3.11):

$$P_0(t) = 1 - \exp \left[- \int_0^t \eta(\tau) d\tau \right]. \quad (3.11)$$

Тому, зафіксувавши значення верхньої границі $P_1(t)$ у формулі (3.9) або нижньої границі $P_0(t)$ у формулі (3.11) і задавшись функцією $\eta(t)$, можна визначити часовий інтервал, протягом якого система «буксирувальник – сейсмічне обладнання» буде знаходитись у навігаційній безпеці в границях сфероїда S_q^δ , взятого за основу при розробці плану маршруту буксирування. Для рішення завдання щодо забезпечення безпеки навігації буксирної системи «буксирувальник – сейсмічне обладнання» за заданими траєкторіями виникає необхідність встановити функцію $\eta(t)$, що залежить від нормованої функції імовірності $\omega(y, t)$, при цьому:

$$\frac{\partial \omega(y, t)}{\partial t} = -\operatorname{div} \pi(y, t) - v(y, t) + \eta(\tau) \omega(y, t),$$



$$v(y, t) = \frac{v^*(y, t)}{P_0(t)}. \quad (3.12)$$

Диференціальне рівняння (3.12), отримане з формули (3.3) з урахуванням позиції (3.9), для визначення виду функції $\eta(\tau)$ необхідно проінтегрувати при заданій початковій умові $\omega(y, t_0) = f(y_0)$ й нульових граничних умовах на нескінченності.

Таким чином, удосконалено модель оцінювання навігаційної небезпеки при стаціонарному буксируванні сейсмічного обладнання, яка на відміну від відомих, базується на теорії дифузійних процесів взаємодії активаторних сил середовища та інгібіторних сил на буксирній лінії, що забезпечує навігаційну безпеку буксирної системи з маломорехідним об'єктом, траєкторія якого асимптотично прагне до траєкторії буксирувальника, і дозволяє розрахувати ризики переходу буксируємої системи у небезпечний стан навігації із заданою ймовірністю і визначити часовий інтервал, протягом якого дана система буде знаходитись у навігаційній безпеці при розробці плану маршруту буксирування.

6.4. Оцінювання впливу людського фактору та формування матриці екстремальності

Комплекс особистісних характеристик судноводія визначає його підготовленість до зустрічі з різними об'єктивними та суб'єктивними перешкодами, його стійкість до ймовірних негативних впливів з боку зовнішнього середовища. Отже, екстремальність – це не просто характеристика зовнішнього середовища або навігаційної ситуації, а показник специфічного стану системи «судноводій в ситуації», що змінюється у визначеному інтервалі в залежності від різних факторів. У загальному вигляді екстремальність E можна уявити як складну функцію [9, 10] (4.1):

$$E = f(CNS, HF), \quad (4.1)$$

де CNS – складність навігаційної ситуації (Complexity of Navigational



Situation);

HF – комплексний показник, який характеризує стан судноводія, який обумовлює якість прийнятих та виконуваних ним рішень (Human Factor).

Аналітично описати функцію (4.2) досить складно.

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (4.2)$$

де $x_1, x_2, \dots, x_n$ – формалізовані оцінки факторів небезпеки.

Однак можна використовуватися табличним представленням, ідея якого також була підказана в числі іншого та матрицею, що використовується Реєстром для оцінки ризиків у судноводінні [11, 12].

Використовуючи принцип побудови матриці ризиків Реєстру, сформуємо матрицю екстремальності (рисунок 4.1), що описує залежність (4.1).

Людський фактор	Дуже низький рівень	5	УЕ (5)	ВЕ (10)	ВЕ (15)	ОВЕ (20)	ОВЕ (25)
	Низький рівень	4	НЕ (4)	УЕ (8)	ВЕ (12)	ОВЕ (16)	ОВЕ (20)
	Середній рівень	3	НЕ (3)	УЕ (6)	ВЕ (9)	ВЕ (12)	ВЕ (15)
	Високий рівень	2	НЕ (2)	НЕ (4)	УЕ (6)	УЕ (8)	ВЕ (10)
	Дуже високий рівень	1	НЕ (1)	НЕ (2)	НЕ (3)	НЕ (4)	УЕ (5)
МАТРИЦЯ ЕКСТРЕМАЛЬНОСТІ Варіант А.			1	2	3	4	5
			Низька	Помірна	Середня	Висока	Дуже висока
			Складність навігаційної ситуації				

Рисунок 4.1 – Матриця екстремальності. Варіант А

Джерело: [11, 12]

Наведений на рисунку 4.1 принцип розрахунку показника (рівня) екстремального у вигляді добутку невинуватених. Якщо у випадку матриці ризиків можливо допустити, враховуючи цілі її використання, що ступінь ризику визначається добутком частотності кількісної оцінки наслідків, то екстремальність залежить від людського фактору та характеру навігаційної



ситуації більш складним чином.

Вирішити цю проблему допоможе постановка експерименту на навігаційному тренажері, суть якого буде описана нижче. Результатом такого експерименту буде оцінка адекватності поведінки судноводія в навігаційних ситуаціях різної складності.

Крім того, кількість рівнів людського фактору та рангів складності навігаційної ситуації, що дорівнює п'яти (як показано в матриці екстремальності на рисунок 4.1) не можна вважати достатнім та забезпечити необхідну точність оцінювання впливу людського фактору на навігаційну безпеку плавання. Оптимальним тут є розмір матриці екстремальності 10×10 . Обґрунтування такого розміру (шкал оцінювання складності навігаційної ситуації та людського фактору) буде наведено нижче, оскільки процес конструювання шкал обумовлений рядом різних факторів, як вже розкритих, так і тих, що отримають своє пояснення у наступних підрозділах [13].

Оцінки людського фактору (рівні стресостійкості) більш виправдані для розміщення в порядку, зворотному зображеному на рисунку 4.1, тобто більш високому рівню повинні відповідати більш високі оцінки, що полегшить візуальне сприйняття матриці екстремальності. Виходячи з цих позицій, можна також відмовитися від дублювання у матриці екстремальності кількісних оцінок якісними, видаливши останні.

Таким чином, враховуючи викладене, можна надати крайній матриці екстремальності інший, ніж наведений на рисунку 4.1, зміст (рисунок 4.2).

У кожній комірці цієї матриці представлені поки умовні, а не отримані експериментально, середні значення $B_{\text{сер.}ij}$ оцінок $B_{\text{сер.}kj}$ адекватності поведінкової реакції судноводіїв з рівнем стресостійкості P_i в навігаційній ситуації рангу R_j складності, яка буде розраховуватись для k випробуваних судноводіїв. Природньо, що реальні значення таких середніх у загальному випадку будуть іншими.



Рівень стресостійкості	1	4,1	4,0	3,9	3,4	2,8	2,7	2,5	2,4	2,2	2,1
	2	4,2	4,1	4,0	3,4	3,0	2,8	2,6	2,4	2,3	2,2
	3	4,4	4,3	4,2	3,5	3,3	3,0	2,6	2,5	2,4	2,2
	4	4,5	4,4	4,3	3,7	3,5	3,3	2,8	2,5	2,4	2,3
	5	4,6	4,5	4,5	4,3	3,7	3,5	3,0	2,6	2,7	2,5
	6	4,7	4,6	4,5	4,4	4,2	3,6	3,4	3,0	2,8	2,7
	7	4,7	4,7	4,6	4,5	4,4	4,2	3,8	3,7	3,6	3,3
	8	4,8	4,7	4,7	4,6	4,5	4,4	4,2	3,8	3,7	3,6
	9	4,9	4,8	4,7	4,7	4,6	4,5	4,4	4,2	4,0	3,9
	10	5,0	4,9	4,8	4,7	4,7	4,6	4,5	4,4	4,2	4,0
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Ранг складності навігаційної ситуації									

Рисунок 4.2 – Матриця екстремальності. Варіант Б

Джерело: розроблено автором

У залежності від значень $B_{сер.ij}$ матриця буде розділена на такі декілька областей:

- «червона область» ($B_{сер.ij} < 3$, комірки заштриховані) – область однозначно екстремальних навігаційних ситуацій (критична область);
- «жовта область» ($3 \leq B_{сер.ij} < 4$) – область неоднозначно екстремальних навігаційних ситуацій (буферна, проміжна область);
- «зелена зона» ($B_{сер.ij} \geq 4$, значення виділені курсивом) – область однозначно неекстремальних ситуацій (безпечна зона).

Однак малоймовірно, що після проведення експерименту буде отримана матриця екстремальності з діагональним розташуванням областей, оскільки максимально високий рівень стресостійкості (гіперстійкість) судноводія, що межує з ригідністю, скоріш шкідливий, ніж корисний для навігаційної безпеки. Таким чином, приходимо від першого до третього, більш ймовірного, але не останнього виду матриці екстремальності (рисунок 4.3).

Варіанти А, Б, В цій матриці наочно ілюструють еволюцію міркувань, результатом якої є матриця Г, наведена на рисунку 4.4.

Необхідність її побудови обумовлена однією причиною, суть якої полягає у такому. Матриця В (рисунок 4.3), як вже було вказано раніше, містить у своїх комірках середні оцінки адекватності поведінкової реакції судноводіїв, значення



яких варіюються згідно від обраного алгоритму від двох до п'яти, причому меншій екстремальності відповідає більше значення.

Рівень стресостійкості	1	4,1	4,0	3,9	3,4	2,8	2,7	2,5	2,4	2,2	2,1
	2	4,2	4,1	4,0	3,4	3,0	2,8	2,6	2,4	2,3	2,2
	3	4,4	4,3	4,2	3,5	3,3	3,0	2,6	2,5	2,4	2,2
	4	4,5	4,4	4,3	3,7	3,5	3,3	2,8	2,5	2,4	2,3
	5	4,6	4,5	4,5	4,3	3,7	3,5	3,0	2,6	2,7	2,5
	6	4,7	4,6	4,5	4,4	4,2	3,6	3,4	3,0	2,8	2,7
	7	4,7	4,7	4,6	4,5	4,4	4,2	3,8	3,7	3,6	3,3
	8	4,8	4,7	4,7	4,6	4,5	4,4	4,2	3,8	3,7	3,5
	9	4,9	4,8	4,7	4,7	4,6	4,5	4,4	4,2	3,8	3,6
	10	5,0	4,9	4,8	4,7	4,5	4,3	3,5	3,4	2,8	2,0
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ранг складності навігаційної ситуації											

Рисунок 4.3 – Матриця екстремальності. Варіант В

Джерело: розроблено автором

Рівень стресостійкості	1	0,30	0,33	0,37	0,53	0,73	0,77	0,83	0,87	0,93	0,97
	2	0,27	0,30	0,33	0,53	0,67	0,73	0,80	0,87	0,90	0,93
	3	0,20	0,23	0,27	0,50	0,57	0,67	0,80	0,83	0,87	0,93
	4	0,17	0,20	0,23	0,43	0,50	0,57	0,73	0,83	0,87	0,90
	5	0,13	0,17	0,17	0,23	0,43	0,50	0,67	0,80	0,77	0,83
	6	0,10	0,13	0,17	0,20	0,27	0,47	0,53	0,67	0,73	0,77
	7	0,10	0,10	0,13	0,17	0,20	0,27	0,40	0,43	0,47	0,57
	8	0,07	0,10	0,10	0,13	0,17	0,20	0,27	0,40	0,43	0,50
	9	0,03	0,07	0,10	0,10	0,13	0,17	0,20	0,27	0,40	0,47
	10	0,00	0,03	0,07	0,10	0,17	0,23	0,50	0,53	0,73	1,00
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ранг складності навігаційної ситуації											

Рисунок 4.4 – Матриця екстремальності. Варіант Г

Джерело: розроблено автором

Однак таке уявлення екстремальності цілком зручно та наочно. Тому пропонується в кінцевій (робочій) матриці використовувати принцип «більш екстремальним ситуаціям відповідає більше значення критерія», а діапазон можливих значень прийняти від нуля до одиниці.

З цією метою замість елементів матриці $B_{сер.ij}$ матриці В необхідно записати



значення E_{ij} , розраховані у даному випадку за формулою:

$$E_{ij} = 1 - (B_{ij} - 2)/3. \quad (4.3)$$

Тоді області матриці будуть визначатися такими значеннями екстремального показника E_{ij} : червона – більше 0,66, жовта – від 0,33 до 0,66, зелена – менше 0,33.

6.5. Рекомендації щодо побудови суднової автоматизованої системи прогнозування ризиків буксирувальних операцій

Технічне та інформаційне забезпечення сучасних морських суден дозволяє у більшій частині автоматизувати процес отримання даних, необхідних для визначення складності й екстремальності навігаційної ситуації при проведенні буксирування. Це дозволяє сформувати судову автоматизовану систему прогнозування ризиків виникнення надзвичайних ситуацій та урахування ризиків маневрування при буксируванні сейсмічного обладнання.

Зазначена система повинна мати у своєму складі:

- 1) організаційну структуру;
- 2) загальну модель системи разом з об'єктами моніторингу;
- 3) комплекс технічних засобів;
- 4) моделі навігаційних ситуацій при проведенні буксирування;
- 5) методи спостереження, обробки даних, аналізу ситуації і прогнозування;
- 6) інформаційно-комунікаційну систему.

Організаційна структура запропонованої системи містить у собі:

- 1) судоводія, який є органом управління системи та приймає рішення;
- 2) автоматизовану підсистему спостереження, яка в режимі реального часу забезпечує систему даними про стан параметрів, які піддаються врахуванню та вимірюванню;
- 3) підсистему баз даних параметрів, які підлягають урахуванню та є постійними протягом тривалих проміжків часу при проведенні буксирувальної



операції або можуть бути прогнозовані сторонніми сервісами;

4) обчислювальну підсистему, яка ґрунтується на матриці екстремальності та дозволяє провести кількісну оцінку ймовірності виникнення надзвичайної ситуації при проведенні буксирування сейсмічного обладнання.

Останні три елементи представляють собою інформаційну автоматизовану систему, яка забезпечує вимірювання та збір даних, підготовку, зберігання, обробку, аналіз та візуалізацію інформації.

Загальна модель системи, що відображає можливість розвитку надзвичайної ситуації, джерелом якої є ризики маневрування при проведенні буксирувальної операції, наведена у другому та третьому розділах дисертаційної роботи.

Комплекс технічних засобів має у своєму складі навігаційне, гідрометеорологічне та інше суднове обладнання, необхідне для вимірювання параметрів, які визначають стан компонент навігаційної ситуації.

Ситуаційні моделі повинні підтримувати загальний опис ситуацій, комплекс характеристик та вхідних вимірювальних параметрів, а також критерії прийняття рішень.

Загальний опис ситуацій описується сукупністю базових коефіцієнтів. До комплексу вимірюваних параметрів входять всі параметри, які визначають стан компонент навігаційної ситуації.

Критерії прийняття рішень встановлені матрицею екстремальності, яка має ділення на три області.

Основний метод спостереження в системі – інструментальний. Обробка результатів, аналіз ситуації та прогнозування проводяться на основі запропонованого методу кількісної оцінки впливу людського фактору на навігаційну безпеку плавання судна.

Вихідним параметром системи прогнозування є екстремальна навігаційна ситуація, прив'язана до певної точки та конкретного району плавання.

Оперативне (поточне) прогнозування є відображенням ймовірності виникнення надзвичайної ситуації з періодом упередження, безпосередньо прилеглим на осі часу до поточного моменту. Таким чином, оперативний



прогноз екстремальності розраховується на перспективу, протягом якої не очікується суттєвих змін спостережуваних параметрів навігаційної ситуації. Для розрахунку прогнозованого значення її складності навігаційної ситуації необхідно використовувати поточні значення характеристик її компонент.

Строк упередження короткочасного прогнозування знаходиться в межах часу проходження судном акваторією одного типу. Короткочасний прогноз формується не пізніше, ніж за 4 години до початку слідування акваторією та коригується кожні 4 години. Таким чином, якщо час переходу судна в певній акваторії становить кілька днів, то перший короткостроковий прогноз формується через чотири години (в оперативний час мінус 4 години). Перше коригування відбувається в оперативний час нуль, при цьому формується короткостроковий прогноз на оперативний час від 4 до 28 годин.

Для розрахунку прогнозованого значення складності навігації в короткостроковому прогнозі використовуються значення, які зберігаються в базах даних характеристик навігаційної ситуації, які при необхідності можуть бути скориговані поточними значеннями.

Довготривалий прогноз формується на всю операцію з буксирування та перед ним під час попередньої прокладки. У цьому випадку також використовуються значення, які зберігаються у базах даних.

Система має включати до свого складу такі бази даних:

- база даних 1 (БД-1) містить отримані з лоцій, карт, атласів та інших посібників статистичні данні щодо забезпечення навігаційної безпеки, видимості, вітру, хвилювання, течій, інтенсивності суднопотоку, льодової обстановки, обмерзання та місцевих правил для різних акваторій у різні періоди часу (БД-1 є практично незмінною);

- база даних 2 (БД-2) містить отриману із зовнішніх джерел інформацію про історію інтенсивності судноплавства в різних районах, а також про поточний трафік;

- база даних 3 (БД-3) містить прогнозну інформацію, отриману від різних метеорологічних сервісів та адаптовану за допомогою програмного забезпечення



для використання в судновій автоматизованій системі управління (БД-3 оновлюється з кожним новим прогнозом сервісу);

- база даних 4 (БД-4) містить картографічну інформацію, яка знаходиться в електронній картографічній навігаційно-інформаційній системі, включаючи глибину та забезпеченість засобами навігаційного забезпечення;

- база даних 5 (БД-5) містить дані про змінні течії;

- база даних 6 (БД-6) містить інформацію про судно та рейс, включаючи маршрут переходу, водотоннажність та відповідну осадку, швидкість та курс, заплановані на різних ділянках маршруту, стан та характер буксирувального обладнання;

- база даних 7 (БД-7) містить дані про штурманський склад судна, включаючи результати оцінювання людського фактору.

Джерела отримання інформації про значення необхідних для роботи системи параметрів наведені в таблиці 5.1.

Загальна схема системи наведена на рисунку 5.1.

Основним елементом є сервер – програмно-апаратний комплекс, призначений для збору та обробки даних, отриманих від комплексу технічних засобів і від зовнішніх по відношенню до судна джерел, зберігання та обслуговування баз даних і виконання програмних кодів розрахунку екстремальності для різних видів прогнозування ризиків буксирувальної операції.

З таблиці 5.1 впливає склад комплексу технічних засобів, що беруть участь у системі (на рисунку 5.1 комплекс виділяється пунктирно): глобальна навігаційна супутникова система (ГНСС), ехолот, датчики осадки, суднова метеостанція, двокомпонентний лаг, радіолокаційна станція (РЛС), засоби автоматичної радіолокаційної прокладки (ЗАРП), автоматична ідентифікаційна (інформаційна) система (АІС). ЕКНІС (електронна картографічна навігаційна інформаційна система) тут віднесена не до технічних, а до програмних засобів.

Апаратна частина сервера – комп'ютер – одночасно виконує функції блоків управління та індикації.



Таблиця 5.1 – Джерела інформації для прогнозування

№ п/п	Параметр, компонента	Джерела		
		Оперативне прогнозування	Короткочасне прогнозування	Довготривале прогнозування
1	вид акваторії	ГНСС, БД-4(ЕКНІС)	БД-4, БД-6	БД-4,БД-6
2	глибина	ехолот, датчики осадки	БД-4,БД-6	
3	забезпеченість навігаційними засобами	БД-1,БД-4		
4	наявність підводних та надводних перешкод	БД-4	БД-1,БД-4	
5	швидкість вітру	суднова метеостанція	БД-1,БД-3	БД-1
6	курсний кут вітру	суднова метеостанція	БД-3(напрямок вітру), БД-5(курс судна)	БД-1(напрямок вітру), БД-5(курс судна)
7	хвилювання	вручну	БД-1,БД-3	БД-1
8	курсний кут хвилювання	вручну	БД-3(напрямок вітру), БД-6(курс судна)	БД-1(напрямок вітру), БД-6(курс судна)
9	швидкість течії	двокомпонентний лаг	БД-1,БД-3	БД-1
10	курсний кут течії	двокомпонентний лаг	БД-3(напрямок вітру), БД-6(курс судна)	БД-1(напрямок вітру), БД-6(курс судна)
11	видимість	вручну	БД-3	БД-1
12	льодова обстановка	вручну	БД-3	БД-1
13	обмерзання	вручну	БД-3	БД-1
14	інтенсивність та щільність руху суден	РЛС,ЗАРП, АІС,БД-2	БД-2	БД-2
15	кількість небезпечних цілей	РЛС, ЗАРП, АІС,БД-2	БД-2	БД-2
16	швидкість судна	лаг, ГНСС	БД-6	БД-6
17	розміри судна	БД-6	БД-6	БД-6
18	місцеві правила	БД-1	БД-1	БД-1
19	оцінювання людського фактору	БД-7	БД-7	БД-7

Авторська розробка

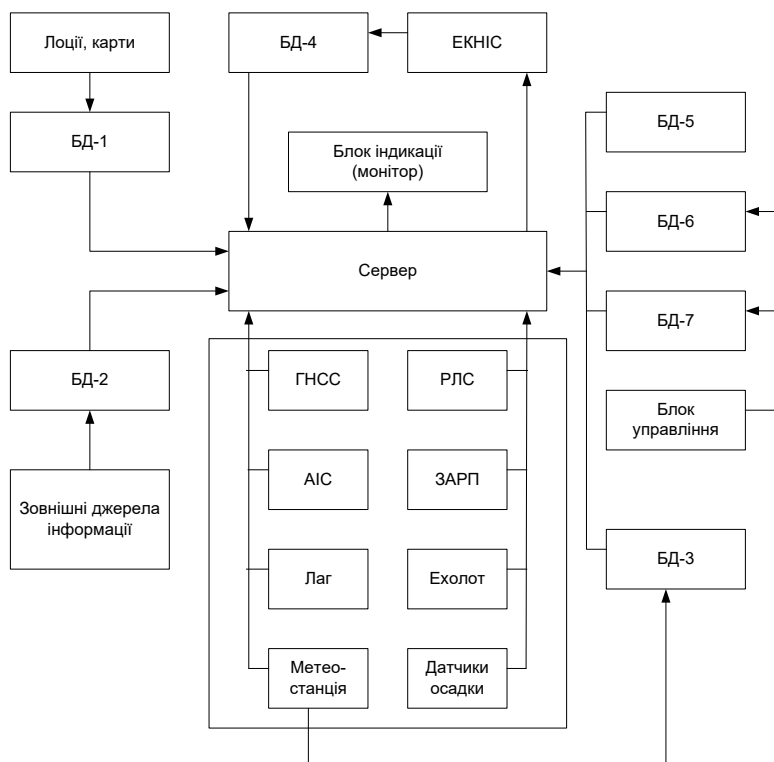


Рисунок 5.1 – Загальна схема автоматизованої системи прогнозування надзвичайної ситуації

Джерело: розроблено автором

Основний блок управління є діалоговою програмою, за допомогою якої користувач може регулювати доступні для цього налаштування та завантажує дані безпосередньо в алгоритми та у відповідні бази, які формуються вручну.

Блок індикації призначений для відтворення (візуалізації) розрахованих (прогнозованих) значень екстремальності на моніторі серверу та сигналізації про критичні поточні значення.

Відображення екстремальності при короткочасному та довготривалому прогнозуванні прикріплюються до часу, місця та конкретного відрізка лінії шляху (очікуємої лінії), побудованої при попередній прокладці.

Як блок управління, так і блок індикації можуть бути виконані периферійними та представляти собою окремі пристрої введення, управління та відображення, пов'язаними з сервером.

Оптимальним засобом відображення результатів роботи системи (безпосередньо прогнозу екстремальності та ризиків маневрування) є ЕКНІС.



Принципи побудови ЕКНІС дозволяють використовувати додатковий шар (накладку) з прогнозною інформацією про ймовірність виникнення надзвичайної ситуації. Цей шар може містити цифрову та графічну інформацію для оперативного, короткочасного та довготривалого прогнозу.

Цифрова інформація може відображатися або постійно (в операційному прогнозі), або при наведенні курсору на судно (при оперативному прогнозуванні), або на очікуваній лінії шляху (при короткочасному та довготривалому прогнозуванні).

Графічне відображення екстремальності визначається або кольором маркера судна (при оперативному прогнозуванні), або кольором очікуваної лінії шляху (при короткочасному та довготривалому прогнозуванні).

6.6. Метод оцінювання складності навігаційної ситуації

Під складністю навігаційної ситуації слід розуміти об'єктивну порівняльну міру зусиль, необхідних для забезпечення безпеки мореплавства у цій навігаційній ситуації.

У результаті змістовного аналізу компонент навігаційної ситуації сформуємо кінцеві множини значень їх характеристик, приналежність до яких можна визначити як за якісним, так і за кількісним описом множин (таблиця 6.1).

Найбільшу проблему при формуванні множин створює відсутність загальноприйнятої класифікації акваторій плавання. Сучасна теорія та практика мореплавства забезпечує об'ємні множини класифікацій, складені за різними ознаками. Більшість з поданих класифікацій мають критерії у вигляді відстані від берега або навігаційної небезпеки, але встановлені вони тільки формально та інтуїтивно, без будь-якого обґрунтування. У цілях даного дослідження для визначеності була прийнята класифікація ІНО-89, що передбачає три види акваторії: зону відкритого моря, зону прибережного плавання (прибережну зону) та зону тісного плавання.



Таблиця 6.1 – Компоненти навігаційної ситуації

	Компоненти	0	1	2	3	4
1	Вид акваторії	-	зона відкритого моря	зона прибережного плавання	зона обмеженого плавання	-
2	Глибина	глибока вода	мілководдя	-	-	-
3	Забезпеченість навігаційними засобами	відмінна; зони дії ЗНЗ перекриваються	задовільна; зони дії ЗНЗ не перекриваються	погана; район плавання практично не забезпечений ЗНЗ	-	-
4	Наявність підводних або поверхневих перешкод	перешкоди відсутні	перешкоди рідкісні	перешкоди часті	-	-
5	Швидкість вітру	безвітря	слабкий 1-3 бали	сильний 4-5 бали	міцний 7-8 балів	штормовий 9-12 балів
6	Курсовий кут вітру	-	носовий (зустрічний вітер)	Кормовий(попутний вітер)	траверзний (боковий вітер)	-
7	Хвилювання	хвилювання відсутнє	незначне 1-3 бали	помірне 4-5 балів	значне 6-7 балів	жорстке 8-9 балів
8	Курсовий кут хвилювання	-	носовий	носовий	траверзний	-
9	Швидкість течії	течія відсутня	незначна (1-2 вуз)	середня (3-5 вуз)	велика (5-7 вуз)	значна (7 вуз)
10	Курсовий кут течії	-	попутна	зустрічна	траверзна	-
11	Видимість	відмінна понад 10 миль	добра 5-10 миль	середня 2-5 миль	погана 1-2 милі	дуже погана менш 1 милі
12	Льодова обстановка	лід відсутній	легка льодом вкрито менш 20% видимої поверхні моря	стримувана льодом вкрито 20-50% видимої поверхні моря	середньої тяжкості льодом вкрито 50-80% видимої поверхні моря	важка льодом вкрито більш 80% видимої поверхні моря
13	Обмерзання	немає	повільне (до 2 см/год)	швидке (2-6 см/год)	дуже швидке (більш 6 см/год)	-
14	Інтенсивність та щільність руху суден	судна в районі плавання відсутні	низька	середня	висока	-
15	Кількість небезпечних цілей	0	1	2	більш 2	-
16	Швидкість судна	-	низька до 5 вуз	середня 5-10 вуз	висока 10-15 вуз	дуже висока більш 15 вуз
17	Розміри судна	-	мале менш 40 м	середнє 40-100 м	велике 100-200 м	дуже велике більш 200 м
18	Місцеві правила	відсутні	детально регламентують плавання	регламентують деякі аспекти плавання	існують, але вкрай рідко протирічать	-

Авторська розробка

Зона тісного плавання має у своєму складі канали, вузькості, шхери, акваторії портів та гаваней з підходами до них, а також гирлові ділянки суднохідних річок. Плавання у зоні здійснюється, як правило, за строго



визначеними напрямками, забезпечуючи безпечний спосіб руху. Умови плавання у зоні відрізняються обмеженою свободою маневру та вимагають посиленого контролю за місцеположенням судна. На особливо складних ділянках зони встановлені системи та пости управління рухом суден, використовується лоцманська проводка суден.

Прибережна зона – частина моря, що лежить уздовж материкового узбережжя, берегів архіпелагів та окремих островів, в якій можливе візуальне та радіолокаційне спостереження прибережних орієнтирів. Ширина прибережної зони становить 30-50 миль. Плавання в зоні здійснюється в основному за рекомендованими шляхами або за фарватерами та тільки в окремих районах допускається вільне плавання.

Зона відкритого моря – водний простір океанів та морів, який лежить в основному за межами візуальної та радіолокаційної спостережливості берегових орієнтирів. Плавання в зоні відкритого моря вільне або на заявлених рекомендованих шляхах.

Велика кількість класифікацій пояснюється різноманітністю завдань, для рішення яких ці класифікації призначені, та практично нескінченною множиною факторів, які визначають особливості розмежування в конкретних районах плавання та перешкоджають створенню суворого універсального кількісного критерію розмежування. Разом з тим автоматична ідентифікація акваторії плавання, необхідна для автоматизації результатів цього дослідження, може базуватися на алгоритмі, заснованому на комплексі несуворих правил і суворих часткових (неуніверсальних) аналітичних критеріях.

В якості одного з таких критеріїв можливо використовувати відстань до берега або навігаційної небезпеки, що визначається виразом (6.1):

$$D_6 = \sqrt{K_1 K_C^2 + K_2 M_0^2}, \quad (6.1)$$

де K_C – коефіцієнт точності числення;

M_0 – середньоквадратична похибка визначення місця судна;

$K_1 = 5112$ миля², $K_2 = 2500$ – коефіцієнти.

У таблиці 6.1 кожному компоненту навігаційної ситуації відповідає від двох



до п'яти множин. При цьому, чим більше номер множини, до якої належить поточне значення характеристики компоненти, тим складнішою є навігаційна ситуація (за інших рівних умов).

До основи методу покладемо кількісний критерій. Тоді основною задачею, яку необхідно було розв'язати при розробці методу, є визначення значень коефіцієнтів $K_{1.1}, K_{1.2}, \dots, K_{2.1}, K_{2.2}, \dots, K_{17.1}, K_{17.2}, \dots, K_{18.1}, K_{18.2}, K_{18.3}$ (або при іншому запису: $K_{i,j}$, де i – номер компоненти, j – номер множин цих компонентів), що відповідає кожній з остаточних множин. У такому випадку загальна кількість коефіцієнтів дорівнювала б 57 (без врахування нульових коефіцієнтів, що відповідає множинам з номером 0).

У суднобудуванні вважається практично аксіомою тезис про те, що навігаційна ситуація, принципи її сприйняття судноводієм у першу чергу визначаються акваторією плавання судна. Таким чином, в акваторіях різних видів (зони відкритого моря, прибережного або тісного плавання) компоненти мають різний вплив на складність навігаційної ситуації (мають різну вагу). Виходячи з цього, алгоритм розрахунку кількісного критерію був дещо змінений. Множник з коефіцієнтом K_1 був виключений з базової формули (3.1). При цьому змінилася й основна задача – тепер стало необхідно обчислити три набори по 54 базових коефіцієнти для визначення складності навігаційної ситуації для кожного виду акваторії (6.2):

$$CNS = 1 - (1 - K_2) \cdot (1 - K_3) \cdot \dots \cdot (1 - K_{17}) \cdot (1 - K_{18}) \quad (6.2)$$

з використанням свого набору базових коефіцієнтів.

Для визначення значення коефіцієнтів проведено експертне оцінювання, у процесі якого перед експертами були поставлені два завдання ранжування.

Перше завдання – в опитуваному листі №1 описані двадцять навігаційних ситуацій. Необхідно ранжувати їх за ступенями складності.

Друге завдання – в опитувальному листі №2 описані компоненти при визначенні складності навігаційної ситуації в акваторії кожного виду, їх також необхідно ранжувати за їх важливістю.

Опитувальні листи супроводжувалися описом завдань, глосарієм, де для



уникнення розбіжностей були дані визначення основним використовуваним термінам, а також наведений аналог таблиці 6.1.

До складу експертів увійшли авторитетні представники морської освіти та науки і спеціалісти-практики (капітани та старші помічники капітана) з досвідом несення ходової навігаційної вахти від 10 до 30 років.

Для формулювання першого завдання експертного оцінювання випадковим чином було відібрано 110 навігаційних ситуацій. При цьому для оцінки одному експерту пропонувалось лише 20 з них. Опитувальні листи формувалися таким чином. Спочатку без врахування експертної думки всі навігаційні ситуації були розділені на п'ять умовних груп за рівнем складності, тобто кожна група містила по 22 навігаційні ситуації. В опитувальному листі №1 для першого експерта включені по чотири ситуації з кожної з п'яти умовних груп. При формуванні опитувального листа №1 для другого експерта п'ять уже використаних навігаційних ситуацій, що відносяться до різних груп, були замінені іншими, але з тих самих апіорних груп (тобто навігаційна ситуація А може бути замінена навігаційною ситуацією тільки з тієї ж групи). В опитувальному листі для наступного експерта таким самим чином були замінені ще п'ять навігаційних ситуацій. Опитувальні листи формувалися до тих пір, поки кожна з навігаційних ситуацій не повторювалася чотири рази. Таким чином, кількість опитувальних листів дорівнювала 22, тобто для процедури оцінювання необхідно було залучити саме таку кількість експертів.

Наведені контрольні цифри (110 навігаційних ситуацій, з яких 20 ситуацій в одному опитувальному листі, 22 експерта) стали результатом аналізу придатності експертного оцінювання в контексті даного дослідження.

Кожна з навігаційних ситуацій в опитувальних листах описувалася приблизно таким чином: «Зона вітрового хвилювання, вітер 5 балів у ніс, зиб, брижі 2 бали у ніс, течія траверзна 1 вузол, видимість – більше 10 миль, ваше судно довжиною 90 м з сейсмічним обладнанням рухається зі швидкістю 4 вузли, відбувається дуже швидке обмерзання судна». Експертам необхідно було ранжувати запропоновані навігаційні ситуації за їх складністю,



розставляючи числа від 1 (найскладніша навігаційна ситуація) до 20 (найпростіша). При цьому був дозволений варіант думки експертів про рівність двох або більше навігаційних ситуацій – пропонувалося позначити ці ситуації єдиним числом (тоді кількість використаних чисел ставала менше 20).

При заповненні опитувального листа №2 експертам було запропоновано у залежності від ваги компоненти при визначенні складності навігаційної ситуації розставити три рази (для кожного виду акваторії) напроти кожної з компонент числа від 1 до 17. Якщо складність навігаційної ситуації, за думкою експерта, не залежить від якоїсь компоненти, то число замінював прочерк. При однаковій значущості компонентів (рівності ваг) для визначення *CNS* виставлялося однакове за порядком число (а загальна кількість використаних чисел тоді ставала менше 17).

Обробка результатів опитування на аркуші №1 проводилась так. На першому етапі експерти, які вважали дві або більш навігаційних ситуацій рівними за складністю (тобто загальна кількість рангів була меншою за 20), переоцінили свої думки для відновлення 20-бальної шкали ранжування. Наприклад, нехай для будь-яких п'яти навігаційних ситуацій експерт вказав ранги 16; 17; 17; 17; 18, тобто, на думку експерта, три навігаційні ситуації були однакової складності. Тоді при переоцінці ранги записувались вже так: 16; 18; 17; 19; 20. Інший приклад: ранги 11; 12; 12; 13 переоцінювались в 11; 10; 12; 13.

На наступному етапі представлені експертами та вже переоцінені ранги переводилися у протилежну шкалу. Згідно з нею, самій складній навігаційній ситуації (з рангом 1) за опитувальним аркушем присвоювалося 20 балів, з рангом 2 – 19 і т. д., тобто сума кількості балів і рангу дорівнювала 21.

Після обчислення середнього арифметичного набраних балів для кожної зі 110 навігаційних ситуацій всі вони розташовувалися у порядку спадання цих значень. Далі виконувався якісний контекстний аналіз усіх наведених навігаційних ситуацій.

Допустимо, що складність навігаційної ситуації $CNS = 0,900$ для найскладніших (середній бал – 20), а для найпростіших (середній бал – 1) –



$CNS = 0,300$. Тоді інші навігаційні ситуації мають складність між значеннями 0,3 та 0,9, яка пропорційна обчисленому середньому балу. Тобто для перекладу значення ранга S на очікуване значення CNS використовувалось рівняння

$$CNS = 0,3 + \frac{0,9-0,3}{20-1}(S - 1). \quad (6.3)$$

Останнім етапом обробки результатів опитування на аркуші №1 є групування навігаційних ситуацій у залежності від типу акваторії та ранжування їх всередині груп за спаданням очікуваного значення CNS .

Аналогічно оброблялися результати опитування за аркушем № 2, але з додаванням нового етапу. Можливість поставити прочерк навпроти незначних, за думкою експертів, ранжованих компонент, призводить до зменшення їх кількості рангів. Для відновлення 17-бальної шкали переоцінюються ранги за вище описаною процедурою і враховується відношення кількості аналізованих компонент (тобто 17) до кількості значимих ранжованих компонент.

Результатом обробки результатів опитування на аркуші №2 є таблиця 6.2, в якій навпроти кожної з компонент вказаний середній ранг значущості цієї компоненти $A_{i,j}$ при визначенні складності навігаційної ситуації окремо для кожного виду акваторії.

Проаналізуємо інші способи вирішення поставленого завдання. Можливим підходом є узагальнення та багатофакторний або інформаційно-логічний аналіз інформації про стан навігаційної обстановки під час аварій та інцидентів на морі або про зміну характеристик суднопотоку при зміні навігаційних ситуацій на окремих акваторіях. Залежність характеристик суднопотоку від навігаційної ситуації не має строгої форми і відрізняється для різних акваторій. Така залежність може дати тільки приблизну оцінку коефіцієнтів лише тих компонент навігаційної ситуації, які не пов'язані з характеристиками суден та їх переміщенням. Проведений критичний аналіз більшості аварій та інцидентів на морі показав, що навігаційна ситуація не є основною причиною ймовірності морської події. Вона, як правило, поєднана з людським фактором.



Таблиця 6.2 – Ранги важливості компонент навігаційної ситуації

i	Компоненти навігаційної ситуації	Ранги		
		Зона відкритого моря, $j = 1$	Зона прибережного плавання, $j = 2$	Зона обмеженого плавання, $j = 3$
2	Глибина (мала або глибока вода)	1,60	8,91	12,68
3	Оснащеність району ЗНЗ	1,54	13,01	11,77
4	Наявність надводних і підводних перешкод	6,77	9,68	11,77
5	Швидкість вітру	13,38	10,06	8,07
6	Курсовий кут вітру	11,32	6,2	4,93
7	Сила хвилювання	15,05	10,07	4,89
8	Курс кутового хвилювання	12,43	5,52	2,93
9	Швидкість течії	3,03	5,38	7,61
10	Курсовий кут течії	2,43	5,91	5,00
11	Видимість	12,86	15,34	16,14
12	Льодова обстановка	9,31	9,76	5,25
13	Ступінь обмерзання	11,36	11,16	8,16
14	Інтенсивність та щільність руху суден	7,51	13,39	14,59
15	Кількість небезпечних цілей	5,81	11,64	14,00
16	Швидкість Вашого судна	4,75	8,20	11,43
17	Розміри Вашого судна	5,39	3,68	9,57
18	Якість та кількість місцевих правил	0,60	3,98	4,11

Авторська розробка

Таким чином, навігаційна ситуація – це суб'єктивно-об'єктивний феномен, суб'єктивність якого визначається як безпосереднім представленням його суб'єкту (судноводію), так і тим, що оцінені компоненти входять у поняття «навігаційна ситуація» за результатами аналізу практики судноводіння, тобто діяльності людини у процесі управління судном.

Для визначення базових коефіцієнтів з використання результатів експертного оцінювання, припустимо, що ці коефіцієнти відносяться один до одного, як це надано в таблиці 6.3 співвідношення вагових коефіцієнтів.

За даними таблиць 6.2 та 6.3 розраховуємо вагу коефіцієнтів для всіх трьох зон плавання (таблиці 6.4-6.6).



Таблиця 6.3 – Співвідношення вагових коефіцієнтів

Номер компоненти	Номер множини			
	1	2	3	4
2	$A_{2,j}$	-	-	-
3	$A_{3,j/2}$	$A_{3,j}$	-	-
4	$A_{4,j/2}$	$A_{4,j}$	-	-
5	$A_{5,j/4}$	$A_{5,j/2}$	$3A_{5,j/4}$	$A_{5,j}$
6	$A_{6,j/3}$	$2A_{6,j/3}$	$A_{6,j}$	-
7	$A_{7,j/4}$	$A_{7,j/2}$	$3A_{7,j/4}$	$A_{7,j}$
8	$A_{8,j/3}$	$2A_{8,j/3}$	$A_{8,j}$	-
9	$A_{9,j/4}$	$A_{9,j/2}$	$3A_{9,j/4}$	$A_{9,j}$
10	$A_{10,j/3}$	$2A_{10,j/3}$	$A_{10,j}$	-
11	$A_{11,j/4}$	$A_{11,j/2}$	$3A_{11,j/4}$	$A_{11,j}$
12	$A_{12,j/4}$	$A_{12,j/2}$	$3A_{12,j/4}$	$A_{12,j}$
13	$A_{13,j/3}$	$2A_{13,j/3}$	$A_{13,j}$	-
14	$A_{14,j/3}$	$2A_{14,j/3}$	$A_{14,j}$	-
15	$A_{15,j/3}$	$2A_{15,j/3}$	$A_{15,j}$	-
16	$A_{16,j/4}$	$A_{16,j/2}$	$3A_{16,j/4}$	$A_{16,j}$
17	$A_{17,j/4}$	$A_{17,j/2}$	$3A_{17,j/4}$	$A_{17,j}$
18	$A_{18,j/3}$	$2A_{18,j/3}$	$A_{18,j}$	-

Авторська розробка

Таблиця 6.4 – Вагові коефіцієнти для відкритого моря

Номер компоненти	Номер множини			
	1	2	3	4
2	1,60	-	-	-
3	0,77	1,54	-	-
4	3,39	6,77	-	-
5	3,35	6,69	10,04	13,38
6	3,77	7,55	11,32	-
7	3,76	7,52	11,29	1505
8	4,14	8,29	12,43	-
9	0,76	1,52	2,27	3,03
10	0,81	1,62	2,43	-
11	3,22	6,43	9,65	12,86
12	2,33	4,65	6,98	-
13	3,79	7,58	11,36	-
14	2,50	5,01	7,51	-
15	1,94	3,87	5,81	-
16	1,19	2,38	3,57	4,75
17	1,35	2,70	4,04	5,39
18	0,20	0,40	0,60	-

Авторська розробка



Таблиця 6.5 – Вагові коефіцієнти для зони прибережного плавання

Номер компоненти	Номер множини			
	1	2	3	4
2	8,91	-	-	-
3	6,50	13,01	-	-
4	4,84	9,68	-	-
5	2,51	5,03	7,54	10,06
6	2,08	4,16	6,24	-
7	2,52	5,03	7,55	10,07
8	1,84	3,68	5,52	-
9	1,34	2,69	4,03	5,38
10	1,97	3,94	5,91	-
11	3,83	7,67	11,50	15,34
12	2,44	4,88	7,32	9,76
13	3,72	7,44	11,16	-
14	4,46	8,93	13,39	-
15	3,88	7,76	11,64	-
16	2,05	4,10	6,15	8,20
17	0,92	1,84	2,76	3,68
18	1,33	2,65	3,98	-

Авторська розробка

Таблиця 6.6 – Вагові коефіцієнти для зони обмеженого плавання

Номер компоненти	Номер множини			
	1	2	3	4
2	12,68	-	-	-
3	5,89	11,77	-	-
4	5,89	11,77	-	-
5	2,02	4,03	6,05	8,07
6	1,64	3,29	4,93	-
7	1,22	2,44	3,66	4,89
8	0,98	1,95	2,93	-
9	1,90	3,81	5,71	7,61
10	1,67	3,33	5,00	-
11	4,03	8,07	12,10	16,14
12	1,31	2,63	3,94	5,25
13	2,72	5,44	8,16	-
14	4,86	9,73	14,59	-
15	4,67	9,33	14,00	-
16	2,86	5,72	8,57	11,43
17	2,39	4,78	7,18	9,57
18	1,37	2,74	4,11	-

Авторська розробка



Зрозуміло, що зміна значення одного будь-якого коефіцієнта призводить до зміни всіх інших. За допомогою формули (6.3), варіюючи значеннями коефіцієнтів, розраховані групи коефіцієнтів для кожного типу акваторій складності, включених до опитувального аркушу навігаційних ситуацій. Отримані коефіцієнти дали найменшу середньоквадратичну похибку (СКП) по відношенню до очікуваних значень CNS , отриманих за результатами експертного оцінювання. Усі розраховані базові коефіцієнти зведені до таблиці 6.7. При цьому СКП для коефіцієнтів, застосовуваних для акваторій різного типу, склали: а) в зоні відкритого моря – 0,108; б) в зоні прибережного плавання – 0,103; в) в зоні обмеженого плавання – 0,139.

Таблиця 6.7 – Розрахункові базові коефіцієнти

Номер компоненти	Вид акваторії	Номер множини			
		1	2	3	4
2	j=1	0,019	-	-	-
	j=2	0,156	-	-	-
	j=3	0,231	-	-	-
3	j=1	0,009	0,019	-	-
	j=2	0,114	0,228	-	-
	j=3	0,107	0,214	-	-
4	j=1	0,041	0,082	-	-
	j=2	0,085	0,170	-	-
	j=3	0,107	0,214	-	-
5	j=1	0,040	0,081	0,121	0,161
	j=2	0,044	0,088	0,132	0,176
	j=3	0,037	0,073	0,110	0,147
6	j=1	0,045	0,091	0,136	-
	j=2	0,036	0,073	0,109	-
	j=3	0,030	0,060	0,090	-
7	j=1	0,045	0,091	0,136	0,181
	j=2	0,044	0,088	0,132	0,177
	j=3	0,022	0,044	0,067	0,089
8	j=1	0,050	0,100	0,150	-
	j=2	0,032	0,065	0,097	-
	j=3	0,018	0,036	0,053	-
9	j=1	0,009	0,018	0,027	0,037
	j=2	0,024	0,047	0,071	0,094
	j=3	0,035	0,069	0,104	0,138



Номер компоненти	Вид акваторії	Номер множини			
		1	2	3	4
10	j=1	0,010	0,020	0,029	-
	j=2	0,035	0,069	0,104	-
	j=3	0,030	0,061	0,091	-
11	j=1	0,039	0,077	0,116	0,155
	j=2	0,067	0,135	0,202	0,269
	j=3	0,073	0,147	0,220	0,293
12	j=1	0,028	0,056	0,084	0,112
	j=2	0,043	0,086	0,128	0,171
	j=3	0,024	0,048	0,072	0,095
13	j=1	0,046	0,091	0,137	-
	j=2	0,065	0,130	0,196	-
	j=3	0,049	0,099	0,148	-
14	j=1	0,030	0,060	0,091	-
	j=2	0,078	0,157	0,235	-
	j=3	0,088	0,177	0,265	-
15	j=1	0,023	0,047	0,070	-
	j=2	0,068	0,136	0,204	-
	j=3	0,085	0,170	0,255	-
16	j=1	0,014	0,029	0,043	0,057
	j=2	0,036	0,072	0,108	0,144
	j=3	0,052	0,104	0,156	0,208
17	j=1	0,016	0,032	0,049	0,065
	j=2	0,016	0,032	0,048	0,065
	j=3	0,043	0,087	0,130	0,174
18	j=1	0,002	0,005	0,007	-
	j=2	0,023	0,047	0,070	-
	j=3	0,025	0,050	0,075	-

Авторська розробка

Розрахований за виразом (6.3) значення CNS , дозволяє отримати ще один більш зручний для практичних цілей кількісну характеристику навігаційну ситуацію – ранг її складності (таблиця 6.8).



Таблиця 6.8 – Ранги складності навігаційної ситуації та їх опис

CNS	Ранг складності	Лінгвістичне найменування рангів та загальний опис навігаційних ситуацій
від 0,92	10	Критично важкі навігаційні ситуації. Плавання судна небажано та небезпечно. Існує висока ймовірність загибелі судна.
від 0,85 до 0,92	9	Важкі навігаційні ситуації. Для забезпечення безпеки плавання від судноводія вимагається постійної максимальної концентрації уваги, максимального прояву знань, досвіду та вміння приймати нестандартні рішення. Помилка судноводія, як правило, призводить до виникнення аварійної ситуації.
від 0,75 до 0,85	8	
від 0,65 до 0,75	7	Навігаційні ситуації середньої тяжкості (помірні). Для забезпечення безпеки плавання від судноводія вимагається постійної концентрації, прояву знань та досвіду. Швидкі дії повернення при прийнятті помилкового рішення дозволять судноводію запобігти виникненню аварійних ситуацій.
від 0,55 до 0,65	6	
від 0,45 до 0,55	5	Нормальні навігаційні ситуації. Для забезпечення безпеки плавання судноводію достатньо діяти у відповідності до загальноприйнятих алгоритмів, знання про які отримані під час теоретичної підготовки. У судноводія є достатньо часу, щоб виправити свою помилку.
від 0,35 до 0,45	4	
від 0,25 до 0,35	3	Легкі навігаційні ситуації. Для забезпечення безпеки плавання від судноводія вимагається мінімальних стандартних кроків. Помилка судноводія не є критичною.
від 0,15 до 0,25	2	
до 0,15	1	Надлегкі навігаційні ситуації. Для забезпечення безпеки плавання від судноводія, крім належного спостереження, будь-яких дій не вимагається.

Авторська розробка

6.7. Рекомендації щодо проектування буксирувальної операції з мінімізацією ризиків

Процес проектування надійної буксирувальної операції із пріоритетом мінімізації ризиків, залежить від ступеня поінформованості персоналу щодо планування і реалізації операції. Елементи організаційної структури, що забезпечує розробку і реалізацію проекту буксирування сейсмічного обладнання, має у своєму складі представників власника буксирувальника; представників власників сейсмічного обладнання та судноводія буксирувальника.

Нехай ці суб'єкти організаційної структури буксирувальної операції



мінімізують деяку дійсну функцію $f^r = f^r(\lambda, y)$, що відображає ризики буксирувальної операції взагалі. Також допустимо, що функція $f^r = f^r(\lambda, y)$ визначена та безперервна на компактній множині $\Lambda^r \times Y^r$, яка у цьому випадку представляє собою простір вимог до плану буксирувальної операції й вимог до управління буксирувальником.

Допустимо подальшу реалізацію цієї функції за рахунок вибору способу управління з множини управлінь $y \in Y^r$, яка закріплена у плані проведення буксирувальної операції для мінімізації ризиків, які також враховуються при плануванні цієї операції.

Інтереси представників компаній при плануванні буксирувальної операції є домінуючими. Їх слід ототожнювати з бажанням і прагненням фахівців до максимізації більш загальної безперервної дійсної функції $\Phi^r = \Phi^r(\lambda, y)$, яка відображає ступінь їх поінформованості, породжуючи вимоги до управлінь при мінімізації витрат судновласників. Тому, для практичного планування функції $\Phi^r = \Phi^r(\lambda, y)$ необхідно шляхом додаткового запиту у менеджера компаній, що брав участь у буксируванні маломорехідного об'єкта, одержати всю необхідну інформацію виду $\lambda \in \Lambda^r$, де Λ^r вважаємо довільним компактом простору.

Це допущення дозволить розглядати інформацію λ , що надходить до зайнятих у плануванні фахівців, як функцію планових (можливих) управлінь, що мінімізують технологічні й навігаційні ризики у вигляді $\lambda = \lambda(y)$.

Порядок вибору всіх зазначених функцій і змінних при плануванні безпечної й маловитратної буксирувальної операції повинен бути таким. Спочатку фахівці, зайняті у плануванні буксирувальної операції, в результаті аналізу даних, що надходять від замовників, збирають інформацію $\lambda \in \Lambda^r$, що визначає стан безпеки цієї операції. Ця інформація є основою для розробки плану буксирувальної операції, який надходить до судноводія.

Судноводій на підставі попереднього досвіду й поточної навігаційної інформації повинен виділити множину навігаційних та технічних небезпек, які можуть виникнути у процесі буксирування. Необхідно ранжувати ці небезпеки, надавши їм значення відповідних ризиків. Виділені й проранжовані ризики



фіксуються у плані буксирувальної операції для управління ними при реалізації плану буксирувальної операції.

При плануванні не виключається той випадок, коли фахівцям із планування буксирувальної операції отриманої інформації недостатньо, і вони можуть звернутися за додатковою інформацією. Якщо, на думку фахівців із планування, необхідного рівня безпеки й малозатратності буксирувальної операції можна буде досягти при її проведенні із допустимою кількістю технологічних і навігаційних ризиків, то цим ризикам ставляться у відповідність управління у $\in Y^r$, які будуть прийняті до практичного використання судноводієм.

Далі цілком логічно допустити, що судноводій, який реалізує план буксирувальної операції, сприймає параметричні представлення функцій Φ^r, f^r та множин Λ^r, Y^r з певною часткою суб'єктивізму, з урахуванням людського фактору.

Тому додатково приймемо, що стан поінформованості судноводія стосовно технологічних і навігаційних ризиків у запланованій буксирувальній операції сейсмічного обладнання визначається деяким вектором r , який відображає ступінь поінформованості судноводія.

Сприйняття проєкту буксирувальної операції судноводія може бути визначене векторною множиною $\Omega = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ при $n < \infty$ можливих значеннях векторних норм ступеня його поінформованості.

Якщо в процесі розробки проєкта буксирувальної операції у судноводія з'являється можливість уточнити інформацію щодо умов проведення операції, то дані про наявність і пріоритетності технологічних і навігаційних ризиків, можуть бути суттєво доповнені й навіть змінені. Реалізуючи коректури даних у доповідях, судноводій може використовувати «зустрічний спосіб формування даних», коли додаткові запити про відсутні відомості в задокументованих вимогах λ , вибираються в такий спосіб:

$$\lambda = \lambda^*(s), \quad \lambda^*: \Omega \rightarrow \cup \Lambda^r.$$

$$r \in \Omega$$

з урахуванням попередньої векторної оцінки $s \in \Omega$ дійсного значення вектора,



що визначає ступінь поінформованості судноводія.

Далі використовуємо вищевикладений опис процесу планування буксирувальної операції і введений показник суб'єктивної інформованості судноводія r як елемента Ω векторної множини. Тоді, надійність реалізації проєкту буксирувальної операції сейсмічного обладнання й поінформованості судноводія, представимо в такий спосіб (7.1):

$$K_1(r) = \max_{\lambda \in \downarrow \Lambda^r} \min_{y \in \text{Arg min } f^r(\lambda, y)} \Phi^r(\lambda, y), \quad (7.1)$$

В основі запропонованої моделі надійності реалізації проєкту буксирної операції є допущення, що вона здатна забезпечити максимально гарантований результат за умови одержання судноводієм повної й об'єктивної інформації.

При наявності однієї точки екстремуму на множині Ω ймовірнісна модель дозволяє одержати оцінку зверху надійності реалізації безпечного проєкту буксирувальної операції. Модель відображає властивості будь-якого процесу управління засобами підвищеної небезпеки, оскільки відповідає умові, що незалежно від вимог до малозатратності операції таке буксирування повинно здійснюватися при допустимих технологічних і навігаційних ризиках.

При організації буксирувальних операцій важливим є механізм, за допомогою якого здійснюється обмін інформацією між менеджерами компаній буксирувальника та «маломорехідного» об'єкта, які відповідають за прибуток або витрати, що супроводжують проведення буксирувальної операції. Із цієї причини з'являється необхідність додаткового розгляду умов, при яких компанії мають можливість реалізувати ці операції з погодженими інтересами у частині вирішення проблеми «безпека – витрати». З цією метою виділимо з організаційної підструктури, такі елементи: менеджера компанії, якій належить буксирувальник, і менеджера компанії, якій належить «маломорехідний» об'єкт. Об'єднаємо їх відповідними зв'язками, по яких передаються пріоритети у вимогах до підвищення безпеки, мінімізації ризиків й вимогах до витрат.

Результатом такого організаційного об'єднання є множина пар W виду



$$W = U \times V = \{(u, v) | u \in U, v \in V\},$$

де u – менеджер компанії, якій належить буксирувальник,

v – менеджер компанії, якій належить «маломорехідний» об'єкт.

Елементи пар з множини v можуть бути зв'язані очевидними відношеннями, які можна записати у такий спосіб (7.2):

$$\begin{aligned} u, v \in W, (u, v) \in r_1 &\Leftrightarrow v > u; \\ u, v \in W, (u, v) \in r_2 &\Leftrightarrow v < u. \end{aligned} \quad (7.2)$$

Відношення (7.2) свідчить про можливість адміністративного призначення пріоритетів у відношенні «ризиків – витрати» при розробці проекту буксирувальної операції за рахунок прийняття в компаніях вимог, які не відповідають дійсній поінформованості $r_j \in \Omega = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ для $n < \infty$.

Дійсно, з одного боку, менеджери компаній будуть розглядати стан поінформованості судноводія через призму витрат, і їх дійсним бажанням буде прагнення до жорсткості пріоритету економії цих витрат. З іншого боку, менеджери компанії, будучи відповідальними перед судновласниками за забезпечення безпеки буксирувальної операції, зацікавлені в жорсткості пріоритету безпеки цієї операції. Отже, у взаємодії елементів керівної ланки, що відповідає за відношення «ризиків – витрати», існує конфліктна ситуація, від рішення якої й залежить як рівень поінформованості судноводія r_j , так і вибір пріоритету у відношенні зменшення ризиків.

Важливими факторами вірної організації роботи й життєзабезпечення на судні, безаварійній експлуатації буксирувальників слід вважати повну об'єктивну поінформованість судноводія, який повинен володіти інформацією про політику компанії в галузі безпечної експлуатації суден, цілком і повністю володіти всією інформацією про технічні, навігаційні та юридичні особливості проведеної буксирувальної операції.

Якщо надалі аналізувати поінформованість судноводія як основу архітектури безпечної експлуатації буксирного каравану, з одного боку, й ефективності буксирувальної операції, з іншого боку, то, застосовуючи модель поінформованості, необхідно особливо звернути увагу на вибір $\lambda \in \Lambda^r$ у тих



випадках, коли у судноводія немає впевненості у вірогідності наявної у нього інформації. Відсутність впевненості у вірогідності інформації формально виразимо рівністю

$$\cap \Lambda^r = \emptyset.$$

$$r \in \Omega$$

Просто, але на практиці можна вирішити це завдання, перевіривши реалізованість усіх можливих випадків змісту інформації, отриманої від компаній-судновласників:

$$\lambda \in \cup \Lambda^r,$$

$$r \in \Omega$$

тобто, реалізацією методу послідовного перебору цих вимог з одночасним аналізом значень індикаторної функції, наведеної у такому вигляді:

$$\theta = \theta^r(\lambda) = \delta(\lambda|\Lambda^r) = \begin{cases} 1, & \text{при } \lambda \in \Lambda^r; \\ 0, & \text{при } \lambda \notin \Lambda^r. \end{cases}$$

Однак судноводій може використовувати більш практичний метод рішення поставленого завдання. Для цього достатньо дати судноводію можливість один раз здійснити реалізацію механізму «усвідомленого вибору». У випадку $\theta^r(\lambda) = 0$ судноводій змушений відмовляється від отриманих даних, або реалізувати вибір $\lambda \in \Lambda^r$ методом «проб та помилок». Метод «проб та помилок» ототожнимо з непередбаченим та інтуїтивним вибором:

$$\lambda^* = \eta \in \Lambda^r,$$

де $\eta \in N$ – фактор невизначеності, властивий вибору $\lambda \in \Lambda^r$.

До вибору інформації «проб та помилок» λ^* судноводій може підійти незалежно від стану своєї початкової інформованості.

Таким чином, вибір λ^* є переходом до інформаційного розширення, коли за контрольовану судноводієм змінну буде обрана функція λ_0 :

$$\Lambda_0 = \{\lambda_0 = \lambda(\theta, \eta)\} = \left\{ \begin{matrix} \lambda, & \theta = 1 \\ \eta, & \theta = 0 \end{matrix} \middle| \lambda \in \cup \Lambda^r \right\} \cup \{\lambda^* = \lambda^*(\eta)\},$$

$$r \in \Omega$$

де роль λ^* виконує тотожність $\lambda^*(\eta) \equiv \eta$, а реалізація $\theta \in \{0,1\}$ матиме вигляд:

$$\theta = \theta^r(\lambda) = \delta(\lambda|\Lambda^r).$$



Непередбаченості результату вибору $\eta \in \Lambda^r$ і невизначеності (нечіткості) використання нормативної бази застосування судноводієм інформації λ^* слід аналізувати як «політику покарання» λ^p , що реалізується зі штрафом величиною $\psi(r)$.

Розглянута модель планування ефективної й безпечної буксирувальної операції демонструє, що при неповній поінформованості капітана останній повинен і змушений діяти при управлінні ризиками за принципом – «плануй і реалізуй, як знаєш, і нехай буде, як буде».

У той час неможливість передбачити результат вибору $\eta \in \Lambda^r$ при практичному здійсненні вже запланованих буксирувальних операцій з порушенням умов поінформованості судноводія буде виявляти вплив на поінформованість керівництва. Так, відсутність конкретних відомостей може змусити судноводія виявляти так звану «обережність» при складанні доповідей $\xi \in \Xi$, що йдуть по інформаційних зв'язках.

Під «обережністю» судноводія мається на увазі лише зміст цих доповідей. При цьому вибір змісту доповідей судноводієм ξ буде таким, щоб максимізувався (мінімізувався) критерій $g = g(\xi, \eta)$, який містить фактор невизначеності $\eta \in N$.

Але в цій ситуації судноводій може все ж таки використовувати принцип вибору, що не суперечать гарантованому отриманню запланованого результату. Таким чином, вибір змісту доповіді ξ буде визначатися множиною:

$$\Xi_{(\text{gap})} = \text{Arg max}_{\xi \in \Xi, \eta \in N} [\min g(\xi, \eta)],$$

Якщо η буде випадковою величиною з функцією розподілу $F(\eta)$, множину рішень визначимо як:

$$\Xi^* = \Xi_{(\text{gap})} \cap \Xi_{(\text{оср})},$$

де

$$\Xi_{(\text{оср})} = \text{Arg max}_{\xi \in \Xi} \int g(\xi, \eta) dF(\eta),$$

і множина Ξ^* завжди буде містити, як мінімум одну доповідь (одну крапку), що



максимізує (мінімізує) критерій $g = g(\xi, \eta)$. Тому судноводій має можливість вибрати зміст доповіді $\xi \in E^*$ так, щоб вибір одночасно максимізував як гарантії його положення, так і осереднений критерій $g = g(\xi, \eta)$.

Саме тому, проєкт щодо забезпечення безпеки буксирування конкретного маломорехідного об'єкта розробляється на основі проєкту перегону (переліку заходів щодо забезпечення безпеки перегону) у комплекті з технічною документацією й договором буксирування. Метою такого проєкту є конкретизація й обґрунтоване доповнення (але не дублювання) рекомендацій судноводія й представника власника буксируемого маломорехідного об'єкта, що входять до складу комплексу технічної документації, умов буксирування і у договір про морське буксирування або наймання буксирного судна.

Рекомендації щодо зменшення ризиків, у цілому, не повинні суперечити одна іншій та мають містити:

- основні характеристики сейсмічного обладнання, рекомендації щодо вибору оптимальних курсів та швидкості буксирування з урахуванням обмежень на буксирування за погодними умовами, використання місць укриття від непогоди, оцінці стану й поведінки сейсмічного обладнання;
- заходи й рекомендації, погоджені з умовами договору буксирування, щодо порятунку сейсмічного обладнання при виникненні аварійної ситуації;
- особливості підтримання зв'язку з береговими радіостанціями для забезпечення надійності буксирувальної операції протягом всього переходу, порядок радіообміну;
- інші обґрунтовані процедури й дії для мінімізації ризиків буксирування сейсмічного обладнання.

Таким чином, проведене дослідження свідчить, що відсутність у судноводія потрібної інформації буде позначатися на безпеці й ефективності планованої проводки буксирувальника.



Висновки

Аварійність при проведенні буксирувальних операцій є об'єктивною реальністю, обумовленою, насамперед, зовнішніми й внутрішніми факторами, що супроводжують таку небезпечну операцію, і не завжди залежить від людини. Впливаючи на ризики, можна досягти їх зниження лише до певного рівня на якомусь часовому проміжку, після чого вони знову почнуть зростати або, у кращому випадку, будуть тимчасово стабілізовані на кількісному або якісному рівні. Реально траєкторія руху сейсмічного обладнання об'єкта при рисканні буксирувальника від генерального курсу залежить від ряду факторів: швидкості, бічної складової натягу буксира в точці підвісу, гідрометеорологічних умов.

Удосконалений метод оцінювання структурної стійкості системи «буксирувальник – сейсмічне обладнання» при маневруванні забезпечує безпечне буксирування сейсмічного обладнання в будь-який момент часу, в якому на відміну від відомих, ймовірність стійкості структури в межах розширених припущень визначена за допомогою теореми Боголюбова та індикаторної функції, що дозволяє визначити потенційні небезпеки, ризики та розміри ймовірної шкоди людині, буксирувальнику, сейсмічному обладнанню або навколишньому середовищу від змін структури організаційно-технічної системи буксирування сейсмічного обладнання, а також визначити події, при яких порушується структурна стійкість та експлуатаційний стан складу суден буксирувальника та сейсмічного обладнання, які не відповідають умові навігаційної безпеки.

Розвиток методу визначення траєкторії сейсмічного обладнання при стаціонарному характері морського буксирування, який на відміну від відомих, відрізняється заміщенням руху складу суден буксирувальника та сейсмічного обладнання на їх характерні точки, що дозволяє при швидких і помірних змінах курсу буксирувальника розглядати траєкторію сейсмічного обладнання як плоску криву, визначити при буксируванні різні кінематичні характеристики маломорехідного об'єкта і враховувати їх при розробці проекту буксирування для різноманітних умов навколишнього середовища із дотриманням норм



навігаційної безпеки.

Запропонована удосконалена модель оцінювання навігаційної небезпеки при стаціонарному буксируванні сейсмічного обладнання, яка на відміну від відомих, базується на теорії дифузійних процесів взаємодії активаторних сил середовища та інгібіторних сил на буксирній лінії, що забезпечує навігаційну безпеку буксирної системи з маломорехідним об'єктом, траєкторія якого асимптотично прагне до траєкторії буксирувальника, і дозволяє розрахувати ризики переходу буксируємої системи у небезпечний стан навігації із заданою ймовірністю і визначити часовий інтервал, протягом якого дана система буде знаходитись у навігаційній безпеці при розробці плану маршруту буксирування.

Теоретичні дослідження щодо забезпечення навігаційної безпеки при реалізації буксирної операції свідчать, що траєкторія цього об'єкта асимптотично прагне до траєкторії буксирувальника й, при стаціонарності руху, буде перебувати в межах заданої смуги положення. Залучення до теоретичних досліджень принципу «мінімальної дії» і методу «усікання» до процесу буксирування каравану з маломорехідним об'єктом засвідчили, що ці гіпотези можуть бути причинами асимптотичного прагнення об'єкта до траєкторії буксирувальника і його розташування в спостережному кільватерному струмені.

Отримані співвідношення, визначаючи неявний закон взаємодії сил у системі буксирування, час досягнення сейсмічним обладнанням межі смуги положення й властивість стабільності (незмінності) буксирної системи в цілому, дозволяють вирішувати завдання щодо забезпечення навігаційної безпеки для цієї системи в умовах маневрування.

Для врахування людського фактору при оцінці ризиків маневрування при проведенні буксирувальної операції доцільно використовувати матрицю екстремальності.

Технічне та інформаційне забезпечення сучасних морських суден дозволяє у більшій частині автоматизувати процес отримання даних, необхідних для визначення складності й екстремальності навігаційної ситуації при проведенні буксирування. Це дозволяє сформувати судову автоматизовану систему



прогнозування ризиків виникнення надзвичайних ситуацій та врахування ризиків маневрування при буксируванні сейсмічного обладнання.

Процес проєктування надійної буксирувальної операції із пріоритетом мінімізації ризиків залежить від ступеня поінформованості персоналу щодо планування і реалізації операції. Для рішення проблемних навігаційних ситуацій при буксируванні сейсмічного обладнання вибір оптимальних по Парето управлінь не реалізується. Причиною такого стану справ є те, що виникаючі навігаційні ситуації містять залежні навігаційні небезпеки, обумовлені за допомогою фізичних величин з множини величин, які кваліфікуються як ризики.

**KAPITEL 7 / CHAPTER 7⁷****AUFBAU EINER ROBUSTEN GRUNDLAGE FÜR DIE ERFOLGREICHE
INTEGRATION VON BIM-TECHNOLOGIE IN DER UKRAINE****DOI: 10.30890/2709-2313.2024-30-00-027**

Diese Arbeit führt eine detaillierte SWOT-Analyse durch, um die strategische Implementierung der Building Information Modeling (BIM) Technologie in der ukrainischen Bauindustrie zu bewerten. Ziel dieser Analyse ist es, die internen und externen Faktoren, die die Einführung von BIM beeinflussen, systematisch zu bewerten und einen klaren Rahmen für das Verständnis der potenziellen Auswirkungen und Verbesserungsbereiche zu bieten.

Um dies zu erreichen, haben die Autoren eine umfassende SWOT-Matrix entwickelt, die die Stärken, Schwächen, Chancen und Bedrohungen im Zusammenhang mit der BIM-Technologie im Kontext der ukrainischen Bauindustrie identifiziert und untersucht. Die Stärken heben die inhärenten Vorteile und positiven Eigenschaften von BIM hervor, wie verbesserte Zusammenarbeit, bessere Projektvisualisierung und gesteigerte Effizienz. Im Gegensatz dazu konzentrieren sich die Schwächen auf die internen Herausforderungen und Einschränkungen, einschließlich hoher Anfangskosten, einer steilen Lernkurve und Widerstand gegen Veränderungen innerhalb der Branche [1].

Der Abschnitt über die Chancen untersucht die externen Möglichkeiten, die genutzt werden könnten, um die Einführung von BIM zu fördern, wie z.B. staatliche Anreize, technologische Fortschritte und die wachsende Marktnachfrage nach nachhaltigen Baupraktiken. Die Bedrohungen befassen sich mit den externen Risiken, die die Implementierung von BIM behindern könnten, wie Marktwettbewerb, regulatorische Hürden und technologische Veralterung.

Die Analyse basiert auf einer fundierten Methodik, die eine umfassende Überprüfung der bestehenden Literatur, die beruflichen Erfahrungen der Autoren und aktuelle Marktberichte umfasst. Dieser triangulierte Ansatz gewährleistet eine gründliche und ausgewogene Bewertung aller Faktoren innerhalb der SWOT-Matrix.

⁷*Authors: Mysak Pavlo Vasylovych, Mysak Ihor Vasylovych*



Des Weiteren berechnet das Papier grundlegende Indikatoren, die die strategische Position von BIM auf dem ukrainischen Bauprodukt charakterisieren. Diese Indikatoren liefern quantitative Einblicke, die die qualitative Analyse ergänzen und ein nuancierteres Verständnis des aktuellen Stands und des zukünftigen Potenzials von BIM bieten.

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse haben die Autoren eine Matrix strategischer Aufgaben und Maßnahmen definiert. Dieser strategische Rahmen skizziert praktische Empfehlungen zur Förderung und Entwicklung der BIM-Technologie in der Ukraine. Zu diesen Maßnahmen gehören Schulungs- und Bildungsinitiativen, politische Fürsprache für unterstützende Regulierungen, Investitionen in technologische Infrastruktur und die Förderung der Zusammenarbeit in der gesamten Branche [2].

Insgesamt hebt dieses Papier nicht nur die aktuelle Landschaft der BIM-Implementierung in der Ukraine hervor, sondern dient auch als strategischer Leitfaden für Interessengruppen, die die Einführung und Integration von BIM in der Bauindustrie vorantreiben möchten. Indem sowohl die Chancen als auch die Herausforderungen angesprochen werden, zielen die vorgeschlagenen Strategien darauf ab, das Wachstum und die Innovation des Bausektors durch den effektiven Einsatz von BIM-Technologie voranzutreiben.

Einleitung

Derzeit wird Building Information Modeling (BIM) weltweit und in der Ukraine als das sich am schnellsten entwickelnde Konzept im Bauwesen anerkannt. In zahlreichen Ländern wird BIM zunehmend zum Standard für Bauprojekte. In der Ukraine jedoch wird die BIM-Technologie noch diskutiert und als Alternative zu traditionellen Methoden der Planung und Durchführung von Bauprojekten betrachtet. Es bestehen erhebliche Bedenken hinsichtlich der obligatorischen Implementierung der BIM-Technologie in öffentlichen Bauaufträgen. Der Bauprodukt zeigt ein erhebliches Missverständnis über BIM, einen Mangel an Erfahrung bei den meisten Teilnehmern am Bauprozess und bemerkenswerte Vorsicht gegenüber seiner Einführung [3].



Trotz dieser Herausforderungen hebt die weltweite Literatur die erheblichen Vorteile von BIM hervor. Techniken zur Erfassung von 3D-Gebäudeinformationen umfassen die Nutzung digitaler Gebäudemodelle und deren geometrische und semantische Vereinfachung. BIM-Modelle sind objektorientiert, semantisch reichhaltig und werden kontinuierlich aktualisiert, sodass detaillierte Abfragen von Gebäudekomponenten aus verschiedenen Perspektiven möglich sind. Das Wesen von BIM liegt nicht nur in der Informationsgewinnung, sondern auch in der Vereinfachung, Systematisierung und effektiven Nutzung der im Modell enthaltenen Informationen. Im Gegensatz zu traditionellen CAD-Modellen umfassen BIM-Modelle sowohl geometrische als auch semantische Daten und entwickeln sich über alle Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes hinweg.

Diese Unterscheidung markiert einen bedeutenden Fortschritt, da BIM eine umfassendere und dynamischere Projektverwaltung ermöglicht. Die Integration semantischer Informationen bedeutet, dass BIM eine fundiertere Entscheidungsfindung unterstützen, die Zusammenarbeit zwischen den Beteiligten verbessern und die Gesamteffizienz und -genauigkeit von Bauprojekten steigern kann. Folglich unterstreichen die potenziellen Vorteile trotz der Herausforderungen bei der weit verbreiteten Einführung von BIM in der Ukraine die Bedeutung, diese Barrieren zu überwinden und diese innovative Technologie anzunehmen.

Aufgrund der globalen Vorteile und der wachsenden Beliebtheit des Building Information Modeling (BIM) haben sich die Autoren dieses Papiers entschlossen, die aktuelle Situation in der Ukraine zu analysieren. Ihr Ziel ist es, die Stärken und Schwächen im Zusammenhang mit der Einführung der BIM-Technologie im Land zu untersuchen und die damit verbundenen Chancen und Risiken zu identifizieren. Zur Durchführung dieser Analyse verwendeten die Autoren eine SWOT-Analyse, ein Instrument, das hauptsächlich in der strategischen Planung und verschiedenen Managementbereichen eingesetzt wird [4].

Das Papier hebt die Herausforderungen hervor, mit denen sowohl die öffentliche Verwaltung der Ukraine als auch die Teilnehmer an Bauprojekten bei der Implementierung von BIM konfrontiert sind. Darüber hinaus untersuchen die Autoren



potenzielle zukünftige Trends in der Entwicklung der BIM-Technologie in der Ukraine, um Einblicke in die sich entwickelnde Landschaft zu bieten und die strategischen Maßnahmen aufzuzeigen, die erforderlich sind, um ihr Wachstum und ihre Integration in der Branche zu fördern.

7.1. Methoden - SWOT-Analyse

Die SWOT-Analyse ist ein weit verbreitetes Instrument im strategischen Management, insbesondere in den Anfangsstadien der Ausarbeitung der Strategie einer Organisation. Als diagnostisches Instrument wird sie eingesetzt, um die Ressourcenfähigkeiten und -defizite einer Organisation, ihre Marktchancen und die externen Bedrohungen zu bewerten. Das Akronym SWOT steht für Stärken, Schwächen, Chancen und Bedrohungen und spiegelt den Fokus der Analyse auf sowohl interne als auch externe Faktoren wider (Abb. 1).

Die SWOT-Analyse hat zwei Hauptdimensionen: intern und extern. Die interne Dimension umfasst organisatorische Faktoren, einschließlich Stärken und Schwächen. Stärken beziehen sich auf die positiven Attribute und Ressourcen innerhalb der Organisation, während Schwächen die internen Einschränkungen und Herausforderungen darstellen. Die externe Dimension umfasst Umweltfaktoren und identifiziert Chancen (positive externe Faktoren) und Bedrohungen (negative externe Faktoren).

Durch die Verwendung der SWOT-Analyse können Organisationen Einblicke gewinnen, wie sie ihre Stärken nutzen und ihre Schwächen angehen können, um externe Chancen zu nutzen und potenzielle Bedrohungen zu mindern. Dieser doppelte Fokus hilft bei der Erstellung eines ausgewogenen und umfassenden strategischen Plans. Die vier Kategorien von Faktoren, die durch die beiden Dimensionen generiert werden, sind:

1. Extern positive (Chancen) - Entwicklungsmöglichkeiten in der Umgebung.
2. Intern positiv (Stärken) - Stärken der Organisation.



3. Extern negativ (Bedrohungen) - Umweltgefahren.
4. Intern negativ (Schwächen) - Schwächen der Organisation.

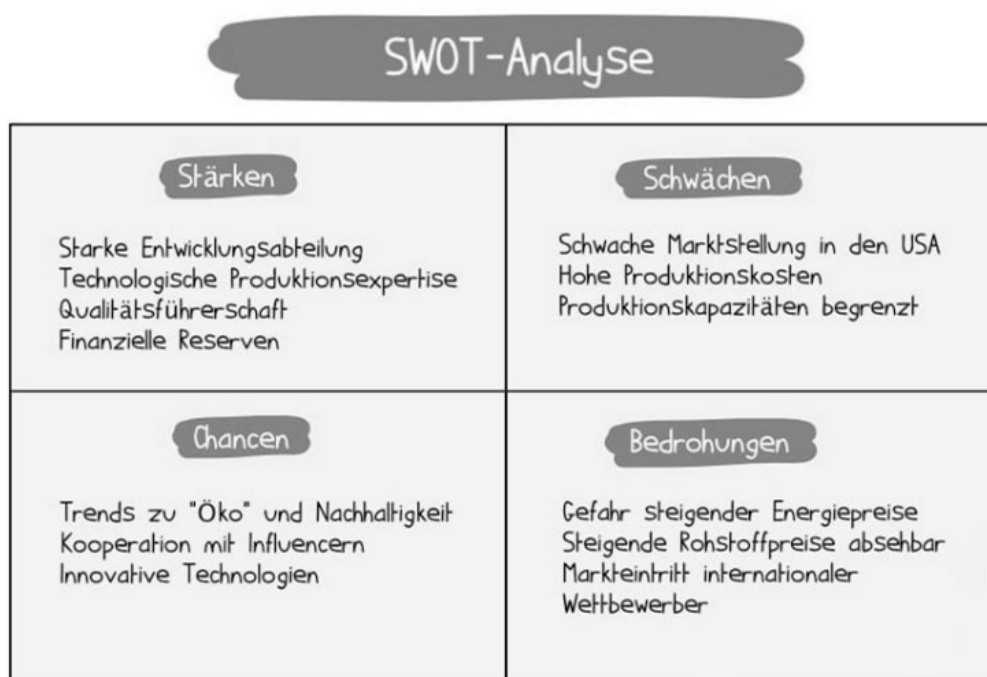


Abbildung 1. Ansatz zur SWOT-Analyse.

In diesem Papier zielt die von den Autoren durchgeführte Forschung darauf ab, die Chancen zu bewerten, die sich durch die Einführung der BIM-Technologie bieten, um die Möglichkeiten und Risiken im Zusammenhang mit der Einführung der BIM-Technologie in der Ukraine zu bewerten. Sie bewerten die Stärken und Schwächen der Unterstützung für die Bau- und Investitionsprozesse unter Verwendung von BIM. Durch die Kombination der Analyse interner und externer Faktoren soll das Ziel erreicht werden, die besten Möglichkeiten zur Nutzung des Potenzials der BIM-Technologie im ukrainischen Kontext zu bestimmen [5].

Darüber hinaus streben die Autoren danach, die interne Stärke der BIM-Technologie, ihre strategische Attraktivität und die Wahrscheinlichkeit des strategischen Erfolgs zu messen. Diese umfassende Analyse liefert wertvolle Einblicke darüber, wie BIM effektiv implementiert und unterstützt werden kann in der Ukraine, unter Berücksichtigung der spezifischen Bedingungen und Herausforderungen der lokalen Bauindustrie [6].



Die Analyse wird die Vor- und Nachteile der BIM-Technologie als Stärken bzw. Schwächen darstellen und gleichzeitig die Chancen und Risiken im Zusammenhang mit ihrer Implementierung identifizieren. Diese umfassende Bewertung wird in drei Stufen durchgeführt:

- **Stufe I:** Identifikation und Bewertung von Faktoren

- Aufgabe: Identifizieren von Faktoren im Zusammenhang mit der Implementierung von BIM und Kategorisierung als entweder positiv oder negativ für das Bauprojekt und seine Umgebung.

- Bewertung: Bewertung dieser Faktoren auf einer numerischen Skala von 1 bis 5, wobei 1 einen sehr schwachen Einfluss und 5 einen sehr starken Einfluss repräsentiert.

- **Stufe II:** Bewertung der strategischen Situation von BIM

- Aufgabe: Analyse der strategischen Position der BIM-Technologie in der Bauindustrie unter Berücksichtigung der zuvor identifizierten Faktoren.

- **Stufe III:** Identifikation strategischer Aufgaben und Maßnahmen

- Aufgabe: Kombination und Analyse der Stärken und Schwächen der BIM-Technologie mit den Chancen und Risiken aus der Umgebung.

- **Ziele:**

- Nutzung der Stärken von BIM, um die Vorteile aus externen Chancen zu maximieren.

- Überwindung der Schwächen von BIM durch Nutzung vorhandener Chancen in der Umgebung.

- Verwendung der Stärken von BIM, um externe Bedrohungen zu vermeiden.

- Minimierung der Auswirkungen der Schwächen von BIM, um Umweltrisiken zu mindern.

Dieser strukturierte Ansatz gewährleistet eine gründliche Bewertung der BIM-Technologie und bietet handlungsorientierte Erkenntnisse und Strategien für ihre effektive Implementierung in der Bauindustrie.



7.2. BIM-Technologie

Gemäß dem United States National Institute of Building Sciences (NIBS) ist "Ein BIM eine digitale Darstellung der physischen und funktionalen Merkmale einer Einrichtung. Als solche dient sie als gemeinsame Wissensressource für Informationen über eine Einrichtung und bildet somit eine zuverlässige Grundlage für Entscheidungen während ihres gesamten Lebenszyklus von der Entstehung an". Die Hauptfunktion der BIM-Technologie besteht darin, Aktivitäten während des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes zu unterstützen, indem sie detaillierte Informationen sowohl zur Geometrie des Gebäudes als auch zu beschreibenden Daten über die Struktur und ihre einzelnen Komponenten bereitstellt [7].

Der Fortschritt von BIM und anderen digitalen Technologien in der Bauindustrie hat die Bauprozesse signifikant verbessert und die Projektdurchführung beschleunigt. Technologien wie Building Information Modeling (BIM), Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) und das Internet der Dinge (IoT) (z. B. Nahfeldkommunikation (NFC) und Radiofrequenzidentifikation (RFID)-Sensoren) haben neue Hardware- und Software-Werkzeuge in die Bauindustrie eingeführt. Diese Technologien ermöglichen die Automatisierung von Bauprozessen, verbessern die Überwachung von Baumaßnahmen und fördern den Informationsfluss sowie Qualitätsinspektionen [8].

Einer der Hauptvorteile von BIM besteht in seiner Fähigkeit, Daten an einem einzigen Ort, dem BIM-Modell, zu konsolidieren, das eine dreidimensionale geometrische Darstellung des Gebäudes enthält. Die zentrale Datensammlung während der Entwurfs-, Bau- und Betriebsphasen ermöglicht eine weitere Analyse, um neue Erkenntnisse und Simulationen zur Identifizierung von Konflikten und Wechselwirkungen zu generieren. Darüber hinaus verbessern neue Methoden der Datenvisualisierung mittels visueller und gemischter Realität die Kommunikation und liefern Informationen vor Ort.

Eine wichtige Unterscheidung zwischen BIM und traditionellen Bauprozessen liegt nicht nur in der dreidimensionalen geometrischen Darstellung und der zentralisierten Datensammlung, sondern auch in der Denkweise und dem Ansatz der



beteiligten Teilnehmer. Beispielsweise profitiert die Kostenanalyse vom BIM-Modell, indem sie eine schnelle Extraktion der erforderlichen Informationen und Daten für prädiktive Modelle ermöglicht. Alle Projektteilnehmer haben während des gesamten Bauprozesses Zugriff auf die Daten, was Echtzeit-Anpassungen und aktuelle Informationen über die Kostenanalyse und ihre Veränderungen ermöglicht [9, 10].

Darüber hinaus ermöglicht BIM eine einfache und schnelle Überprüfung der Geometrie und der im Modell enthaltenen Informationen. Diese Fähigkeit unterstützt maßgeblich die frühzeitige Erkennung möglicher Konflikte bereits in der Vor-Ausführungsphase und ermöglicht Diskussionen über alternative Lösungen oder Fehlerkorrekturen, bevor mit dem Bau begonnen wird. BIM steht an vorderster Front der digitalen Transformation in der Architektur-, Ingenieur- und Bauindustrie (AEC), indem es Betriebsabläufe wie Zusammenarbeit und Designüberprüfung optimiert und gleichzeitig Herausforderungen im Zusammenhang mit Geschwindigkeit, Cybersicherheit und Integrität des Datenaustauschs angeht.

7.3. BIM-Adoption weltweit

Die Vereinigten Staaten führen weltweit bei der BIM-Adoption und machen die Dominanz Nordamerikas nicht überraschend. Europa belegt jedoch den zweiten Platz und nutzt amerikanische Modelle, entwickelt aber auch ihre eigenen dynamischen Fortschritte in der BIM-Technologie. Australien und Ozeanien folgen und zeichnen sich besonders im Bereich des Designmodellierens aus. Asien verfügt über starke Marktführer wie Korea, Hongkong, China und Japan in der BIM-Landschaft [11].

Im Gegensatz dazu ist die BIM-Adoption in Süd- und Zentralamerika trotz des engen Einflusses der USA und Kanadas langsamer. Nur wenige Länder in dieser Region, mit Ausnahme großer Nationen wie Argentinien und Brasilien, haben in den letzten Jahren BIM in öffentlichen Beschaffungen eingeführt. Die BIM-Adoption im Nahen Osten und in Afrika ist ebenfalls relativ gering. Private Investoren in diesen Regionen sind daran interessiert, BIM für Projekte zu nutzen, aber öffentliche



Investoren beschränken seine Verwendung auf Infrastrukturinvestitionen, wie den Bau von Flughäfen oder Passagierterminals (z. B. Istanbul Grand Airport, Bahrain International Airport und Abu Dhabi Midfield Terminal).

In Europa haben westliche und nördliche Länder frühzeitig BIM übernommen, wobei das Vereinigte Königreich und die skandinavischen Länder als Marktführer hervorgegangen sind. Süd- und osteuropäische Länder übernehmen BIM in einem langsameren Tempo. Dieses Muster zeigt sich auch in staatlichen Initiativen, wobei Länder wie Finnland, Norwegen, Großbritannien, Frankreich und Italien bei der Implementierung von BIM-Lösungen in öffentlichen Beschaffungen führend sind [12, 13].

Die Ukraine gehört zu den Ländern, die noch planen, BIM-Standards oder -Vorschriften in öffentlichen Beschaffungen einzuführen, was zu einer langsameren Adoptionsrate führt. Derzeit fehlt es der Ukraine an weit verbreiteten BIM-Standards sowie an bedeutender staatlicher Unterstützung oder verbindlichen Anforderungen in öffentlichen Beschaffungen. Dennoch wächst das Bewusstsein im Markt, insbesondere bei Planern, und es wurden bereits mehrere öffentliche Beschaffungsprojekte angekündigt und durchgeführt, die hauptsächlich auf das Design von BIM-Modellen ausgerichtet sind [14].

Schlussfolgerungen

Die SWOT-Analyse zeigt, dass die aktuellen Marktbedingungen in der Ukraine günstig für die Implementierung des Building Information Modeling (BIM) sind. Diese günstige Position ergibt sich aus dem Vorhandensein von mehr Stärken als Schwächen und mehr Chancen als Risiken. Trotz dieses positiven Ausblicks sind jedoch schnelle Fortschritte bei der BIM-Adoption in der ukrainischen Bauindustrie unwahrscheinlich.

Die effektivste strategische Herangehensweise für die Implementierung der BIM-Technologie in der Ukraine scheint eine aggressive Entwicklungsstrategie zu sein, die für "Maxi-Maxi"-Situationen geeignet ist. Diese Strategie zielt darauf ab, die Nutzung



sowohl von Stärken als auch von Chancen zu maximieren, um die weit verbreitete und dynamische Einführung von BIM in den alltäglichen Baupraktiken zu erleichtern. Es ist entscheidend, die Stärken von BIM zu nutzen, wann immer die externe Umgebung geeignete Chancen bietet.

Um BIM zu fördern, ist es entscheidend, führende Unternehmen auf dem Baumarkt zu beteiligen, indem das Potenzial zur Reduzierung von Investitionskosten hervorgehoben wird, um so die Einführung von BIM zu fördern. Darüber hinaus kann die Einführung spezialisierter BIM-Programme an Universitäten die derzeitige Kompetenzlücke angehen. Durch die Bereitstellung spezialisierter Kurse werden diese Programme dazu beitragen, in den nächsten Jahren eine Belegschaft hervorzubringen, die in verschiedenen BIM-Anwendungen versiert ist.

Darüber hinaus sollten strategische Initiativen Folgendes umfassen:

- **Branchenpartnerschaften:** Zusammenarbeit mit führenden Bauunternehmen, um erfolgreiche BIM-Projekte und ihre kostensparenden Vorteile zu präsentieren.
- **Regierungsunterstützung:** Einsatz für Regierungspolitiken und Anreize, die die BIM-Adoption in öffentlichen und privaten Projekten fördern.
- **Aufklärungskampagnen:** Durchführung von Workshops, Seminaren und Konferenzen, um das Bewusstsein für die Vorteile von BIM unter den Akteuren der Branche zu schärfen.
- **Kontinuierliches Lernen:** Einrichtung von kontinuierlichen beruflichen Entwicklungsprogrammen, um die Praktiker über die neuesten BIM-Technologien und -Praktiken auf dem Laufenden zu halten.

Durch die Umsetzung dieser Strategien kann die Ukraine eine solide Grundlage für die erfolgreiche Integration der BIM-Technologie schaffen, was letztendlich zu effizienteren, kostengünstigeren und innovativeren Baupraktiken führt.



KAPITEL 8 / CHAPTER 8⁸

COMPLEX FORMATION IN SOLUTIONS

DOI: 10.30890/2709-2313.2024-30-00-002

Introduction

Intermolecular interactions between mixture components may lead to the formation of molecular complexes and associates. It affects greatly macroscopic properties of mixtures which might become nonlinear dependent on mixing ratio [1]. Knowledge of the molecular structure of mixtures allows obtaining solutions with predefined characteristics [2]. From this point of view, methanol-chloroform liquid solution is interesting due to its wide application in different areas. For example, it is used in lipids extraction and separation from microorganisms by Folch method [3]. Changing the methanol-chloroform mixing ratio allows changing dye absorption and fluorescence emission maximum [4–6]. The physical and chemical properties of methanol-chloroform solutions show nonlinear dependence on the concentration of components, temperature, etc. Concentration dependence of viscosity [7], density [7,8], and excess thermodynamic functions [9,10] are essentially nonlinear.

The reason for this is the complicated inner structure of methanol mixtures which show heterogeneity at a molecular level [11–17]. Methanol tends to be self-associated and to form molecular complexes with chloroform due to hydrogen-bond and halogenbond formation [18]. This phenomenon was investigated by different experimental techniques: core-level photoelectron spectroscopy [19], NMR spectroscopy [6,20–22], optical Kerr effect spectroscopy [23], polarized Raman spectroscopy [21] and molecular dynamics simulations [24,25].

On the other hand, vibrational spectroscopy is an extremely valuable tool for the investigation of intermolecular interactions. It is sensitive to vibration splitting due to molecular associates and complex formation. The purpose of this study is to analyze the complex formation in a methanol-chloroform solution by Fourier Transform Infrared (FTIR) absorption and Raman spectroscopy. These spectroscopic techniques provide complementary information about the investigated system. Multivariate curve

⁸Authors: Lemeshko Vasyli



resolution [26] (MCR) techniques are used to obtain quantitative information about mixture components. Quantum chemical calculations combined with quantum cluster equilibrium theory [27] were used to interpret experimental data. It was shown that a minimal cluster set can adequately explain MCR results and excess enthalpy of mixing.

8.1. Theoretical part

8.1.1. Multivariate curve resolution

Multivariate curve resolution (MCR) techniques allow us to obtain quantitative information about the investigated system. The main goal of MCR is to calculate concentration matrix C and spectral profiles matrix S using the measured spectra matrix D .

Mathematically speaking, the main goal is the non-negative matrix factorization of D [28,29]:

$$D = CS^T + E \quad (1)$$

Here E - is the residuals matrix. One of the widely used decomposition methods is MCR using alternating least squares (ALS) [26,30]. Bilinear decomposition (1) is an example of blind source separation [31] because the number of all mixture components is often unknown. Principal component analysis can be used to deduce the number of components [32,33]. However, it should be used with caution because it may result in the wrong number of chemical components, especially for quasi-ideal mixtures [34].

Quantitative analysis of mixture components may suffer from ambiguities of bilinear decomposition (1) [35,36]. Rotation ambiguity is caused by spectra overlapping. Its presence means that the resulting profiles of MCR solutions are unknown linear combinations of real component profiles. It should be taken into account during MCR analysis of vibrational spectra of hydrogen-bonded liquids and solutions because the vibrational frequency shift caused by the hydrogen bond formation is small [37]. Moreover, MCR solutions suffer from intensity ambiguity. Therefore, only the shape of the true profile can be determined without using any



additional information.

All prior information about the investigated system can be used to avoid non-physical solutions and to reduce or eliminate ambiguities of the obtained solutions. Examples of such information can be the non-negativity of spectra and concentration profiles, known concentration values and/or known component spectra, and the known local rank of the system. However, using all known information cannot guarantee the uniqueness of the obtained data [35,38]. To obtain band boundaries of the feasible solutions, nonlinear optimization techniques can be used [39,40].

On the other hand, multiset data (e.g., data obtained by different experimental techniques) could be used to eliminate the ambiguity of MCR decomposition.. It has been shown that this approach can essentially reduce decomposition ambiguity compared to a single dataset decomposition [41,42]. Infrared absorption spectra and Raman spectra contain complementary information, so it is possible to use the following augmented dataset for decomposition:

$$\left[\mathbf{D}_{Raman}, \mathbf{D}_{ATF\ FTIR} \right] = \mathbf{C} \left[\mathbf{S}_{Raman}, \mathbf{S}_{ATF\ FTIR} \right]^T + \left[\mathbf{E}_{Raman}, \mathbf{E}_{ATF\ FTIR} \right] \quad (2)$$

8.1.2. Quantum cluster equilibrium theory

The basic idea of the quantum cluster equilibrium (QCE) theory is that the cluster picture of dense gases can be continuously expanded into the region of condensed states by varying the clusters distribution for each pair of values T and P [43]. The existence of the gas–liquid critical point leads to the continuity of the transition from gas to liquid. QCE thermodynamic properties of the liqliquid phase system can be represented by a finite set of clusters that are dominant in the fixed values of the thermodynamic parameters. Thus, the investigated system is considered as a mixture of clusters of different sizes and shapes (topologies) [27]. Thermodynamic properties of the system are determined using the partition function, which has the following form for the binary solution [44]:

$$Q^{tot}(\{N_p\}, V, T) = \prod_{p=1}^N \frac{1}{N_p!} \left(q_p^{rot}(t) q_p^{vib}(t) q_p^{el}(t) \left(\frac{2\pi m_p k_B T}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} (V - V_{ex}) e^{\frac{u_p^{int}}{k_B T}} \right)^{N_p} \quad (3)$$



Here p , N_p are the types of the particle (monomer, complex, or associate) and its quantity; $q_p^{r,vib,el}(T)$ is a contribution of the corresponding degrees of freedom to the single-particle partition function obtained by quantum chemical calculations. V_{ex} is an excluded volume correction, which for a binary solution has the form

$$V_{ex} = b_{xv} \sum_{p=1}^N N_p (i(p)v_1 + j(p)v_2),$$

where $i(p)$, $j(p)$ are numbers of monomers of type 1 and 2 in the complex of type p . The residual intercluster interaction is described using mean-field approximation and

has the form of $u_p^{\text{int}} = -\frac{a_{mf}(i(p) + j(p))}{V}$.

It is worth noting that particle concentration $\{N_p\}$, and pressure P are calculated due to the minimization of Gibbs energy. Additional experimental data (for example, density, isobars, or phase transition temperature) are required to obtain values of the empirical parameters a_{mf} and b_{xv} . The detailed algorithm of the thermodynamic functions calculation using QCE theory can be found elsewhere [43,45,46].

8.2. Experimental part

8.2.1. Samples

Methanol and chloroform with the purity of 99.9 % and 99.8 % were used in this research (Sigma-Aldrich numbers 646,377 and 366927, respectively). The temperature of the liquid samples was $25 \pm 0.4^\circ\text{C}$. The concentration of components in the methanolchloroform solutions was changed from 0 % to 100 % (in volume %). Diluted samples of binary liquid solutions with 5 ± 0.1 % increments were prepared with the usage of Eppendorf Pipette Research Plus (volume 100–1000 μL). Each sample was stored in glass vials with a screw cap (volume 1.5 ml).

8.2.2. FTIR spectroscopy

Reflection spectra in the mid-infrared region were registered using FTIR



spectrometer Thermo Scientific Nicolet iS50 equipped with a single-bounce diamond attenuated total reflection (ATR) accessory. All the ATR spectra were measured with the spectral resolution of 4 cm^{-1} . The number of scans for each spectrum was 32. The obtained spectral resolution is sufficient to study the IR spectra of molecular liquids where the half-width of vibration bands is rarely smaller than 5 cm^{-1} . ATR-FTIR measurements were carried out with the usage of an aluminum cylinder with a round through-hole (diameter 4 mm) located between the ATR crystal and high-pressure clamp accessory. Liquid samples were inserted in the hole of the aluminum cylinder with Eppendorf Pipette Research Plus (volume 100–1000 μL) and tightly fixed with a high-pressure clamp accessory to avoid evaporation of liquid outside the assembly during the measurement time of several minutes.

8.2.3. Raman spectroscopy

All Raman spectra were measured with the spectral resolution of 3 cm^{-1} at the excitation wavelength of 785 nm. Laser power was 100 mW for each measurement. Heating of the sample almost did not occur during the measurements due to the small value of absorption coefficient at the excitation frequency. Liquid samples were inserted in the hole of the aluminum cylinder with Eppendorf Pipette Research Plus (volume 100–1000 μL) and covered with a lid. More details about the experimental setup could be found in the paper [47].

8.3. Results and discussion

8.3.1. Raman and ATR FTIR spectra

The vibrational spectra of the methanol-chloroform solutions were measured within the ranges $900\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$ and $2700\text{--}3700\text{ cm}^{-1}$. Residual spectra were calculated to separate the regions where spectral intensity depends nonlinearly on the concentration. The calculation of residual or excess spectra SE is like the calculation of excess thermodynamics functions: the ideal mixture spectrum is subtracted from the



real spectrum [48,49]:

$$S^E(\varphi_1, \varphi_2, \nu) = S(\varphi_1, \varphi_2, \nu) - S_{id}(\varphi_1, \varphi_2, \nu) = S(\varphi_1, \varphi_2, \nu) - \varphi_1 S_1^0(\nu) - \varphi_2 S_2^0(\nu). \quad (4)$$

Here S_1^0 , S_2^0 are volume fractions of mixture component. S_1^0 and S_2^0 are spectra (optical density or Raman intensity) of the corresponding pure component. Equation (4) differs from the original form of the excess spectrum, which were calculated for molar absorptivity and molar fractions were used instead of volume fractions. If there are several types of molecular complexes in the solution, they should cause residual spectral intensity extrema in the corresponding spectral and concentration ranges.

Mid-IR ATR and Raman spectra of the methanol-chloroform solution are presented at different mixing ratios in Fig. 1 and Fig. 2. Residual spectra were calculated using Eq. (4) with interpolated densities from [8] and presented in Figs. 3-4. Volume fractions were recalculated into molar fractions for better representation.

The residual optical density map (Fig. 3a) and residual Raman intensity map (Fig. 3b) in the range of 900–1300 cm^{-1} show that residual intensity at 1215 cm^{-1} (CH bending vibration of chloroform [50]) is decreased, while a new vibration peak at 1240 cm^{-1} similar to the diethyl ether-chloroform [51] and acetone-chloroform [52] solutions appeared. The presence of this peak is connected to the bending vibration of the chloroform molecule as part of the complex with methanol. The maximal residual intensity is reached at approximately 0.65 mol. fraction of methanol. At the same time, the new residual peak at 3017 cm^{-1} reaches its minimal value for Raman spectra (Fig. 4 b), but its residual ATR FTIR intensity is positive. It can be interpreted as red-shifted CH stretching vibration of chloroform as a part of a complex. Another vibration peak appears at 3629 cm^{-1} both in IR and Raman spectra (Fig. 2). It is the region of free OH stretching vibrations of methanol. The residual spectral maps (Fig. 4) show that this peak reaches maximal residual intensity at 0.3 M fraction of methanol. During complex formation, changes in the vibration frequency occur not only in the OH stretching vibration of methanol but for C-O stretching vibration as well. C-O stretching vibration of methanol (1029 cm^{-1}) splits at the low concentration of methanol, a new peak appears at 1016 cm^{-1} and it indicates the hydrogen bonding of methanol with chloroform.



Excess spectra provide higher spectral resolution compared to the analysis of raw spectra. Thus, the analysis of residual maps (Figs. 2, 3) indicates the presence of at least two types of complexes in the investigated solution. The non-zero residual intensity of corresponding peaks indicates that the complexes exist in the whole concentration range of the investigated solution.

8.3.2. Multivariate curve resolution method

Four component decomposition of methanol-chloroform spectra was performed. Such models are supported by the analysis of residual spectra and PCA analysis of ATR FTIR and Raman datasets. All calculations were performed using MATLAB graphical user interface [53]. 'Pure' spectra obtained by SIMPLISMA [54] were used as the initial estimates of the spectral profiles. The following constraints were applied during the optimization processes: spectra and concentrations non-negativity, closure condition, and known values for the concentrations (in the ranges of pure methanol and pure chloroform). Non-linear optimization by MCR-BANDS [40] was used to determination of the band boundaries of the feasible solutions obtained by MCR-ALS.

It seems that we should obtain identical concentration profiles of the mixture components because both figures represent the same system. However, the profile shapes and the concentration values were different. We also observed that MCR-ALS results were dependent on the spectral range chosen for the analysis. This can be explained by the fact that spectral regions with vibrational modes which are directly involved in the intermolecular bond formation provide a much more significant impact on the spectral intensity compared to the spectral regions with vibration modes unrelated to the formation of the intermolecular bond. A similar concept can be applied to the differences in the concentration profiles obtained after the separate analysis of ATR FTIR and Raman data. In some cases, the ATR FTIR part of the vibrational spectrum can be more sensitive to the complexation effects than Raman data and vice versa.

To avoid ambiguities connected with the choice of the type of vibrational spectra



and spectral ranges, we carried out the four-component decomposition of the extended matrix of the spectral data which includes ATR FTIR and Raman datasets in both “fingerprint” and high-frequency spectral ranges (Figs. 1, 3). Obtained spectral and concentration profiles of the mixture components are presented in Figs. 5-6. Components were identified as ‘pure’ chloroform, ‘pure’ methanol, complex 1, and complex 2. It should be noted that we consider complex as some ‘effective’ structure unit due to the dynamical structure of liquid.

The obtained concentration profiles are not unique due to the presence of rotation ambiguity (Fig. 6). The concentration profile of methanol is resolved with the least ambiguity, because of Manne’s theorem 1 condition is satisfied [55,56]. The condition is the following: all interfering component that appear inside the concentration window of methanol should also appear outside this window. As can be seen from Fig. 6 that if the total molar fraction of methanol is small (0.0–0.2), then the only two components are present in the solution: the ‘pure’ chloroform and complex 2. Further increase in the concentration of methanol leads to the formation of complex 1. The concentration of the ‘pure’ methanol becomes non-zero when the total molar fraction of methanol becomes greater than 0.4. The maximal population of the complex 1 is achieved at 0.75 total molar fraction of methanol. It corresponds to the chloroform/methanol ratio of 1:3. It can also be said that this ratio represents the stoichiometry of the dominant complex type in this range. The maximum population of complex 1 is approximately 0.43 mol. The complex 2 is the dominant structural unit in the region where the total concentration of chloroform is large. The maximal population of the complex 2 is achieved at the total molar fraction of methanol 0.45. The ratio of chloroform and methanol is 1.2:1. The maximum fraction of the complex is in the range from 0.28 to 0.46. The resulting spectra of the ‘pure’ chloroform and ‘pure’ methanol (Fig. 5) obtained by the decomposition were practically identical to the corresponding bulk liquid spectra (Fig. 1). It means that there are spatial regions in the solution with the same local structure as in the bulk methanol and chloroform. As it can be seen from Fig. 5 that both ATR FTIR and Raman spectra of the complex 2 have a peak maximum at the frequency of 3670 cm^{-1} . This peak corresponds to stretching vibrations of the



free and quasi-free OH groups of methanol [50]. The absence of the corresponding peaks in the spectra of the complex 1 and 'pure' methanol can indicate that the dominated structural units contain cyclic methanol associates formed due to the OH...O hydrogen bond [57,58]. Species which contain free and quasi-free OH group are not dominant and corresponding vibrations are not detectable [59].

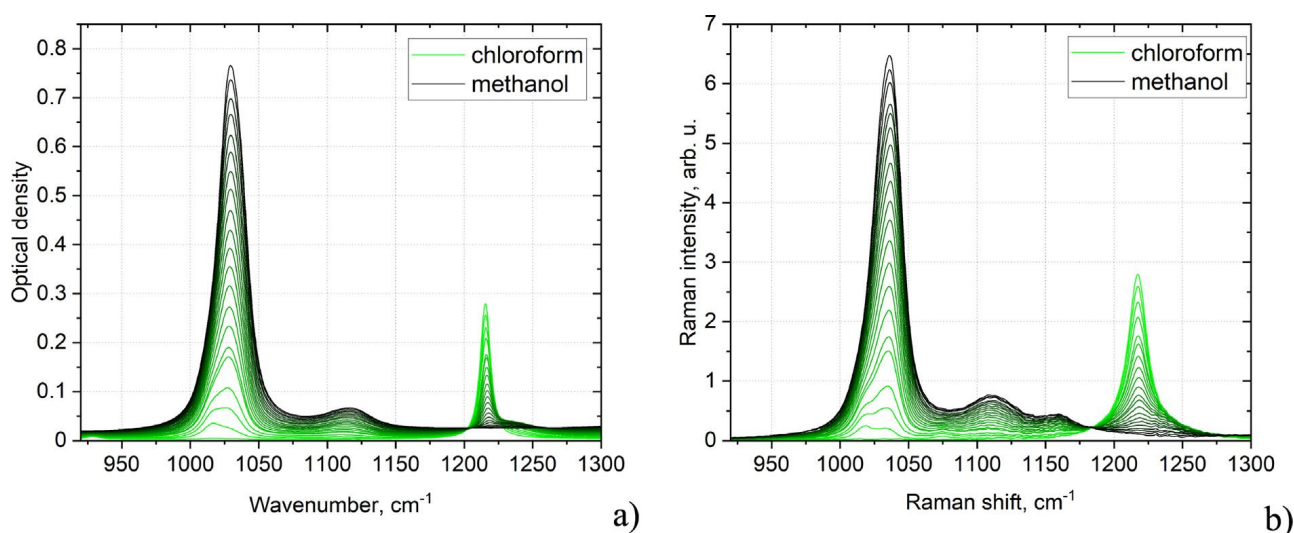


Figure 1 - ATR FTIR absorption (a) and Raman spectra (b) of the methanol-chloroform solution at different compositions (step 5 % vol.) in the range of 900–1300 cm⁻¹.

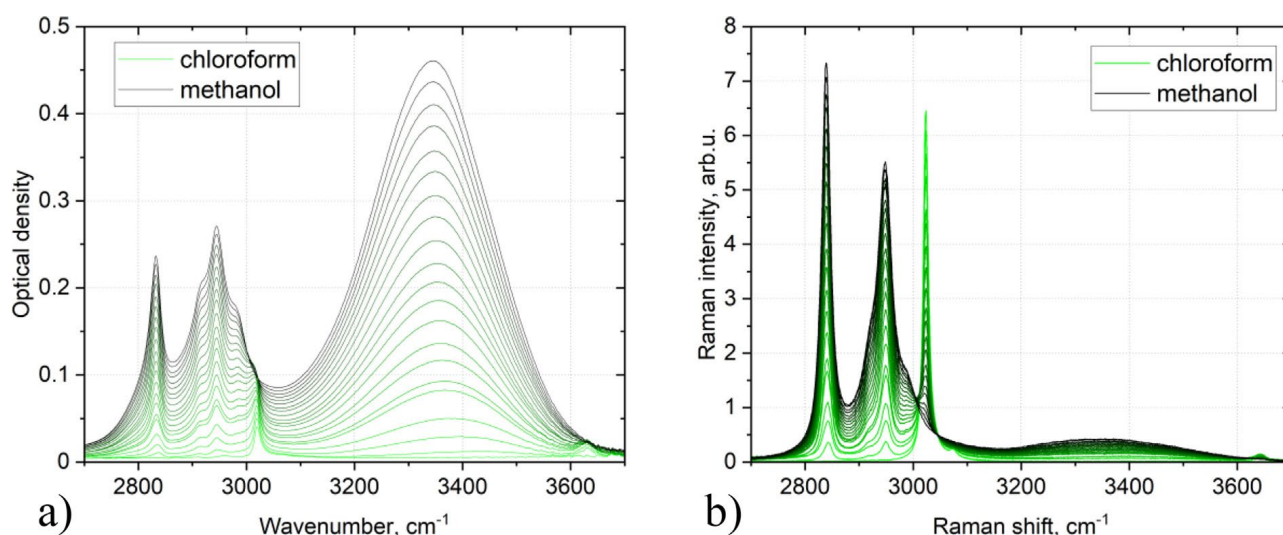


Figure 2 - ATR FTIR (a) and Raman spectra (b) of the methanol chloroform solution at different compositions (step 5 % vol.) in the range of 2700–3700 cm⁻¹.

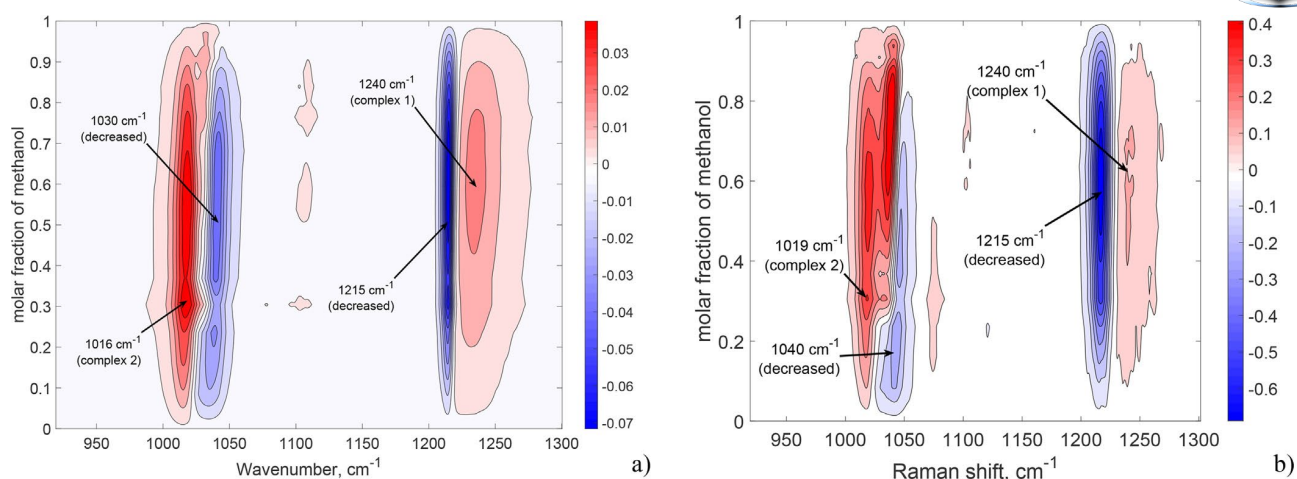


Figure 3. 2D maps of ATR FTIR (a) and Raman (b) residual spectra of the methanol-chloroform solution in the range of 900–1300 cm^{-1} .

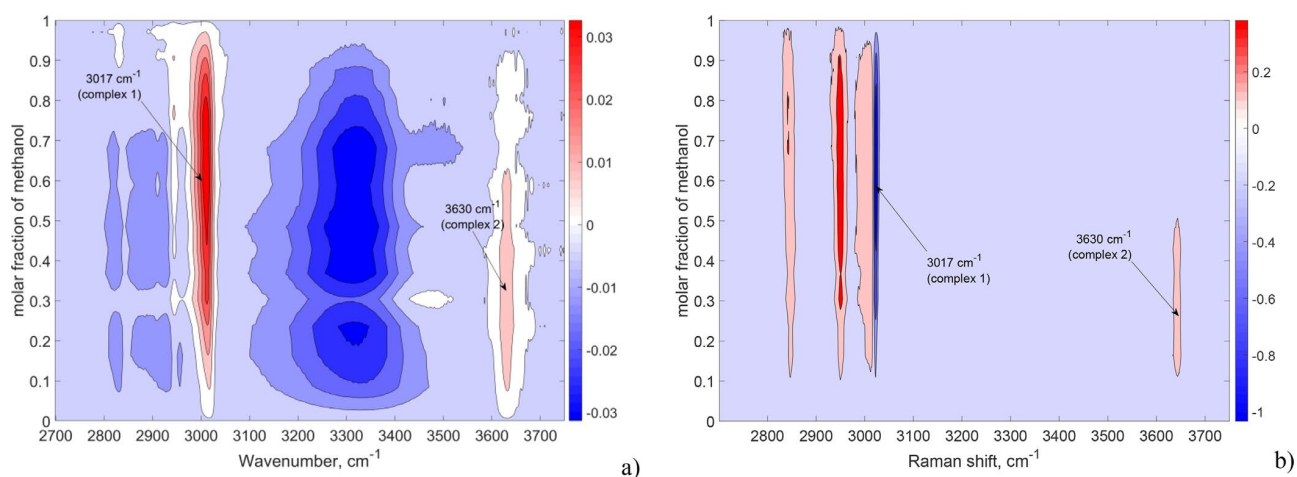


Figure 4 - 2D maps of ATR FTIR (a) and Raman (b) residual spectra of the methanol chloroform solution in the range of 2700–3700 cm^{-1} .

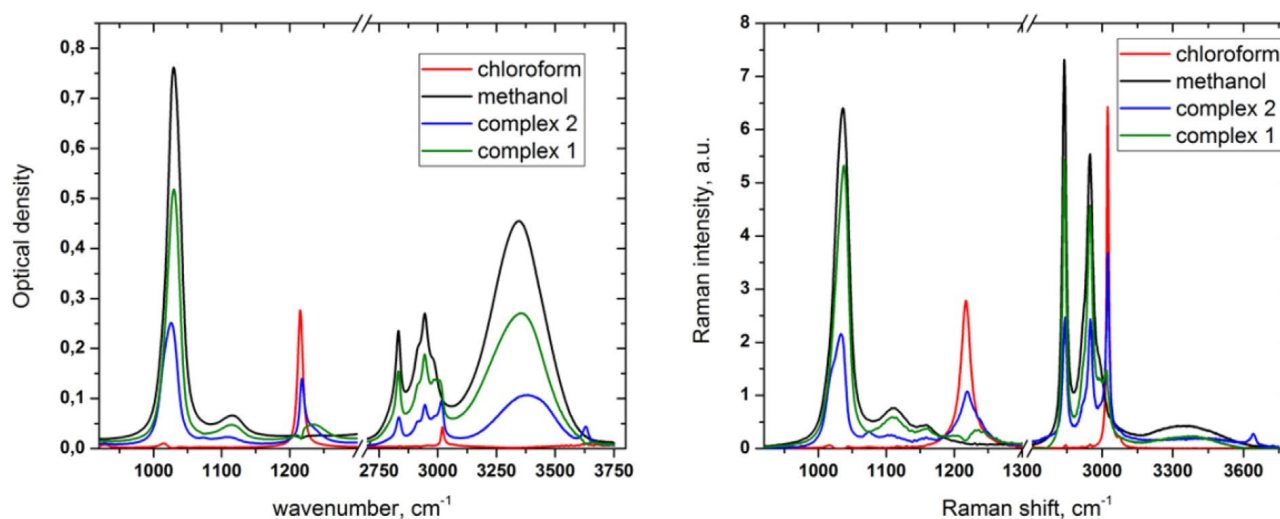


Figure 5 - Spectral profiles (left - optical density; right - Raman intensity) of the



mixture components obtained using MCR-ALS decomposition.

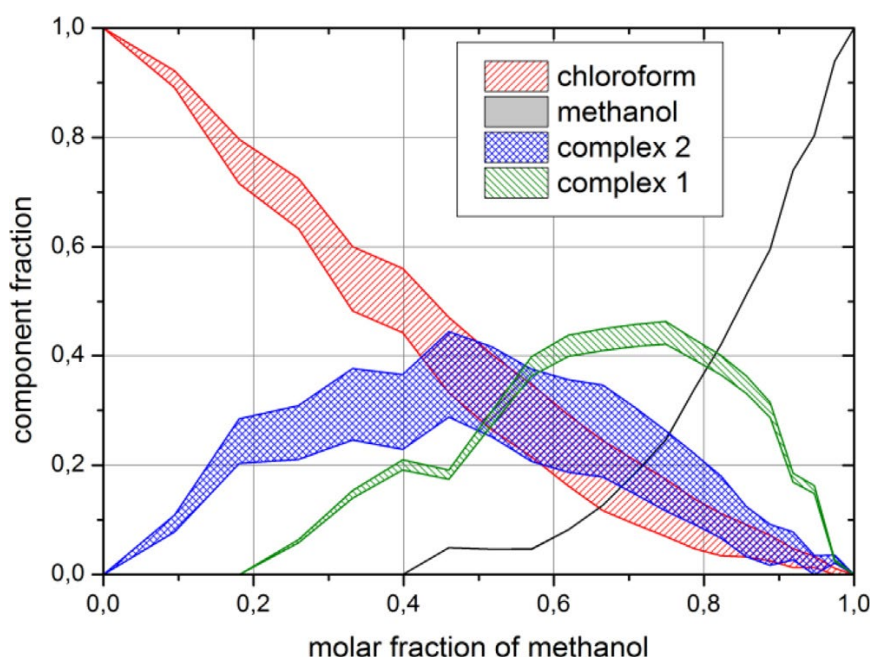


Figure 6 - Concentration profiles of the mixture components. Stained areas – regions of feasible solutions obtained by MCR-BANDS.

8.3.3. QCE calculations

As was mentioned in 2.2, the given set of clusters should be used to calculate the partition function which is necessary to obtain the thermodynamic functions of the investigated system. Since liquid-phase systems are modeled by finite sets of clusters, the determination of the set of dominant structures making the major contribution to the macroscopic characteristics is not an easy task [27,44,60]. In particular, it has been shown that it is important to highlight dominant topologies (for example, cyclic or linear clusters) and, using even the small set of clusters, we can adequately describe thermodynamics of pure liquids [27,60] and binary mixtures [44,61].

The cluster set used for the QCE calculations is shown in Fig. 7. The quantum chemical calculations were displayed on the charts using the GAMESS [62,63] package by the method of density functional (DFT) at the B3LYP/cc-pVTZ theory level. Gradient convergence tolerance was set to 10^{-7} . SCF density convergence criterion was set to 10^{-6} . We consider a minimal set of clusters to describe qualitative features



of the methanol-chloroform solution. We consider monomer, dimer and trimers of methanol. We limit ourselves with cyclic trimers of methanol because it was reported that cyclic clusters of methanol are the most stable [57,58]. We consider monomer and dimers of chloroform since chloroform can form weakly bonded dimers [64,65]. Initial geometries of clusters were built manually using the optimized structure of monomers of chloroform and methanol. The absence of imaginary frequencies was the confirmation of the optimized geometry.

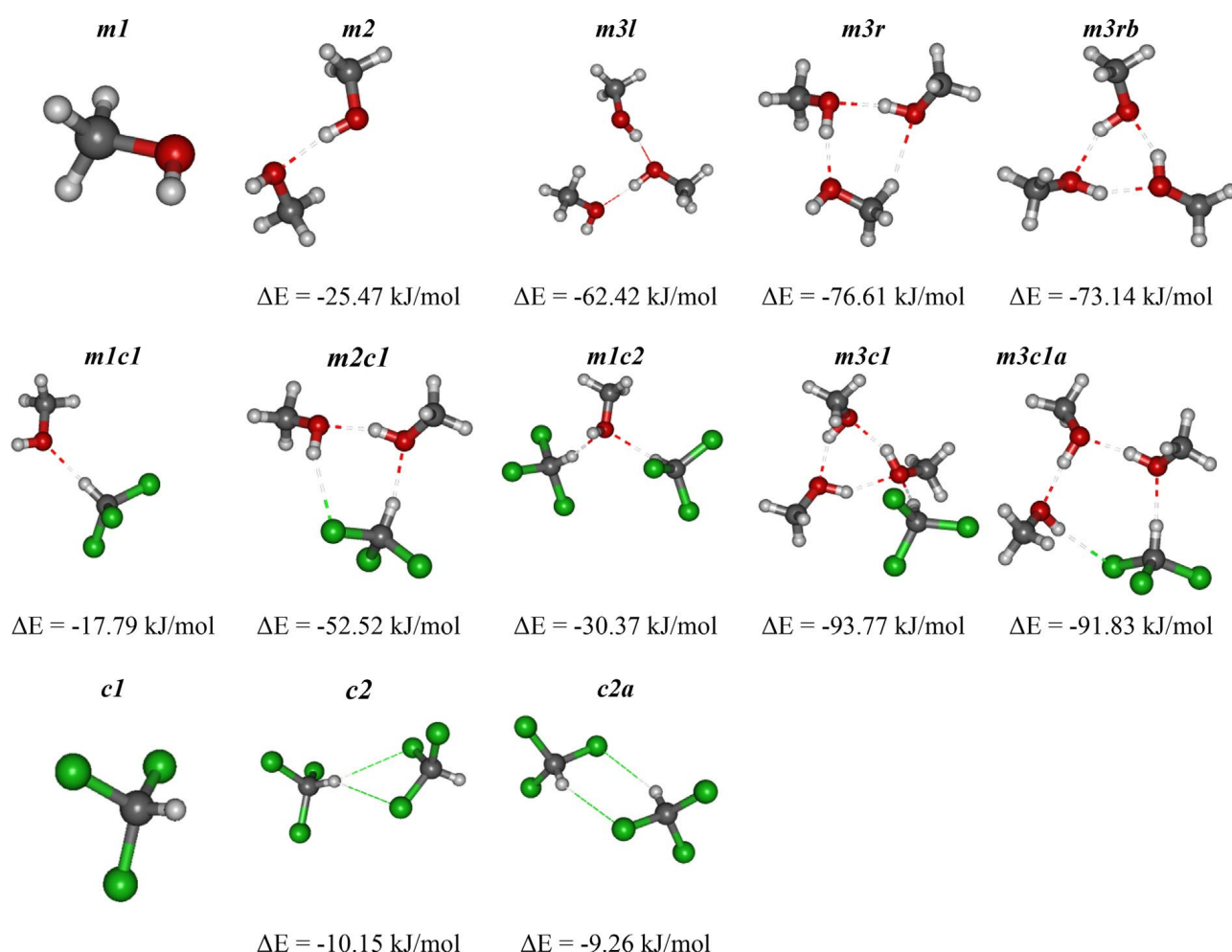


Figure 7 - The cluster set used for QCE calculations.

The QCE calculations were performed using PEACEMAKER [45,46] software. Theoretical calculations were performed in two ways: a) 'fully sampled' model with reference data, and b) using the linear mixing rule with effective parameters a_{mf} and b_{xv} found as a linear combination of the corresponding pure liquid values. The density of the methanol-chloroform solution at different mixing ratios [8] and its boiling



temperature were used as the reference data. The methanol-chloroform solution is azeotropic not for all concentrations and there are temperature intervals of the coexistence of two phases [66]. Therefore, the average temperatures of the two-phase coexistence region were chosen as the values of the boiling point. The calculations were performed for a fixed pressure 101.325 kPa and temperature range 278.15–378.15 K. The cluster volumes were calculated as van der Waals volumes, where corresponding radii values were taken from Bondi's compilation [67]. The parameters a_{mf} and b_{xv} were optimized in the range of 0.01–2.0 to get the best reproduction of boiling temperature and density of the mixture.

The resulting concentration profiles of the mixture components for 'fully sampled' model are shown in Fig. 8. Concentration profiles obtained by different models are very similar. It can be seen that the cyclic trimers of methanol are dominant, and the linear trimer concentration is negligible in the pure methanol. This is consistent with the absence of the free OH stretching vibrations in the spectrum of pure methanol (Figs. 1, 2). It is also in line with the literature results which indicate the domination of cyclic structural units of different stoichiometry [57,68,69]. Monomers are dominant units in the liquid chloroform. Molecular complexes are the dominant structural units in the region of medium concentrations. The complex m3c1 reaches the maximal molar fraction of 0.55 at the methanol molar fraction of about 0.70. The position of the maximum and stoichiometry of the complex correlate with the results obtained by the method of multivariate curve resolution. The population of the complex m3c1a, which contains linear methanol trimer, also reaches its maximal value of 0.05 at this fraction of methanol. The population of the complex m1c1 is much smaller and reaches its maximal value of 0.065 at the methanol molar fraction of 0.3 (Fig. 8 b).

The integral concentration profiles of the mixture components are shown in Fig. 9. The complexes were divided into two groups to correlate with the concentration profiles obtained by the MCR decomposition. Group 1 contains only the complex m3c1. This complex contains the cyclic trimer of methanol (Fig. 9) and it is in line with the fact that the corresponding MCR spectral profile does not contain free OH stretching vibrational peaks (Fig. 5).

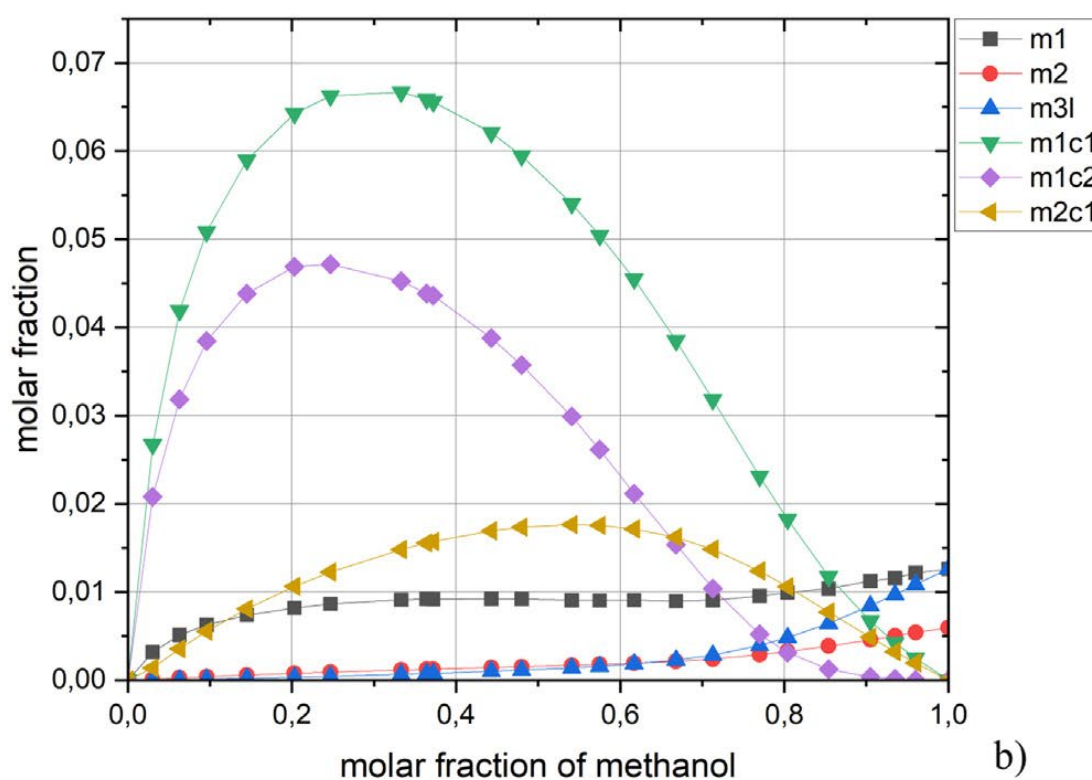
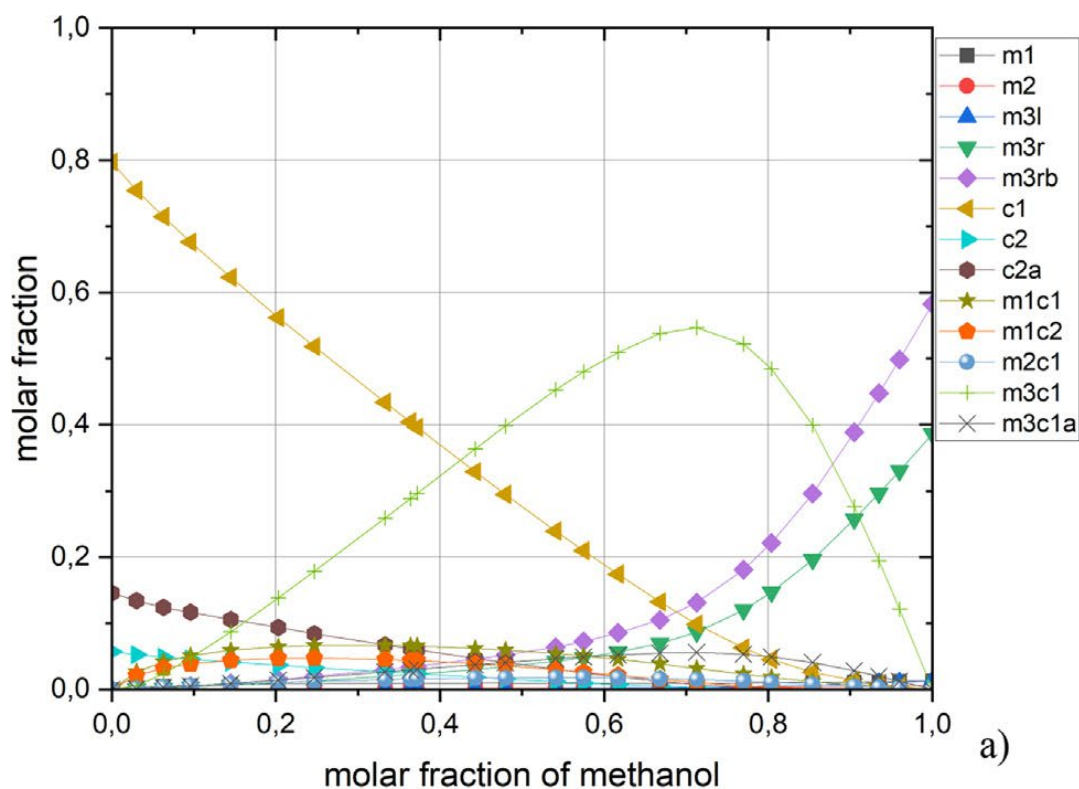


Figure 8 - Theoretically calculated concentration profiles of all components using 'fully sampled' approach (a); (b) – concentration profiles with the smallest concentrations.



Group 2 contains the complexes m1c1, m1c2, m2c1, m3c1a. The maximum value of the integral population is 0.2 and it is reached at the methanol molar fraction of 0.5. It also correlates with the position of the complex 2 maximal concentration obtained by MCR (Fig. 6). The absence of cyclic structures of methanol supports such interpretation of the complex 2. As it was discussed above, the spectral profile of complex 2 contains the free OH stretching vibrational peak (Fig. 5).

The comparison of the integral concentration profiles obtained by the QCE calculations (Fig. 9) and MCR concentration profiles (Fig. 6) shows that the MCR profiles should be interpreted as profiles of averaged or 'effective' structures.

We computed the concentration dependence of excess enthalpy using the given cluster set. The calculated and experimental excess enthalpy is presented in Fig. 10. Both models, 'fully sampled' and the model with linear mixing rule are able to explain features of excess enthalpy. However, the 'fully sampled' way allows us to explain this dependence more quantitatively.

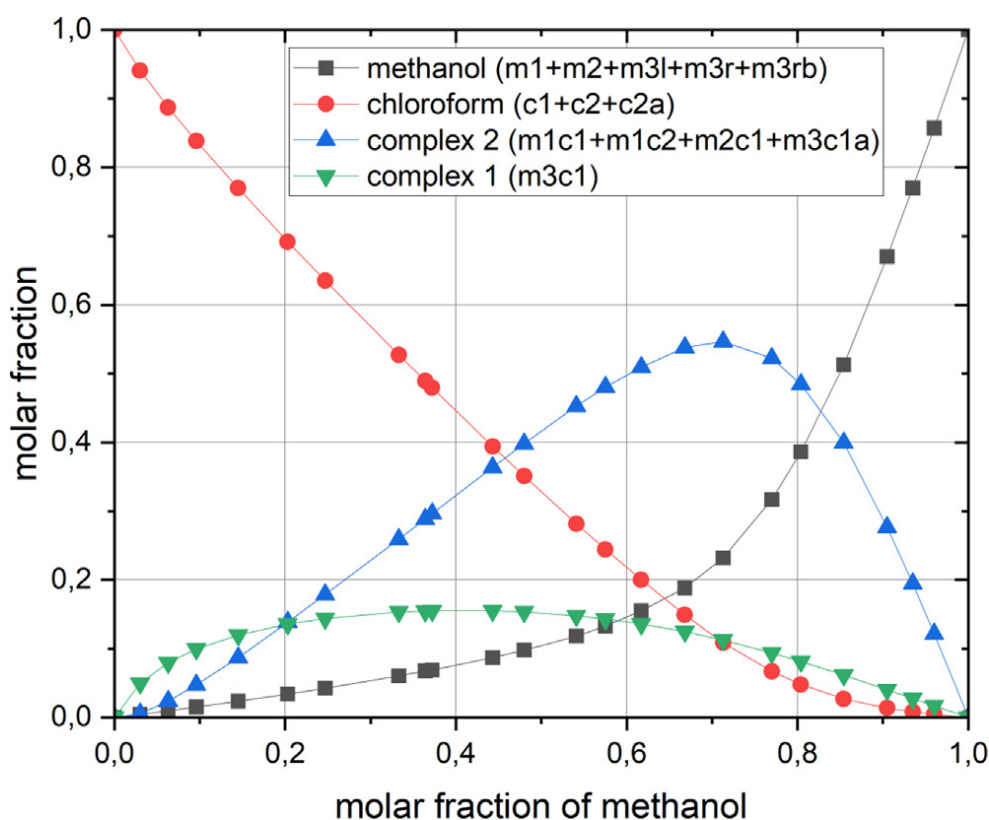


Figure 9 - Theoretically calculated integral concentration profiles of the mixture components using 'fully sampled' approach.

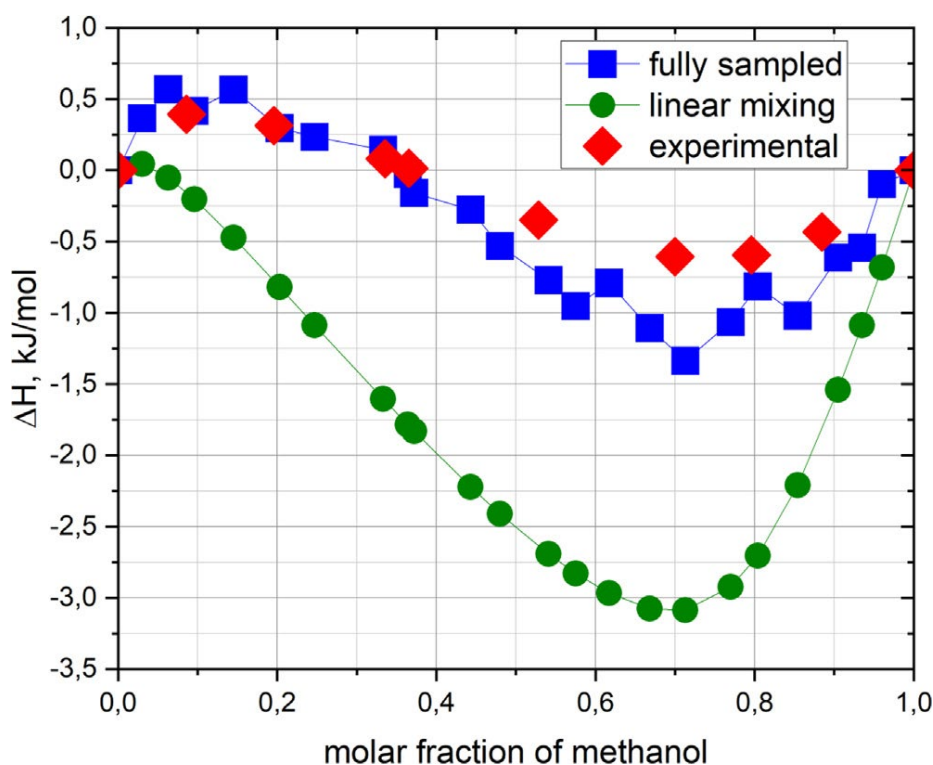


Figure 10 - Comparison of the experimental [72] and theoretically calculated values of excess enthalpy.

Non-monotonic concentration dependence of excess enthalpy can be explained by the presence of the associates of methanol in pure methanol and its complex formation with chloroform. The methanol associates dissociation requires additional external energy. The exothermic effect of the complex formation is low at a low concentration of methanol due to the small amount of molecular complexes ($m1c1$, $m1c2$). It can explain the positivity of the excess enthalpy value at the low concentration of methanol. When the concentration of methanol increases, the concentration of the complex $m3c1$ is maximal. The complex contains a cyclic structure of methanol which is also the dominant structural unit in pure methanol. Thus, the exothermal effect of the complex formation prevails over the endothermic effect of the methanol associates dissociation and therefore the excess enthalpy is negative. The interaction between the associates dissociation and the complex formation leads to the alternating sign of the excess enthalpy concentration dependence [70]. It is worth noting that the obtained results correlate with the results obtained in the framework of the model of ideal associated solution [71], non-ideal associated solution [10,72],



athermal associated solution [20] and quasi-chemical non-ideal associated solution [73].

Summary and conclusions.

We studied complex formation in methanol-chloroform mixtures using ATR FTIR and Raman spectroscopy with the assistance of quantum cluster equilibrium modeling.

The analysis of vibrational spectra shows that the investigated solutions consist of four kinds of species: 'pure' methanol, 'pure' chloroform, and two types of hydrogen-bonded molecular complexes. Molecular complexes exist in the whole concentration range. Local surroundings of 'pure' components are similar to those in the bulk state due to the great similarity of their vibrational spectra.

QCE calculations help to explain the obtained MCR results qualitatively by introducing dominated cluster topologies. The obtained concentration dependences of the mixture components correlate with the experimental ones obtained by MCR-ALS. There are two dominant complexes in the methanol-chloroform solution according to QCE calculations: complex m3c1 which contains the cyclic structure of methanol and complex m1c1. This correlates with the shapes of spectral profiles obtained by MCR decomposition. The spectral profile of the complex m1c1 contains the free OH stretching vibration at 3670 cm^{-1} . Spectral profiles of the complex m3c1 and pure methanol do not contain such a peak, thus it allows to conclude the dominating contribution of cyclic structures to the corresponding spectra. The simplified cluster set used for the QCE calculation can explain the sign alternating of the concentration dependence of excess enthalpy of mixing. A more accurate description can be obtained with an extended cluster set.



KAPITEL 9 / CHAPTER 9⁹

THERMOSTABILITY OF PDC: FACTORS AFFECTING THERMOSTABILITY AND WAYS TO IMPROVE IT

DOI: 10.30890/2709-2313.2024-30-00-012

Introduction

PDC (polycrystalline diamond compact) inserts are a highly sought-after product in the manufacturing of cutting tools for non-ferrous materials, mining, oil and gas drilling. Their outstanding properties, including high hardness, high thermal conductivity, high impact resistance and wear resistance, make them an invaluable addition to any production line.

The creation of diamond carbide inserts (PDC – polycrystalline diamond compact) marked a significant advancement in the improvement of diamond drilling tools. Today, they are the most important drilling tools for most geological formations in the exploration and drilling of oil and gas fields. The annual market for PDC tools exceeds 4.5 billion dollars [1]. This result was achieved due to the excellent properties of PDC inserts, including high hardness, thermal conductivity, impact resistance, and wear resistance. Drill bits equipped with PDC cutters have gained significant market traction in oil and gas drilling due to their long service life and ability to maintain high penetration rates.

9.1. PDC plate technology and its disadvantages

Traditionally, PDC wafers are fabricated at pressures and temperatures of about 5.5 GPa and 1400°C.

The process of sintering of diamond grains during the production of ATP can be divided into 3 stages [2].

The first process is pressure creation in the apparatus, which occurs without heating of the reaction volume. During the application of pressure to the diamond-

⁹*Authors: Sokolov Oleksandr Mykolaiovych, Harhin Vladyslav Herasymovych*



bearing layer, there is a notable reduction in its porosity. Consequently, if the porosity of the diamond briquette is 45% in a state of free filling, it will decrease to 19% after the effect of pressure. At this stage, the shrinkage process occurs due to the crushing, slipping, and packing of diamond grains.

The second stage of sintering is defined as the period of heating the reaction volume of the AHF from room temperature to the temperature at which the liquid phase is obtained. The duration of this non-isothermal period is dependent on the specific sintering technology in use. The shrinkage of the diamond layer of ATP at this stage of solid-phase sintering occurs primarily in accordance with the mechanisms of thermal activation of the grain packing process and the mechanism of plastic flow. The porosity of the diamond layer at the conclusion of this sintering stage is approximately 10%.

The third stage of sintering commences when the temperature of impregnation of the diamond layer with the liquid phase is reached. The duration of isothermal holding at this stage is also dependent on the specific sintering technology in use.

The impregnation process is initiated by the pressure differential between the porous substrate, which is subjected to uniform compression, and the pores of the diamond layer, where the pressure is approximately equal to atmospheric pressure.

As the melt penetrates the diamond layer, the liquid-phase sintering process begins. This involves further reduction of porosity and increase in the degree of plastic deformation of diamond grains. The final porosity of the diamond layer, calculated by the volume content of the binder phase filling the pore, is 4%.

The micro-X-ray spectral analysis data indicates that the bonding phase of the diamondiferous layer of the plate contains 65–70% (by mass) of Co and 30–35% W. This ratio of components is consistent with the composition of the Co-WC eutectic, as shown in the W-Co-Co system state diagram.

The conventional high-pressure, high-temperature (HPHT) PDC manufacturing technique has inherent weaknesses due to the unavoidable presence of metallic components that act as a bonding agent to bind the diamond grains in the PDC diamond layer.

Experimental results [3–9] have demonstrated that at temperatures above 650°C,



there is a significant decline in the physical and mechanical properties of the diamond layer. The reasons for this phenomenon are as follows:

1. At temperatures above 650 °C, diffusive interaction between diamond particles and cobalt occurs, resulting in the conversion of diamond back to graphite.
2. During rock drilling, a large amount of frictional heat is generated, the PDC material is subjected to high stresses in which the cutting edges of cobalt-bonded PDC are prone to micro-cracking, and diamond particles fall out/break when the stress exceeds the bonding strength of the diamond grains in the PDC cutters at a certain temperature. The reason for this can be attributed to the differences in the elastic modulus and coefficient of thermal expansion between the metallic cobalt bond and diamond, which can lead to a mismatch between the volume change of diamond and bond under high stress and high temperature conditions. This results in high stresses within the PDC material, leading to early failure.

Consequently, to minimise the impact of the metal component on the performance properties of PDC, particularly in terms of heat resistance, PDC and PCD manufacturers, with a particular focus on the drill bit industry, have concentrated their efforts on identifying methods to optimise the removal of the metal bond from the diamond layer.

The most promising avenues for the production of PDC with enhanced thermal stability are as follows. These methods involve either complete or partial leaching of cobalt from polycrystal by acid, or the addition of silicon to form silicon carbide (as a result of reaction with diamond particles). This acts as a bonding phase for diamond instead of cobalt, thereby improving the thermal stability of the material. The removal of cobalt or the low coefficient of thermal expansion of silicon carbide ensures the thermal stability of the materials obtained by such technologies up to temperatures above 1150 °C.



9.2. Leaching of cobalt from diamond polycrystalline PDC layer

One of the first technologies developed to remove cobalt was its leaching from the diamond composite structure [10]. Drill bit manufacturers have established a guideline for PDC performance in high temperatures. Based on their experience, they have found that PDC can withstand temperatures up to 750 °C without issue. However, leaching can extend this limit to approximately 1200 °C.

In the most general sense, leaching is the transfer of one or more components of a solid material into solution, usually aqueous.

The process is comprised of three stages: the supply of reacting substances to the solid surface, the chemical reaction, and the removal of dissolved reaction products to the solution. In most cases, leaching occurs in the diffusion domain, with the first and third stages determining the process rate. However, a kinetic regime is also possible, in which the slowest stage is a chemical reaction, as well as a mixed diffusion-kinetic regime. The process can be accelerated by reducing the particle size of the material, increasing the temperature (especially in the kinetic mode), and in the diffusion region, by increasing the intensity of stirring. Leaching is carried out in a variety of ways, depending on the nature, composition, and condition of the material being treated. Leaching can be combined with mechanical, chemical, ultrasonic, and thermal influences on the material.

One advantage of using leaching technology to treat PDC is that it improves the thermal stability of PDC tools. This is achieved by reducing the tendency to graphitization at high temperatures and preventing accelerated cracking caused by thermal stresses. Conversely, the removal of the cobalt phase results in a reduction in the fracture toughness of PDC tools. Consequently, suppliers of PDC cutters frequently provide cobalt leaching services at varying depths, tailored to the specific functional application (Fig. 1).

Currently, the technology for removing cobalt from PDC typically employs an aggressive strong acid or a combination of strong acids as a cobalt removal reagent.

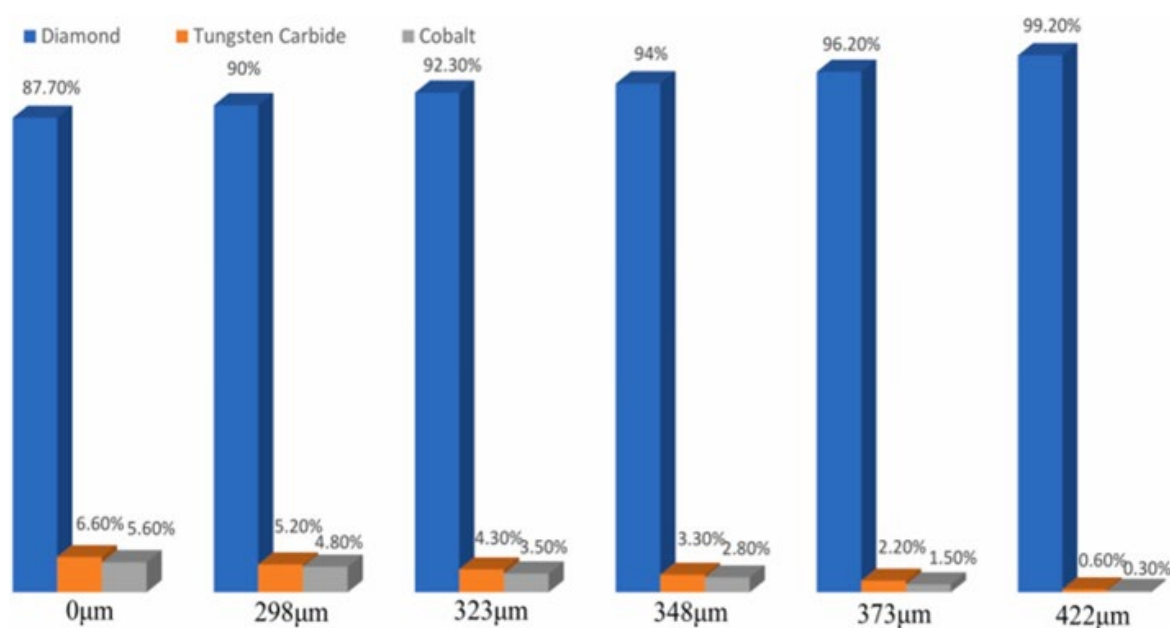


Fig. 1 – Histogram with different ingredients

A source: [1]

The PDC is placed in a cobalt removal solvent and heated to a specific temperature under normal pressure. However, the cobalt removal efficiency is low, and the removal of cobalt takes a long period of time, which has a negative impact on the production capacity of PDC enterprises. Some strong acid reagents, particularly high concentrations of hydrofluoric acid and nitric acid, may cause severe corrosion and damage to the tanks in which they are stored or in which the leaching process takes place. Consequently, this technology represents a significant risk to the environment and the health and safety of workers.

In this regard, scientific research is being conducted globally to improve the classical method of cobalt leaching from the diamond layer of the PDC plate. One proposed solution is to use electrolysis to improve leaching efficiency [5]. This paper presents an example of the leaching process of PDC with a grain size of 10–30 μm and a cobalt metal phase content of 10–16 wt%, which are commonly used for rock drilling. In the PDC electrolysis process, a stainless steel or copper plate was utilized as the anode of the electrolytic apparatus. The electrolyte primarily consisted of cobalt chloride, ammonium chloride, and surfactant in a specific proportion by weight. It was determined that electrolyte temperature plays a significant role in regulating



electrolytic performance. At certain optimal temperatures (between 40 and 50 °C), electrolytic performance can be enhanced. Figure 2a presents a scanning electron microscope (SEM) photograph of the PDC section without the removed metal phase. The darkest phase is diamond, while the lighter phases are cobalt and/or tungsten carbide. Figure 2b presents the SEM image of the PDC section with an RMRD of approximately 190 μm .

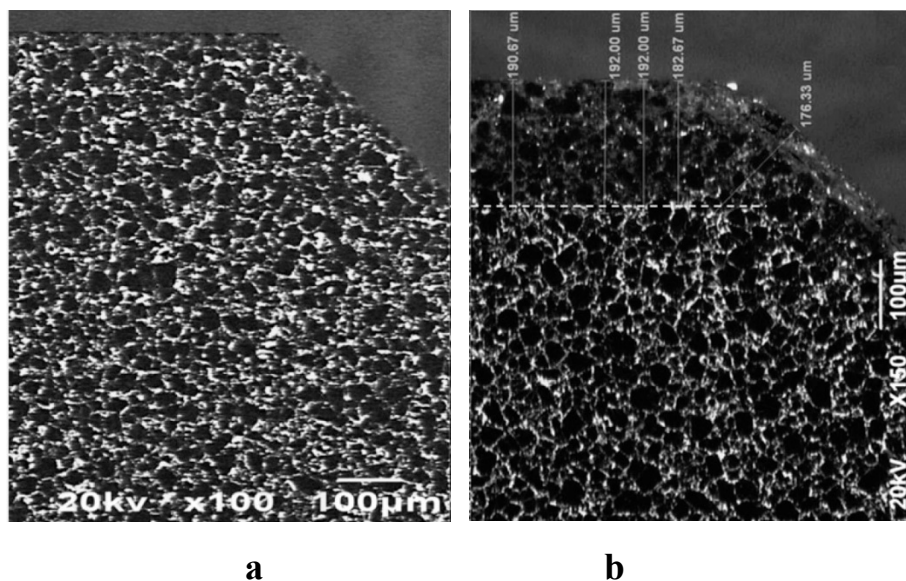


Fig. 2. – SEM pictures of sections of PDC: a - without removed metal phase; b - with metal phase removal depth of approximately 190 μm

A source: [5]

The data clearly shows a distinct separation between regions with and without removed metal. The boundary above represents the region where the residual metallic phase of cobalt is virtually absent. The authors conclude that electrolysis is an effective method for removing the internal residual metallic phase.

Additionally, it was determined that the W phase is effectively removed from the polycrystalline diamond layer in the acid bath, while the WC phase is retained in the diamond layer when using the electrolysis method. This indicates that the WC phase will not be removed by electrolysis. The data, according to the authors, indicate that the residual WC phase, as an integral substrate, plays an important role in improving the performance of PDCs. This is because it leaves relatively few pores in the



polycrystalline layer and does not affect the integrity of the substrate.

One of the improved leaching methods is the removal of cobalt from PDC wafers by chemical pressure deposition, as described in [9]. It is recommended that a mixed solvent of hydrochloric acid and a Lewis acid (FeCl_3) be used in conjunction with the chemical pressure deposition method.

The concentration of hydrochloric acid in the cobalt removal reagent was 6 mol/L, and the concentration of the Lewis acid (ferric chloride) was 50 g/L, which was the optimal ratio of reagents for cobalt removal. The reaction temperature was 160°C, and the reaction pressure was controlled at 0.8 MPa, which were the optimal conditions for cobalt removal. After 72 hours of reaction time, the cobalt removal depth reached 0.580 mm, which met the requirement of 1.2 mm cobalt removal from PDC (cobalt removal depth > 0.5 mm).

A study demonstrated that at the same cobalt removal temperature (160°C) and cobalt removal time (72 h), the depth of cobalt removal by the chemical pressure deposition method for PDC was significantly greater than that of the conventional acid leaching method. The chemical pressure deposition method demonstrated superior wear resistance and impact strength of PDC after cobalt removal.

It is important to note the following fact. Currently, there is no single "standard" leaching technology. Instead, there is a range of technologies that meet different requirements for instrumental applications.

One of the avenues being explored is the deep leaching method. The essence of the method is as follows: First, a diamond polycrystal with a metal bond is sintered. Subsequently, the leaching procedure is carried out by immersing the polycrystal in acid in order to maximize the removal of the bond. It is important to note that this method has certain limitations. Some metals are sealed in closed pores where liquids cannot enter and remain.

Leached diamond polycrystal is thermally stable in an inert or reducing atmosphere up to 1200 °C. However, it should be noted that it degrades at 875 °C in the presence of oxygen. Increased thermal stability of a polycrystal comes at a price. A thermally stable polycrystalline diamond polycrystal cannot be integrally bonded to



a carbide substrate, as is the case with standard PDC sintering technology. Furthermore, the diamond polycrystal's strength is reduced following leaching due to its open structure, which is designed to facilitate complete leaching. The requisite thickness for structural strength precludes effective self-sharpening action. Consequently, the high strength and the advantage of non-separable bonding of the diamond layer and the carbide substrate are foregone in order to achieve increased heat resistance.

Without a carbide substrate, heat-resistant diamond polycrystals are limited by their small size and must be placed in a matrix like natural diamonds. Furthermore, the lack of cobalt in the structure results in polycrystals being poorly wetted by brazing alloys, necessitating mechanical holding.

New approaches to obtain thermostable PDC are currently being developed, including the technology called ONYX Cutter Technology (OCT) [13]. This technology enables the production of PDC with high abrasion resistance. The production process is a two-stage technology that uses high pressure and temperature (HPHT) (Fig. 3).

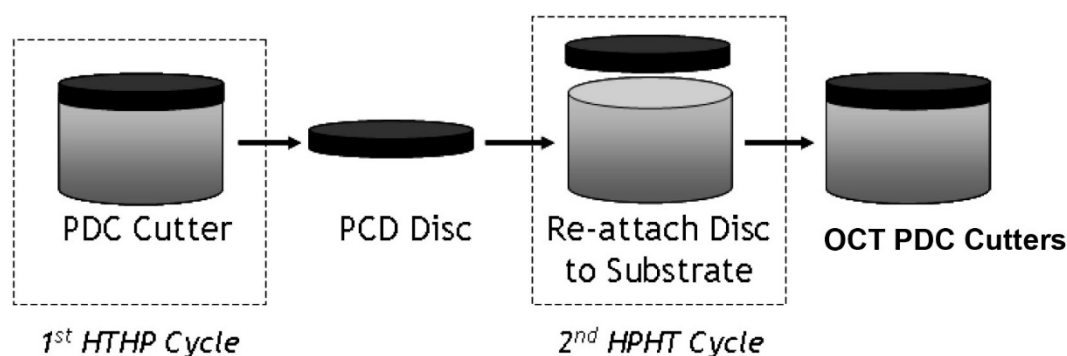


Fig. 3. – Steps to manufacture OCT cutters

A source: [13]

The first step involves fabricating a polycrystalline diamond disk (PCD) using conventional high-pressure high-temperature (HPHT) sintering parameters. The diamond disk is then treated in acid to remove any residual metal.

The disk is then reassembled with the WC substrate and subjected to a modified



HTHP process that differs from the first.

The second step involves re-sintering the PCD synthetic diamond plate onto a new carbide substrate using a modified HTHP sintering process, which is different from the first step.

This method offers several advantages over the traditional one-step process.

1. The PCD disk is subjected to an additional process to reduce residual stresses.

In the second process, controlled infiltration of cobalt material is injected back into the intergranular region of the diamond, creating less residual stress than the conventional one-step PDC wafer fabrication process.

2. The two-step HTHP process enhances the strength of the PCD microstructure.

A new generation of thermostable PDC cutters has also been proposed [14], which builds upon the existing thermostable structures by complementing the planar leached layer with a non-planar diamond-solid interface (Fig. 4).

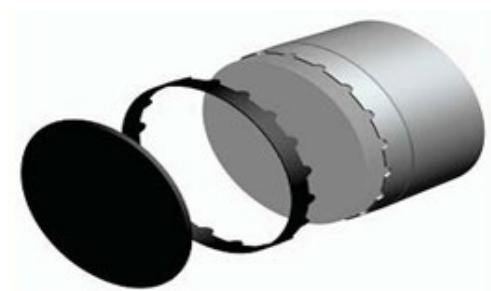


Fig. 4. – New generation Thermo Stable PDC Cutters

A source: [14]

As illustrated, the proposed design of thermostable PDCs features a leached layer across the wafer surface, complemented by a "ring" of leached material around their periphery.

The incorporation of additional thermostable material in the cutting edge area of the PDC further delays the onset of wear compared to first-generation thermostable PDCs. During the wear of the cutting edge, a "double-edge" cutting structure is formed. This increases productivity as both edges are able to cut the rock. The crescent-shaped cutting edge provides additional support and complements the cutting edge seen in first-generation thermostable cutters. This enhances the cutter's overall rigidity and resistance to cutter back movement and axial shock loads.



9.3. Technology for obtaining thermostable PDCs based on silicon impregnation of diamond powder

As previously stated, the PDC sintering technology, which includes silicon impregnation of diamond powder, also contributes to the reduction of the metal component (cobalt) content in the diamond composite. During the sintering process, PDC serves as a binder. The selection of this particular binder is based on the following considerations:

1. The melting point of silicon decreases with increasing pressure, which provides a lower impregnation temperature that can minimize graphitization of diamond. This is illustrated in Figure 5.

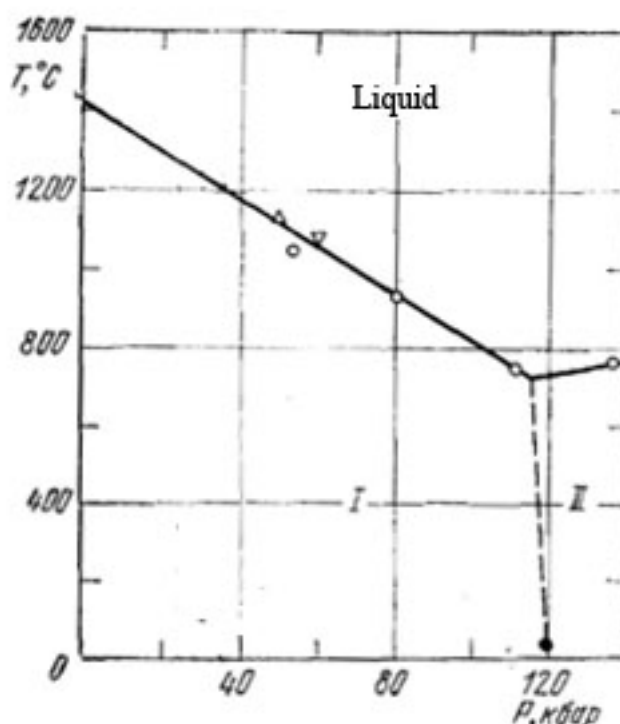


Fig. 5. – Pressure dependence of silicon melting temperature

A source: [15]

2. As a result of the chemical reaction between diamond and silicon, a new phase (SiC) is formed that consolidates the diamond particles into a bulk composite. The structural similarity between the reaction product (SiC) and diamond provides a strong bond.



3. The high melting point of SiC ($>2200\text{ }^{\circ}\text{C}$) makes the obtained composites suitable for high temperature applications.

The primary benefit of the silicon impregnation method is that the liquid phase fills the open pores in the diamond skeleton. One key limitation of this process is that it is essential to maintain the pores open throughout the liquid phase impregnation process. Otherwise, the so-called self-stopping process can limit or even completely block the flow of binder, which would have a detrimental effect on the entire sintering process.

In PDC sintering, a counter-impregnation method of silicon and cobalt melt impregnation of diamond micropowder is employed.

Depending on the PDC manufacturing technology, both asymmetrical and symmetrical high-pressure cell assembly schemes are employed (Fig. 6).

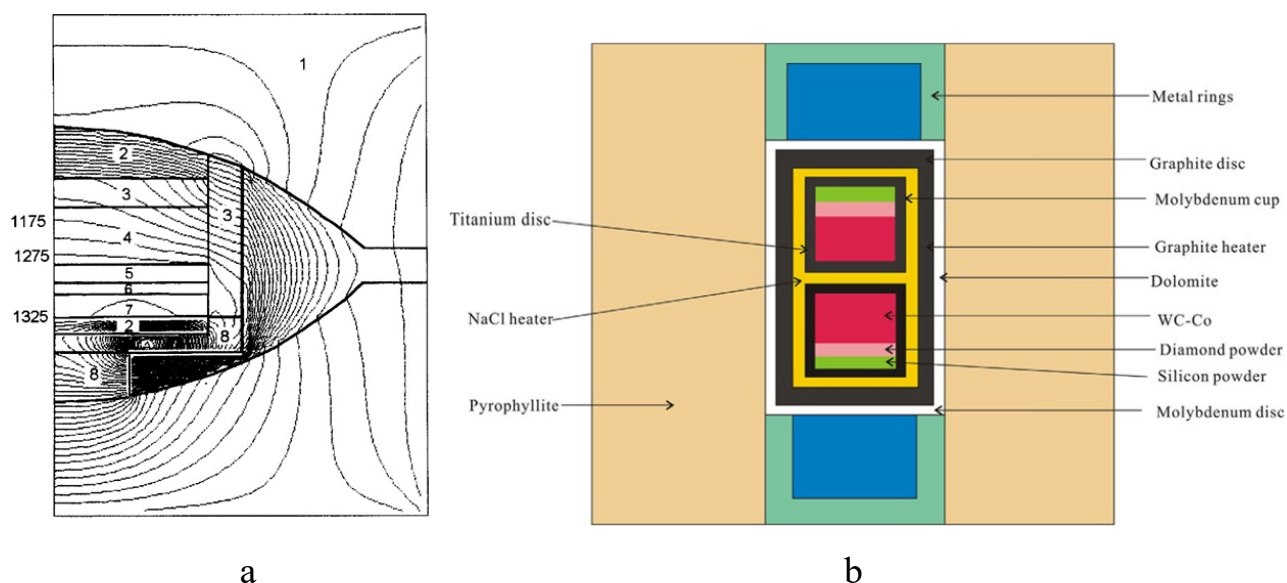


Fig. 6. – Schematic diagram of the cell assembly used in the high-pressure and high temperature experiments: a – asymmetrical circuit [16] (1 – block-unit, 2 – heat insulators, 3 – heating elements, 4 – carbide substrate, 5 – diamond powder, 6 – silicon disk, 7 – electrical insulator, 8 – current leads); b – symmetrical circuit [17]

The reaction volume is provided as follows: A layer of silicon powder is applied to the diamond powder. During the sintering process at high pressure and temperature,



the top silicon layer penetrates into the diamond layer to form a diamond-SiC composite. This composite has a higher thermal stability than that of polycrystalline diamond obtained by conventional sintering. Conversely, the diamond-SiC composite layer will be formed as an intermediate layer involving cobalt from the substrate, which will penetrate upwardly into the diamond layer.

Please refer to Fig. 7 for a schematic of the resulting PDC structure.

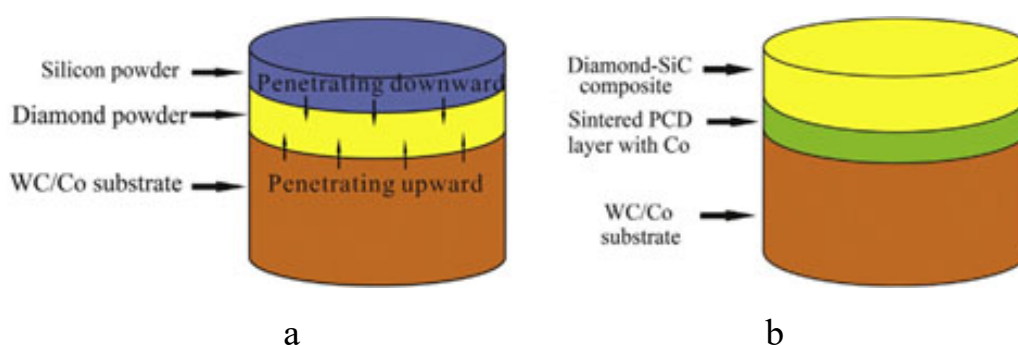


Fig. 7. – Schematic of newly-designed structure for the HPHT sintering of PDC, showing the dynamic process of HPHT sintering for the Si, diamond and WC/Co substrate (a) and the well-sintered three-layered PDC (b). Note: the top layer is diamond–SiC composites

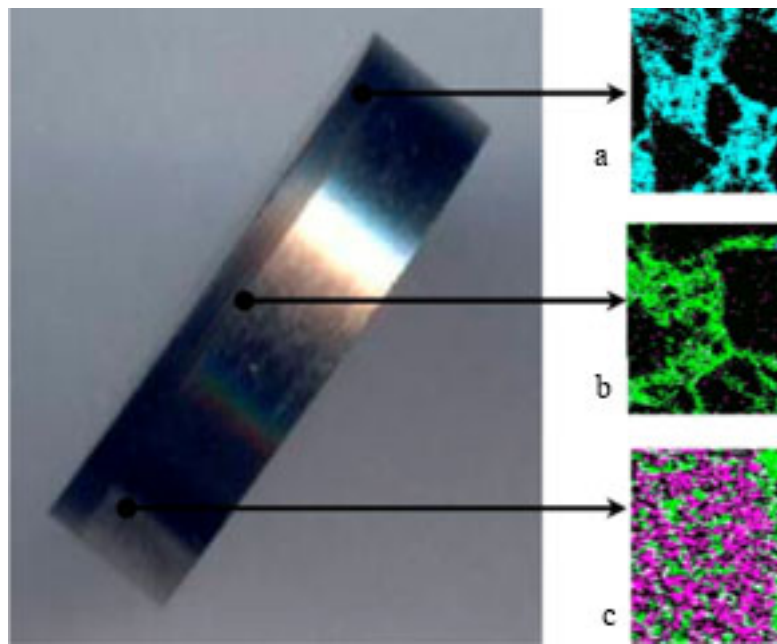
A source: [17]

Figure 8 below illustrates a micrograph of a general view of a heat-resistant PDC, which is a three-layer composite material. The top layer is the result of the sintering process, which is the consolidation of the diamond—SiC composite.

The intermediate layer's structure is identical to that of the diamond-containing layer of standard PDCs.

The mass of silicon is calculated based on the possibility of liquid silicon completely filling the porous space of diamond micro powder under high pressure conditions.

PDC sintering is carried out in a high-pressure apparatus at a pressure of 5.5–7.7 GPa and a temperature of 1500–2000 °C.



**Fig 8 – Microphotographic image of the general view of the heat-resistant PDC:
a – diamond – SiC composite structure; b - structure of the diamond–Co
transition layer c – hard alloy structure [4].**

A source: [4]

The sintering process involves the formation of the heat-resistant diamond-containing layer at a temperature of 1470–1770 K, followed by a rise in temperature to 2070-2170 K. At this point, the layer is connected to the substrate due to the penetration of cobalt to a depth of the order of the size of diamond grains in the heat-resistant layer.

This process enables the creation of a porous diamond-containing layer with an interpenetrating diamond and silicon carbide framework structure (Fig. 9).

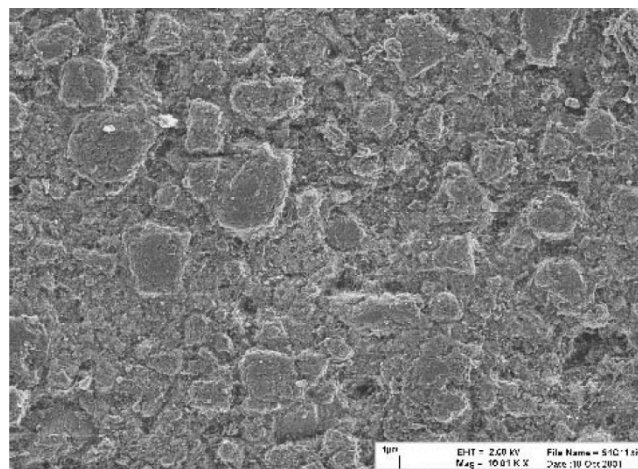


Fig. 9 – SEM images of composites diamond-SiC

A source: [18]



The structure and properties of the material are primarily influenced by the regularities of the processes of silicon impregnation of diamond powder and carbide formation. These processes, in turn, depend on the p , T -parameters of sintering and the grain size of the diamond powder.

X-ray data demonstrate that the composites contain no residual silicon phase that has not reacted with diamond. The composites have a typical structure of interpenetrating diamond and silicon carbide frameworks that form a high-density material.

The strength of the diamond-containing layer bonded to the carbide substrate is dependent on the characteristics of the transition layer in the contact zone. This is of significant importance for both product performance and manufacturing technology. It is essential to achieve a high yield of high-quality samples while reducing the probability of the diamond layer detaching from the substrate.

By studying the construction of the contact zone using electron scanning microscopy and micro-X-ray spectral analysis methods, we can conclude that when using the method of obtaining two-layer wafers using silicon, a very thin intermediate layer is formed, which provides a strong connection between the PDC components – the heat-resistant diamond-containing layer and the carbide substrate.

The impregnation of diamond powder with silicon melt occurs at high speed in a non-isothermal regime and is completed by the formation of silicon carbide in the temperature range of 1470–1770 K as a result of a chemical reaction with diamond. At the same time, a dense PDC structure is formed, which effectively prevents the migration of cobalt from the carbide. After thermobaric action at 8 GPa and a temperature range of 2070–2170 K for 60 seconds, cobalt was found in a thin layer with diamond in the transition zone of PDC samples. The width of this layer did not exceed 40 μm , which is consistent with the maximum size of the original diamond grain (ASM 40/28).

The maximum cobalt content at the interface is significantly higher than that of the solid alloy (by a factor of 2). This effect is the result of the process of directed heat and mass transfer, which is realized by using special equipment of the high-pressure



cell. This equipment allows for an intensive heating of the sample from the outer end surfaces.

The accumulation of cobalt in the transition layer has clear advantages. It not only acts as a bonding agent, but also makes this layer more ductile and capable of relaxing external stresses.

The diamond-containing layer is distinguished by the complete absence of cobalt in the structure and the presence of only silicon in the carbide composition.

One of the key benefits of PDC wafers produced using this technology is their high thermal resistance. This enables them to withstand high temperatures without compromising their properties. The high thermal resistance of the composite is attributed to the high thermal compatibility of the phases, which is enabled by the proximity of the coefficients of thermal expansion, the absence of phase transitions in silicon carbide during heating, the difficulty of graphitization of the diamond phase due to the high density of the composite, and the almost complete absence of metals—carbon solvents in it (there are only fine inclusions of the solvent alloy, which is used for the synthesis of the initial diamond powder).

Wear resistance tests have demonstrated that after 10 minutes of heating the plates to 850 and 1000 °C, the wear surface remains virtually unchanged.

9.4. Technology of obtaining polycrystalline diamond compact materials without the use of metal bonds and solvents

The development of high-pressure techniques has enabled us to significantly expand the achievable pressure range, resulting in the creation of high-pressure apparatuses capable of generating pressures up to 65 GPa in their reaction volumes. The apparatus was used to obtain ultrasolid polycrystalline diamond by direct transition from ultrapure graphite (Fig. 10). Experiments were conducted at the following process parameters: pressure: 12–25 GPa; temperature: 2300–2500 °C [20].

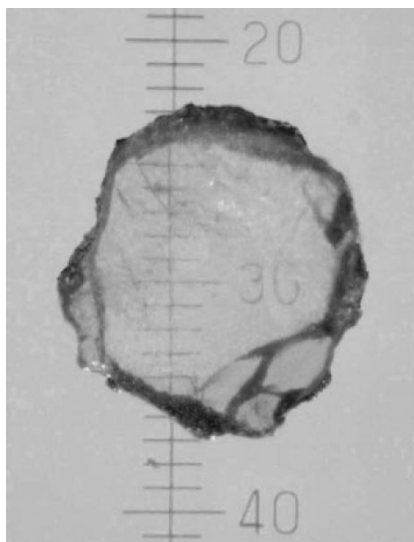


Fig. 10 – Sintered polycrystalline diamond synthesized by direct conversion of graphite. Optical microscopic image of a sample of the synthesized diamond (about 0,1 mm in diameter and 0,3 mm thick)

A source: [20]

Further enhancements to the high-pressure apparatus have enabled the development of a technology for producing catalyst-free polycrystalline polycrystalline diamond compact materials (CFPDC) up to 1 cm (Fig. 11) [21].

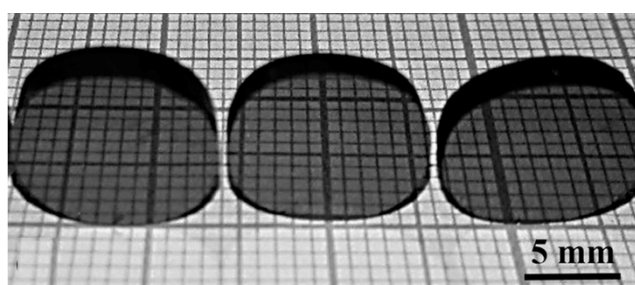


Fig. 11 – Optical photo of end-polished samples of micro-grained polycrystalline diamond

A source: [21]

CFPDC samples were fabricated at a pressure of 16 GPa and a temperature of 2300°C.

The development of a two-stage loading device that is directly integrated into the first cubic high-pressure apparatus has made it possible to obtain specimens of this



size. This eliminates the intermediate conversion process of single-axis loading, which was previously required. Three-axis loading offers a significant improvement in load transfer efficiency compared to single-axis pressing technology.

The field tests of the obtained polycrystals demonstrated record results in terms of wear resistance and thermal stability for PDC cutters used for drilling in the oil and gas industry.

The new material has been demonstrated to exhibit exceptionally high wear resistance, exceeding 300% that of the most advanced commercial PDC materials currently utilized in the industry. Furthermore, the material demonstrates the highest thermal stability and oxidation resistance up to a temperature of 1200 °C. The exceptional combination of the highest hardness, highest wear resistance, and highest thermal stability of the new CFPDC material is expected to play an important role in scientific research and in industries such as oil and gas exploration, drilling, and cutting materials.

Summary and conclusions

Polycrystalline diamond (PD) is a material with a number of highly desirable properties, including high hardness and wear resistance, low friction, high thermal conductivity, high corrosion resistance, and low electrical conductivity. As a result, PD plays a leading role in the selection of tools used in the oil and gas industry. PDC cutters are the primary and essential components of PDC drill bits for cutting a variety of formations. However, drilling very hard and highly abrasive formations represents a significant challenge for current PDC drill bits. The current technology is limited by the necessity of using metal catalysts to bond the diamond grains that make up PDC cutters in conventional high-pressure, high-temperature (HPHT) manufacturing.

Consequently, PDC manufacturers, particularly those in the drill bit industry, have concentrated their efforts on identifying methods to minimise the necessity for metal bonding in the diamond layer.



The most promising avenues for the development of PDC with enhanced thermal stability are as follows. This fabrication method involves leaching cobalt from polycrystalline material using acid, or adding silicon to form silicon carbide (as a result of a reaction with diamond particles). This acts as a bonding phase for diamond instead of cobalt.

The development of catalyst-free PDC cutters could have a transformative impact on the drill bit landscape, paving the way for the realization of the goal of "One Pass to Full Depth" in drilling technology.



Verweise / References

Chapter 1.

1. Fletcher M., Netzel G. Food safety and natural toxins. Toxins (Basel). 2020. Vol. 12 (4). P. 236–242.
2. Харчова токсикологія : навчальний посібник / О. П. Мельник, О. В. Кузьмін, В. В. Кійко. – Херсон : Олді+, 2022. – 180 с.
3. Григор'єва Л. І., Томілін Ю. А. Екологічна токсикологія та екотоксикологічний контроль. Миколаїв : Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 2015. 240 с.
4. Смоляр В.І. Фізіологія та гігієна харчування / В.І. Смоляр // Здоров'я. – 2000. - № 5. – С. 23 – 25.
5. Смоляр В.І. Сучасний стан харчової токсикології / В.І. Смоляр // Сучасні проблеми токсикології. - 2000. - № 3. – С. 53 – 56.
6. Гігієна харчування з основами нутриціології : підручник. У 2 кн. Кн. 2 / Ципріян В. І. та ін. ; за ред. проф. В. І. Ципріяна. К. : Медицина, 2007. 544 с.
7. Проданчук М.Г. Токсикологія – гігієнічні основи безпечності харчових продуктів / М.Г. Проданчук // Журнал АМН України. – 2002. – Т.8. - № 4. – С. 69 – 70.
8. Jannaccone P.M. Toxicogenomics: The call of wild chip editorial / P.M. Jannaccone // Environ. Health Respect. – 2001. – С. – 109.
9. Смоляр В.І. Сучасні досягнення харчової токсикології / В.І. Смоляр // Проблеми харчування. – 2004. - № 2(3). – С. 18 – 24.
10. Nitrate accumulation in vegetables / D. N. Maynard, A. V. Barker, P. L. Minotti, N. H. Perk // Ad Agron. – 2006. – Vol. 28. – P. 71–118.
11. ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001 Державні санітарні правила і норми. «Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0137588-01#Text>



12. Хоботова Е. Б., Уханьова М. І., Крайнюков О. М. Основи екологічної токсикології. Харків, 2012. 276 с.
13. Токсикологія продуктів харчування : підручник / Воронов С. А., Стецишин Ю. Б., Панченко Ю. В., Когут А. М. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. 556 с.
14. Штабський Б. М., Гжегоцький М. Р. Ксенобіотики, гомеостаз і хімічна безпека людини. Львів : Наутілус, 1999. 308 с.
15. Монастирський О.А. Токсиноутворюючі гриби та мікотоксини / О.А. Монастирський // Захист та карантин рослин. – 2006. - №11. – С. 18 – 20.
16. Frisvad J.C. Mycotoxins, drugs and other extrolites produced by species in *Penicillium* subgenus *Penicillium*. / Frisvad J.C., Smedsgaard J., Larsen T. O., et Samson R. A. *Studies in Mycology*, 49. 2004. – p. 201-242.
17. Otteneder H. Mykotoxine, Lebensmittel-Kontaminanten - Versucheiner Standortbestimmung / Otteneder H. // Dt. Lebensmittel-Rundsch.- 2001.- Jg.97, H.9.-S. 334-338. - Нем. - Рез.англ. - Bibliogr.
18. Abrunhosa L. Mycotoxin production from fungi isolated from grapes / Abrunhosa L., Paterson R.R., Kozakiewicz Z., Lima N., et Venancio A.. *Letters in Applied Microbiology*, 32, 2001. - p.240-242.
19. Bennett J.W. Mycotoxins / Bennett J.W., Klich M. // *Clin. Microbiol. Rev.*, 16. – 2003. - p. 497-516.
20. Manfoud R. The mycotoxin patulin alters the barrier function of the intestinal epithelium: mechanism of action of the toxin and protective effects of glutathione. / Manfoud R., Maresca M., Garmy N., Fantini J. // *Toxicol. And Appl. Pharmacol.* —2002. —181. — С. 209–218.
21. Квасьнєвські Ян. Оптимальне харчування. Л. : Добра справа, 2007. 192 с.
22. Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів : Закон України від 22 липня 2014 р., № 1602-VII.
23. Смоляр В. І. Розвиток харчової токсикології. Проблеми харчування. 2010. № 1–2. С. 67–70.
24. Гігієна харчування з основами нутриціології : підручник. У 2 кн. Кн. 1 /



Аністратенко Т. І. та ін. ; за ред. проф. В. І. Ципріяна. К. : Медицина, 2007. 528 с.

25. Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах / Наказ МОЗ України від 13.05.2013 № 368. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0774-13#Text>
 26. Селютіна Г. А., Гапонцева О. В. Спосіб зниження нітратів та стабілізації пігментного комплексу коренеплодів редьки // Молодий вчений. 2017. № 2 (42). С.209–213.
- Спосіб виробництва ферментованої редьки: пат. на корисну модель 92657 Україна, МПК А23L 1/23 (2006.01) / Селютіна Г. А., Виродова О. В. № u201403391; заявл. 03.04.2014; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16/2014. 3 с.

Chapter 2.

1. Caban J., Litak G., Ambrożkiewicz B., Gardyński L., Stączek P., Wolszczak P. Impact-based piezoelectric energy harvesting system excited from diesel engine suspension. Appl. Comp. Scien. 2020, 16, 16–29.
2. Konečný V., Gnap J., Settey T., Petro F., Skrúcaný T., Figlus T. Environmental Sustainability of the Vehicle Fleet Change in Public City Transport of Selected City in Central Europe. Energies 2020, 13, 3869.
3. Miola A., Ciuffo B. Estimating air emissions from ships: Meta-analysis of modelling approaches and available data sources. Atmos. Environ. 2011, 45, 2242–2251.
4. Cockett N. Neil Cockett on Bunkers; LLP Professional Publishing: London, UK, 1997.
5. Jurkovic M., Kalina T., Kadnar R., Illes L. Black Sea–Caspian Sea scenario of LNG transport. In Proceedings of the Transport Means–Proceedings of the International Conference 2019, Palanga, Lithuania, 2–4 October 2019; pp. 1229–1233.
6. Magnier H.J., Jrad A. A minimal simplified model for assessing and devising global LNG equilibrium trade portfolios while maximizing energy security.



Energy 2019, 173, 1221–1233.

7. Sesini M., Giarola S., Hawkes A.D. The impact of liquefied natural gas and storage on the EU natural gas infrastructure resilience. *Energy* 2020, 209, 118–167
8. Osadume R., Blessing U.C. Maritime Trade and Economic Development: A Granger Causality and Bound Test Approach. *LOGI Sci. J. Transp. Logist.* 2020, 11, 23–32.
9. Nwokedi T.C., Okoroji L.I., Okonko I., Ndikom O.C. Estimates of Economic Cost of Congestion Travel Time Delay between Onne-Seaport and Eleme-Junction Traffic Corridor. *LOGI Sci. J. Transp. Logist.* 2020, 11, 33–43.
10. Dorigoni S., Portatadino S. LNG development across Europe: Infrastructural and regulatory analysis. *Energy Policy* 2008, 36, 3366–3373.
11. Galieriková A., Sosedová J. Intermodal Transportation of Dangerous Goods. *Nase More* 2018, 65, 8–11.
12. Pfoser S., Schauer O., Costa Y. Acceptance of LNG as an alternative fuel: Determinants and policy implications. *Energy Policy* 2018, 120, 259–267.
13. Solesvik M. Exploitation of Compressed Natural Gas Carrier Ships in the High North. In *Lecture Notes in Mechanical Engineering*; Springer International Publishing: Berlin/Heidelberg, Germany, 2020; pp. 46–54.

Chapter 3.

1. Morone P, Cottoni L, Giudice F. Biofuels: Technology, economics, and policy issues. In: *Handbook of Biofuels Production*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier; 2023. pp. 55-92. DOI: 10.1016/B978-0-323-91193-1.00012-3
2. International Energy Agency. (2021). Biofuels for Transport. [Online]. Available at: <https://www.iea.org/reports/biofuels>
3. IEA (2024), Share of renewable electricity generation by technology, 2000-2028, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/share-of-renewable-electricity-generation-by-technology-2000-2028>, Licence: CC BY 4.0
4. Economic outlook. Biofuels dashboard 2023. Available at:



<https://www.ifpenergiesnouvelles.com/article/biofuels-dashboard-2023>

5. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р.
6. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р.
7. Konechenkov A. (2022) Renewable Energy Sector of Ukraine Before, During, and After the War. Ed. by Omelchenko V. [Online]. Available at: <https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny>
8. Стратегія розвитку біоенергетики в Україні. Available at: <https://uabio.org/bioenergy-transition-in-ukraine/>
9. Zorkin A. Ukraine can replace 30% of diesel with its own biofuel (2022). Better Regulation Delivery Office (BRDO) [Online]. Available at: <https://brdo.com.ua/en/analytics/ukrayina-mozhe-zaminyty-30-dyzelyu-vlasnym-vyroblenym-biopalyvom/>
10. Проектування вуглецево-нейтральної енергосистеми України: Збільшення використання біопалива й біомаси в Україні. Дані Європейської Економічна Комісія ООН. 31.03.2023 https://unece.org/sites/default/files/2023-08/UNECE_RES_Bio_2023_FINAL%20Final%28UA%29.pdf
11. Hoang AT, Pandey A, Huang Z, Nižetić S, Le AT, Nguyen XP. Biofuels an option for agro-waste management. In: Environmental Sustainability of Biofuels. Amsterdam, Netherlands: Elsevier; 2023. pp. 27-47.
12. Biofuel production technologies: status, prospects and implications for trade and development. United Nations Conference on Trade and Development. New York and Geneva, 2008. 49 p.
13. Калетнік Г. М., Пришляк Н. В. Розвиток галузі біопалив як детермінанта сталого розвитку України. Економіка АПК. 2021. № 2. С. 71 — 81.
14. WBA Global Bioenergy Statistics (2020, December 30). Retrieved from:



<http://www.worldbioenergy.org/uploads/201210%20WBA%20GBS%202020.pdf>

15. Держенергоефективності (2022). Проект Національного плану дій з розвитку відновлюваної енергетики на період до 2030 року.
URL: <https://saee.gov.ua/uk/events/previews/4092>
16. Постанова Кабінету міністрів України № 1044 від 04.07.2000. URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/213090__515498
17. Exproconsulting (2021). НКРЕКП прогнозує збільшення вартості виробленої е/е з ВДЕ. URL: <https://expro.com.ua/novini/nkrekp-prognozu-zblshennya-vartost-virobleno-ee-z-vde-v2021r-na-24---do-51-mlrd-grn>
18. Оновлені дані щодо енергетичного потенціалу агробіомаси в Україні(2020) SAF Україна (Sustainable Agribusiness Forum) URL: <https://saf.org.ua/news/1121/>

Chapter 4.

1. Romanyuk, O., Romanyuk, O., & Chekhmestruk, R. (2023). *Kompiuterna hrafika [Computer Graphics]*. Vinnytsia National Technical University. <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/37689>.
2. Romanyuk, O., & Chornyi, A. (2006). *Vysokoproduktyvni metody ta zasoby zafarbovuvannia tryvymirnykh hrafichnykh ob'ektiv [High-performance methods and means of shading three-dimensional graphic objects]*. UNIVERSUM-Vinnytsia.
3. Romanyuk, O., Maidaniuk, V., & Trukhan, D. (2023). Osoblyvosti Hrafichnoho 3D-Konveiera [Features of Graphics 3D-Pipeline]. In *Materials of the 33th International Scientific and Practical Conference Modern Aspects of Modernization of Science: Status, Problems, Development* (pp. 359–364). Paola; VADND.
4. Romanyuk, O., Romanyuk, S., & Romanyuk, O. (2022). Osnovni protsedury hrafichnoho konveiera [Main procedures of graphics pipeline]. In *Information Technologies in Culture, Art, Education, Science, Economy and Business:*



- Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference* (pp. 45–47). Kyiv; KNUKiM.
5. Zavalniuk, Y., & Romanyuk, O. (2023). Bazovi vymohy do prohramnykh system renderynhu [Basic requirements for software rendering systems]. In «*Information Technologies and Automation– 2023*» *Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference* (pp. 434–437). Odesa; ONTU.
6. Romanyuk, O., Marushchak, A., & Shmaliukh, V. (2022). Sheidery ta yikh movy prohramuvannia [Shaders and their programming languages]. In *The 18th International scientific and practical conference “Modern Science, Practice, Society”* (pp. 402–406). Boston; ISG.
7. *Rendering pipeline overview*. Rendering Pipeline Overview - OpenGL Wiki. (2022). https://www.khronos.org/opengl/wiki/Rendering_Pipeline_Overview.
8. Tiwari, J. (2022, September 29). *OpenGL Rendering Pipeline: An overview*. GeeksforGeeks. <https://www.geeksforgeeks.org/opengl-rendering-pipeline-overview/>.
9. Stevewhims, & Mattwojo. (2022). *Graphics pipeline - UWP applications*. UWP applications | Microsoft Learn. <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/uwp/graphics-concepts/graphics-pipeline>.
10. Cebenoyan, C. (2007). *Chapter 28. graphics pipeline performance*. NVIDIA Developer. <https://developer.nvidia.com/gpugems/gpugems/part-v-performance-and-practicalities/chapter-28-graphics-pipeline-performance>.
11. Romanyuk, O., & Dudnyk, O. (2016). Evoliutsiia Konveiera Renderynhu v Videokartakh [Evolution of the Rendering Pipeline in Video Cards]. In *Electronic information resources: creation, use, access: Proceedings of the International Scientific and Practical Internet Conference* (pp. 438–446). Vinnytsia; VNTU.
12. Chan, A., & Romanyuk, O. (2021). Analiz modyfikatsii klasychnykh hrafichnykh konveieriv dlia optymizatsii rozpodilennia resursiv [Analysis of the modification of classical graphic pipelines to optimize the allocation of resources]. In *State, achievements and prospects of information systems and technologies*. (pp. 103–104). Odesa; ONAKT.



13. Eldridge, M., Igehy, H., & Hanrahan, P. (2000). Pomegranate: a Fully Scalable Graphics Architecture. *Proceedings of the 27th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques - SIGGRAPH '00*.
<https://doi.org/10.1145/344779.344981>.
14. Zavalniuk, Y., & Romanyuk, O. (2023). Analiz protsedur rozparalelennia renderynhu hrafichnykh stsen [Analysis of parallelization procedures for rendering of graphic scenes]. In *Electronic information resources: creation, use, access: Proceedings of the International Scientific and Practical Internet Conference* (pp. 105–107). Sumy/Vinnytsia; NIKO/VABO.
15. Kenzel, M., Kerbl, B., Schmalstieg, D., & Steinberger, M. (2018). A high-performance software graphics pipeline architecture for the GPU. *ACM Transactions on Graphics*, 37(4), 1–15.
<https://doi.org/10.1145/3197517.3201374>.
16. Romanyuk, O., & Zavalniuk, Y. (2024). Deep Learning-Based Determination of Optimal Triangles Number of Graphic Object's Polygonal Model. In *IntelITSIS 2024 Proceedings of the 5th International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security with CEUR-WS* (pp. 39–51). Khmelnytskyi; CEUR-WS.
17. Harris, M. W., & Semwal, S. K. (2021). A multi-stage advanced deep learning graphics pipeline. *SIGGRAPH Asia 2021 Technical Communications*.
<https://doi.org/10.1145/3478512.3488609>

Chapter 5.

1. Літвін, Л. А. "Теоретичні засади дослідження національних інтересів." Вісник Донецького нац. ун-ту ім. В. Стуса. Серія «Політичні науки». 2017. № 3. С. 20–24.
2. "Відповідь НАТО на вторгнення росії в Україну." URL: <https://www.nato.int/>
3. "Який обсяг військової допомоги надали США Україні з початку повномасштабної війни." URL: <https://www.slovoidilo.ua/>
4. "Союзники по НАТО узгодили пакет політичної та практичної підтримки



- України й ухвалили рішення створити Раду Україна-НАТО - комюніке саміту." URL: <https://interfax.com.ua/news/political/922255.html>
5. "Зеленський заявив у Мюнхені, що Україна заслуговує на вступ у НАТО." URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-polytics/3828491-zelenskij-zaaviv-u-munheni-so-ukraina-zaslugovue-na-vstup-u-nato.html>
6. "Зовнішня політика і політика безпеки України: громадська думка." Національна безпека і оборона. 2010. № 4 (115). С. 58–68.
7. Корнієнко, В. О. "Україна — ЄС: перспективи інтеграції в контексті сучасних викликів." Інтеграційний вибір України: історія, сучасність, перспективи: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. Вінниця, 10 квітня 2012 р. Тернопіль: Крок, 2012. Т. II. С. 204–209.

Chapter 6.

1. An M., Wang J., Ruxton T. The development of fuzzy linguistic risk level for analysis of offshore engineering products using approximate reasoning approach. Proceedings of OMAE 2000, the 19th International Conference of offshore mechanics and Arctic Engineering. New Orleans, USA, 2000. P. 321–329.
2. Asuelimen G., Blanco-Davis E., Wang J. et al. Formal Safety Assessment of a Marine Seismic Survey Vessel Operation, Incorporating Risk Matrix and Fault Tree Analysis. Journal of Marine Science and Application. 2020. Vol. 19. P. 155–172. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11804-020-00136-4>.
3. Aven T. Risk assessment and risk management: review of recent advances on their foundation. European Journal of Operational Research. 2016. Vol. 253. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023>.
4. Калініченко Є., Постніков Є. Метод визначення траєкторії сейсмічного обладнання при стаціонарному характері морського буксирування. Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки, (47). 2023. С. 336–349. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.47.2023.300120>



5. Lataire E., Vantorre M., Delefortrie G. The Influence of the Ship's Speed and Distance to an Arbitrarily Shaped Bank on Bank Effects. 2015. Vol. 11: Prof. Robert F. Beck Honoring Symposium on Marine Hydrodynamics. DOI: 10.1115/omae2015-41835.
6. Perez T. A Review of Geometrical Aspects of Ship Motion in Maneuvering and Seakeeping, and the Use of a Consistent Notation. MSS Technical Report (MSSTR001-2005). CeSOS, NTNU NO-7491, Trondheim, Norway, 2005. 30 p.
7. Semerdjiev E., Mihaylova L. Variable- and Fixed-Structure Augmented Interacting Multiple Model Algorithms for Maneuvering Ship Tracking Based on New Ship Models Bulgarian Academy of Sciences. Central Laboratory for Parallel Processing, 2001. 16 p.
8. Антомонов, Ю. Г. Расчёт систем, оптимальных по быстродействию: (Управление судном по курсу) / Ю.Г. Антомонов. – Л.: Судостроение, 1964. – 71 с.
9. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
10. Павлик Н. В. Психологічні аспекти змін в структурі особистості під впливом екстремальних умов [Електронний ресурс] / Н. В. Павлик. – Режим доступу: http://archive.nbu.gov.ua/portal/natural/vkpi/fpp/2005-2/08_Pavlik.pdf.
11. A Guide to Risk Assessment in Ship Operations. IACS Rec. 2012. No. 127. 8 p.
12. ABS Guide for Risk Evaluations for the Classification of Marine-Related Facilities. 2003. URL: https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-andguides/current/other/117_riskevalforclassofmarinerelatedfacilities/pub117_riskeval.pdf.
13. Калініченко Є.В., Бойко А.Д., Постников Є.Є. Метод оцінки узагальненого ризику виникнення аварійних морських подій у системі управління безпекою судноплавства. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Вип. 2(36). 2022. С. 20-29.



Chapter 7.

1. Isikdag U.; Zlatanova S. A SWOT analysis on the implementation of Building Information Models within the Geospatial Environment. In Urban and Regional Data Management—UDMS Annual 2009; Krek, A., Rumor, M., Zlatanova, S., Fendel, E.M., Eds.; Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 2009; pp. 15–30.
2. Thompson A.A.; Strickland A.J.; Gamble J.E. Crafting and Executing Strategy-Concepts and Cases, 15th ed.; McGraw-Hill/Irwin: Boston, MA, USA, 2007.
3. Gürel E.; Tat M. SWOT analysis: A theoretical review. J. Int. Soc. Res. 2017, 10, 994–1006.
4. US National Institute of Building Sciences. National Building Information Modelling Standard; Version 1—Part 1: Overview, Principles, and Methodologies, Glossary; US National Institute of Building Sciences: Washington, DC, USA, 2007.
5. Ratajczak J.; Riedl M.; Matt D.T. BIM-based and AR Application Combined with Location-Based Management System for the Improvement of the Construction Performance. Buildings 2019, 9, 118.
6. Elagiry M.; Marino V.; Lasarte N.; Elguezabal P.; Messervey T. BIM4Ren: Barriers to BIM Implementation in Renovation Processes in the Italian Market. Buildings 2019, 9, 200.
7. Juszczak M.; Zima K.; Lelek W. Forecasting of sports fields construction costs aided by ensembles of neural networks. J. Civ. Eng. Manag. 2019, 25, 715–729.
8. Nawari O.N.; Ravindran S. Blockchain and Building Information Modeling (BIM): Review and Applications in Post-Disaster Recovery. Buildings 2019, 9, 149.
9. Liu Z.; Lu Y.; Peh L.C. A Review and Scientometric Analysis of Global Building Information Modeling (BIM) Research in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry. Buildings 2019, 9, 210.
10. Fan S.L.; Skibniewski M.J.; Hung T.W. Effects of Building Information Modeling During Construction. J. Appl. Sci. Eng. 2014, 17, 157–166.



11. Giel B.K.; Issa R.R.A. Return on Investment Analysis of Using Building Information Modeling in Construction. *J. Comput. Civ. Eng.* 2013, 27, 511–521.
12. Zima K. Impact of information included in the BIM on preparation of Bill of Quantities. *Procedia Eng.* 2017, 208, 203–210.
13. Kaplinski, O. Innovative solutions in construction industry. Review of 2016–2018 events and trends. *Eng. Struct. Technol.* 2018, 10, 27–33.
14. Read P.; Krygiel E.; Vandezande J. Mastering Autodesk®Revit®Architecture 2013; JohnWiley & Sons: Ottawa, ON, Canada, 2012.

Chapter 8.

1. B.E.Poling, J.M.Prausnitz, J.P.O'Connell. The properties of gases and liquids, McGraw-Hill (2001), <https://doi.org/10.1036/0070116822>.
2. M.Homocianu, A.Airinei. Investigations of absorption and emission spectral data in mixed liquid media. A short review of recent literature, *J. Mol. Liq.* 209 (2015) 549–556.
3. C.Breil, M.Abert Vian, T.Zemb, W.Kunz, F.Chemat. 'Bligh and dyer' and folch methods for solid-liquid-liquid extraction of lipids from microorganisms. Comprehension of solvation mechanisms and towards substitution with alternative solvents, *Int. J. Mol. Sci.* 18 (2017) 708.
4. S.Gupta, P.Mukherjee, B.Sengupta, P.Sen. Dynamical response in methanol–chloroform binary solvent mixture over fs–ls time regime, *Phys. Chem. Liquids* 56 (2018) 496–507.
5. S.Gupta, S.Rafiq, P.Sen. Dynamics of solvent response in methanol - chloroform binary solvent mixture: a case of synergistic solvation, *J. Phys. Chem. B* 119 (2015) 3135–3141.
6. S.Gupta, S.Rafiq, M.Kundu, P.Sen. Origin of strong synergism in weakly perturbed binary solvent system: a case study of primary alcohols and chlorinated methanes, *J. Phys. Chem. B* 116 (2012) 1345–1355.
7. R.M.Naessem, R.A.Clará, A.C.G.Marigliano. Density, viscosity, excess molar volume and viscosity deviation for [chloroform (1)+methanol (3)] binary system



- and [chloroform (1)+di-isopropylether (2)+methanol (3)] ternary system at 298.15K, Chem. Data Collections 7–8 (2017) 68–79.
8. M.Lj.Kijevčanin, M.M.Djuriš, I.R.Radović, B.D.Djordjević, S.P.Šerbanović. Volumetric properties of the binary methanol + chloroform and ternary methanol + chloroform + benzene mixtures at (288.15, 293.15, 298.15, 303.15, 308.15, and 313.15) K, J. Chem. Eng. Data 52, 1136–1140 (2007).
 9. I.Nagata. Isobaric vapor-liquid equilibria for the ternary system chloroform-methanol- ethyl acetate, J. Chem. Eng. Data 7 (1962) 367–373.
 10. I.Nagata, K.Tamura. Thermodynamics of solutions of methanol and solvating components, Thermochim. Acta 57 (1982) 331–349.
 11. S.Dixit, J.Crain, W.C.K.Poon, J.L.Finney, A.K.Soper. Molecular segregation observed in a concentrated alcohol? water solution, Nature 416 (2002) 829–832.
 12. I.Jukić, M.Požar, B.Lovrinčević, A.Perera. Lifetime distribution of clusters in binary mixtures involving hydrogen bonding liquids, Sci. Rep. 12 (2022) 9120.
 13. M.Požar. The microscopic structure of cold aqueous methanol mixtures, J. Chem. Phys. 145 (2016) 144502.
 14. W.Wrzeszcz, S.Mazurek, R.Szostak, P.Tomza, M.A.Czarnecki. Microheterogeneity in CH₃OH/CD₃OH mixture, Spectrochim. Acta A Mol Biomol. Spectrosc. 188 (2018) 349–354.
 15. P.Tomza, W.Wrzeszcz, S.Mazurek, R.Szostak, M.A.Czarnecki. Microheterogeneity in binary mixtures of water with CH₃OH and CD₃OH: ATR-IR spectroscopic, chemometric and DFT studies, Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc. (2018), <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.01.068>.
 16. W.Wrzeszcz. Microheterogeneity in binary mixtures of methanol with aliphatic alcohols: ATR-IR/NIR spectroscopic, chemometrics and DFT studies, RSC Adv. 6 (2016) 37195–37202.
 17. A.Perera, L.Zoranić, F.Sokolić, R.Mazighi. A comparative molecular dynamics study of water–methanol and acetone–methanol mixtures, J. Mol. Liq. 159 (2011) 52–59.
 18. D.Pal, A.Chakraborty, S.Chakraborty. Investigation of [CHCl₃-CH₃OH] complex



- using matrix-isolation IR spectroscopy and quantum chemical calculation: Evidence of hydrogen- and halogen-bonding interaction, *Chem. Phys.* 555 (2022).
19. J.Harnes. The structure of mixed methanol/chloroform clusters from core-level photoelectron spectroscopy and modeling, *New J. Chem.* 35 (2011) 2564–2572.
 20. M.Tkadlecova, V.Dohnal, M.Costas. ¹H NMR and thermodynamic study of self-association and complex formation equilibria by hydrogen bonding. Methanol with chloroform or halothane, *PCCP* 1 (1999) 1479–1486.
 21. Y.Han, R.Liu, C.Jiang, H.Wang, X.Zheng. The aggregation structure of a methanol/CHCl₃ binary mixture investigated by polarized Raman spectroscopy and HNMR, *J. Mol. Liq.* 335 (2021) 116224.
 22. M.A.Wendt, J.Meiler, F.Weinhold, T.C.Farrar. Solvent and concentration dependence of the hydroxyl chemical shift of methanol, *Mol. Phys.* 93 (1998) 145–152.
 23. K.Polok, N.Subba, W.Gadomski, P. Sen. Search for the origin of synergistic solvation in methanol/chloroform mixture using optical Kerr effect spectroscopy, *J. Mol. Liq.* 345 (2022) 117013.
 24. R.Gratias, H.Kessler. Molecular dynamics study on microheterogeneity and preferential solvation in methanol/chloroform mixtures, *J. Phys. Chem. B* 102 (1998) 2027–2031.
 25. G.Kamath, G.Georgiev, J.J.Potoff. Molecular modeling of phase behavior and microstructure of acetone-chloroform-methanol binary mixtures, *J. Phys. Chem. B* 109 (2005) 19463–19473.
 26. A.de Juan, R.Tauler. Multivariate Curve Resolution: 50 years addressing the mixture analysis problem – A review, *Anal. Chim. Acta* 1145 (2021) 59–78.
 27. B.Kirchner. Theory of complicated liquids: Investigation of liquids, solvents and solvent effects with modern theoretical methods, *Phys. Rep.* 440 (2007) 1–111.
 28. J.-H.Jiang, Y.Ozaki. Self-modeling curve resolution (SMCR): principles, techniques and application, *Appl. Spec. Rev.* 37 (2002) 321–345.
 29. S.C.Rutan, A.de Juan, R.Tauler. Introduction to multivariate curve resolution, in: S.D.Brown, R.Tauler, B.Walczak (Eds.), *Comprehensive chemometrics*:



- chemical and biochemical data analysis, Elsevier, vol. 2, 249–259, 2009.
30. A.de Juan, R.Tauler. Chapter 2 - multivariate curve resolution-alternating least squares for spectroscopic data, in: C B.T.-D.H. in S. and T. Ruckebusch (Ed.), Resolving Spectral Mixtures, Elsevier, vol. 30 5–51, 2016.
 31. G.R.Naik, W.W.Editors. Signals and Communication Technology Blind Source Separation Advances in Theory, Algorithms and Applications, 2014.
 32. K.H.Esbensen, P.Geladi. Principal component analysis: concept, geometrical interpretation, mathematical background, algorithms, history, practice, in: S.D Brown, R.Tauler, B.Walczak (Eds.), Comprehensive Chemometrics: Chemical and Biochemical Data Analysis, Elsevier, vol. 2 211–225, 2009.
 33. I.T.Jolliffe, J.Cadima. Principal component analysis: a review and recent developments, 374.
 34. T.G.Mayerhöfer, O.Ilchenko, A.Kutsyk, J.Popp. Beyond beer's law: quasi-ideal binary liquid mixtures, Appl. Spectrosc. 76 (2022) 92–104.
 35. H.Abdollahi, R.Tauler. Uniqueness and rotation ambiguities in Multivariate Curve Resolution methods, Chemom. Intell. Lab. Syst. 108 (2011) 100–111.
 36. A.Malik, R.Tauler. Chapter 4 - ambiguities in multivariate curve resolution, in: C. B. T.-D. H. in S. and T. Ruckebusch (Ed.), Resolving Spectral Mixtures, Elsevier, vol. 30, 101–133, 2016.
 37. S.Scheiner. Hydrogen bonding a theoretical perspective, 1997.
 38. R.Tauler, A.Smilde, B.Kowalski, Selectivity, local rank, three-way data analysis and ambiguity in multivariate curve resolution, J. Chemom. 9 (1995) 31–58.
 39. R.Tauler. Calculation of maximum and minimum boundaries of feasible solutions for species profiles obtained by multivariate curve resolution, J. Chemom. 15 (2001) 627–646.
 40. J.Jaumot, R.Tauler. MCR-BANDS: A user friendly MATLAB program for the evaluation of rotation ambiguities in Multivariate Curve Resolution, Chemom. Intell. Lab. Syst. 103 (2010) 96–107.
 41. A.C.Olivieri, R.Tauler. The effect of data matrix augmentation and constraints in extended multivariate curve resolution–alternating least squares, J. Chemom. 31



- (2017) e2875.
42. A.de Juan, R.Tauler. Chapter 8 - Data Fusion by Multivariate Curve Resolution, in: M.B.T.-D.H. in S. and T. Cocchi (Ed.), Data Fusion Methodology and Applications, Elsevier, vol. 31, 205–233, 2019.
 43. F.Weinhold. Quantum cluster equilibrium theory of liquids: General theory and computer implementation, J. Chem. Phys. 109 (1998) 367–371.
 44. M.Brüssel, E.Perlt, S.B.C.Lehmann, M.von Domaros, B.Kirchner. Binary systems from quantum cluster equilibrium theory, J. Chem. Phys. 135 (2011) 194113.
 45. B.Kirchner. What can clusters tell us about the bulk?: Peacemaker: Extended quantum cluster equilibrium calculations, Comput. Phys. Commun. 182 (2011) 1428–1446.
 46. M.von Domaros, E.Perlt, J.Ingenmey, G.Marchelli, B.Kirchner. Peacemaker2: Making clusters talk about binary
 47. O. Ilchenko. High-speed line-focus Raman microscopy with spectral decomposition of Spectrosc. 83 (2016).mouse mixtures and neat liquids, SoftwareX 7 (2018) 356–359.skin, Vib.
 48. Y.Zhang, Z.Wu, Y.Wang, H.He, Z.Yu. Excess spectroscopy and its applications in the study of solution chemistry, 92 (2020) 1611–1626.
 49. A.M.Kutsyk, O.O.Ilchenko, Y.M.Yuzvenko, V.V.Obukhovsky, V.V.Nikonova. Vibration spectroscopy of complex formation in aqueous solutions of isopropanol, Ukrainian J. Phys. 63 (2018).
 50. T.Shimanouchi. Tables of Molecular Vibrational Frequencies Consolidated. Volume I., 1972.
 51. A.Kutsyk, O.Ilchenko, Y.Pilgun, V.Obukhovsky, V.Nikonova. Complex formation in liquid diethyl ether-chloroform mixtures examined by 2D correlation MID-IR spectroscopy, J. Mol. Struct. 1124 (2016).
 52. O.O.Ilchenko, V.V.Nikonova, A.M.Kutsyk, V.V.Obukhovsky. Quantitative analysis of complex formation in acetone-chloroform and ethyl acetatecyclohexane solutions, Ukrainian J. Phys. 59 (2014).
 53. J.Jaumot, A.de Juan, R.Tauler. MCR-ALS GUI 2.0: New features and applications,



- Chemometrics and Intelligent Laboratory Syst. 140 (2015) 1–12.
54. W.Windig, J.Guilment. Interactive self-modeling mixture analysis, *Anal. Chem.* 63 (1991) 1425–1432.
55. R.Manne. On the resolution problem in hyphenated chromatography, *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 27 (1995) 89–94.
56. M.Akbari, H.Abdollahi. Investigation and visualization of resolution theorems in self modeling curve resolution (SMCR) methods, *J. Chemom.* 27 (2013) 278–286.
57. I.Y.Doroshenko. Matrix isolation study of the formation of methanol cluster structures in the spectral region of C-O and O-H stretch vibrations, *Low Temp. Phys.* 37 (2011) 604–608.
58. I.Y.Doroshenko, O.I.Lizengevych, V.E.Pogorelov, L.I.Savransky. Associates of methanol molecules: quantum-chemical calculations of structure and vibrational spectra, *Ukr. J. Phys.* 49 (2004) 540–544.
59. P.Kalhor, Q.Z.Li, Y.Z.Zheng, Z.W.Yu. Is the Fourier transform infrared free-OH band of t-butanol only from free OHs? Case studies on the binary systems of the alcohol with CCl₄ and CHCl₃, *J. Phys. Chem. A* 124 (2020) 6177–6185.
60. B.Kirchner. Cooperative versus dispersion effects: What is more important in an associated liquid such as water?, *J. Chem. Phys.* 123, 204116(1–13) (2005).
61. J.Ingenmey, M.von Domaros, B.Kirchner. Predicting miscibility of binary liquids from small cluster QCE calculations, *J. Chem. Phys.* 146 (2017) 154502.
62. M.W.Schmidt. General Atomic and Molecular Electronic Structure System, *J. Comput. Chem.* 14 (1993) 1347–1363.
63. M.S.Gordon, M.W.Schmidt. Advances in electronic structure theory: GAMESS a decade later, in: C.E.Dykstra, G.Frenking, K.S.Kim & G.E.Scuseria (Eds.), *Theory and Applications of Computational Chemistry: the first forty years*, Elsevier, 2005, doi:10.1016/B978-044451719-7/50084-6, 1167–1189.
64. K.Biradha, M.Fujita. Encapsulation of Two Types of Chloroform Dimers in the Cavities of a Coordination Polymer, *Chem. Lett.* 29 (2000) 350–351.
64. C.-C.Yin, A.-H.-T.Li, S.D.Chao. Liquid chloroform structure from computer



- simulation with a full ab initio intermolecular interaction potential, *J. Chem. Phys.* 139 (2013) 194501.
66. Chloroform-Methanol Vapor-Liquid Equilibrium: Datasheet from 'Dortmund Data Bank (DDB) – Thermophysical Properties Edition 2014' in SpringerMaterials (https://materials.springer.com/thermophysical/docs/vle_c47c110). Preprint at https://materials.springer.com/thermophysical/docs/vle_c47c110.
67. A. van der Bondi, Waals Volumes and Radii, *J. Phys. Chem.* 68 (1964) 441–451.
68. G. Matisz, A.-M. Kelterer, W. M. F. Fabian, S. Kunsági-Máté. Application of the Quantum Cluster Equilibrium (QCE) Model for the Liquid Phase of Primary Alcohols Using B3LYP and B3LYP-D DFT Methods, *J. Phys. Chem. B* 115 (2011) 3936–3941.
69. S. L. Boyd, R. J. Boyd. A Density Functional Study of Methanol Clusters, *J. Chem. Theor. Comp.* 3 (2007) 54–61.
70. A. Apelblat. The concept of associated solutions in historical development. Part 1. The 1884–1984 period, *J. Mol. Liq.* 128 (2006) 1–31.
71. P. P. Singh, B. R. Sharma, K. S. Sidhu. Thermodynamics of chloroform and methanol mixtures, *Can. J. Chem.* 57 (1979) 387–393.
72. I. Nagata, K. Tamura. Excess enthalpies of binary and ternary mixtures of methanol with acetone, chloroform, benzene and tetrachloromethane, *Fluid Phase Equilib.* 15 (1983) 67–79.
73. V. A. Durov, O. G. Tereshin, I. Y. Shilov. Supramolecular structure and physicochemical properties of the trichloromethane–methanol mixtures, *J. Mol. Liq.* 121 (2005) 127–138.

Chapter 9.

1. Zhan G. (David), J. Xu, He D. (2023). Applications of Polycrystalline Diamond (PCD) Materials in Oil and Gas Industry in Applications and Use of Diamond. IntechOpen, Jul. 26, 2023. DOI: 10.5772/intechopen.107355.
2. Stasiuk L. F., Melnyk M. P., Bondarenko N. A., et al. (2006). Termostoikie ATP i rezultaty ikh primeneniia v burovyykh instrumentakh ISM [Heat-resistant ATPs



and results of their application in ISM drilling tools] in Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniia i primeneniia [Rock Destruction and Metal Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications], issue 9, pp. 25–30.

3. Sneddon M.V., Hall D.R. (1988). Polycrystalline Diamond: Manufacture, Wear Mechanisms, and Implications for Bit Design in Journal of Petroleum Technology, issue 12, pp. 1593–1601.
4. Bondarenko N.A., Osypov A.S., Mechnyk V.A., et al. (2007). Burovoi instrument, osnashchennyi termostoikimi rezhushchimi vstavkami ATP [Drilling tools equipped with ATP heat-resistant cutting inserts] in Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch [Exploration and development of oil and gas fields], issue 4, pp. 14–18.
5. Liu C., Kou Z., He D., et al. (2012). Effect of removing internal residual metallic phases on wear resistance of polycrystalline diamond compacts in Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials, issue 31, pp. 187–191. DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2011.10.014.
6. Yahiaoui M., Gerbaud L., Paris J.-Y., et al. (2013). A study on PDC drill bits quality in Wear, issue 298–299, pp. 32–41.
7. Gu J., Huang K. (2016). Role of cobalt of polycrystalline diamond compact (PDC) in drilling process in Diamond & Related Materials, vol. 66, pp. 98–101. DOI: 10.1016/j.diamond.2016.03.025.
8. Ni P., Chen Y., Yang W., et al. (2023). Research on Microstructure, Synthesis Mechanisms, and Residual Stress Evolution of Polycrystalline Diamond Compacts in Crystals, vol. 13, 1286. DOI: 10.3390/cryst13081286.
9. Lei L., Wangyue W., Jie L., et al. (2023). Sun Fuhua Study on cobalt removal process of PDC. by pressurized chemical precipitation method in Diamond & Related Materials, vol. 139, 110368. DOI: 10.1016/j.diamond.2023.110368.
10. Bovenkerk H.P., Gisl P.D. (1980). Patent 4224380 USA. Int. Cl. C22C 3/00; B24D 3/00. Temperature resistant abrasive compact and method for making same.
11. Leaching (chemistry). Wikipedia.



[https://en.wikipedia.org/wiki/Leaching_\(chemistry\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Leaching_(chemistry)).

12. Gou R., Luo X., Long S., et al. (2021). Improvement of ambient temperature tribological properties of polycrystalline diamond compact treated by cobalt removal in *Diamond & Related Materials*, vol. 119, 108567. DOI: 10.1016/j.diamond.2021.108567.
13. Plemons B., Douglas C., Shen Y., et al. (2010). New Cutter Technology for Faster Drilling in Hard/Abrasive Formations in *Proceedings of the International Oil and Gas Conference and Exhibition in China, Beijing, China, June 2010*. Paper Number: SPE-132143-MS. DOI: 10.2118/132143-MS.
14. Clegg J. (2006). Faster, Longer, and More-Reliable Bit Runs With New-Generation PDC Cutter. In *SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas, USA, September 2006*. Paper Number: SPE-102067-MS. DOI: 10.2118/102067-MS.
15. Tonkov Ye. Yu. (1979). Fazovye diahrammy elementov pri vysokom davlenii [Phase diagrams of elements at high pressure].
16. Nozhkina A. V., Shulzhenko A. A., Gargin V. G., Bochechka A. A. (2000). The formation of a diamond layer on a carbide substrate during diamond interaction with Si, WC and Co. in *High Pressure Research: An International Journal*, vol.18, issue 1, pp. 325–330. DOI: 10.1080/08957950008200987.
17. Liu S., Han L., Zou Y., et al. (2017). Polycrystalline diamond compact with enhanced thermal stability in *Journal of Materials Science & Technology*, vol. 33, issue 11 pp. 1386–1391. DOI: 10.1016/j.jmst.2017.03.014.
18. Qian J., Voronin G., Zerda T.W., et al. (2002). High-pressure, high-temperature sintering of diamond–SiC composites by ball-milled diamond–Si mixtures in *J. Mater. Res.*, vol. 17, issue 8 pp. 2153–2160.
19. Ishii T., Yamazaki D., Tsujino N., et al. (2017). Pressure generation to 65 GPa in a Kawai-type multi-anvil apparatus with tungsten carbide anvils in *High Pressure Research: An International Journal*, vol. 37, issue 4, pp. 507–515. DOI: 10.1080/08957959.2017.1375491.
20. Irifune, T., Kurio, A., Sakamoto, S., et al. (2003). Ultrahard polycrystalline



diamond from graphite in *Nature*, vol. 421, issue 6923 pp. 599–600. DOI: 10.1038/421599b.

21. Liu J., Zhan G., Wang Q., et al. (2018). Superstrong micro-grained polycrystalline diamond compact through work hardening under high pressure in *Applied physics letters*, vol. 112, 061901. DOI: 10.1063/1.5016110.
22. Li Q., Zhan G., Li D., et al. (2020). Ultrastrong catalyst-free polycrystalline diamond in *Scientific Reports*, issue 10, 22020. DOI: 10.1038/s41598-020-79167-4.



SCIENTIFIC EDITION

MONOGRAPH
INNOVATION IN DER MODERNEN WISSENSCHAFT
INNOVATIVE TECHNOLOGIE, INFORMATIK, SICHERHEITSSYSTEME,
VERKEHRSENTWICKLUNG, ARCHITEKTUR UND BAUWESEN, PHYSIK UND
MATHEMATIK

INNOVATION IN MODERN SCIENCE

INNOVATIVE TECHNOLOGY, COMPUTER SCIENCE, SECURITY SYSTEMS, TRANSPORT
DEVELOPMENT, ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION,
PHYSICS AND MATHEMATICS

MONOGRAPHIC SERIES «EUROPEAN SCIENCE»

BOOK 30. PART I

Authors:

Seliutina H.A. (1), Mysak P.V. (2), Mysak I.V. (2), Avdieieva L.Y. (3), Makarenko A.A. (3),
Turchyna T.Y. (3), Dekusha H.V. (3), Romanyuk O.N. (4), Bobko O.L. (4),
Zavalniuk Y.K. (4), Titova N.V. (4), Romanyuk S.O. (4), Stakhov O.Y. (4),
Bartovshchuk K.O. (5), Siekunova Y. (5), Postnikov Y. (6), Mysak P.V. (7),
Mysak I.V. (7), Lemeshko V. (8), Sokolov O.M. (9), Harhin V.H. (9)

The scientific achievements of the authors of the monograph were also reviewed and recommended for
publication at the international scientific symposium

«**Innovation in der modernen Wissenschaft /**

Innovation in modern science '2024»

(May 30, 2024)

Monograph published in the author's edition

The monograph is included in

International scientometric databases

500 copies

May, 2024

Published:

ScientificWorld-NetAkhatAV

Lußstr 13,

Karlsruhe, Germany



e-mail: editor@promonograph.org

<https://desymp.promonograph.org>



9

783989

240506

