

p-ISSN 2308-5258

e-ISSN 2308-1996

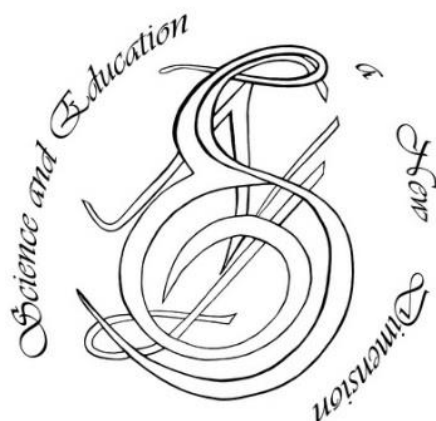
**Natural and Technical Sciences, X(34), ISSUE 268, 2022 July.**

---

SCIENCE AND EDUCATION A NEW DIMENSION

NATURAL  
AND  
TECHNICAL SCIENCES

TECHNICAL SCIENCES



[www.seanewdim.com](http://www.seanewdim.com)

**p-ISSN 2308-5258**

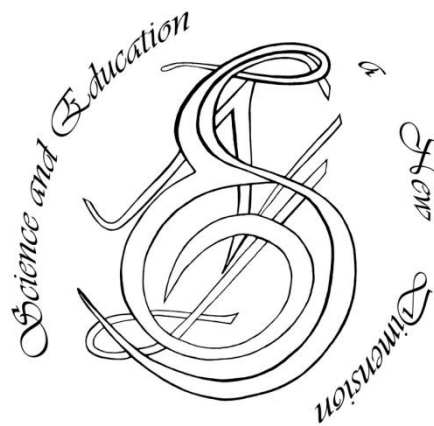
**e-ISSN 2308-1996**

X(34), Issue 268, 2022 July.

**SCIENCE AND EDUCATION A NEW DIMENSION**

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2022-268IX34>

**Natural and Technical Sciences**



[www.seanewdim.com](http://www.seanewdim.com)

Editorial board

**Editor-in-chief: Dr. Xénia Vámos**

**Honorary Senior Editor:**

**Jenő Barkáts, Dr. habil.** **Nina Tarasenkova, Dr. habil.**

**Andriy Myachykov**, PhD in Psychology, Senior Lecturer, Department of Psychology, Faculty of Health and Life Sciences, Northumbria University, Northumberland Building, Newcastle upon Tyne, United Kingdom

**Edvard Ayvazyan**, Doctor of Science in Pedagogy, National Institute of Education, Yerevan, Armenia

**Ferenc Ihász**, PhD in Sport Science, Apáczai Csere János Faculty of the University of West Hungary

**Ireneusz Pyrzyk**, Doctor of Science in Pedagogy, Dean of Faculty of Pedagogical Sciences, University of Humanities and Economics in Wrocław, Poland

**Irina Malova**, Doctor of Science in Pedagogy, Head of Department of methodology of teaching mathematics and information technology, Bryansk State University named after Academician IG Petrovskii, Russia

**Irina S. Shevchenko**, Doctor of Science in Philology, Department of ESP and Translation, V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine  
Department of Psychology, Faculty of Health and Life Sciences, Northumbria University, Northumberland Building, Newcastle upon Tyne, United Kingdom

**Kosta Garow**, PhD in Pedagogy, associated professor, Plovdiv University „Paisii Hilendarski”, Bulgaria

**László Kótis**, PhD in Physics, Research Centre for Natural Sciences, Hungary, Budapest

**Larysa Klymanska**, Doctor of Political Sciences, associated professor, Head of the Department of Sociology and Social Work, Lviv Polytechnic National University, Ukraine

**Liudmyla Sokurianska**, Doctor of Science in Sociology, Prof. habil., Head of Department of Sociology, V.N. Karazin Kharkiv National University

**Marian Wloshinski**, Doctor of Science in Pedagogy, Faculty of Pedagogical Sciences, University of Humanities and Economics in Wrocław, Poland

**Melinda Nagy**, PhD in Biology, associated professor, Department of Biology, J. Selye University in Komarno, Slovakia

**Alexander Perekhrest**, Doctor of Science in History, Prof. habil., Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Ukraine

**Nikolai N. Boldyrev**, Doctor of Science in Philology, Professor and Vice-Rector in Science, G.R. Derzhavin State University in Tambov, Russia

**Oleksii Marchenko**, Doctor of Science in Philosophy, Head of the Department of Philosophy and Religious Studies, Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Ukraine

**Olga Sannikova**, Doctor of Science in Psychology, professor, Head of the department of general and differential psychology, South Ukrainian National Pedagogical University named after K.D. Ushynsky, Odesa, Ukraine

**Oleg Melnikov**, Doctor of Science in Pedagogy, Belarusian State University, Belarus

**Perekhrest Alexander**, Doctor of Science in History, Prof. habil., Bohdan Khmelnytsky National University in Cherkasy, Ukraine

**Riskeldy Turgunbayev**, CSc in Physics and Mathematics, associated professor, head of the Department of Mathematical Analysis, Dean of the Faculty of Physics and Mathematics of the Tashkent State Pedagogical University, Uzbekistan

**Roza Uteeva**, Doctor of Science in Pedagogy, Head of the Department of Algebra and Geometry, Togliatti State University, Russia

**Seda K. Gasparyan**, Doctor of Science in Philology, Department of English Philology, Professor and Chair, Yerevan State University, Armenia

**Sokuriaynska Liudmyla**, Doctor of sociological science. Prof. Head of Department of Sociology. V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine

**Svitlana A. Zhabotynska**, Doctor of Science in Philology, Department of English Philology of Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Ukraine

**Tatyana Prokhorova**, Doctor of Science in Pedagogy, Professor of Psychology, Department chair of pedagogics and subject technologies, Astrakhan state university, Russia

**Tetiana Hranchak**, Doctor of Science Social Communication, Head of department of political analysis of the Vernadsky National Library of Ukraine

**Valentina Orlova**, Doctor of Science in Economics, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine

**Millousheva-Boykina Dobrinka Vassileva**, PhD, assoc. professor at the Faculty of Mathematics and Informatics, Plovdiv University „Paisii Hilendarski”

**Veselin Kostov Vasilev**, Doctor of Psychology, Professor and Head of the department of Psychology Plovdiv University „Paisii Hilendarski”, Bulgaria

**Vladimir I. Karasik**, Doctor of Science in Philology, Department of English Philology, Professor and Chair, Volgograd State Pedagogical University, Russia

**Volodimir Lizogub**, Doctor of Science in Biology, Head of the department of anatomy and physiology of humans and animals, Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Ukraine

**Zinaida A. Kharitonchik**, Doctor of Science in Philology, Department of General Linguistics, Minsk State Linguistic University, Belarus

**Zoltán Poór**, CSc in Language Pedagogy, Head of Institute of Pedagogy, Apáczai Csere János Faculty of the University of West Hungary

Managing editor:

**Diana Barkáts**

© EDITOR AND AUTHORS OF INDIVIDUAL ARTICLES

The journal is published by the support of Society for Cultural and Scientific Progress in Central and Eastern Europe  
BUDAPEST, 2015

**Statement:**

By submitting a manuscript to this journal, each author explicitly confirms that the manuscript meets the highest ethical standards for authors and co-authors. Each author acknowledges that fabrication of data is an egregious departure from the expected norms of scientific conduct, as is the selective reporting of data with the intent to mislead or deceive, as well as the theft of data or research results from others. By acknowledging these facts, each author takes personal responsibility for the accuracy, credibility and authenticity of research results described in their manuscripts. All the articles are published in author's edition.

The journal is published under Creative Commons Attribution License v4.0



**THE JOURNAL IS LISTED AND INDEXED IN:**

INDEX COPERNICUS: ICV 2014: 70.95; ICV 2015: 80.87; ICV 2016: 73.35; ICV 2018: 90.25;  
ICV 2019: 89.50; ICV 2020: 94.89

GOOGLE SCHOLAR

CROSSREF (DOI prefix:10.31174)

ULRICHS WEB GLOBAL SERIALS DIRECTORY

UNION OF INTERNATIONAL ASSOCIATIONS YEARBOOK

SCRIBD

ACADEMIA.EDU

## CONTENT

<b>AGRICULTURE.....</b>	<b>7</b>
Зміни параметрів індукції флуоресценції хлорофілу та вмісту захисних низькомолекулярних протеїнів у сучасних сортів озимої пшениці за дії посухи <i>В. В. Шевченко, О. Ю. Бондаренко.....</i>	<b>7</b>
<b>BIOLOGY.....</b>	
Introduction of Ginkgo biloba L. in conditions of the North-Western Black sea region <i>L. V. Levchuk, T. V. Kricka.....</i>	<b>11</b>
Гемостаз та властивості крові корів в період сухостою <i>Д. М. Матвійчук.....</i>	<b>15</b>
<b>MEDICAL SCIENCES.....</b>	<b>19</b>
Мікроструктурна дезорганізація слизової оболонки ободової кишки за тривалого впливу налбуфіну в експерименті <i>Н. І. Гресько, А. М. Бекесевич, І. В. Вільхова, Х. А. Кирик, І. В. Гресько.....</i>	<b>19</b>
<b>TECHNICAL SCIENCES.....</b>	<b>23</b>
Розробка способу планування навігаційних ризиків при підготовці рейсового циклу судна <i>К. В. Шумілова.....</i>	<b>23</b>
Application of piezoceramic actuators in adaptive interferometry <i>М. V. Tsyhyka, I. I. Chychura, A. A. Grabar, V. V. Tsyhyka, M. V. Stoika.....</i>	<b>32</b>



## AGRICULTURE

### Зміни параметрів індукції флуоресценції хлорофілу та вмісту захисних низькомолекулярних протеїнів у сучасних сортів озимої пшениці за дії посухи

В. В. Шевченко\*, О. Ю. Бондаренко

Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, м. Київ, Україна  
\* Corresponding author. E-mail: biochemkiev@ukr.net

Paper received 04.02.22; Accepted for publication 12.03.22.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2022-268X34-01>

**Анотація.** Вивчені зміни показників індукції флуоресценції хлорофілу та вмісту захисних низькомолекулярних протеїнів у чотирьох сортів озимої пшениці за дії посухи. Показано, що на сьомий день дії помірної посухи цінні сорти Подолянка, Порадниця та Подільська нива формують неспецифічну стійкість за рахунок підвищеного синтезу захисних протеїнів. Сильний, високобілковий сорт Наталка лише частково відновлював показники індукції флуоресценції та вирізнявся незначним збільшенням вмісту захисних протеїнів фотосинтетичного апарату.

**Ключові слова:** *Triticum aestivum L.*, озима пшениця, індукція флуоресценції хлорофілу, захисні низькомолекулярні протеїни фотосинтетичного апарату, посуха.

**Вступ.** Грунтова посуха є одним із факторів оточуючого середовища, який набуває особливого значення у зв'язку із глобальним потеплінням клімату [1]. Через посуху сільське господарство зазнає значних збитків. Так, для озимої пшениці, яка є однією з стратегічних продовольчих культур для людства, втрати врожайності через посуху можуть сягати 60-80 % [2]. Основною структурою рослинного організму, що страждає через вплив посухи є фотосинтетичний апарат. За дії посухи, в першу чергу, відбувається закриття продихів, що призводить до порушення транспірації [3]. Також чутливими до дії посухи та пов'язаним із нею підвищенням температури листка є кисень-виділяючий комплекс, фотосистема II, електрон-транспортний ланцюг та Рубіско-активаза [4]. Порушення електронного транспорту призводить до продукування активних форм кисню, які руйнують фотосинтетичний апарат. У рослини є кілька механізмів для запобігання дії осмотичного стресу. Це синтез антиоксидантних ферментів, які нейтралізують активні форми кисню [5]. Також є механізми, які дозволяють підтримувати електронний транспорт на високому рівні через залучення альтернативних акцепторів електронів таких, як процес фотодихання [3] та пластохінол-оксидази (РТОХ) [6], яка може виступати, як певний "клапан", що дозволяє відбирати надлишкові електрони з електрон-транспортного ланцюга. Для ряду сучасних сортів озимої пшениці показано формування перехресної стійкості при спільній дії посухи та підвищеної температури [7]. У зв'язку з загрозою для стабільності виробництва зерна, питання скринінгу генотипів пшениці на посухостійкість стає дедалі актуальнішим [8].

Тому, метою роботи було дослідження формування неспецифічної стійкості фотосинтетичного апарату у деяких цінних та сильних сортів озимої пшениці сучасної селекції.

**Матеріали та методи.** Для досліджень використані чотири сорти озимої пшениці сучасної селекції. Сорт Подолянка характеризується як сильний, має високу

екологічну пластичність, оцінка посухостійкості – 8 балів. Сорт Подільська нива – цінний, стійкість до посухи - 7-8 балів. Сорт Порадниця – цінний, оцінка посухостійкості 8-9 балів. Сорт Наталка – сильний, посухостійкість оцінюється як висока.

Озиму пшеницю досліджуваних сортів висівали на дослідних ділянках Інституту фізіології рослин і генетики НАН України розміром 3x1 м у вересні місяці. Грунт - сірий дерново-підзолистий. Внесення NPK - стандартне за технологією вирощування. Після перезимівлі у відкритому ґрунті рослини було пересаджено у 10-ти кг вегетаційні посудини. Для контрольних рослин здійснювали полив для забезпечення 60-70% повної вологості ґрунту. Для дослідних рослин на фазі молочно-воскової стиглості створювались умови посухи протягом 10 днів при 30% повної вологості (ПВ).

Індукцію флуоресценції вимірювали на однопromеневій установці, яку було зібрано у відділі. У якості джерела збуджуючого світла використовували світлодіод з максимумом випромінювання на довжині хвилі 450 нм, яку додатково виділяли за допомогою світлофільтра СЗС-3. Флуоресценцію вимірювали на довжині хвилі 685 нм, яку виділяли за допомогою монохроматора МДР-2, спектральна ширина інтервалу - 4-6 нм. Перед входною щільною монохроматора розміщували світлофільтр КС-14 для пригнічення розсіяного збуджуючого світла. Індукційні зміни флуоресценції починались після вмикання актинічного світла, час досягнення максимальної яскравості був менший за 1 мс. У реєструючий частині приладу використовувався фотопомножувач ФЭУ-79. Сигнал перетворювався за допомогою сконструйованого нами приймального блоку, який містить аналогово-цифровий перетворювач та інтерфейс для входу до ЕОМ типу ІВМ. Розроблене програмне забезпечення здійснює керування установкою, у тому числі вмиканням актинічного світла, переключенням режиму запису індукційних кривих. Мінімальний часовий інтервал між послідовними відборами значення сигналу дорівнював 200

мкс. Програмне забезпечення також дозволяло проводити інформаційну обробку даних для обчислення параметрів індукційної кривої. Зокрема відношення величини варіабельної флуоресценції до максимальної,  $F_v/F_m$ , яке, як відомо, є оцінкою квантового виходу фотохімії ФСІІ. Розрахунки проводили за даними 3-х біологічних повторностей.

Хлоропласти виділяли з прапорцевих листків за методикою, описаною раніше [6].

Електрофорез хлорофіл-білкових комплексів проводили у поліакриламідному гелі [9]. Розподільний гель містив 12 % акриламідну, 0,1% бісакриламідну, 6 М сечовину, 0,375 М Tris-HCl (pH 8,9), 0,003 % персульфату амонію, 0,0003 % TEMED. Концентруючий гель містив 8 % акриламідну, 0,1 % бісакриламідну, 6 М сечовину, 0,175 М Tris-HCl (pH 6,8), 0,003 % персульфату амонію, 0,0003 % TEMED. Гель фарбували органічним барвником Brilliant Blue R в водному розчині 10 % оцтової кислоти з додаванням 30% етанолу 12 годин при кімнатній температурі. Обезбарвлювання гелю проводили в водному розчині, що містив 10%

етанолу та 10% оцтової кислоти. Пластинки гелю сканували на сканері "Mustek ScanExpress 12000P", реєстрограми обробляли за допомогою комп'ютерної програми обробки гелів "ScnImage". Для ідентифікації смуг використовували суміш маркерних білків фірми "SIGMA", USA. Біологічна та аналітична повторюваність дослідів – триразова.

**Результати та обговорення.** Метою роботи було вивчення особливостей змін стану фотосинтетичного апарату у різних за посухостійкістю сортів озимої пшениці за дії посухи та формування у цих сортів неспецифічної стійкості фотосинтетичного апарату до стресових умов. Для цього рослини озимої пшениці, що вирощували в умовах вегетаційного дослідів, піддавали дії посухи на фазі молочно-воскової стиглості протягом 10-ти днів. Три дні з них уходило на досягнення 30-відсоткової вологості ґрунту. Таким чином відбір рослин проводили на 1-й та 7-й день, та досліджували показники індукції флуоресценції (таб. 1).

**Таблиця 1.** Параметри кривої індукції флуоресценції хлорофілу 1-й день посухи.

Сорт	F <sub>0</sub> , ум.од.	F <sub>p</sub> , ум.од.	F <sub>max</sub> , ум.од.	F <sub>st</sub> , ум.од.
Наталка, контроль	752+4	1140+12	1496+15	825+8
Наталка, посуха	758+5	1114+9	1364+13	780+11
Подільська нива, контроль	680+4	880+8	1290+13	739+12
Подільська нива, посуха	702+3	908+8	1275+11	762+14
Подольянка, контроль	716+5	998+9	1335+10	755+10
Подольянка, посуха	722+3	980+8	1330+10	785+10
Порадниця, контроль	724+4	1012+13	1385+7	786+11
Порадниця, посуха	755+8	1164+11	1482+8	855+10

З представленої таблиці видно, що за дії посухи підвищується рівень F<sub>0</sub>, що говорить про збільшення рівня неактивних, «відкритих», реакційних центрів фотосистеми II, а також знижується рівень F<sub>max</sub>, що говорить про погіршення переносу світлової енергії на реакційний центр фотосистеми II, та, як наслідок, зниження транспорту електронів на пластохінон Q<sub>a</sub>. Також, за дії посухи, збільшується рівень стаціонарної флуоресценції - F<sub>st</sub>. Підвищення рівня F<sub>st</sub> виявляє порушення у темній фазі фотосинтезу.

У таблиці 2 представлені розрахунки показників індукції флуоресценції хлорофілу різних сортів озимої пшениці на 1-й день посухи. Показник квантової ефективності фотосистеми II ( $F_v/F_{max}$ ) є досить стійким параметром. Його значне зниження, зазвичай, спостерігається лише за дії досить сильних стресорів, таких, наприклад, як температура вища за 45°C. На 1-й день дії посухи у досліджуваних сортів спостерігається незначне зниження цього показника. Найбільше

зниження спостерігається для сорту Наталка. Також спостерігається зменшення показника F<sub>max</sub>/F<sub>st</sub>, який носить назву "Index vitality" та може характеризувати загальну роботу фотосинтетичного апарату. Для всіх сортів збільшується показник Q<sub>b</sub>-невідновлюючі/Q<sub>b</sub>-відновлюючі реакційні центри. За дії посухи збільшується кількість Q<sub>b</sub>-невідновлюючих центрів та зменшується кількість Q<sub>b</sub>-відновлюючих. Особливо сильні зміни цього показника відмічаються у сортів Наталка та Порадниця.

Час досягнення максимального значення флуоресценції (Час max) є важливим показником використання сонячної енергії для збудження електронів на реакційному центрі ФСІІ. Як відомо, максимальний рівень флуоресценції досягається в тому стані, коли переносник електронів хінонової природи Q<sub>a</sub> знаходиться у максимально відновленому стані. Швидкість цього процесу залежить від

**Таблиця 2.** Показники індукції флуоресценції хлорофілу різних сортів озимої пшениці на 1-й день посухи.

Сорт	F <sub>v</sub> /F <sub>max</sub>	F <sub>max</sub> /F <sub>st</sub>	Q <sub>b</sub> -невідновлюючі /Q <sub>b</sub> -відновлюючі	Час max, с
Наталка, контроль	0,73±0,01	2,89±0,01	1,09±0,05	0,47±0,01
Наталка, посуха	0,68±0,02	2,88±0,03	1,42±0,07	0,64±0,01
Подільська нива, контроль	0,74±0,02	3,05±0,04	0,49±0,03	0,52±0,01
Подільська нива, посуха	0,71±0,01	2,76±0,03	0,56±0,03	0,61±0,01
Подольянка, контроль	0,72±0,01	3,04±0,03	0,84±0,04	0,53±0,01
Подольянка, посуха	0,71±0,01	2,73±0,04	0,74±0,03	0,71±0,01
Порадниця, контроль	0,72±0,01	2,90±0,02	0,77±0,01	0,58±0,01
Порадниця, посуха	0,72±0,01	2,63±0,02	1,29±0,04	0,62±0,01

притоку електронів від реакційного центру та відтоку електронів на акцептор Q<sub>b</sub>. У випадку, коли



транспорт електронів погіршується, при значному переносі квантів енергії на реакційний центр, хлорофіл реакційних центрів може переходити у триплетний стан і ініціювати виділення активних форм кисню. Тому зменшення ефективності переносу енергії, або розмірів світлозбиральної антени, можна вважати захисним механізмом фотосинтетичного апарату від

продукування активних форм кисню. Як можна бачити з таблиці 2 максимальне збільшення часу досягнення максимуму спостерігається для сорту Подолянка та Наталка, а дещо менше для Порадниці та Подільської ниви.

В таблиці 3 представлені показники кривих індукції флуоресценції на 7-й день посухи.

**Таблиця 3.** Параметри кривої індукції флуоресценції хлорофілу на 7-й день посухи.

Сорт	F <sub>0</sub> , ум.од.	F <sub>pl</sub> , ум.од.	F <sub>max</sub> , ум.од.	F <sub>st</sub> , ум.од.
Наталка, контроль	803±3	1172±12	1532±18	837±3
Наталка, посуха	791±2	1145±10	1427±12	803±3
Подільська нива, контроль	738±2	990±10	1325±15	759±3
Подільська нива, посуха	711±2	968±10	1279±15	736±6
Подолянка, контроль	732±3	963±10	1290±17	761±8
Подолянка, посуха	751±5	1083±12	1374±14	812±7
Порадниця, контроль	822±5	1256±11	1581±12	831±5
Порадниця, посуха	805±4	1215±11	1506±9	833±5

З таблиці 3 видно, що на 7-й день дії посухи рівень F<sub>0</sub> знизився, у всіх сортів крім Подолянки, що говорить про зменшення кількості неактивних центрів. Рівень F<sub>max</sub> дещо підвищився. А рівень F<sub>st</sub>, за дії посухи, також зменшився. Таким чином можна говорити про часткове відновлення показників фотосинтетичного апарату на 7-й день посухи.

Показник квантової ефективності фотосистеми II (F<sub>v</sub>/F<sub>max</sub>) на 7-й день дії посухи відновився у всіх сортів крім сорту Наталка (таб. 4). Також спостерігалось зменшення різниці між контролем та посухою для показника F<sub>max</sub>/F<sub>st</sub>. Для всіх сортів зберігається різниця показника Q<sub>б</sub>-невідновлюючі/Q<sub>б</sub>-відновлюючі реакційні центри. За дії 7-ми денної посухи кількість Q<sub>б</sub>-невідновлюючих центрів залишається підвищеною, а кількість Q<sub>б</sub>-відновлюючих центрів зниженою. Час досягнення максимального значення флуоресценції також залишається збільшеним, але не в такій мірі як на 1-й день посухи. Таким чином, з отриманих даних видно, що до 7-го дня помірної посухи у більшості сортів відбувається формування неспецифічної

стійкості фотосинтетичного апарату до водного дефіциту. Виключення складає сильний, високобілковий сорт Наталка, де відновлення індукційної кривої майже не відбувається.

Для з'ясування причин формування неспецифічної стійкості було проведено дослідження змін вмісту протеїнів, які визначені як протеїни-протектори, які за дії несприятливих абіотичних факторів можуть виконувати стабілізуючу роль для деяких ланок фотосинтетичного апарату в хлоропластах. Це білки з молекулярною масою 36, 21, 16 та 14 кДа. Білок 36 кДа - так звана пластохінолоксидаза, який є альтернативним акцептором електронів для переведеного пулу пластохінонів, який у критичних випадках відбирає на себе частину електронів та дозволяє зберегти електронний транспорт через фотосистему II на високому рівні, що запобігає утворенню активних форм кисню. Білок 21 кДа - водорозчинний хлорофіл-білок що стабілізує ФС II. Білок 16 кДа сприяє тримеризації ФС I та її стабілізації. Білок 14 кДа необхідний для забезпечення необхідної конформації для

**Таблиця 4.** Показники індукції флуоресценції хлорофілу різних сортів озимої пшениці на 7-й день посухи.

Сорт	F <sub>v</sub> /F <sub>max</sub>	F <sub>max</sub> /F <sub>st</sub>	Q <sub>б</sub> -невідновлюючі / Q <sub>б</sub> -відновлюючі	Час max, с
Наталка, контроль	0,69±0,01	2,92±0,01	1,03±0,03	0,46±0,01
Наталка, посуха	0,67±0,01	2,90±0,01	1,26±0,03	0,66±0,01
Подільська нива, контроль	0,69±0,01	2,99±0,02	0,75±0,01	0,48±0,01
Подільська нива, посуха	0,71±0,01	3,08±0,01	0,83±0,01	0,68±0,01
Подолянка, контроль	0,68±0,01	2,85±0,01	0,71±0,01	0,54±0,01
Подолянка, посуха	0,69±0,01	2,67±0,02	1,14±0,04	0,66±0,01
Порадниця, контроль	0,69±0,01	3,11±0,01	1,34±0,01	0,41±0,01
Порадниця, посуха	0,68±0,01	2,88±0,01	1,41±0,03	0,57±0,01

щільного зв'язування Ca<sup>++</sup> та Cl<sup>-</sup>. В таблиці 5 представлені розрахунки вмісту цих протеїнів в зразках сортів рослин озимої пшениці на 7-й день посухи (таб. 5). У посухостійких сортів спостерігали більш

високий вміст досліджених низькомолекулярних протеїнів з молекулярною масою 36, 21, 16 та 14 кДа, у менш стійких цей показник був нижчим.

**Таблиця 5.** Відносний вміст протеїнів в хлоропластах листків рослин озимої пшениці після посухи. (середній % від загального білку хлоропластів).

Сорт	Подолянка		Наталка		Подільська нива		Порадниця	
	контроль	посуха	контроль	посуха	контроль	посуха	контроль	посуха
36 кДа	4,8±0,1	7,2±0,2	4,7±0,1	5,2±0,1	5,0±0,1	5,8±0,1	4,8±0,1	5,9±0,1
21 кДа	4,2±0,1	6,2±0,1	4,9±0,1	5,2±0,1	4,9±0,1	5,6±0,1	3,6±0,1	5,0±0,1
16 кДа	5,0±0,1	8,5±0,2	5,6±0,2	6,2±0,1	6,4±0,1	7,1±0,2	4,9±0,1	7,6±0,2
14 кДа	4,7±0,1	6,7±0,1	5,0±0,1	6,0±0,1	5,6±0,1	6,8±0,1	4,8±0,1	6,5±0,2

З таблиці 5 видно, що найбільш активно синтез протекторних низькомолекулярних протеїнів проходив в рослинах сорту Подолянка та Подільська нива, а також, дещо менше, в сорту Порадниця. В хлоропластах листків рослин озимої пшениці сильного, високобілкового сорту Наталка збільшення вмісту цих протеїнів відбувалось в меншій мірі.

За недостатнього вологозабезпечення в першу чергу знижується фотосинтетична активність в листках зелених рослин. Відомі процеси деградації основних протеїнів комплексу реакційних центрів D1/D2/cytb 559 за дії посухи та високих температур [6]. При таких ситуаціях основна робота рослинного організму спрямовується на зниження втрат вологи, на підвищення роботи антиоксидантних систем та «включення» систем захисту: синтез протеїнів, які підвищують статус та стан основних структур в хлоропластах та в

клітині в цілому. Таким чином показано, що відновлення показників індукції флуоресценції на 7-й день посухи може бути пов'язане із підвищеним синтезом низькомолекулярних захисних протеїнів фотосинтетичного апарату, що збігається з отриманими раніше даними [6].

**Висновки.** У цінних сортів озимої пшениці Подолянка, Порадниця та Подільська нива за дії помірної посухи формується неспецифічна стійкість фотосинтетичного апарату за рахунок підвищеного синтезу захисних низькомолекулярних протеїнів. Сильний, високобілковий сорт Наталка лише частково відновлює показники фотосинтетичної активності та вирізняється незначним збільшенням вмісту захисних протеїнів фотосинтетичного апарату за дії 7-ми денної посухи.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Lesk C., Rowhani P., Ramankutty N. Influence of extreme weather disasters on global crop production // Nature, 2016. 529(7584). P. 84-87.
2. Zulkifal M., Ahsan A., et al. Heat and Drought Stresses in Wheat (*Triticum aestivum* L.): Substantial Yield Losses, Practical Achievements, Improvement Approaches, and Adaptive Mechanisms 2021. DOI: [10.5772/intechopen.92378](https://doi.org/10.5772/intechopen.92378) In book: Plant Stress Physiology.
3. Киризий Д.А., Стасик О.О., Прядкина Г.А., Шадчина Т.М. Ассимиляция CO<sub>2</sub> и механизмы ее регуляции. Фотосинтез. Том 2. К.: Логос, 2014. 480 с.
4. Креславский В.Д. Карпентьер Р., Климов В.В., Мурата Н., Аллахвердиев С.И. Молекулярные механизмы устойчивости фотосинтетического аппарата к стрессу // Биологические мембраны. 2007. Т. 3. С. 195-217.
5. Morgun V.V., Stasik O.O., Kirizy D.A., Sokolovska-Sergienko O.G. Effect of drought on photosynthetic apparatus, activity of antioxidant enzymes, and productivity of modern winter wheat varieties // Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2019. V.10. P. 16-25.
6. Бондаренко О.Ю., Шевченко В.В. Зміни вмісту пігментів та структурних протеїнів мембран хлоропластів у різних сортів озимої пшениці за дії посухи // Science and Education a New Dimension – 2021. IX, № 32. С. 7-10.
7. Кедрук А.С., Кіризі Д.А. Соколовська-Сергієнко О.Г., Стасик О.О. Реакція фотосинтетичного апарату сортів озимої пшениці на комбіновану дію посухи та високої температури // Фізіологія рослин і генетика. 2021. Т. 53. С. 387–405.
8. Senapati N., Stratonovitch P., Paul M.J., Semenov M.A. Drought tolerance during reproductive development is important for increasing wheat yield potential under climate change in Europe // J. Exp. Bot. 2019. V. 70, No. 9. P. 2549-2560.

#### REFERENCES

1. Lesk C., Rowhani P., Ramankutty N. Influence of extreme weather disasters on global crop production // Nature, 2016. 529(7584). P. 84-87.
2. Zulkifal M., Ahsan A., et al. Heat and Drought Stresses in Wheat (*Triticum aestivum* L.): Substantial Yield Losses, Practical Achievements, Improvement Approaches, and Adaptive Mechanisms 2021. DOI: [10.5772/intechopen.92378](https://doi.org/10.5772/intechopen.92378) In book: Plant Stress Physiology.
3. Kirizy D.A., Stasik O.O., Pryadkina G.O., Shadchina T.M. Assimilation of CO<sub>2</sub> and mechanisms of its regulation. Photosynthesis. V 2. Kyiv: Logos, 2014. 480 p.
4. Kreslavsky V.D. Karpentier R., Klimov V.V., Murata N., Allahverdiev S.I. Molecular mechanisms of stability of photosynthetic apparatus for stress // Biological membranes, 2007. (3). P. 195-217.
5. Morgun V.V., Stasik O.O., Kirizy D.A., Sokolovska-Sergienko O.G. Effect of drought on photosynthetic apparatus, activity of antioxidant enzymes, and productivity of modern winter wheat varieties // Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2019. V.10. P. 16-25.
6. Bondarenko O.Yu., Shevchenko V.V. Changes in the content of pigments and structural proteins of chloroplast membranes in different varieties of winter wheat under the influence of drought // Science and Education a New Dimension. 2021. IX, № 32. P. 7-10.
7. Kedruk A.C., Kirizy D.A., Sokolovska-Sergienko O.G., Stasik O.O. Response of the photosynthetic apparatus of winter wheat varieties to the combined action of drought and high temperature // Plant Physiology and genetics. 2021. V. 53. P. 387–405.
8. Senapati N., Stratonovitch P., Paul M.J., Semenov M.A. Drought tolerance during reproductive development is important for increasing wheat yield potential under climate change in Europe // J. Exp. Bot. 2019. V. 70, No. 9. P. 2549-2560.

#### Changes in the parameters of chlorophyll fluorescence induction and content of low molecular weight protective proteins in modern varieties of winter wheat under drought

V. V. Shevchenko, O. Yu. Bondarenko

**Abstract.** Changes in the induction of chlorophyll fluorescence and the content of low molecular weight protective proteins in four varieties of winter wheat under drought were studied. It is shown that on the seventh day of moderate drought valuable varieties Podolyanka, Poradnytsia and Podil's'ka nyva form non-specific resistance due to increased synthesis of protective proteins. The strong, high-protein variety Natalka only partially restored fluorescence induction and had a slight increase in the content of protective proteins of the photosynthetic apparatus.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L., winter wheat, induction of chlorophyll fluorescence, low molecular weight protective proteins of the photosynthetic apparatus, drought.

## BIOLOGY

### Introduction of *Ginkgo biloba* L. in conditions of the North-Western Black sea region

L. V. Levchuk, T. V. Kricka\*

The Botanical garden of the Odessa National I. I. Mechnikov University, Odessa, Ukraine

\*Corresponding author. E-mail: krickatam@gmail.com

Paper received 02.02.22; Accepted for publication 04.03.22.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2022-268X34-02>

**Abstract.** The article presents historical data on the introduction of *Ginkgo biloba* L. in the North-Western Black Sea region. A comparative analysis has been made on the bioecological properties of the species under different growing conditions. An assessment has been carried out on the prospects for the widespread introduction of *Ginkgo biloba* L. for the purpose of landscaping of the city of Odessa.

**Keywords:** *Ginkgo biloba* L., introduction, North-Western Black Sea region, botanical garden, bioecological properties.

**Introduction.** *Ginkgo biloba* (*Ginkgo biloba* L.) is the only surviving relict species of the ginkgo family (Ginkgoaceae). It is of scientific interest as a medicinal and highly decorative plant.

**Brief review of publications on the topic.** *Ginkgo biloba* (*Ginkgo biloba* L.) was discovered in 1690 by the doctor of the Dutch embassy in Japan E. Kaempfer, in 1712 he described it under the name of ginkgo (silver apricot or silver fruit). After 20 years, it was brought to Europe, and at the end of the 18<sup>th</sup> century to North America [3]. Today, ginkgo is grown in many parks and gardens in the subtropics and southern regions of the temperate zone of North America, Europe and Asia, restoring historical justice, almost repeating the ancient area of its distribution. Outdoors *Ginkgo* grows in Russia in Kaliningrad, Moscow, St. Petersburg, Krasnodar and Astrakhan. In the main botanical garden of the Russian Academy of Sciences, ginkgo has been growing since 1946 (three-year-old seeds had been brought from Germany), these specimens do not bloom, grow slowly and require mandatory shelter for the winter period. In the Lagolekh arboretum (Georgia), there are two growing specimens, planted in the 1860s. Both trees are about 30 meters high, the female one bears fruit, the seeds are viable.

*Ginkgo* has been known in culture since the 11<sup>th</sup> century. It is currently used as an ornamental, fruit and medical plant. Many variations of its decorative forms are used in landscaping [7].

**The purpose** of this research is to study the bioecological features of *Ginkgo biloba* L. in the conditions of Odessa city, as well as to assess the prospects for introducing the species into the landscaping of the city.

**Materials and methods.** *Ginkgo biloba* (*Ginkgo biloba* L.) is a representative of the class Ginkgopsida, Pinophyta division, the only relict species of the once numerous Ginkgo family (Ginkgoaceae), which has survived to our time from the Permian period of the Paleozoic era (about 290-250 million years) [1].

Under natural conditions, *Ginkgo* currently grows in China in mountain forests with a fairly high degree of humidity, in the Yangtze River basin, in the forest reserve on Mount Temusa near Hangzhou, where it forms forests along with coniferous and broadleaved species [14].

*Ginkgo biloba* is a dioecious deciduous tree in natural conditions reaching the height of 35-40 m and 4-4,5 m in diameter. It lives up to 2 thousand years. The bark of adults plants in the lower part of the trunk is dark gray, longitudinally fissured. The crown is pyramidal in young plants, becoming broadly ovoid with age. Lateral branches depart from the trunk at almost a right angle. Shoots are of two types: terminal elongated (auxiblasts), growing rapidly, shortened (brachyblasts), characterized by slow growth. Leaves on elongated shoots are alternate, fan-shaped on long petioles, dense, bare, wavy along the edge or dissected into lobes. On shortened shoots, the leaves are the same, but joint in bunches (3 to 5) [2].

Plants enter the generative stage at the age of 25-30 years. *Ginkgo* micro- and megastrobili are formed on shortened shoots. They are set up at the end of summer, but ripen at the beginning of the next growing. In early spring, before leaf flushing, the microstrobili (male strobiles) appear and, simultaneously with the leaves, the megastrobils (female ovules) emerge. Microstrobils open 7-8 days earlier than megastrobils. Microstrobili are loose, catkin-shaped, from 3-5 pieces in a bundle; when pollen ripens, they are bright yellow. The ovules are small, placed on long stalks thickened at the apex. The seed with a fleshy shell is round or oblong-ellipsoid. The seed without a fleshy cover is woody, mostly dihedral, less often 3-/4-hedral. *Ginkgo* is the only gymnosperm plant in which motile spermatozoa have been discovered. This brings them closer to the cycads and shows that these groups are at the same low level of evolution. The development of the embryo, and often fertilization, occurs in *Ginkgo* in the ovules that have fallen from the tree. *Ginkgo* seeds do not have a dormant period and can germinate as soon as the embryo reaches its maximum development [3].

The objects of the study were *Ginkgo biloba* plants, which are in the collection of the ONU Botanical Garden, growing in urban plantations, and a comparative analysis has been carried out for other regions.

The climate of Odessa is dry continental with hot summers and frosty winters. The annual rainfall is 421-440 mm. Frequent long rainless periods, accompanied by high temperatures (40-50°C) on the soil, cause sever

droughts. The growing conditions of *Ginkgo biloba* in the city are very diverse. The presence of the sea area has a significant impact on the formation of the city's microclimate. The length of the sea border along the city is 33 km. The distance from the sea coast inland is from 2 to 11 km [15].

Stationary studies have been carried out in the botanical garden of ONU and by examining plantings in the city environment.

The following methods were used to conduct the research: the degree of winter hardiness of shoots and drought resistance was assessed according to the scale of S. Ya. Sokolov [4], frost resistance was determined on the basis of visual observations during especially cold winters [8]. The general condition of *Ginkgo* plantations was determined on a 5-point scale [16], the abundance of fruiting – with the use of a five-point scale [11]. Phenological observations were carried out according to the existing methodology [10]. Morphological indicators of the photosynthetic apparatus of trees were studied by measuring shoots and leaf blades [12, 17].

**Results and their discussion.** In Ukraine, *G. biloba* was first introduced in 1811 in Krasnokutsky arboretum (Acclimatization garden named after I.N. Kazarin, Kharkiv region). Since 1818 it was introduced by H. Steven in the environment of the Nikitsky Botanical Garden. Nowadays, *Ginkgo* is found in botanical gardens and arboreturns in Kiev, Lvov, Donetsk, Odessa, etc; occasionally – in the squares of cities of Polissya and the forest-steppe regions. In the Central Republican Botanical Garden plants aged 45-60 years are found [14].

In Odessa, the name *G. biloba* is first mentioned in the *Notes of the Imperial Society of Agriculture of Southern Russia* in an article by K. Desmet, who mentions two specimen imported from Japan in 1826. In 1884, *Ginkgo* was discovered in the garden of S. R. Rote, and in 1903-1904 it was listed in the *Catalogue of Three Nurseries* (Odessa) by S. R. Rote [5, 9]. In 1880, in the park named after I.I. Mechnikov, a group of *ginkgo* trees was planted, of which three trees are currently preserved. In 1930, in the courtyard of the Gorkiy library three specimens of *Ginkgo* were planted, which gave offspring for all subsequent plantings in Odessa. In the Victory park in Primorsky district of the city a group of *Ginkgo* (seeds from the ONU Botanical garden) was planted in the 70s of the previous century [6, 13].

In 1952-1954, a nursery was established in the Botanical garden, and later groups of *Ginkgo* were planted on the old and new territories. Currently, there are 4 groups including 5-8 specimens on the new territory of the Botanical garden, 28 trees in total. All groups are located in different microclimatic conditions isolated from each other. One group (5 females and 3 males) is located in an open area with sufficient lighting. These plants remained at the site of the former nursery, and in 1977 they bloomed for the first time and produced germinating seeds. Since then, they have been constantly blooming and fruiting abundantly (in some years there is no fruiting). The remaining groups are planted on the territory of the park in the second tier, fruiting is weak. In some years self-seeding is observed. The data is presented in Table 1.

**Table 1.** Characteristics of *Ginkgo biloba* L. plants in the conditions of Odessa

Place of growth	Number of plants	Plant height, m	Crown diameter, m	Fruiting	Self-sown plants	Pest infestation and disease	General state
Botanical garden	28	5-20	6-23	+	+	+	4
I.I. Mechnikov square	3	15-22	30-50	+	–	++	2
M. Gorkiy library area	3	25-30	35-45	+	+	+++	3
Victory park	8	5-12	10-25	+	–	++	1

The table presents data on the quantitative composition, biometric characteristics of *Ginkgo* plantations in various places of growth, information on generative development and an assessment of their general condition. The low score of the general condition in Mechnikov square and Victory park is the result of the lack of agrotechnical care over the

past decade, as well as the negative impact of the anthropogenic factor.

A comparative analysis of the main phenophases of *Ginkgo* vegetation in different climatic zones of introduction is presented in Table 2.

**Table 2.** The phenospectrum of the seasonal development of *Ginkgo biloba* L. in different climatic zones

Region of introduction	Bud bursting	Foliage	Period of shoot growth	End of vegetation	Pollen dispersion	Fruit ripening
Moscow	2/IV	n.i.*	n.i.*	2/X	d.b.**	—
Kiev	3/IV - I/V	3/V - I/VI	I/VI - 2/VIII	I/XI	2/V - 3/V	—
Odessa	3/III - 2/IV	2/IV - I/V	3/V-3/VII	2/XI	2/IV - 2/V	2/X

Note: \* - no information; \*\* - does not bloom.

Under the environment conditions of Kiev city, the seeds do not germinate, and there is no flowering under Moscow conditions.

As evidenced by the research under Odessa environment conditions, the *Ginkgo* vegetation season starts earlier and finishes later compared to the northern regions.

The beginning of the growth of annual shoots and its duration depend on the temperature factor and the abundance of moisture. In Odessa, *Ginkgo* goes through a full cycle of generative development, setting germinating seeds.

Biometric measurements of the main biological indicators of fruit bearing and of the photosynthetic apparatus were carried out on model branches taken from the pe-

ripheral part of the crowns stretching out into different directions (Table 3).

**Table 3.** Biometric characteristics of *Ginkgo biloba* L. under the environment conditions of Odessa

Indicators	Botanical garden	I.I. Mechnikov square	M. Gorkiy library	Victory park
1	2	3	4	5
I. Leaves:				
1. Quantity per 1 m of shoot	140±3	98±4	120±3	140±5
2. Sheet area surface per 1 m of shoot, cm <sup>2</sup>	3097,3±5,1	3107,6±6,2	2977,9±6,2	2830,9±9,3
3. Dimensions, cm:				
- petiole length	5,4±0,4	4,5±0,3	5,3±0,3	6,7±0,5
- leaf blade length	4,9±0,2	4,9±0,2	4,5±0,3	4,5±0,3
- blade width	7,1±0,3	7,2±0,3	7,3±0,2	5,4±0,3
II. Fruits:				
1. Quantity per 1 m of shoot, pcs.	10±2	—	20±4	52±6
2. Dimensions of the fruit with pericarp, cm:				
- petiole length	6,7±0,5	—	6,9±0,5	5,2±0,4
- fruit length	2,8±0,1	—	2,3±0,1	2,2±0,1
- fruit width	2,4±0,1	—	2,4±0,1	2,0±0,1
3. Dimensions of the fruit without the pericarp, cm:				
- fruit length	2,3±0,1	—	1,9±0,1	1,9±0,1
- fruit width	1,7±0,1	—	1,7±0,1	1,4±0,1
- thickness	1,4±0,1	—	1,3±0,1	1,2±0,1
4. Seed size, cm				
- length	2,0±0,2	—	1,6±0,2	1,5±0,3
- width	1,3±0,1	—	1,4±0,1	1,1±0,2
- thickness	1,2±0,1	—	1,2±0,1	1,0±0,1
5. Weight of fruit, gr:				
with the pericarp	9,8±0,4	—	8,1±0,3	5,0±0,7
without the pericarp	2,2±0,2	—	1,9±0,2	1,3±0,4
of the seed	1,7±0,1	—	1,6±0,1	1,1±0,1

Table 3 shows that changes in the average dimensional and quantitative indicators of the state of the leaf apparatus in the studied plants growing in different places do not go beyond the limits of a statistically homogenous set.

However, quantitative and weight indicators of fruiting indicate that the state of plants growing in the botanical garden and in the public garden of the M.Gorkiy library, are satisfactory, which is confirmed by the data in Table 1. The plants in *Victory* park are in a stressful, critical state, as evidenced by the abundance of small fruits with low weight.

*Ginkgo biloba* in the conditions of the city of Odessa is characterized as follows: drought resistance – 2 points, winter hardiness – 1 point, frost resistance – no damage was observed at -28°C. It is undemanding to soil conditions and wind-resistant. Recently, the presence of scale insects on the shoots has been noted, but no visual damage has been found.

In the nurseries of the botanical garden, *Ginkgo* is propagated annually, which has recently been in great demand.

A large number of specimens were donated to the botanical garden of the Moldavian Academy of Sciences.

**Conclusions.** Long-term observations have shown that *G. biloba* is a highly decorative, drought-resistant and winter-hardy plant that is not affected by pests and diseases, which can be widely used in landscaping the Northwestern Black Sea region.

The climatic conditions of Odessa do not contradict the passage of a full cycle of vegetation in *Ginkgo*. Plants go through all stages of ontogeny. Fruiting is plentiful, but not regular, seeds germinate. The biomorphological characteristics of the plant correspond to the general species characteristics. According to ecological requirements, *Ginkgo* belongs to mesophytes. In urban conditions, it needs more soil moisture than air. In especially hot periods, watering is necessary, the plant is characterized by tolerance for winter and frost conditions. The studied plants belong to heliophytes, but tolerate slight shade without changes. The most rational use is in group plantings.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Деревья и кустарники СССР. Голосеменные. / Под редакцией С. Я. Соколова. – М. - Л., 1958. – Т. 1. С. 14.
2. Деревья и кустарники, культивируемые в Украинской ССР. Голосеменные / Кузнецов С. И., Чуприна П. Я., Подгорный Ю. К. и др. – К.: Наук. думка, 1985. – С. 7-9.
3. Жизнь растений // Под ред. Тахтаджяна. – М.: Просвещение, 1978. – Т.4. – С. 309-315.
4. Интродукция декоративных растений, деревьев и кустарников на юге СССР // Под ред. А. М. Кормилицина. – Ялта: ГНБС, 1980. – Т. LXXXII. – С. 53-54.
5. Каталог древесных питомников С. Р. Роте (осень 1903 - весна 1904). – Одесса. – С. 91-92.
6. Кириченко М. П. История озеленения города Одессы. – Одесса, 1994. – 35 с.
7. Колесников А. И. Декоративная дендрология. – М.: Лесная промышленность, 1974. – С. 150-152.
8. Кормилицин А. М., Голубев И. В. Каталог дендрологических коллекций арборетума государственного Никитского ботанического сада. – Ялта: тр. НГБС, 1970. – С. 87-91.
9. Листки «Сельское хозяйство Южной России за 1834г.» Лесоводство (Письмо К. Десмета). – XVIII. – Одесса, 1834.
10. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. – М.: Наука, 1975. – 27 с.
11. Методические указания по семеноведению интродуцентов / Под ред. Н. В. Цицина. – М.: Наука, 1980. – С. 18-20.
12. Молчанов А. А., Смирнов В. В. Методика изучения прироста древесных растений. – М.: Наука, 1967. – 95 с.
13. Немерцалов В. В. Конспект дендрофлоры Одессы. – Одесса: Альянс Юг, 2007. – С. 7.
14. Природа Одесской области. Ресурсы, их рациональное использование и охрана. // Под редакцией Г. И. Швевса. – Киев-Одесса, 1979. – С. 245.
15. Рекомендация Совета ботанических садов СССР. – Москва, 1975 г. – 21 с.
16. Тюльпанов Н. М. Лесопарковое хозяйство. – М., 1975. – С. 82-89.
17. Чуприна П. Я. Хвойные Восточной Азии на Украине. – Киев: Наук. думка, 1987. – С. 14, 20.

#### REFERENCES

1. Trees and shrubs of the USSR. Gymnosperms. / Edited by S. Ya. Sokolov. – M. - L., 1958. – T. 1. P. 14.
2. Trees and shrubs cultivated in the Ukrainian SSR. Gymnosperms / Kuznetsov S.I., Chuprina P.Ya., Podgorniy Yu. K. et al. – K.: Nauk. dumka, 1985. – P. 7-9.
3. Life of plants // Under ed. Tahtadzhyan. – M.: Prosveshchenie, 1978. – V.4. – P. 309-315.
4. Introduction of ornamental plants, trees and shrubs in the south of the USSR // Under ed. A.M. Kormilitsyn – Yalta: GNBS, 1980. – V. LXXXII. – P. 53-54.
5. Catalog of tree nurseries by S. R. Rote (autumn 1903-spring 1904). – Odessa. – P. 91-92.
6. Kirichenko M.P., History of landscaping of the of the city of Odessa – Odessa, 1994. – 35 p.
7. Kolesnikov A. I., Decorative dendrology. – M.: Lesnaya promyshlennost, 1974. – P. 150-152.
8. Kormilitsyn A. M., Golubev I. V. Catalog of arboretum dendrological collections of the State Nikitskiy botanical garden. – Yalta: tr. NGBS, 1970. – P. 87-91.
9. Sheets of the “Agriculture of Southern Russia”, 1834, Lesovodstvo (Letter of K. Desmet). – XVIII. – Odessa, 1834.
10. Methods of phenological observations in the botanical gardens of the USSR. – M.: Nauka, 1975. – 27 p.
11. Guidelines for seed breeding of introducers / Under ed. N.V. Tsitsin. – M.: Nauka, 1980. – P. 18-20.
12. Molchanov A.A., Smirnov V.V., Methods of studying the growth of woody plants. – M.: Nauka, 1967. – 95 p.
13. Nemertsalov V.V., Synopsis of dendroflora of Odessa. – Odessa: Alians Yug, 2007. – P. 7.
14. Nature of the Odessa region. Resources, their national use and protection. // Under ed. G.I. Schwebs. – Kiev - Odessa, 1979. – P. 245.
15. Recommendation of the Council of Botanical Gardens of the USSR. – Moscow, 1975. – 21 p.
16. Tyulpanov N.M., Forestry management. – M., 1975. – P. 82-89.
17. Chuprina P.Ya., Conifers of East Asia in Ukraine. – Kiev: Nauk. Dumka, 1987. – P. 14, 20.

#### Introduction of *Ginkgo biloba* L. in the conditions of the North-Western Black Sea region

L. V. Levchuk, T. V. Kricka

**Annotation.** The article provides historical data on the introduction of *Ginkgo biloba* L. in the North-Western Black Sea region. A comparative analysis of the bioecological properties of the species under different growing conditions has been made. An assessment of the prospects of the widespread introduction of *Ginkgo biloba* L. is provided in the landscaping of the city of Odessa.

**Keywords:** *Ginkgo biloba* L., introduction, North-Western Black Sea region, botanical garden, bioecological properties.

## Гемостаз та властивості крові корів в період сухостою

Д. М. Матвійчук

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
Corresponding autor E. mail: denmatv94@ukr.net

Paper received 10.07.22; Accepted for publication 01.08.22.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2022-268X34-03>

**Анотація.** Результати проведених досліджень свідчать, що у корів в період сухостою значно змінюються показники крові та її коагуляційні властивості. Найбільш значно ці відмінності нами встановлені у корів в період сухостою. Тромбоцитарний гемостаз корів під час тільності набуває значних змін. Вони свідчать, що впродовж періоду виношування плоду стан судинно-тромбоцитарного гемостазу тварини набуває відповідних закономірностей у динаміці та активності окремих компонентів по мірі підвищення строку тільності тварин. Кількість тромбоцитів в крові корів від першого триместру тільності до кінця третього триместру знижується. Значно знижуються показники тромбінового та протромбінового часу зсідання крові, підвищується потенціал її зсідання.

**Ключові слова:** гемостаз, кров, властивість, корова, сухостій.

**Вступ.** У процесі виношування плоду організм самок зазнає значних змін у перебігу фізіологічних функцій. Фізіологічні зміни спрямовані на пристосування організму вагітної до компенсаторних витрат, необхідних для розвитку плоду та до можливої крововтрати під час родів. Ріст та розвиток плоду супроводжується більш значними змінами в системі крові, серцево-судинної системі та в системі дихання. У першу чергу змінюється гормональний баланс організму самок. Це відбувається під впливом жовтого тіла і плаценти. Уважають, що висока концентрація естрогенів необхідна для збільшення кровообігу у вагітному розі матки. Кількість крові у вагітних тварин збільшена, і серце зазнає змін за рахунок деякого збільшення маси м'язових елементів. Дихання у вагітних тварин прискорюється, бо потреба в Оксигені збільшується за рахунок плода, що швидко розвивається. Посилені приплив крові до судин тазової порожнини також має фізіологічне значення. Він спричиняє розтягнення стінок капілярів, через що рідка частина крові виходить з них і просочує навколишні тканини. Це в певній мірі сприяє розм'якшенню зв'язок, які сполучають крижі з тазом, а потім крижі западають. Розслаблення зв'язок та інших тканин готує родові шляхи до наступного процесу родів. Виникнення та розвиток вагітності позначається і на імунному стані організму самок (В. А. Яблонський). Імунна система, як відомо, здійснює імунологічний нагляд за появою в організмі сторонніх антигенів. Процес відтворення організмів, що включає стадії гаметогенезу, осіменіння, запліднення, вагітності, родів та післяродову, супроводжується появою в організмі сторонніх антигенів і розвитком відповідних імунних реакцій. У гуманній медицині значна увага приділяється питанням зміни гемостазу, властивостей крові у жінок під час вагітності. У ветеринарній медицині питанням щодо зміни фізіологічних та коагуляційних властивостей крові тварин під час вагітності практично не приділяється увага і вони залишаються поза увагою дослідників.

**Короткий огляд публікацій по темі.** У інтенсифікації галузі тваринництва вирішальна роль відводиться активації функції відтворення тварин. Для вирішення даної проблеми необхідно розробляти нові методи профілактики акушерсько-гінекологічних захворювань корів з урахуванням комплексного аналізу причин порушення їх репродуктивної функції [1].

Деякі дослідники вважають [2, 3], що у вирішенні даної проблеми значна роль належить системі кровотворення та гемостазу [3]. Гемостаз – це біологічна система, яка забезпечує збереження рідкого стану крові та попередження кровотечі. В основі її регулювання лежить постійна динамічна рівновага між прокоагулянтною та антикоагулянтною ланками системи гемостазу. Найважливішими структурно-функціональними одиницями первинної ланки гемостазу є тромбоцити і ендотелій кровоносних судин [4]. Інші дослідники виключно важливе значення надають у гемостазі тромбоцитам, які найперші підключаються до цього процесу і проявляється їх надзвичайно важлива функція – адгезивно-агрегаційна [5]. Велика кількість досліджень у гуманній медицині присвячені вивченню питань, що стосуються особливостей гемостазу під час вагітності жінок. Уважають, що у формуванні гемостазу організму значна роль належить динаміці активності тромбоцитів. У ветеринарній медицині дана проблема залишається, на жаль, поза увагою дослідників. Розрізнена інформація з цього питання у тварин свідчить, що розвиток функціональних можливостей організму телиць, а потім і корів здебільшого обумовлений його функціонуванням, що забезпечує оптимальний реологічний стан крові [6], адекватним притоком її до тканин, фізіологічною діяльністю серцево-судинної системи, високим рівнем резистентності та інтенсивним обміном речовин [7]. Наявна наукова інформація свідчить, що в сучасний час залишаються недостатньо дослідженими система гемостазу під час тільності корів, показники тромбоцитарного гемостазу впродовж росту та розвитку плоду в організмі корів.

Доведено, що [8] в структурі причин порушення перебігу тільності у корів, розвитку родових та післяродових ускладнень значну роль відіграє плацентарна недостатність. Вона супроводжується судинним спазмом з порушенням перфузії життєво важливих органів, яка розвивається у зв'язку з невідповідністю можливостей адаптаційних систем материнського організму реагувати на забезпечення потреб плоду, що розвивається. Ця невідповідність реалізується через зміни в системі гемостазу материнського організму і різний ступінь перфузійно-дифузійної недостатності плаценти. Порушення властивостей крові, показників системи гемостазу в корів під час вагітності є причи-

ною виникнення протейнурії, набряків, порушення перебігу родів та післяродового періоду у тварин [8, 9].

Результати досліджень ряду авторів [8, 10] з вищезазначеного питання свідчать, що зміна реології крові, системи гемостазу під час вагітності у корів супроводжується порушенням функціонального стану фетоплацентарного комплексу, характеру перебігу родів та післяродового періоду і супроводжується розвитком гіпертензії. На ранньому етапі розвитку гіпертензії організм матері і плоду випробовує високе функціональне напруження, яке супроводжується підвищенням синтезом кортикостероїдів та включенням у процес компенсаторно-приспосувальних механізмів [11]. При тривалому порушенні параметрів гемостазу відбувається зрив компенсаторних механізмів гіпофізарно-надниркової системи, зниження синтезу кортикостероїдних гормонів, що в подальшому негативно впливає на індукцію і перебіг родового процесу. Ряд інших авторів [11,9,7] доводять, що зміни показників гормонального статусу корів в динаміці тільності відрізняються фазністю їх прояву, відображають стресовий стан організму та свідчать про фетоплацентарну недостатність. Патологія тільності у високопродуктивних молочних корів за умов порушення фізіологічності системи гемостазу супроводжується набряками, фетоплацентарною недостатністю. За цих умов у тільних корів спостерігаються функціональні порушення в серцево-судинній, легеневій, видільній системах, під час родів та в післяродовий період, а також народження нежиттєздатного приплоду [12]. Уважаємо, що особливо гостро дана проблема виявляється в системі відтворення у корів. Це пов'язано з тим, що в корів плацента множинна. Ворсинки на хоріоні ростуть нерівномірно, утворюючи 80-120 котиледонів. Кожен котиледон тісно стискається з відповідною заглибиною в матці – карункулом. У цих місцях епітелій на слизовій матки відсутній і ворсинки хоріона проникають у сполучну тканину, більше наближаючись до кровоносних судин матері. За цих умов порушення гемостатичних процесів у організмі тільних корів, збільшення потенціалу зсідання крові лежать в основі виникнення тромбоемболічних ускладнень. Вони, як правило, порушують перебіг родового процесу, спостерігається затримка посліду. Дана родова патологія є надзвичайною складною, негативно впливає на репродуктивну функцію корів та отримання життєздатного приплоду.

**Метою наших досліджень було** дослідити динаміку показників тромбоцитарного гемостазу та властивостей крові корів у період сухостою.

**Матеріали та методи.** Експериментальна частина роботи проведена в умовах господарства ПРАТ «Радгосп «Шевченківський», с. Шевченкове, Конотопський район. Дослідження зразків крові проводили в умовах клініко-діагностичної лабораторії «Сехмет», м. Суми.

З метою дослідження процесів гемостазу корів у період сухостою нами були сформовані дві групи тварин, по 10 корів у кожній. До контрольної групи тварин відносили нетільних корів, до дослідної - корів на

початку сухостою. Досліди проводили на коровах чорно-рябої породи 2-3 отелення. Під час дослідження тварини перебували під постійним клінічним наглядом. Стан їх здоров'я контролювали за клінічними та основними фізіологічними показниками, перебігом тільності, родів та післяродового періоду.

Утримання корів безприв'язне, годівля трьохразова, за однотипним нормованим раціоном. Тварини воду отримують з автопоїлок. Доїння корів проводиться дворазово на добу установкою з молокопроводом АДМ – 8.

З метою виключення впливу добової динаміки на показники тромбоцитарного гемостазу, кров відбирали з підхвостової артерії в кінці кожного періоду тільності та після отелення від тварин уранці до годівлі, після доїння. Зразки крові від тварин відбирали одноразовими стерильними голками з дотриманням правил асептики й антисептики, у пробірки з вакуумною системою, що містять антикоагулянт.

Використовуючи прилад Коагулометр К 3002 ОР-ТІС, у зразках крові визначали такі показники тромбоцитарного гемостазу: протромбіновий час, протромбіновий індекс, тромбіновий час, активованій частково тромбопластиновий час (АЧТЧ), вміст фібриногену, кількість тромбоцитів (PLT), міжнародне нормалізоване відношення (МНВ), гемоглобін (HGB), гематокрит (HCT), середній об'єм тромбоцитів (MPV), тромбокрит (PCT), ширина розподілу тромбоцитів за об'ємом (PDW), кількість лейкоцитів (WBC), кількість еритроцитів (RBC), середній об'єм еритроцитів (MCV), середній вміст гемоглобіну в одному еритроциті (MCH), середню концентрацію гемоглобіну в еритроцитах (MCHC), ширину розподілу еритроцитів за об'ємом (RDW), швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ).

Загальні властивості крові визначали загальноприйнятими методами. Питому вагу методом Гаммершлага, швидкість згортання методом Бітюкова, в'язкість крові за допомогою віскозиметра, тромботест методом Оврена, ретракцію кров'яного згустку, адгезію тромбоцитів методом Ковальського.

Під час проведення експериментальних досліджень дотримувалися міжнародних вимог Європейської конвенції захисту хребетних тварин, що використовуються в експериментальних та інших наукових цілях (Страсбург, 1986 р.) та відповідного Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» № 3447-IV від 21.06.2006 р.

Отриманий цифровий матеріал оброблено статистично за допомогою комп'ютерної програми з визначенням середньої арифметичної (M), статистичної помилки середньої арифметичної (m), вірогідності різниці (p) між середніми арифметичними двох варіаційних рядів за критерієм вірогідності (t) Стьюдента. Різницю між двома величинами вважали вірогідною за  $p < 0,05$ ;  $p < 0,01$ ;  $p < 0,001$ .

**Результати досліджень та їх обговорення.** Результати досліджень дозволяють стверджувати, що впродовж третього триместру тільності кількість тромбоцитів в крові тільних корів поступово знижується (табл.1).



**Таблиця 1.** Показники тромбоцитарної ланки гемостазу корів у третій період тільності (M±m, n = 10)

Показники	Стан корів	Місяць тільності			У середньому, за третій період тільності
		7	8	9	
Тромбоцити, тис/мкл	Т	226,67 ±8,87*	208,07±6,62*	209,87±10,83*	214,87±5,92*
	н/т	286,00±4,445	290,2±7,05	281,20±10,10	285,80±2,60
Середній об'єм тромбоцитів, пг	Т	7,17±0,11	7,11±0,13	7,31±0,13	7,20±0,12
	н/т	7,27±0,23	7,18±0,17	7,08±0,17	7,18±0,19
Тромбоцитрит, %	Т	0,17±0,01	0,16±0,01	0,14±0,01	0,16±0,01
	н/т	0,15±0,01	0,15±0,01	0,14±0,02	0,15±0,003
Ширина розподілу тромбоцитів, за об'ємом %	Т	41,85±0,79	40,30±1,10	40,93±0,61	41,03±0,45
	н/т	40,87±0,38	39,56±0,40	40,42±0,58	40,28±0,38

Примітка: ° p < 0,05; °° p < 0,01; °°° p < 0,001, у порівнянні з нетільними коровами.

Так, у кінці сьомого місяця тільності кількість кров'яних пластинок у крові корів в 1,26 рази менше, ніж у нетільних корів (p < 0,01). До кінця 8 та 9 місяця тільності кількість тромбоцитів у крові корів коливалась і в ці місяці їх кількість в крові тільних корів була в 1,39-1,34 рази меншою (p < 0,01), ніж у нетільних корів. У середньому, за третій період тільності тромбоцитрит крові корів становив 0,16±0,01%, що в 1,07 більше, ніж у нетільних корів. Показники часу активності факторів тромбоцитарного гемостазу у третій період тільності корів знижувалися (табл. 2). Протро-

мбіновий час в кінці 7 місяця тільності у корів був в 1,51 рази меншим (p < 0,01), ніж у нетільних корів. У тільних корів протромбіновий час до кінця 8 та 9 місяця плодовоношення вірогідно не знижувався. Однак, за період сухостою протромбіновий час у корів виявився в 1,50-1,56 рази коротшим, ніж у нетільних корів (p < 0,01). Показник протромбінового індексу також переважав у нетільних корів. За місяцями третього періоду тільності у корів даний показник виявився в 1,09, 1,13 (p < 0,05, та 1,21 рази меншим (p < 0,01), ніж у нетільних корів.

**Таблиця 2.** Показники протромбінового та тромбінового часу гемостазу корів у період сухостою (M±m, n = 10)

Показники	Стан корів	Місяць тільності			У середньому, за третій період тільності
		7	8	9	
Протромбіновий час, сек	Т	28,35±1,08**	28,89±0,87**	27,75±0,82**	28,33±0,33**
	н/т	42,90±1,32	43,27±0,73	43,42±0,60	43,20±0,155
Протромбіновий індекс, %	Т	42,29±1,99	43,11±1,91	39,81±2,17	41,74±0,99*
	н/т	46,13±1,155	48,73±1,13	48,25±1,43	47,70±0,799
Міжнародно нормалізоване відношення (МНВ), %	Т	2,11±0,07	1,99±0,05	1,99±0,06	2,03±0,04
	н/т	1,97±0,04	1,98±0,01	2,04±0,04	2,00±0,02
Тромбіновий час, сек	Т	39,63±1,07*	38,60±0,81*	38,41±1,57*	38,88±0,38*
	н/т	44,77±1,155	43,73±0,49	43,66±0,91	44,05±0,36
Активованний частково тромбіновий час, сек	Т	40,48±1,93	37,95±1,93	37,42±1,34	38,62±0,94
	н/т	45,90±0,41	44,74±0,97	44,34±0,95	44,99±0,47
Фібриноген, г/л	Т	2,44±0,08**	2,66±0,07**	3,62±0,37**	2,91±0,36**
	н/т	1,99±0,04	1,94±0,03	2,01±0,01	1,98±0,02

Примітка: ° p < 0,05; °° p < 0,01; °°° p < 0,001, у порівнянні з нетільними коровами.

Тромбіновий час гемостазу корів за останню тріаду тільності був значно меншим, ніж у нетільних корів. Так, у кінці 7 місяця тільності корів тромбіновий час гемостазу був в 1,13 рази меншим показника нетільних тварин (p < 0,05). У кінці 8 та 9 місяця тільності корів тромбіновий час гемостазу був в 1,14 рази меншим, p < 0,05), ніж у корів контрольної групи. У середньому, за третій період тільності тромбіновий час був в 1,13 рази меншим, ніж у нетільних корів (p < 0,05).

Упродовж третього періоду тільності корів вміст фібриногену в крові збільшувався, в 1,48 рази (p < 0,01). За місяцями третього періоду тільності у корів вміст фібриногену виявився в крові в 1,23 (p < 0,05), 1,37 (p < 0,01) та в 1,80 рази більшим, ніж у нетільних корів (p < 0,001). В'язкість крові тільних корів в кінці 7 місяця росту та розвитку плоду була в 1,08 рази більшою, ніж у нетільних корів. Однак, у нетільних корів під час досліджень в'язкість крові була в 1,12 – 1,38 рази (p < 0,01) меншою, ніж у тільних корів і в середньому в 1,18 рази (p < 0,01). У кінці 7 місяця

тільності згортання крові у корів відбувалось в 1,10 рази швидше, ніж у нетільних корів (p < 0,05), а впродовж 8 та 9 місяця тільності в 1,09-1,19 рази швидше. У середньому, за весь третій період тільності у корів згортання крові відбувалось в 1,12 рази швидше, ніж у нетільних корів (p < 0,05). За період досліджень у тільних корів вірогідно підвищується здатність тромбоцитів до адгезії в 1,24, 1,29 і 1,34 рази більшою, ніж у контрольної групи тварин (p < 0,01).

#### Висновки.

1. Кількість кров'яних пластинок у крові корів в кінці 7, 8 та 9 місяців тільності виявилось в 1,26, 1,39 та 1,34 рази меншою (p < 0,01), ніж у нетільних корів.
2. Тромбіновий час гемостазу корів за останню тріаду тільності був в 1,13, в 1,14 та 1,13 рази меншим, ніж у нетільних корів (p < 0,05).
3. За місяцями третього періоду тільності у корів вміст фібриногену виявився в крові в 1,23 (p < 0,05), 1,37 (p < 0,01), та 1,80 рази більшим, ніж у нетільних корів (p < 0,001).

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Івашків Р.М. (2009). Оцінка стану відтворення високопродуктивних корів за результатами акушерської диспансеризації / Р.М. Івашків, І.М. Кідла, Л.В. Дубіняк // Науковий вісник Львівської державної академії ветеринарної медицини ім. С.З. Гжицького. - Львів.- Т. 11. - № 2. - С. 84-90.
2. Яблонський В.А. (2000). Проблеми відтворення тварин на рубежі ХХІ століття / В.А. Яблонський // Науковий вісник національного аграрного університету. - К., - №22. - С. 16-21.
3. Криштофорова Б.В. (2007). Біологічні основи ветеринарної неонатології / Б.В. Криштофорова, В.В. Лемещенко, Ж.Г. Стегней – Сімферополь: «Терра Таврика»,. – 368 с.
4. Замазієв А. А., Камбур М.Д., Лісовенко В.М. (2014). Фізіологічні властивості крові тільних корів / А.А., Замазієв, М.Д. Камбур, В.М. Лісовенко // Фізіологія тварин.. – Т. 1, № 34. – С. 25-27.
5. Hoffman M, Monroe DM. (2007). Coagulation 2006: a modern view of hemostasis. Hematol Oncol Clin North Am.; 21(1):1-11.
6. Верейна Н.К., Синицын С.П., Чулков В.С. (2012). Динаміка показателів гемостазу при фізіологічеськи протекаючій вагітності // Клиническая лабораторная диагностика. - № 2. - С. 43-45.
7. Камбур М.Д., Замазієв А. А., Колечко А. В., Лермонтов А. Ю., Бутов О. В. (2018). Властивості крові корів в період
- тільності, їх вплив на репродуктивну функцію тварин та життєздатність новонароджених телят. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. - Будапешт, Т. VI, вип. 157, - С. 26-29.
8. Присяжнюк В.П. (2009). Стан материнсько-плодового кровообігу та корекція його порушень при затримці росту плоду: дис...кандидата мед.наук: 14.01.01 / В.П. Присяжнюк – К., – 206 с.
9. Камбур М.Д., Замазієв А.А., Остапенко С.В. (2016). Динаміка показників гемостазу в корів у сухостійний період / М.Д. Камбур, А.А. Замазієв, С.В. Остапенко // Біологія тварин. – Т.18. – №4. – с. 149-154.
10. Ветеринарне акушерство, гінекологія та біотехнологія відтворення тварин з основами андрології / В.А. Яблонський, С.П. Хоміч, Г.М. Калиновський, Г.Г. Харута, М.І. Харенко, В.І. Завірюха, В.Й. Любецький. Підручник. – Вінниця.: Нова Книга, 2006 – 592 с.
11. Власенко С.А. (2016). Характеристика коагуляційних процесів у корів протягом вагітності, післяродового періоду та за акушерської й гінекологічної патології / С. А. Власенко, М. В. Рубленко, Т. М. Чернищенко, О. В. Горницька, Т. М. Платонова //Біологія тварин.. - Т. 18, № 4. - С. 14-21. <http://dx.doi.org/10.15407/animbiol18.04.014>
12. Сидельникова В.М. Гемостаз и беременность / В.М. Сидельникова, П.А. Кирющенков. – М: Триада-Х 2004. 208 с.

#### REFERENCES

1. Ivashkiv P.M. (2009). Assessment of the state of reproduction of high-performance cows on the results of obstetric dispensary / P.M. Ivashkiv, I.M. Kidla, L.V. Dubinyak // Scientific Bulletin of the Lviv State Academy of Veterinary Medicine by S.Z. Gzhytsky. - Lviv.- Vol. 11. - No 2. - Pp. 84-90.
2. Yablonsky V.A. (2000). Problems of animal reproduction at the turn of the XXI century / V.A. Yablonsky // Scientific Bulletin of the National Agrarian University. – Kyiv, - No 22. - Pp. 16-21.
3. Kryshthorova B.V. (2007). Biological bases of veterinary neonatology / B.V. Kryshthorov, V.V. Lemeshenko, J.G. Stegney – Simferopol: «Terra Tavrica» – 368 p.
4. Zamazyi A. A., Kambur M.D., Lisovenko V.M. (2014). Physiological properties of the blood of pregnant cows / A.A., Zamazyi, M.D. Kambur, V.M. Lisovenko // Animal physiology. – Vol. 1, No 34. – Pp. 25-27.
5. Hoffman M, Monroe DM. (2007). Coagulation 2006: a modern view of hemostasis. Hematol Oncol Clin North.- Vol. 21, No 1. – Pp. 1-11.
6. Vereina N.K., Sinytsyn S.P., Chulkov V.S. (2012). Dynamics of hemostatic showcases in physiological protection of pregnancy [ Clinical laboratory diagnostics. - No 2. - Pp. 43- 45.
7. Kambur M.D., Zamazyi A.A., Kolechko A.V., Lermontov A. Y., Butov O.V. (2018). Properties of the blood of cows during pregnancy, their impact on the reproductive function of animals and the viability of newborn calves. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. - Budapest. Vol. VI, Iss. 157, - Pp. 26-29.
8. Prsyazhnyuk V.P. (2009). The state of maternal-fetal circulation and correction of its disorders with delayed fetal growth: dissertation, Candidate of Medical Sciences: 14.01.01 / V.P. Prsyazhnyuk – Kyiv, – 206 p.
9. Kambur M.D., Zamazyi A.A., Ostapenko S.V. (2016). Dynamics of hemostasis indicators in cows during dryness / Kambur M.D., Zamazyi A.A., Ostapenko S.V. // Animal biology. – Vol. 18. – No 4. – Pp. 149-154.
10. Veterinary obstetrics, gynecology and biotechnology of animal reproduction with the basics of andrology / V.A. Yablonsky, S.P. Homych, G.M. Kalinovsky, G.G. Haruta, M.I. Kharenko, V.I. Zaviryuha, V.J. Lyubetsky. Handbook. – Vinnytsya.: Nova Kniha, 2006 – 592 p.
11. Vlasenko S.A. (2016). Characteristics of coagulation processes in cows during pregnancy, postpartum period and obstetric and gynecological pathology / S.A. Власенко, М. В. Рубленко, Т. М. Чернышенко, О. В. Горницька, Т. М. Платонова //Animal. - Vol. 18, No 4. - Pp. 14-21. <http://dx.doi.org/10.15407/animbiol18.04.014>
12. Sidelnikova V.M. Hemostasis and pregnancy / V.M. Sidelnikova, P.A. Kiryushchenkov. – M: Triada-X.- 2004. -208 p.

#### Hemostasis and blood properties of cows during the dry season

D. M. Matviichuk

**Annotation.** The results of the research show that the properties of blood and coagulation abilities of blood change significantly in cows during the dry period. Most significantly, we found these differences in cows during the dry season. Platelet hemostasis of cows during pregnancy acquires significant changes. They indicate that during the period of fetal development, the state of vascular-platelet hemostasis of the animal acquires appropriate patterns in the dynamics and activity of individual components as the gestation period of animals increases. The number of platelets in the blood of cows from the first trimester of pregnancy to the end of the third trimester decreases. Significantly reduced thrombin and prothrombin clotting time, increases its clotting potential.

**Keywords:** hemostasis, blood, property, cow, dryness.

## MEDICAL SCIENCES

### Мікроструктурна дезорганізація слизової оболонки ободової кишки за тривалого впливу налбуфіну в експерименті

Н. І. Гресько, А. М. Бекесевич, І. В. Вільхова, Х. А. Кирик, І. В. Гресько

Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького  
Corresponding author. E-mail: hreskonatalya@ukr.net

Paper received 27.04.22; Accepted for publication 19.05.22.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2022-268X34-04>

**Анотація.** Дослідження стосується впливу налбуфіну на стан слизової оболонки ободової кишки на мікроструктурному рівні. Результати експериментального дослідження свідчать, що за тривалого впливу налбуфіну перші ознаки порушення структури слизової оболонки стінки ободової кишки з'являються вже через 2 тижні перебігу експерименту. Протягом наступних 4 тижнів дослідження спостерігали наростання дистрофічних та некробіотичних змін адьюменальних колоноцитів та келихоподібних клітин, порушення секреції слизу та зміна його складу.

**Ключові слова:** ободова кишка, опіоїд, ін'єкція, експеримент.

**Вступ.** Згідно даних епідеміологічних досліджень, поширеність больової симптоматики (без урахування пацієнтів з онкологічними захворюваннями) становить не менше 40 % випадків серед дорослого населення та має тенденцію до неухильного зростання [1]. В ряді препаратів, що використовують для лікування сильного болю в західному світі є опіоїди [2]. Адже небагато лікарських засобів можуть конкурувати у силі знеболювальної дії з опіоїдними анальгетиками і перспективність їх використання неможливо недооцінювати [3]. Завдяки своїм анальгезуючим властивостям в медичній практиці широко використовують напівсинтетичний опіоїдний анальгетик "Налбуфін" [4]. Препарат групи агоністів-антагоністів опіоїдних рецепторів фенантренового ряду [5]. Налбуфін, завдяки гемодинамічній стабільності та тривалості знеболення, застосовують в післяопераційний період, при інфаркті міокарда, ушкодженні м'яких тканин та переломах кісток [6]. Незважаючи на всі позитивні сторони налбуфіну, не слід забувати, що даний лікарський препарат належить до опіоїдів, терапевтична активність яких скомпрометована побічними ефектами, що включають седацию, фізичну залежність, пригнічення дихання та негативний вплив на органи шлунково-кишкового тракту [7,8]. Хоча до більшості побічних ефектів розвивається толерантність, проте небажані ефекти з боку шлунково-кишкового тракту залишаються постійною проблемою для більшості пацієнтів [9]. Тому, безумовно, актуальними є дослідження стінки ободової кишки на мікроструктурному рівні за впливу налбуфіну різної тривалості. Отримані дані допоможуть поглибити уявлення про вплив опіоїду, зокрема налбуфіну, на ободову кишку та розробити методи профілактики цих захворювань в гастроентерології.

**Мета дослідження:** з'ясувати особливості мікроструктурної організації слизової оболонки ободової кишки за умов тривалого впливу налбуфіну в експерименті.

**Матеріали та методи.** Дослідження виконані на 24 статевозрілих білих щурах-самцях, віком 4,5-5,0-місяців і масою тіла 180-220 г.

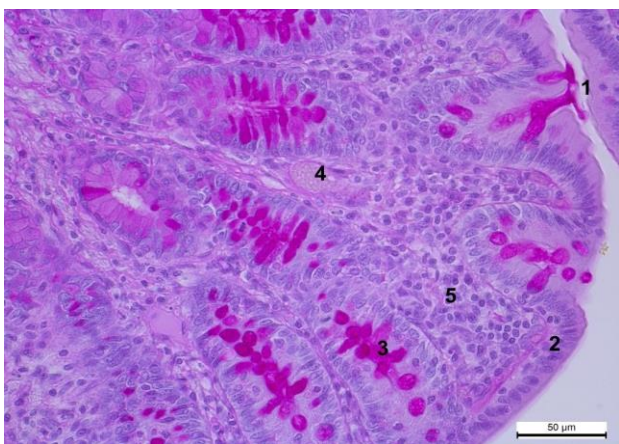
Експериментальні тварини розділено на 3 групи: у першій групі (5 щурів) вивчено мікроструктуру слизової оболонки ободової кишки білих щурів через 2 тижні введення налбуфіну, у другій групі (5 щурів) мікроструктурні зміни слизової оболонки ободової кишки піддослідних тварин вивчено через 4 тижні перебігу експерименту, а в третій групі (5 щурів) вивчено структурні зміни слизової оболонки ободової кишки експериментальних тварин через 6 тижнів досліду. Контролем слугували 9 білих щурів, яким замість налбуфіну вводили 0,9 % розчин хлориду натрію.

Введення опіоїдного анальгетика налбуфіну здійснювали внутрішньом'язово за наступною схемою: I тиждень – 8 мг/кг, II тиждень – 15 мг/кг, III тиждень – 20 мг/кг, IV тиждень – 25 мг/кг V тиждень – 30 мг/кг, VI тиждень – 35 мг/кг [10].

Матеріал дослідження представлений гістологічними препаратами стінки ободової кишки експериментальних тварин. Для гістологічного дослідження зрізи стінки ободової кишки фарбували гематоксиліном і еозином та для оцінки слизоутворення проводили PAS-реакцію з дофарбуванням альціановим синім за Сідманом. Препарати вивчали за допомогою мікроскопа Leica DM 2500 та фотографували за допомогою камери Leica DFC 450 C при збільшеннях мікроскопа: об. x20, ок. x10; об. x40, ок. x10; об. x100, ок. x10.

Усіх тварин утримували в умовах віварію Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького, експерименти проведені у відповідності з положенням Європейської конвенції щодо захисту хребетних тварин, яких використовують в експериментальних та інших наукових цілях (Страсбург, 1986), Директиви Ради Європи 86/609/ЕЕС (1986 р.), Закону України № 3447 – IV «Про захист тварин від жорстокого поводження», загальних етичних принципів експериментів на тваринах, ухвалених Першим національним конгресом України з біоетики (2001 р.).

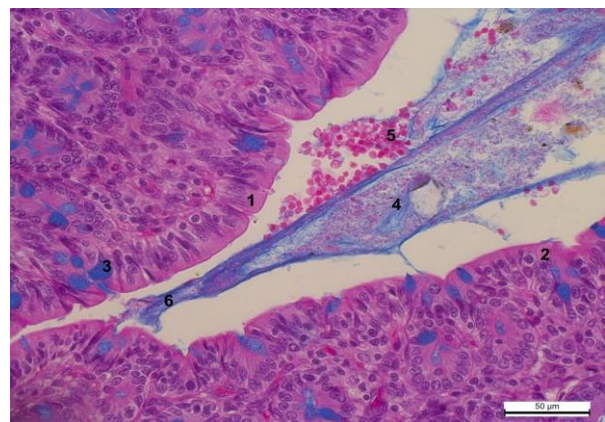
**Результати.** Вже через 2 тижні введення налбуфіну в епітеліальній пластинці слизової оболонки стінки ободової кишки щурів виявляли дистрофічно змінені та десквамовані колоноцити. Адлюменальні колоноцити мали не однорідну структуру, частина з них не мали чітких контурів, містили ядра з ознаками конденсації хроматину, в їх цитоплазмі наявні великі оптично порожні вакуолі. Між поверхневими колоноцитами виявляли лімфоцити та збільшення кількості функціонально активних келихоподібних клітин в кишкових криптах, їх чисельність була більшою в порівнянні з такою у інтактних щурів. На дні крипт виявляли колоноцити на різних стадіях мітозу. Слизовий бар'єр в просвіті ободової кишки був потовщений, в порівнянні з контрольною групою тварин. Інколи у слизі візуалізувалися десквамовані келихоподібні клітини та поодинокі ентероцити. У складі слизу, що вкриває слизову оболонку наявні як кислі, так і основні глікопротеїни (рис. 1). У багатьох ділянках основні глікопротеїни переважають над кислими. Слід зазначити, що відзначається гіперсекреція слизу не лише келихоподібними клітинами, які розташовуються на поверхні слизової оболонки, але також келихоподібними екзокриноцитами багатьох кишкових залоз. Базальна мембрана переважної більшості кишкових залоз збережена, містить помірну кількість PAS-позитивних речовин.



**Рис. 1.** Фрагмент слизової оболонки ободової кишки щура через 2 тижні введення налбуфіну. PAS-реакція з дофарбуванням альціановим синім за Сідманом. Позначення: 1-

слизовий секрет в просвіті кишки; 2-адлюменальні колоноцити; 3- функціонально активні келихоподібні клітини; 4- розширені та повнокровні кровоносні судини; 5- лейкоцитарна інфільтрація власної пластинки слизової оболонки.

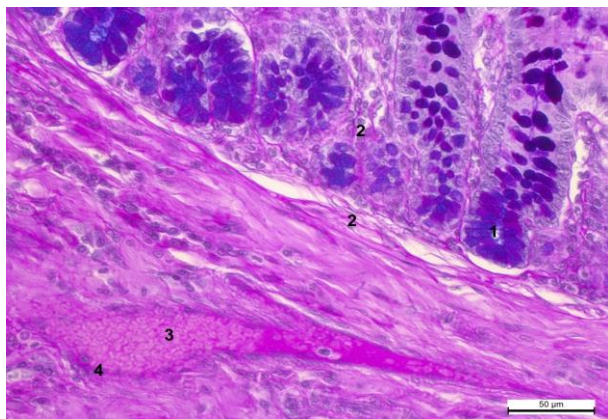
Через 4 тижні експериментального дослідження впливу налбуфіну мікроскопічно в стінці ободової кишки щура встановлено дифузну десквамацію та дистрофічні зміни цитоплазми колоноцитів слизової оболонки. Зокрема їх ядро ущільнювалося, цитоплазма нерівномірно зафарбовувалася, в ній виявляли вакуолі, а на окремих ділянках колоноцити були відокремлені від власної пластинки. Також встановлено збільшену в порівнянні з попереднім терміном дослідження кількість функціонально активних келихоподібних клітин в кишкових криптах. Слизовий бар'єр на апікальній поверхні епітеліального покриву ободової кишки мав більшу товщину в порівнянні з таким у інтактних щурів в цей же термін спостереження, та у щурів, яким вводили налбуфін два тижні, містив основні та кислі глікопротеїни, серед яких виявляли формені елементи крові та десквамовані колоноцити (рис. 2). Просвіти кишкових крипт були розширені, заповнені слизом. Окремі кишкові залози розміщувалися хаотично, дезорганізовано. Базальна мембрана переважної більшості кишкових залоз була збережена, містила помірну кількість PAS-позитивних речовин.



**Рис. 2.** Фрагмент слизової оболонки ободової кишки через 4 тижні введення налбуфіну. Альціановий синій за Сідманом. Позначення: 1- поверхні колоноцити; 2- лімфоцити в епітеліальному пласті; 3-келихоподібні клітини; 4- збільшення кількості слизу на поверхні слизової оболонки; 5- еритроцити між пластами слизу; 6-кислі глікопротеїни у пластах слизу та в секреті келихоподібних клітин.

Через 6 тижнів експерименту дистрофічні та некробіотичні зміни в структурі стінки ободової кишки були більше виражені ніж такі як у щурів яким вводили налбуфін в попередні терміни дослідження. Поверхні колоноцити були неоднорідні по структурі, їх ядро ущільнювалося, ставало однорідно базофільним (пікнотичним), цитоплазма нерівномірно зафарбовувалася містила вакуолі. Спостерігали дифузну десквамовамацію колоноцитів. Виявляли значно

збільшену кількість келихоподібних клітин у верхніх відділах кишкових крипт та морфологічні ознаки посилення секреції келихоподібними клітинами і зміни складу слизу. У секреті келихоподібних клітин наявні як кислі, так і основні глікопротеїни. Кислі глікопротеїни зосереджуються в секреті келихоподібних клітин, що розташовуються біля основи та у середній частині крипт. У той же час як кислі так і основні глікопротеїни наявні у келихоподібних клітинах, що розташовуються у верхній частині крипт та на поверхні слизової оболонки (рис. 3). Просвіти кишкових крипт були розширені, особливо у верхній третині, переповнені слизом та містили продукти розпаду колоноцитів. У кишкових криптах візуалізувалися фігури мітозів, в окремих кишкових залозах збільшувалася кількість малодиференційованих (камбіальних) епітеліоцитів. Базальна мембрана кишкових залоз та у складі колагенових волокон власної пластинки слизової оболонки виявили PAS-позитивні речовини.



**Рис. 3.** Фрагмент слизової оболонки та підслизового прошарку стінки ободової кишки через 6 тижнів введення налбуфіну. PAS-реакція з дофарбуванням альціановим синім за Східманом. Позначення: 1- основні та кислі глікопротеїни в секреті келихоподібних клітин; 2- колагенові волокна, що містять основні глікопротеїни у складі пухкої сполучної тканини власної пластинки слизової оболонки та в підслизовому прошарку; 3- розширений та повнокровний просвіт венули підслизового прошарку; 4-просякання стінки венули PAS-позитивними речовинами.

**Висновки.** Отримані дані свідчать, що за умов впливу налбуфіну протягом двох тижнів останній викликає зміни слизової оболонки у вигляді, дифузного злушення поверхневого епітелію, підвищеної проліферативної активності клітин, що свідчить про активацію захисних процесів у слизовій оболонці. Також встановлено включення компенсаторних реакцій, що проявляються у збільшенні кількості функціонально активних келихоподібних клітин, спрямованих на відновлення слизового бар'єру товстої кишки. Тривале застосування налбуфіну зумовлює дистрофічні та некробіотичні зміни адлюменальних колоноцитів та келихоподібних клітин, порушення секреції слизу та зміна його складу.

Дані проведеного дослідження можуть бути використані у практичній медицині для профілактики, діагностики та лікування захворювань товстої кишки, зумовлених тривалим застосуванням опіоїдного анальгетика налбуфіну.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Бекеевич АМ. Вплив наркотичних середників на структурну організацію нервової тканини Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Медицина. 2015;1(51):218-221.
2. Trescot AM, Glaser SE, Hansen H, et al. Effectiveness of opioids in the treatment of chronic non-cancer pain. Pain Physician. 2008;11:181–200.
3. Кривко ЮЯ, Гресько НІ. Ультраструктурна перебудова стінки ободової кишки за хронічного впливу опіюду (налбуфіну) в експерименті. Науковий вісник Ужгородського університету. 2017;2(56):29-33.
4. Lee MC, Wanigasekera V, Tracey I. Imaging opioid analgesia in the human brain and its potential relevance for understanding opioid use in chronic pain. Neuropharmacology. 2014;84(100):123-30.
5. Валько ОО, Гарапко ТВ, Головацький АС, Кочмарь МЮ. Порівняльна характеристика субмікроскопічних змін паренхіми тимусу та клубових лімфатичних вузлів при довготривалому опіоїдному впливі. Bulletin of Medical and Biological Research. 2020;4(6):20-25.
6. Самохін АВ, Мельник ІВ, Бецко НВ. Знеболювання налбуфіном та морфіном після остеосинтезу кісткових відламків виростків великогомілкової кістки. Ліки України. 2014;3(20):61-63.
7. Івасівка ХП, Пальтов ЄВ, Кривко ЮЯ. Вплив молекули опіоїдного анальгетика у спектрі дії на структуру органів. World Science. 2019;2(9(49)):15-19.
8. Müller-Lissner S, Bassotti G, Coffin B, et al. Opioid-induced constipation and bowel dysfunction: a clinical guideline. Pain Med. 2017;18(10):1837–1863.
9. McNicol E, Horowicz-Mehler N, Fisk RA, et al. Management of opioid side effects in cancer-related and chronic noncancer pain: A systematic review. J Pain 2003;4:231–56.
10. Онисько РМ, Пальтов ЄВ, Фік ВБ, Вільхова ІВ, Кривко ЮЯ, Якимів НЯ, винахідники; Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, патенто-власник. Спосіб моделювання фізичної опіоїдної залежності у щурів. Патент України. № 76564. 2013 Січ 10.

#### REFERENCES

1. Bekesevych AM. The impact of drugs on the structural organization of the nervous tissue Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series: Medicine. 2015; 1(51): 218-221.
2. Trescot AM, Glaser SE, Hansen H, et al. Effectiveness of opioids in the treatment of chronic non-cancer pain. Pain Physician. 2008;11:181–200.
3. Kryvko YuYa, Hresko NI. Ultrastructural changes of the colon's wall caused by chronic opioid (nalbuphine) effect during experiment. Scientific Bulletin of Uzhhorod University. 2017;2(56):29-33.
4. Lee MC, Wanigasekera V, Tracey I. Imaging opioid analgesia in the human brain and its potential relevance for understanding opioid use in chronic pain. Neuropharmacology. 2014;84(100):123-30.
5. Valko OO, Harapko TV, Holovatsky AS, Kochmar MYu. Comparative characteristics of submicroscopic changes of thymus parenchyma and iliac lymph nodes in long-term opioid effects. Bulletin of Medical and Biological Research. 2020;4(6):20-25.
6. Samokhin AV, Melnyk IV, Betsko NV. Anesthesia with nalbuphine and morphine after osteosynthesis of the bone fragments of the tibial condyles. Medicine of Ukraine. 2014;3(20):61-63.
7. Ivasivka KP, Paltov EV, Kryvko YuYa. Influence of opioid analgesic molecule in the spectrum of action on organ structure. World Science. 2019;2(8(48):33-39.
8. Müller-Lissner S, Bassotti G, Coffin B, et al. Opioid-induced constipation and bowel dysfunction: a clinical guideline. Pain Med. 2017;18(10):1837–1863.
9. McNicol E, Horowicz-Mehler N, Fisk RA, et al. Management of opioid side effects in cancer-related and chronic noncancer pain: A systematic review. J Pain 2003;4:231–56.
10. Onysko RM, Paltov EV, Fik VB, Vilkhova IV, Kryvko YuYa, Yakymiv NE, inventors; Danylo Halytsky Lviv National Medical University, patent owner. Method for modeling physical opioid dependence in rats. Patent of Ukraine. № 76564. 2013 Jan 10.

#### **Microstructural disorganization of the colon mucosa under the long-term influence of nalbuphine in the experiment**

**N. I. Hresko, A. M. Bekesevych, I. V. Vilkhova, H. A. Kyryk, I. V. Hresko**

**Abstract.** Our study deals with effect of the nalbuphine on the microstructure of the colon mucosa. The results of the experimental study show that with prolonged exposure to nalbuphine, the first signs of disruption of the structure of the mucous membrane of the colon wall appear after 2 weeks of the experiment. Over the next 4 weeks of the study, an increase in dystrophic and necrobiotic changes in adluminal colonocytes and goblet cells, impaired mucus secretion and changes in its composition were observed.

**Keywords:** colon, opioid, injection, experiment.

## TECHNICAL SCIENCES

### Розробка способу планування навігаційних ризиків при підготовці рейсового циклу судна

К. В. Шумілова

Національний університет «Одеська морська академія», Одеса  
Corresponding author. E-mail: yeshum@ukr.net

Paper received 12.04.22; Accepted for publication 14.05.22.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2022-268X34-05>

**Анотація.** Розроблено новий спосіб планування координат руху судна в складних умовах плавання. Виконано систематизацію видів навігаційних ризиків за різними ознаками, які існують в рейсовому циклі судна. Виконано аналіз видів ризиків на основі статистичних даних аварійності у двох каналах зі складними акваторіями і високою інтенсивністю судноплавства. Запропонований спосіб дасть можливість представити дані у компактному вигляді таблиць і дозволить судноводію швидко коригувати курс судна та підвищить навігаційну безпеку.

**Ключові слова:** планування навігаційних ризиків; маневрування; рейсовий цикл.

**Вступ.** Однією з найважливіших проблем морського судноводіння залишається забезпечення безпеки плавання суден в обмежених умовах. Відповідно до аналізу статистичних даних, близько 80% навігаційних аварій посідає на міжнародне судноплавство. Звільнити судноплавство від ризику навігаційної аварії практично неможливо. Наслідками морських аварій є техногенні та екологічні катастрофи. Одна навігаційна аварія для світового танкерного флоту завдає збитків близько 300 тисяч доларів США. Тому завдання пошуку причин таких наслідків для мінімізації виникнення навігаційних ризиків вказує на необхідність їх попереднього аналізу для вдосконалення контролю руху судна.

Для управління навігаційними ризиками рейсового циклу судна важливо контролювати навігаційні дані із сенсорних систем, умови району плавання, безпечний запас глибини під кілем та точність розташування судна та ін.

В сучасному судноплавстві морські переходи суден здійснюються на основі їх попереднього планування та прокладки за методикою нормативних документів Міжнародної морської організації (ММО). Проте, при їх виконанні відсутній етап аналізу ризиків та їх прогноз, що супроводжується наблизеними розрахунками та різними похибками. Отже, попереднє прокладання матиме елементи невизначеності (у допустимих межах) з похибками систематичного та випадкового характеру.

Згідно з рекомендаціями Керівництва з несення вахти на містку (Bridge Procedures Guide, 5th Edition, 2016), при плануванні безпечного переходу і організації безаварійного руху судна пропонуються чотири стадії планування безпечного переходу і організації безаварійного руху: I. Оцінка (Appraisal). II. Планування (Planning). III. Виконання (Execution). IV. Контроль (Monitoring).

Ці стадії повинні виконуватись одна за одною, у порядку, викладеному вище. Отже, саме ці чотири стадії включені в документи (ММО): Керівництво з несення вахти на містку (Bridge Procedures Guide, 5th Edition), Керівництво командою містка, 2-е Видання (Bridge Team Management, 2nd Edition), Резолюція ММО А.

893 (21) – Керівництво з планування рейсу (Resolution A.893(21) ІМО).

Але, точність судноводіння в стислих умовах плавання не може бути гарантована лише виконанням вимог (ММО) і Міжнародної асоціації маячних служб (МАМС). Отже, вона не забезпечує навігаційної безпеки плавання великотоннажного судна в обмежених умовах на малих дистанціях до небезпеки (менше двох миль). У таких умовах плавання додатково необхідно, після закінчення планування шляху рейсового циклу, враховувати аналіз навігаційних ризиків, які будуть зустрічатися в майбутньому переході.

Недоліком існуючих рекомендацій являється саме відсутність окремо виділеного етапу «аналіз і оцінка ризиків», який повинен виконуватися після закінчення планування координат переходу.

Виконання такого етапу дозволить оцінити навігаційну безпеку рейсового циклу і управляти ризиками саме під час переходу, тому такі дослідження являються актуальними. Це забезпечить прогнозування ризиків, підвищить точність вибору безпечних глибин для маршруту переходу і високоточного контролю розташування судна в стислих умовах плавання.

В сучасних умовах управління ризиками приділяється значна увага з боку науковців і практиків з експлуатації морського флоту. Розробляються міжнародні та національні нормативні документи України з регулювання рівня ризиків та для уніфікації підходів до управління роботою господарюючих суб'єктів.

Оновлений документ ДСТУ ISO/TR 31004:2018 «Менеджмент ризиків. Принципи та настанови» (Risk management – Guidelines) має узагальнений характер і корисний для розуміння сутності ризиків і побудови ефективного процесу управління ними. Відповідно до стандарту ISO 31000:2018, метою управління ризиками є створення та захист цінності, прийняття рішень для встановлення та досягнення цілей і підвищення ефективності технологічного процесу перевози вантажів морем.

Проте, ефективне управління ризиками при експлуатації морського судна потребує повної і детальної інформації про причини та наслідки аварійних подій, їхні особливості та групування за спільними ознаками

[1]. Судноводій не повинен чекати, коли такі ризики настануть. Таку інформацію може забезпечити систематизація видів ризиків для прогнозу їх факторів, які будуть зустрічатися при переході, аналіз ризиків під час планування, та встановлення причини їх появи і підготовки судноводія для управління ними.

Небезпечні ділянки в стислих водах необхідно виявляти заздалегідь, під час підготовки до переходу. Проте, саме на цій стадії судноводії допускають найчастіше помилки, а дефіцит часу при плаванні не дозволяє виконувати необхідні розрахунки, що призводить до ускладнень.

Отже відсутність рекомендацій з аналізу аварійної небезпеки планового шляху переходу судна вказує на необхідність включення стадії планування навігаційних ризиків при підготовці рейсового циклу. Тому, актуальною проблемою є відсутність окремо виділеного етапу «аналіз і оцінка ризиків», який повинен виконуватися після закінчення планування координат переходу. Необхідна розробка нових методів планування заданого алгоритму управління криволінійним рухом судна для підвищення точності існуючого способу планування.

**Короткий огляд останніх публікацій.** Сучасне судно проводить у стислих водах у середньому до 5–10% ходового часу. Термін «стислі води» означає плавання поблизу берегів і навігаційних небезпек, на відстані менше 3–5 миль від узбережжя. На такі райони припадає понад 80% усіх навігаційних аварій. Це свідчить, з одного боку, про об'єктивну складність умов плавання, в яких маневрування судна "стиснуте" навігаційними умовами та (або) інтенсивним судноплаванням. З іншого боку, це говорить про недосконалість методів судноводіння за таких умов.

Аналіз [2] Annual Overview of Marine Casualties and Incidents (Щорічний огляд морських аварій та інцидентів) від EMSA (Європейське агентство з морської безпеки), показав, що протягом 2011–2015 років половина інцидентів із суднами мала навігаційний характер: посадка на міліну («Контакти») – 18 %, втрата контролю управління – 26%, зіткнення – 16%.

Згідно джерела [3] Maritime Safety Report (Звіт про безпеку на морі), протягом вимірюваного періоду за 2012–2021 роки було зафіксовано всього 947 втрат, 575 (61%) з яких сталися після затоплення. Частка збитків склала наступні відсотки: від пошкоджень корпусу та техніки склала 8%; судна, що зазнали аварії та сіли на міліну – 16%. Найпоширенішою причиною втрат суден стало пошкодження корпусу та механізмів.

У 2021 році, згідно звіту [4] «Стан безпеки судноплавства та аварійності на водному транспорті в Україні» встановлено зростання аварійності протягом 2021 року, у порівнянні з аналогічним періодом 2020 року. Отже, кількість аварійних подій збільшилась на 12 випадків (+22%), проте кількість загиблих та зниклих безвісти у цих аварійних подіях зменшилась на 60% (на 3 особи).

За даними [5] служби регулювання руху суден Адміністрації морських портів України, в період 2015–2021 років у Бузько-Дніпровсько-лиманському каналі (БДЛК) та у Херсонському морському каналі (ХМК) сталося 76 навігаційних подій. Вони були розподілені за наступними видами: 23 – посадки на міліну, 25 –

навалів, 6 – зіткнень, 4 – льодові випадки, 18 – випадків з технічних причин. Наслідками таких аварій були: потрапляння на міліну; здійснення навалу на інші судна, що стоять на якорі; зіткнення із суднами під час плавання у районі, де є скупчення плавзасобів в очікуванні шлюзування; вихід за межі суднового ходу під час плавання в БДЛК та ХМК.

Мореплавання завжди пов'язане з ризиком, який тією чи іншою мірою супроводжує судно. Найменший ризик, який можна прийняти за вихідний для відносної оцінки, буде у судна, яке знаходиться у відкритому морі далеко від навігаційних небезпек.

Тому, важливо виділити загальні принципи систематизації видів навігаційних ризиків: характер об'єкта виникнення (ризик окремих операцій, напрямків діяльності, діяльності загалом). Це дасть можливість підвищити точність способу планування рейсового циклу судна на основі аналізу причин і наслідків від неврахування навігаційних ризиків.

Необхідність передбачення та визначення категорій ризиків показана в дослідженні [6]. На основі статистики і аналізу аварій суден за 2005–2015 роки отримані відносні значення втрат з урахуванням розподілу світового флоту. Визначені основні категорії нещасних випадків: поломки обладнання та навігаційні інциденти, такі як посадка на міліну, відмова двигуна і зіткнення.

У джерелі [7] представлено імітаційний метод оцінки ризику посадки судна на міліну під час переходу судна по фарватеру в аварійних ситуаціях у підхідному каналі к порту Свиноуйсьце (Польща). Цей метод полягає лише у визначенні ймовірності аварії і не розглядає підвищення точності руху судна та прогнозування навігаційних ризиків.

Дослідження [8] навігаційних ризиків пропонує нову модель для їх об'єктивного та кількісного прогнозування. Результати показали, що навігаційний ризик від механічних несправностей може бути результатом найбільшої аварії під час переходу в морі, а навігаційний ризик зіткнення є найбільшим при вході/виході з порту. Але, такі висновки були рекомендовані лише як довідкова інформація без визначення їх видів та методів прогнозування.

Робота [9] присвячена дослідженню руху судна через канал з крутим вигином на підставі швидкості судна, кута дрейфу та швидкості поперечної течії. Запропонована в роботі модель навігаційного ризику показує лише його різний навігаційний статус та відповідні діапазони. Але вона не розглядає спосіб аналізу ризику та прогнозування при плануванні руху судна.

В статті [10] пропонується модель підтримки прийняття рішень для підвищення точності прийняття рішень щодо запобігання зіткненням. Вона формується доменом безпеки навігації (NSD) та заснованим на домені індексом ризику зіткнення (CRI), здатним визначати стадію та ризик зіткнення між кількома суднами. Виявлено, що оцінка стадії зіткнення є точною, і можна визначити існуючий азимутальний діапазон ризику, тому судна можуть вживати прямих та ефективних заходів щодо запобігання зіткненню. Ймовірність виникнення аварій досліджена в роботі [11] – пропонується всеосяжна основа для оцінки навігаційного ризику та розгортання морських пошуково-рятувальних



ресурсів (SAR). Але запропонована структура не розглядає аналіз наслідків ризиків для прийняття рішень щодо їх зменшення при плануванні рейсового циклу судна. Тобто вона заснована лише на поєднанні прийняття рішень щодо безлічі критеріїв, геопросторових методів та теорії ігор, шляхом застосування просторового багатокритеріального аналізу прийняття рішень у зоні відповідальності.

**Невирішені частини дослідження.** В процесі планування координат переходу рейсового циклу результати оформлюють у вигляді маршрутного листа, який вводиться в навігаційні прилади для контролю пересування згідно плану. Проте, подальший аналіз аварійної небезпеки на переході не виконується. Отже, в існуючій нормативній базі відсутні рекомендації з аналізу наслідків аварійної події небезпеки планового шляху переходу і заходи по її зменшенню.

Причиною цього є відсутність узгоджених способів та методів оцінки рівня ризиків. Вибір засобів реагування, які існують в наукових роботах по цій тематиці носить абстрактний і узагальнений характер діючої нормативної бази. Тому він потребує використання системного підходу до класифікації ймовірних та існуючих ризиків.

Варіантом подолання відповідних труднощів може бути систематизація видів ризиків, яка є важливим інструментом їхнього ефективного управління. Вона допомагає підібрати індивідуальні підходи до оцінювання, вимірювання, прогнозування та зменшення навігаційних ризиків в стислих умовах плавання.

Саме такий підхід для зменшення ризику, приведений в роботі [12]. В дослідженні, запропоновано високоточний спосіб планування і контролю управління рухом судна. Він базується на плануванні криволінійних траєкторій руху за допомогою траєкторних точок (ТТ). Такий спосіб є ефективним при маневруванні в стислих водах, при плаванні в фарватерах, каналах, припортових водах та на акваторії порту.

Проте, для планування криволінійних траєкторій використовується приблизний графічний спосіб апроксимації шляху відрізком кривої, яка поміщена в даних про судно. Точність такого способу не задовольняє сучасним вимогам до планування координат криволінійного руху, хоча такий спосіб реалізований в сучасних електронних картах ЕКНІС, (Електронна картографічна навігаційна інформаційна система).

При визначенні ознак видів навігаційних ризиків необхідно також враховувати прояв системних ефектів, синергії та емерджентності. В узагальненому вигляді систематизація ризиків передбачає їхній поділ і групування за суттєвими характеристиками впливу на судно. Важливо оцінити ймовірність їх настання, з метою спостереження й моніторингу. Це буде запорукою своєчасного прийняття рішень щодо зменшення рівня ризиків для ефективного управління судном та забезпечення достатнього рівня захисту від можливих негативних подій чи наслідків. Отже, систематизація видів ризиків певною мірою відображає сутність поняття ризику, тобто ті характерні риси, по яким їх можна поділити і відокремити, та виконати вибір способів управління ними.

Доцільність дослідження підтверджується відсутністю узгоджених способів оцінки навігаційних ризиків

та врахування їх наслідків в процесі планування рейсового циклу судна. Новий спосіб оцінки буде важливим інструментом для управління їх рівнем. Він допоможе підібрати індивідуальні підходи до оцінювання рівня навігаційного ризику, прогнозування характеру його розвитку та дозволяє підібрати заходи для зменшення впливу на судно.

Зрозуміло, що сучасний спосіб планування криволінійних траєкторій руху судна є приблизним, не враховує попередній аналіз умов плавання і навігаційних ризиків та стан судна у реальному часі.

Отже, невирішеними залишилися питання оцінки навігаційних ризиків для планового шляху переходу судна в складних умовах плавання. Відсутність етапу «аналіз і оцінка ризиків» після закінчення планування координат переходу при слідуванні судна в обмежених умовах плавання вказує на недосконалість методів судноводіння. Тому дослідження, присвячене підвищенню точності способу планування траєкторії руху судна в складних умовах плавання дуже важливо і актуально для небезпечних районів плавання по всьому світу.

**Мета статті.** Дослідження присвячене підвищенню точності способу контролю руху судна в режимі реального часу. Важливим етапом є визначення небезпечних районів переходу, на яких існують ризики виникнення аварійних подій для наступного управління безпекою судна. Необхідно виконання систематизації універсальної узагальненої класифікації навігаційних ризиків для потреб ефективного планування руху судна. Тому, визначення видів навігаційних ризиків на основі аналізу причин і наслідків аварійних подій дозволить систематизувати їх за різними ознаками, існуючими в рейсовому циклі судна.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання: 1) виконати аналіз існуючих способів класифікації ризиків; 2) визначити причини і наслідки, до яких призвело неврахування навігаційних ризиків при виконанні рейсового циклу судна; 3) розробити спосіб планування навігаційних ризиків при підготовці рейсового циклу.

**Матеріали та методи.** Основною формою експлуатації судна при морських перевезеннях вантажів являється закінчений рейсовий цикл їх доставки із одного порту в інший. Нормативна база ММО і державна база України визначають порядок підготовки і організацію безпечного руху при виконанні рейсового циклу. Вони містять рекомендації по плануванню координат на переході і методи контролю безпечного руху при його виконанні.

Тому, сучасна концепція безпеки маневрування під час виконання рейсового циклу базується на досягненні прийнятого рівня ризику. Її сутність полягає у прагненні пройти через таку малу небезпеку під час аварійного випадку, при якій судно без суттєвих пошкоджень самостійно закінчить виконання рейсового циклу.

На практиці досягти нульового рівня ризику неможливо, тому будемо розглядати концепцію допустимого ризику. Під терміном «допустимий ризик» приймається такий його рівень, при якому судно після виникнення аварійної пригоди, зможе самостійно продовжити виконання рейсового плану з дотриманням

планових термінів доставки вантажу.

«Допустимий ризик» – це компроміс між станом судових механізмів, які забезпечують рух судна і його життєдіяльність та рівнем безпеки, який можуть забезпечити механізми, які знаходяться в робочому стані та в резервуванні. Він поєднує в собі технічні можливості судна, кваліфікацію судового персоналу та його здатність управляти ризиками. Проте, «системний ризик» – це ступінь небезпеки системи управління рухом судна під час виконання рейсового циклу, при якій система управління схильна вийти з ладу під час виникнення небезпечних ситуацій. Системний ризик – це властивість системи. Елементами системи є: машини, інструменти, сировина та команда навігаційного містка. Вихід із ладу чи неправильне функціонування одного елемента системи може мати вплив і ускладнювати роботу інших елементів.

Величину допустимого ризику можна визначити використовуючи витратний механізм, який дозволяє виконати аналіз стану судових пристроїв, які забезпечують рух судна. Важливо розподілити навантаження між робочими та резервними пристроями для досягнення заданого рівня безпеки експлуатації судна і організації його життєдіяльності.

Перехід до управління ризиком, крім технічних та організаційних методів, включає ще й економічні методи, такі як страхування, грошову компенсацію збитків, додаткову платню за ризик та інші. В основі управління ризиком лежить методика порівняння витрачених коштів та отримання переваг від його зниження. Для управління ризиком використовуються такі методи:

- інженерний, який базується на статистиці частоти прояву видів небезпек;
- імітаційний – базується на основі побудови моделей впливу небезпек. Враховуються всі фактори зовнішнього середовища та внутрішні судові фактори впливу на рух;
- експертний – коли ймовірність подій визначається опитуванням спеціалістів – експертів.

Розглянемо два з вищенаведених методів оцінки ризиків, які дозволять вдосконалити сучасний спосіб планування рейсового циклу судна:

- 1) експертний метод – для врахування наслідків і причин ризиків;
- 2) інженерний метод – для уточнення та змінення даних при плануванні маршруту судна.

Експертний метод використовується страховими компаніями, а також компаніями, які управляють роботою морського флоту для встановлення вірогідності виникнення та причин навігаційних подій і прийняття заходів для зменшення їх числа. Він дає хронометражний опис і послідовність протікання навігаційної події, встановлює її причини та наслідки.

Для вдосконалення способу планування рейсового циклу використаємо інженерний метод, оскільки важливо врахувати частоту прояв небезпек при майбутньому переході судна. Він дозволить змінити форму представлення даних про маневрені властивості судна [13]. Тому, такі дані потрібно розрахувати для того стану, у якому знаходиться судно під час рейсового циклу. Доцільно представити їх у компактному вигляді таблиць, які зручно використовувати в електронних

системах. Це дасть змогу змінити спосіб планування координат. Проте, спочатку необхідно виконати планування шляховими точками (ШТ), як рекомендує Резолюція ММО А.893 (21) – Керівництво з планування рейсу (Resolution A.893(21) IMO. Guidelines for voyage planning).

Зауважимо, що приведена методика планування рейсового циклу в нормативних документах, таких як Керівництво з несення вахти на містку (Bridge Procedure Guide, 5th Edition), Керівництво командою містка, 2-е Видання (Bridge Team Management, 2nd Edition), Резолюція ММО А.893 (21) – Керівництво з планування рейсу (Resolution A.893(21) IMO) володіє цілим рядом недоліків, які полягають у наступному:

1. Не приведена методика вибору ШТ.

2. Нанесення шляху у вигляді прямолінійних відрізків не відповідає дійсності, оскільки судно ніколи не проходить через ШТ. Особливо цей недолік проявляється при плануванні шляху в каналах, фарватерах, на припортових акваторіях та в межах порту. Тому, це вимагає використовувати і розробляти нові методики планування для цих районів.

3. Відсутня методика планування криволінійних відрізків шляху з врахуванням характеристик поворотності.

4. Не розглянуті способи підвищення точності планування та контролю координат руху.

Для розробки способу удосконалення планування рейсового циклу судна необхідно визначити види навігаційних ризиків і враховувати фактори, які є генератором або причиною катастроф на морі, на суші і в повітрі. Наприклад, несанкціонована зупинка головного двигуна судна при плаванні поблизу небезпек може бути викликана техногенним фактором ризику. Така аварійна подія може стати причиною загибелі судна і людей. Отже, виникнення загроз пов'язано з ризиком прийняття неправильного рішення або з ризиком зустрічі з несприятливою погодою, або ризиком відмов.

Для прогнозування навігаційних ризиків та аварійних подій необхідно розробити системний аналітичний підхід для їх запобігання чи зменшення їх наслідків. Він дозволить виявити причини, закономірності подій, частоту виникнення. Дотепер розроблені та застосовуються кілька різних способів та методів аналізу виникнення і розвитку аварійних подій та катастроф.

Для проведення аналізу причин навігаційних ризиків визначимо наступні два способи:

- 1) аналітико-статистичний спосіб – дозволяє визначити вид аварійної події та район плавання, у якому існує навігаційний ризик. Він не відповідає на питання, в чому причина, отже і не дозволяє відповісти на питання, що треба зробити, щоб попередити подібну небезпечну навігаційну подію в майбутньому.
- 2) спосіб експертної оцінки – дозволяє встановити послідовності виникнення й розвитку події з детальним описом алгоритму протікання процесу. Він може бути отриманий тільки у органів, які виконують розслідування. Це страхова компанія, капітанія порту прибуття після аварії, судовласник, рішення суду і т. п.

Отже, будемо використовувати спосіб експертної оцінки ризиків, який дає детальний опис та алгоритм протікання події, встановлює її навігаційну причину та

наслідки. Він може бути отриманий тільки у органів, які виконували розслідування аварійної події (капітанія порту, судновласник, страхові компанії, судові експерти та ін.). Такий спосіб застосовується при аналізі аварійних подій у портах та гаванях, він дасть можливість проводити адекватну та досить швидко оцінку ситуації саме в таких стислих умовах плавання. Для того, щоб виконати аналіз небезпеки виникнення ризиків при плануванні рейсового циклу потрібно виділити аварійно-небезпечні частки шляху переходу та визначити параметри характеристики видів аварійних подій, які існують на кожній частині.

Для більш детального розслідування наслідків подій і визначення факторів ризику в навігаційній системі управління рухом у рейсовому циклі морського судна розглянемо матеріали, що є в інспекціях портового нагляду України та судових експертиз. Це дозволить встановити причину аварійних подій, пов'язану з операторською діяльністю та намітити заходи щодо їх попередження.

Для прикладу, розглянемо аварійність у Північно-західній частині Чорного моря та найнебезпечнішої його частини – Бузько-Дніпровсько-лиманському каналі (БДЛК) та у Херсонському морському каналі (ХМК). Загальна протяжність БДЛК — 81 км, ХМК – 40 км. За умовами плавання вони належать до найскладніших районів судноплавства.

БДЛК має навігаційні особливості (рис. 1), а саме – дуже складну акваторію: 12 колін і 12 поворотів;

повороти на 40 і 60 градусів, а при заході у порти – до 90.

При повороті, а зона повороту – близько півмилі, судно проходить ще дві милі більш-менш прямо, потім – знову поворот, проте третє коліно взагалі довжиною всього в милу. Тобто з одного повороту відразу треба входити в інший. В даному випадку допомога техніки просто необхідна. Кількість колін ХМК – 3, навігаційна ширина каналу – 100 м.

За даними [14] звіту служби регулювання руху суден «Дельта-Лоцман» за період 2015–2021 років, загалом у північно-західній частині Чорного моря в каналах, сталося 76 навігаційних подій: посадка на міліну – 23; навали – 25; зіткнення – 6; льодові випадки – 4; технічні причини – 18.

За видами аварійні випадки було розподілено в такий спосіб:

- 1) на БДЛК: посадка на міліну – 27; зіткнення – 11; навали – 8; льодові випадки – 11; з технічних причин – 4;
- 2) на ХМК: посадка на міліну – 54; зіткнення – 15; навали – 22; льодові випадки – 9; з технічних причин – 12.

Загалом у 2021 році в акваторіях БДЛК та ХМК аварійні події розподілились за наступними показниками: посадка на міліну – 81; зіткнення – 26; навали – 30; льодові випадки – 20; з технічних причин – 16.

Розглянемо результати графічної прокладки способу планування руху траекторними точками (ТТ) в порт Самсун, представлений на рис. 1.

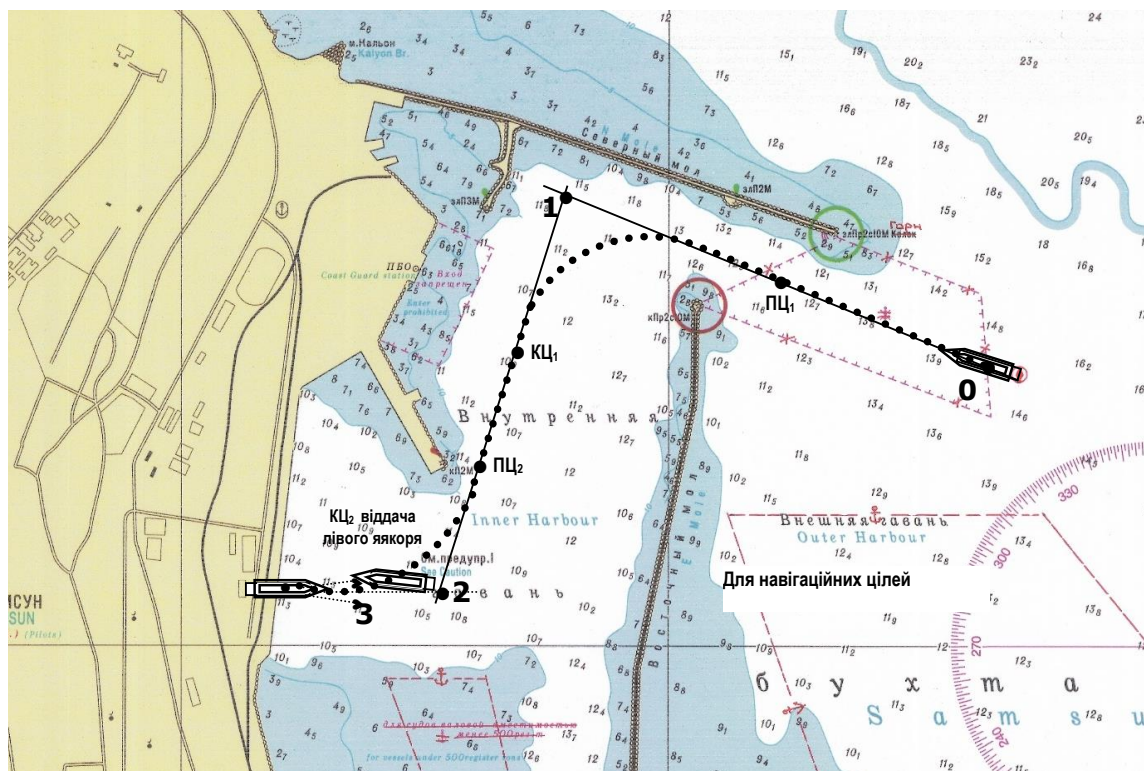


Рис. 1. Схема руху т/х «Вільнюс Сівейс» в порт Самсун при плануванні ТТ

Такий спосіб дозволяє зменшити рівень ризику посадки на міліну. При цьому управління рухом не потребує часу для обробки інформації про місце судна. Це дозволяє оперативнo визначити відхилення центру ваги судна від планової траєкторії і скоригувати рух перекладкою руля для компенсації зносу.

Вибір шляху виконують на підставі аналізу всіх умов плавання, а також з урахуванням осадки судна, його морехідних якостей та експлуатаційних вимог. Для більшості районів, описаних в лоціях даються настанови для плавання між основними портами, де наведені рекомендовані курси, шляхи, які ведуть в даний

морський район, віддалення шляху від найбільш виступаючих в море мисів, островів і небезпек. Але в лоцїях і настановах відсутня рекомендація методики вибору ШТ.

На підставі аналізу навігаційної обстановки на карті можна рекомендувати таке правило вибору – ШТ вибирають на перетині прямих ліній рекомендованих курсів і шляхів, які визначені геодезичними способами, з достатньою глибиною для запасу під кілем. Для зменшення ризику посадки на мілину в районі ШТ на повороті в каналах, а іноді і на фарватерах, виконують днопоглибувальні роботи для збільшення ширини

суднохідної полоси при повороті. Про це зазвичай сповіщають в паспорті каналу чи району плавання в лоцїї, а при необхідності рекомендують використання буксирів для допомоги судну при виконанні повороту.

Після того як визначені координати ШТ подальше планування можливо виконувати двома способами:

1. Прямолінійними відрізками від попередньої ШТ в наступну, з вимірюванням істинного курсу, відстанями між точками і підрахунку загального шляху з заповненням таблиці ШТ, яка на прикладі турецького порту Самсун наведена в табл. 1.

**Таблиця 1.** – Шляхові точки планування заходу в порт Самсун

Номер точки	Координати точки	Відстань, кбТ	Курс в наступну точку	Кут повороту	Кут перекладки руля
0	$\varphi = 41^{\circ}18'.445\text{N}; \lambda = 36^{\circ}21'.72\text{E}$	6.5	$289^{\circ}$	-	-
1	$\varphi = 41^{\circ}18'.65\text{N}; \lambda = 36^{\circ}20'.89\text{E}$	6.8	$207^{\circ}$	$72^{\circ}$	$15^{\circ}$
2	$\varphi = 41^{\circ}18'.045\text{N}; \lambda = 36^{\circ}20'.5\text{E}$ $\lambda$ $\lambda = 31^{\circ}21'.72\text{E}$ $\lambda = 31^{\circ}21'.72\text{E}$ $\lambda = 31^{\circ}21'.72\text{E}$	0.9	$270^{\circ}$	$63^{\circ}$	$15^{\circ}$
3	$\varphi = 41^{\circ}18'.045\text{N}; \lambda = 31^{\circ}20'.27\text{E}$	14.2	$90^{\circ}$	$180^{\circ}$	Перем.

2. У вигляді траєкторних точок (ТТ), з позначенням точок перекладки руля при повороті, отримання і швартування до причалу.

Другий спосіб являється більш точним, оскільки центр ваги проходить по плановій траєкторії. Він являється оптимальним, так як врахована акваторія для маневрування і маневрені характеристики поворотності судна. Далі формують масив [15] шляхових матриць і матриць ТТ повороту для всіх шляхових точок в наступному порядку:

$$M_{01}, M_{n12}, M_{12}, M_{n23}, M_{23} \dots M_{ni(i+1)}, M_{i(i+1)}, \dots M_{n(m-1)m}, M_{(m-1)m}, (1)$$

де  $M_{01}$  – матриця ТТ лінійного відрізка із початкової 0-ої ШТ до точки подачі команди на перекладку руля;

$M_{n12}$  – матриця повороту із першої ШТ в другу від початку  $N_{ц1}$  до кінця  $K_{ц1}$  криволінійного відрізка;

$M_{12}, M_{23}, M_{i(i+1)}, M_{(m-1)m}$  – матриці відрізків поворотів;

$M_{n23}, M_{ni(i+1)}, M_{ni(i+1)}$  – матриці ТТ прямолінійних відрізків;  $m$  – число ШТ.

Отже, матриці переходу [16] не містять відомостей про траєкторії шляху від причалу до місця висадки лоцмана при відході і від місця прийому лоцмана до причалу в порту приходу. Ці відомості повинні формуватися у вигляді судового плану плавання судна під лоцманською проводкою, для навігаційних цілей.

Розробимо новий спосіб для контролю за проходженням. По криволінійній траєкторії встановимо допустиме значення  $d_{\text{доп}}$ , при якому необхідно коригувати рух. Його значення  $d_{\text{доп}}$ , рекомендується призначати по величині радіальної середньої квадратичної похибки (СКП) визначення місця судна, постійного часу затримки повороту і величини зони нестійкості діаграми керованості, з урахуванням швидкості ходу.

Тому, значення  $d_{\text{доп}}$ , можна визначити за формулою:

$$d_{\text{доп}} = M_0 + V \cdot t_3 \cdot \sin \varphi(t), (2)$$

де  $M_0$  – радіальна СКП визначення місця судна;  $V$  – швидкість руху судна;  $t_3$  – час запізнювання в обробці

інформації в системі;  $\varphi(t)$  – кут нищпорення.

Визначення  $d_{\text{доп}}$  дозволить системі підтримки прийняття рішень (СППР) своєчасно попередити судоводія про недопустимий зсув чи навал на брівку каналу. В результаті отримаємо формулу для врахування навігаційних ризиків рейсового циклу судна на аварійно-небезпечних ділянках шляху.

**Результати та їх обговорення.** Для дослідження способів зменшення навігаційних ризиків та управління рухом у небезпечних акваторіях плавання важливо зазначити, що навігаційна сторона ризиків дає навігаційну причину події. Причину аварійної події визначає попередня інформація: конкретний опис обставин події і наслідки події. Отже, враховується кількість осіб, що загинули або дістали серйозні тілесні ушкодження, їхнє громадянство, прізвища, імена та по батькові, адреси, площа забруднення навколишнього природного середовища. Також фіксується ступінь пошкодження суден, берегових споруд, характер і маса вантажів, інша цінна для розслідування інформація, а також пропозиції щодо проведення необхідних термінових заходів.

Міжнародні результати експертної оцінки аварійних подій, що трапилися протягом 2021 року, показали, що причинами їх виникнення були: потрапляння на мілину; здійснення навалу на інші судна, що стоять на якорі; невиконання відповідного маневру для запобігання зіткненню через несвоєчасне налаштування шкали радіолокатора під час плавання у районі, де є скупчення плавзасобів в очікуванні шлюзування; вихід за межі судового ходу під час плавання в БДЛК та ХМК.

За результатами експертних розслідувань аварійних подій на водному транспорті в Україні протягом 2021 року було зафіксовано 12 навігаційних подій (22%), проти 13 випадків (30 %) у 2020 році. Отже, причинами таких аварій були наступні:

– недотримання вимог правила 34 глави V Міжнародної Конвенції з охорони людського життя на морі

(СОЛАС-74) та пункту 1. 3 Резолюції ІМО А.893(21) «Керівництво по плануванню рейсу», якою зазначається, що до виходу в море капітан повинен забезпечити, щоб намічений рейс був спланованим від причалу до причалу, включаючи ті райони, де потрібна наявність на борту лоцмана, а також забезпечення контролю за просуванням судна при виконанні рейсового плану переходу;

– відсутність завчасного визначення і врахування рівня оцінки ризику, незабезпечення належної організації дій екіпажів суден в аварійній ситуації, згідно з резолюцією ІМО А.741(18) (МКУБ) та наказом №904, зокрема при заході суден в порт, а також під час маневрування та виконання швартових операцій з використанням буксирного забезпечення на акваторії порту тощо;

– недотримання рекомендацій звичайної морської практики з практичних прийомів та способів управління судном, зокрема щодо взаємодії з морським лоцманом та капітанами буксирів під час виконання швартових операцій, а також невжиття вчасних та рішучих дій для забезпечення безпеки судна та запобігання навалу на причал, інші судна та об'єкти, що стоять біля причалу або на рейді;

– неврахування маневрових характеристик судна та недотримання безпечної швидкості під час здійснення швартових операцій з використанням буксирного забезпечення, а також під час проходження біля засобів навігаційного обладнання (буїв) при здійсненні розходження з іншим судном в обмежених умовах акваторії порту, каналу, а також на річкових внутрішніх водних шляхах (резолюції ІМО А.893(21), А.601(15));

– неналежна організація та невиконання членами екіпажу правил технічного обслуговування і експлуатації головних двигунів та допоміжних механізмів судна.

На підставі аналізу причин аварійних подій можна запропонувати наступну систематизацію ризиків за видами їх виникнення: 1) посадка на міліну; 2) неприпустимий зсув і навал на брівку; 3) зіткнення в стислих водах; 4) льодові випадки; 5) технічні причини. Основною перевагою вищевказаної систематизації ризиків за видами є можливість виконання аналізу наслідків, до яких призвело неврахування навігаційних ризиків, які будуть зустрічатися після закінчення планування шляху рейсового циклу в майбутньому переході.

Саме тому, до структури планування рейсового циклу судна пропонується включити стадію **Risk Analysis (Аналіз ризиків)**. Тобто, оновлений спосіб планування пропонується використовувати із п'яти стадій організації безпечного переходу і організації безаварійного руху:

I. Appraisal (Оцінка).

II. Planning (Планування).

III. Risk Analysis (Аналіз ризиків).

IV. Execution (Виконання).

V. Monitoring (Контроль).

Виконаний аналіз ризиків при розробці плану шляху дозволить підготувати судно для управління ними і підвищити рівень безпеки плавання.

Для управління рухом у небезпечних акваторіях плавання і забезпечення безаварійного виконання рейсового циклу на судні необхідно спланувати шлях

центру ваги судна траєкторними точками (ТТ) у вигляді координат руху.

Зауважимо, що існуючий класичний графічний спосіб планування руху судна займає близько 2 хвилин, але у судноводія такого часу немає (судно сідає на міліну). Проте, недоліком табличної форми (табл. 1) є відсутність можливості оперативно контролювати ризик посадки на міліну і необхідність використовувати системи підтримки прийняття рішення для автоматичного контролю зсуву.

Представлений в дослідженні удосконалений інженерний спосіб зменшує ймовірність виникнення ризику посадки на міліну за рахунок планування координат руху ТТ і можливості оперативного визначення зсуву для його коригування.

Отже, запропонований спосіб враховує форму навігаційної акваторії і поворотності судна, які оформлені у вигляді суми матриць прямолінійних і криволінійних ділянок шляху. Вони розраховуються по прямолінійних ділянках рекомендованого шляху на карті, обмежених шляховими точками (ШТ). Тому, координати ТТ шляху розраховуються з урахуванням зміни акваторії для маневрування, показників гальмування і поворотності та видів використовуваних маневрів.

Оскільки в лоціях і настановах відсутня рекомендація методики вибору ШТ, розроблений спосіб планування рейсового циклу судна підвищить швидкість обробки даних в автоматизованих системах навігації.

Розвиток даного дослідження буде актуальним для управління ризиками з використанням новітніх навігаційних СППР, які створені останнім часом. Основними з них є пристрої розрахунку маневрених характеристик та високоточного планування шляху ТТ по координатам шляхових точок (ШТ), вибраних на перетині прямолінійних відрізків рекомендованого шляху на карті, нанесеного геодезичними методами.

В перспективі, корінь проблеми аналізу і прогнозування навігаційних ризиків може бути досліджений в питаннях врахування людської помилки в критичних ситуаціях прийняття складних і простих рішень. У якості важливого фактору ризику і впливу на навігаційні системи штучного інтелекту в режимі реального часу може розглядатися людина-оператор.

#### Висновки.

1. При плаванні в умовах стислих вод виконується трьох операторне управління судном – капітан, лоцман та берегова радіолокаційна станція (РЛС). Берегова РЛС має достатній досвід в районі проводки. Лоцман знає місцеві навігаційні умови і особливості управління судном та всі ризики, які характеризують даний район. Проте, капітан повинен сам підготуватися для плавання в такому аварійно небезпечному районі, використовуючи відомі йому навігаційні посібники. Відповідальність за безпеку судна несе особисто капітан, а інші два оператори виступають як консультанти. Тому він повинен ретельно спланувати шлях і врахувати всі ризики аварій, які сталися в даному районі.

2. На основі аналізу існуючих методів оцінки і класифікації ризиків був визначений спосіб експертної оцінки ризиків, який дає детальний опис та алгоритм протікання події, встановлює її навігаційну причину та наслідки. Він може бути отриманий тільки у органів, які виконували розслідування аварійної події

(капітанія порту, судовласник, страхові компанії, судові експерти та ін.). Встановлено, що для оцінки і визначення причин навігаційних ризиків потрібно виділити аварійно-небезпечні частки шляху переходу з параметрами характеристик видів аварійних подій, які існують на кожній частині.

3. Запропоновано удосконалений спосіб планування маршруту шляховими точками (ШТ), який дасть можливість судоводію швидко та точно коригувати курс

судна. Він дозволить змінити форму представлення даних про маневрені властивості судна, враховуючи його стан у реальному часі і аналіз попередніх аварійних подій та навігаційних ризиків. Такий спосіб змінення даних є найбільш ефективним для майбутнього використання в автоматичних пристроях попередження посадки на міліну, оцінки ширини смуги маневреного зміщення, автоматичного контролю процесу зближення з іншими суднами та вибору маневру для розбіжності.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Шумілова, К. В., Онищенко, О. А. Планування дій у комплексній ідентифікації ризиків судноплавства // The scientific heritage. International independent scientific journal, 2020. V. 49 (1). pp. 40–46. Режим доступу: <http://www.scientific-heritage.com/wp-content/uploads/2020/09/vol-1-no-49-49-2020.pdf>.
2. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents, 2019. Режим доступу: [https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2019/11/EMSA-Annual-Overview-of-Marine-Casualties-and-Incidents-2019-2019\\_11.pdf](https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2019/11/EMSA-Annual-Overview-of-Marine-Casualties-and-Incidents-2019-2019_11.pdf).
3. Maritime Safety Report 2012-2021, 2021. Режим доступу: <https://www.iims.org.uk/maritime-safety-report-2012-2021/>.
4. Стан аварійності та безпеки судноплавства на водному транспорті, 2021. Режим доступу: <https://marad.gov.ua/ua/diyalnist/stan-avarijnosti-ta-bezpeki-sudnoplavstva-na-vodnomu-transporti>.
5. Служба регулювання руху суден. Адміністрація морських портів України. Філія «Дельта-лоцман», 2021. Режим доступу: [http://www.delta-pilot.ua/traffic\\_management](http://www.delta-pilot.ua/traffic_management).
6. Піпченко, О. Д. Аналіз аварійності мирового флота 2005–2015 // Судноводіння / Sh&Nav, 2017. 1 (27). С. 160–169. doi: 10.31653/2306-5761.27.2017.160-169.
7. Gucma, S., Przywarty, M., Słaczka, W. and Gralak, R. Risk of grounding by a ship passing a fairway –simulation method of navigational risk estimation in emergency situations // European Navigation Conference (ENC), 2019. pp. 1–6. doi: 10.1109/euronav.2019.8714146.
8. Chou, C., Wang, C., Hsu, P. A novel quantitative and qualitative model for forecasting the navigational risks of Maritime Autonomous Surface Ships // Ocean Engineering, 2022. V. 248. ISSN 0029-8018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.110852>.
9. Yan, T., Qian, D., Shu, Y., Yang, Y., Xu, R. Vessel navigation risk and stern-swing index in sharp bend channels // Ocean Engineering, 2021. V. 238 p. ISSN 0029-8018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109640>.
10. Zhou, J., Ding, F., Yang, J., Pei, Z., Wang, C., Zhang, A. Navigation safety domain and collision risk index for decision support of collision avoidance of USVs // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 2021. V. 13. pp. 340–350. ISSN 2092-6782. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2021.03.001>.
11. Xavier Bellsolà Olba, X. B., Daamen, W., Vellinga, T., Hoogendoorn, S. P. State-of-the-art of port simulation models for risk and capacity assessment based on the vessel navigational behaviour through the nautical infrastructure // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 2018. V. 5. (5). pp. 335–347. ISSN 2095-7564. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.03.003>.
12. Maltsev, A., & Surinov, Improving the navigational preparation of a bridge crew for entering/leaving a port, including activities in case of emergency // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2021. 3 (3 (111)). pp. 42–57. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235092>. Scopus.
13. Мальцев, А. С. Удосконалення методології планування шляху рейсового циклу морського судна. // Modern directions of scientific research development. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. Vo science Publisher, Chicago, USA, 2022. pp. 330–349. Режим доступу: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/01/modern-directions-of-scientific-research-development-26-28.01.22.pdf>.
14. Звіт БДЛК, 2021. Режим доступу: <https://mkrada.gov.ua/files/UGZ/2021/%D0%97%D0%92%D0%86%D0%A2%20%D0%91%D0%94%D0%9B%D0%9A.pdf>.
15. Sokolenko, V. The system of precision planning marine ship's voyage // Advances in Aerospace Technology, 2016. V. 68 (3). pp. 46–53. doi: <https://doi.org/10.18372/2306-1472.68.10908>.
16. Мальцев, С. Е. (2021). Оперативний контроль ширини маневреного зсуву в стислих водах // Судноводіння: Зб. наук. праць. НУ «ОМА», Одеса: «ВидавІнформ», 2021. Вип. 31. С. 22–37. doi: <https://doi.org/10.31653/2306-5761.31.2021.22-36>.

#### REFERENCES

1. Shumilova, K. V., Onishhenko, O. A. Action planning in comprehensive shipping risk identification // The scientific heritage. International independent scientific journal, 2020. V. 49 (1). pp. 40–46, ISSN 3547–2340. Available at: <http://www.scientific-heritage.com/wp-content/uploads/2020/09/vol-1-no-49-49-2020.pdf>.
2. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents, 2019. Available at: [https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2019/11/EMSA-Annual-Overview-of-Marine-Casualties-and-Incidents-2019-2019\\_11.pdf](https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2019/11/EMSA-Annual-Overview-of-Marine-Casualties-and-Incidents-2019-2019_11.pdf).
3. Maritime Safety Report 2012-2021, 2021. Available at: <https://www.iims.org.uk/maritime-safety-report-2012-2021/>.
4. The state of accidents and safety of navigation on water transport, 2021. Available at: <https://marad.gov.ua/ua/diyalnist/stan-avarijnosti-ta-bezpeki-sudnoplavstva-na-vodnomu-transporti>.
5. Ship Traffic Regulation Service. Administration of seaports of Ukraine. «Delta Pilot» Branch, 2021. Available at: [http://www.delta-pilot.ua/traffic\\_management](http://www.delta-pilot.ua/traffic_management).
6. Pipchenko, O. D. Accident rate analysis of the world fleet 2005–2015 // Sudnovodinnya / Sh&Nav, 2017. 1 (27). pp. 160–169. doi: 10.31653/2306-5761.27.2017.160-169.
7. Gucma, S., Przywarty, M., Słaczka, W. and Gralak, R. Risk of grounding by a ship passing a fairway –simulation method of navigational risk estimation in emergency situations // European Navigation Conference (ENC), 2019. pp. 1–6. doi: 10.1109/euronav.2019.8714146.
8. Chou, C., Wang, C., Hsu, P. A novel quantitative and qualitative model for forecasting the navigational risks of Maritime Autonomous Surface Ships, Ocean Engineering, 2022. V. 248. ISSN 0029-8018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.110852>.
9. Yan, T., Qian, D., Shu, Y., Yang, Y., Xu, R. Vessel navigation risk and stern-swing index in sharp bend channels // Ocean Engineering, 2021. V. 238. ISSN 0029-8018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109640>.

10. Zhou, J., Ding, F., Yang, J., Pei, Z., Wang, C., Zhang, A. Navigation safety domain and collision risk index for decision support of collision avoidance of USVs. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 2021. V. 13. pp. 340–350. ISSN 2092-6782. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2021.03.001>.
11. Xavier Bellsolà Olba, X. B., Daamen, W., Vellinga, T., Hoogendoorn, S. P. State-of-the-art of port simulation models for risk and capacity assessment based on the vessel navigational behaviour through the nautical infrastructure // *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 2018. V. 5. (5). pp. 335–347. ISSN 2095-7564. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.03.003>.
12. Maltsev, A., & Surinov, I. Improving the navigational preparation of a bridge crew for entering/leaving a port, including activities in case of emergency // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021. V. 3 (3 (111)). pp. 42–57. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235092>. Scopus.
13. Maltsev, A. Improving the methodology of planning the voyage cycle of a ship // *Modern directions of scientific research development. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference*. Bo science Publisher, Chicago, USA, 2022. pp. 330–349. Available at: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/01/modern-directions-of-scientific-research-development-26-28.01.22.pdf>.
14. Report BDLK, 2021. Available at: <https://mkrada.gov.ua/files/UGZ/2021/%D0%97%D0%92%D0%86%D0%A2%20%D0%91%D0%94%D0%9B%D0%9A.pdf>.
15. Sokolenko, V. The system of precision planning marine ship's voyage // *Advances in Aerospace Technology*, 2016. V. 68(3). pp. 46–53. doi: <https://doi.org/10.18372/2306-1472.68.10908>.
16. Maltcev, S. E. Operational control of the width of the maneuverable displacement in constrained waters // *Sudnovodinnya: Zb. nauk. prac. NU «OMA», Odesa: «VidavInform»*, 2021. V. 31. pp. 22–37.

### Development of the method for planning navigational risks in preparation of a ship voyage cycle

K. V. Shumilova

**Abstract.** A new method for planning the ship's movement coordinates in complex navigational conditions has been developed. The systematization of the types of navigational risks according to the various features prevailing in the ship's voyage cycle carried out. The analysis of types of risks carried out on the basis of statistical data of accidents in two channels with complex water areas and high intensity of navigation. The proposed method will allow to present data in a compact form of tables, will give the opportunity to the navigator to quickly correct the course of the ship and increase navigational safety.

**Keywords:** *planning of navigation risks; maneuvering; ship's voyage cycle.*

## Application of piezoceramic actuators in adaptive interferometry

M. V. Tsyhyka<sup>1</sup>, I. I. Chychura<sup>1</sup>, A. A. Grabar<sup>1</sup>, V. V. Tsyhyka<sup>1</sup>, M. V. Stoika<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Uzhhorod National University, Ukraine

<sup>2</sup> Ferenc Rákóczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education, Ukraine

\*Corresponding author. E-mail: sztojka.miroslav@kmf.org.ua

Paper received 08.02.22; Accepted for publication 07.03.22.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2022-268X34-06>

**Abstract.** The features of application of piezoceramic actuators in adaptive interferometry are considered in this work. Methods of power supply of actuators from a sinusoidal voltage source with preservation of positive polarity of a control signal by means of schemes on the basis of operational amplifiers are developed. The possibility of modulating not only for amplitude and frequency but also the phase of mechanical oscillations of the surface of the actuator by using a phase-rotating circuit (FRC) is provided, the method of parameters calculating of FRC elements is also proposed. A two-channel control circuit for piezoceramic actuators has been implemented.

**Keywords:** adaptive interferometry, piezoceramic actuators, voltage source, phase rotation, impedance.

**Introduction.** Adaptive interferometry is based on the use of dynamic holograms, which are formed in photorefractive crystals [1]. Adaptive interferometers are very promising in the field of non-destructive testing, nanometric measurements, acoustic measurements, etc. [1, 2]. In dynamic interferometry, in particular in adaptive interferometers, it is convenient to use piezoelectric actuators, i.e. piezomechanical devices that provide calibrated movement, including in the sub-nanometer range and are therefore widely used in adaptive optics, as drives for optical phase modulators, in tunneling microscopy, etc. [3 - 5]. Concerning heterodyne dynamic interferometers, actuators are used mainly to modulate the phase of laser radiation, reflected from the studied surface and the phase of reference beam, which allows to synchronize the frequencies of laser beams and determine the parameters of the studied mechanical oscillations [2]. Actuators can also be used, for example, to simulate the mechanical oscillations of the test surface and other applied problems of adaptive interferometry.

**Materials and methods.** To determine the technical requirements for the power supply, you need information about the electrical parameters of the actuator, and for elimination the phenomenon of repolarization when working in dynamic mode, you must ensure the positive polarity of the control signal. Solutions to these issues for the case of sinusoidal supply voltage of multilayer piezoceramic actuators are considered in this paper. In our experiments, sinusoidal signals in the frequency range 1 Hz – 1 kHz were applied to the piezoelectric elements. If an alternating voltage with a frequency  $f$  below the resonant is applied to the actuator, the piezoactuator should in most cases be considered as a purely capacitive load relative to the power supply. Its capacity, unlike a conventional capacitor, depends on the amplitude of the applied voltage, temperature and other factors that cause changes in the dielectric constant of piezoceramics and can increase significantly. Therefore, the specifications of finished products indicate there approximate value.

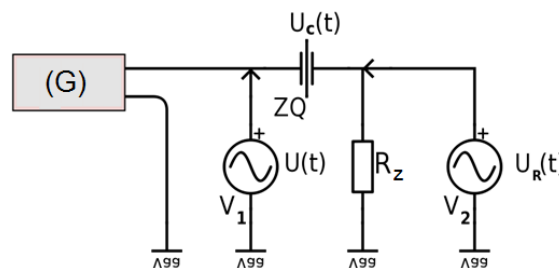
The response of the actuator to the control voltage is almost linear and theoretically allows to ensure the resolution (minimum possible movement of the actuator body per unit of control voltage), which is limited by factors such as electromagnetic interference, electronic noise, microfriction with devices in contact with sensors.

Therefore, the stability of power supplies is subject to strict requirements, as even interference with an amplitude of one microvolt can cause displacement. Under conditions of a small control signal, the tangent of the dielectric loss angle  $\text{tg } \delta = 0.01 \div 0.02$ , i.e. only up to 2% of the electric power flowing through the device, can be converted into heat.

The speed of the actuators is determined by their resonant frequency  $f_0$ : the nominal movement is carried out over time  $t_{\min} \approx \frac{1}{3f_0}$  [4], which is usually a few microseconds.

Actuators AE0203D08F from NEC Corporation were used in this work. Their main characteristics:  $f_0 = 138 \text{ kHz}$ , response time  $t_{\min} \approx 2,4 \mu\text{s}$ , rated control voltage  $U_{\text{nom}} = 100 \text{ V}$ , displacement  $\Delta l$  at rated control voltage  $\Delta l = (6.1 \pm 1.5) \text{ mkm}$ .

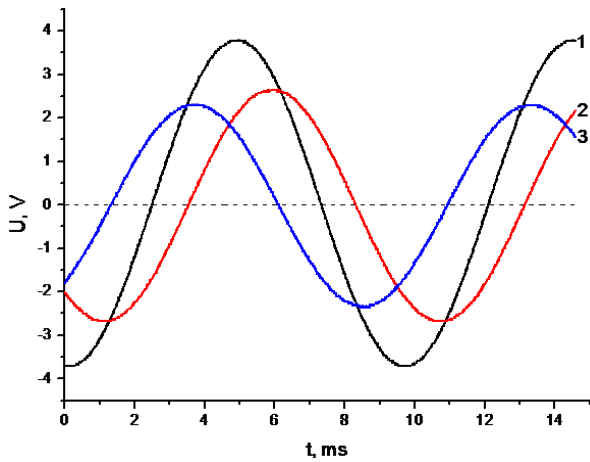
**Results.** To clarify the static capacitance and the tangent of the dielectric loss angle, the electrical circuit of the series connection of the actuator ZQ and the exemplary resistor  $R_z$  was used, shown in Fig. 1 (to remove the time dependence of the voltage on the actuator  $u_c(t)$  the signal from the output of the oscillator G  $u(t)$  was applied to the resistor).



**Fig. 1.** Diagram for determining the capacitance and dielectric loss angle of the actuator: G - low frequency generator, V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub> - measuring inputs of the oscilloscope.

The circuit was powered from a sinusoidal oscillator with a voltage amplitude of 4 V and a frequency of 100 Hz. Oscillograms of supply voltage, voltage drops on the resistor and actuator are shown in Fig. 2.



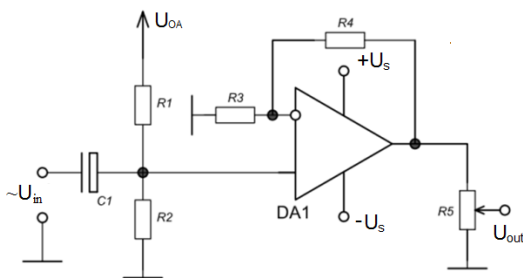


**Fig. 2.** Oscillograms of voltages: 1 - supply voltage  $u(t)$ , 2 - voltage drop on the actuator  $u_c(t)$ , 3 - voltage drop on the sample resistor  $u_R(t)$ .

According to the obtained oscillograms, phase shifts between voltages, phase shift  $\varphi$  between voltage  $u_c$  and current ( $\varphi = \alpha_{U_c} - \alpha_{U_R}$ ), dielectric loss angle  $\delta = 90^\circ - |\varphi| = 1,2^\circ$ ,  $tg\delta = 0.021$ , capacitive resistance and, accordingly, the static capacity of the actuator  $C_0 = (0.22 \pm 0.01) \text{mkF}$  were determined. The oscillographic method allows to determine electrical quantities with a relative error of not less than 5%.

Switching on the reverse voltage can lead to repolarization and failure of piezoceramics. The value of the negative polarity voltage, which can be connected to the actuator for a short time, should not exceed 20% of the maximum value of the control voltage specified in the specification. Schemes based on operational amplifiers (OA) were used to supply positive bias voltage.

In fig. 3 shows a schematic diagram of the electrical basic device for supplying control signals to the piezo actuator. The sinusoidal voltage from the low frequency generator (G)  $U_{in}$  and the constant bias voltage from the reference voltage source  $U_{OA}$  are applied to the input of OA - DA1.

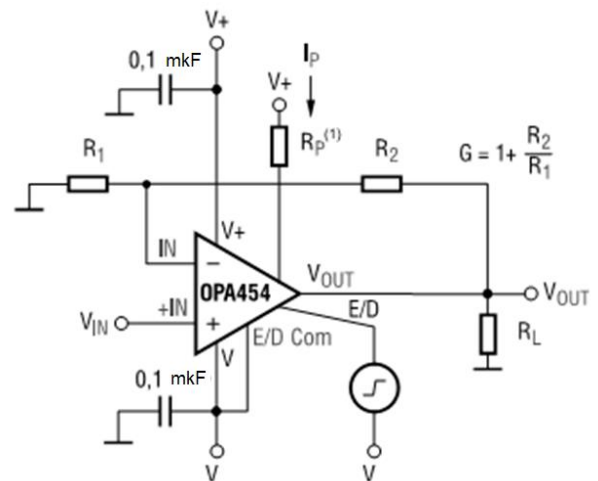


**Fig. 3.** Actuator control voltage generator.

The voltage divider in the resistors  $R_1, R_2$  sets the bias voltage equal to the amplitude of the output signal of the (G). Resistors  $R_3, R_4$  set the value of the voltage gain  $K_U = \frac{U_{out}}{U_{in}}$ , which receives the maximum signal amplitude at the output of the OA. Adjustment of the actuator control voltage range is carried out by potentiometer  $R_5$ .

Usually the bipolar supply voltage of OA  $\pm U_s$  does not exceed 15 V. To increase the amplitude of the output signal, a circuit of OA TDA2050 with unipolar power

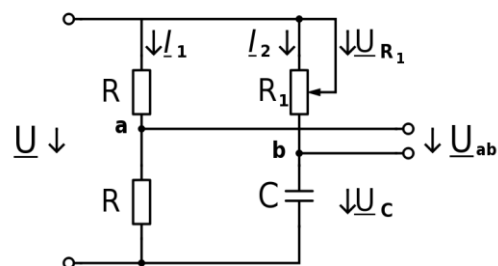
supply, the maximum allowable voltage of which is 50 V was used. Its basis is a typical version of the inclusion of this OA with unipolar power supply, given in [6]. The advantage of this inclusion of OA is the presence of only one power supply and the ability to obtain an output voltage above 40 V. However, it turned out that at amplitudes of the output voltage above 20 V there is a distortion of the shape of the output signal. A simpler solution to increase the amplitude of the actuator control voltage is to use a reliable bipolar circuit. 3 and more high-voltage OA, which is, for example, OPA454, product from Texas instruments company. In Fig. 4 shows the basic scheme of inclusion of OPA454 as a non-inverting amplifier. Power can be selected any in the range from  $\pm 5$  to  $\pm 50$  V while maintaining all the characteristics.



**Fig. 4.** Basic non-inverting circuit of the amplifier OPA454 [7].

In [7] considered the bridge power supply circuit of the piezoelectric converter based on two OA OPA454 with doubling of the maximum output voltage, which can be up to 195 V.

For some adaptive interferometry problems, there is a need to modulate not only the amplitude, frequency, but also the phase of the mechanical oscillations of the piezoceramic actuator. To control the phase change of the sinusoidal control voltage, a phase-rotating circuit (FRC) in the form of a bridge circuit was used, in the adjacent arms of which resistors of one denomination are included, and in the other two, respectively, variable resistor and capacitor [8]. The diagram of this electric circuit is shown in Fig. 5.



**Fig. 5.** Phase-rotating circuit diagram [8].

The phase angle between the voltage phasors (rotating vectors) on the resistor  $U_{R1}$  and the capacitor  $U_C$  is  $90^\circ$ , and the phasor sum  $U_{R1} + U_C = U$ , where  $U$  is the voltage

phasor supplied from the signal generator to the FRC. Therefore, depending on the ratio of resistance  $R_1$  and capacitive reactance  $X_c$ , the vertex of the right angle of the voltage triangle formed by the phasor  $\underline{U}$ ,  $\underline{U}_{R1}$  and  $\underline{U}_C$  will describe a semicircle constructed on the phasor  $\underline{U}$  as on the diameter. The voltage phasor  $\underline{U}_{ab}$ , whose modulus is  $0.5 U$ , is the radius of this semicircle. At  $R_1 = 0$  the angle  $\alpha$  of the phase angle between the voltages  $\underline{U}$  and  $\underline{U}_{ab}$  is zero, and at  $R_1 \gg X_c$  we have  $\alpha \rightarrow 180^\circ$ .

In the implementation of this scheme there is a question of choosing the values of resistors  $R$  and capacitor  $C$ , which should be determined taking into account the output resistance of the (G) and the operating frequency range. Calculate the equivalent complex impedance of the phase-rotating circuit at idling mode. We get:

$$Z_e = \frac{2R(R_1 - jX_c)}{2R + R_1 - jX_c} = \frac{2R(2RR_1 + R_1^2 + X_c^2)}{(2R + R_1)^2 + X_c^2} - j \frac{4R^2 X_c}{(2R + R_1)^2 + X_c^2} \quad (1)$$

According to this relationship, in the extreme case  $R_1 = 0$  the modulus of equivalent impedance:

$$Z_e = \frac{2RX_c}{\sqrt{4R^2 + X_c^2}} \quad (2)$$

One of the options for calculating the FRC elements is to set the value of  $Z_e$  equal to the nominal value of the output resistance of the (G), set the value  $X_c \approx R_{1max}/10$ , and the nominal value  $R$  is determined according to relation (2).

To study the dynamic holograms, a two-channel pie-

zoceramic actuator control circuit was implemented using an LM2904 analog chip consisting of two independent operational amplifiers with a maximum bipolar supply voltage of  $\pm 13$  V, which provides maximum displacement of the working surface of the applied actuators  $\Delta l = (0.78 \pm 0.18)$  mkm. Calibration of movement should be carried out by measuring instruments with high resolution. Examples of implementation of such measuring systems are considered in [9], where, in particular, the characteristics of the digital control and measuring stand are given, the optical part of which is based on the Michelson interferometer.

**Conclusions.** This paper considers the features of the use of piezoceramic actuators in adaptive interferometry. The method of determining the capacitance and tangent of the angle of dielectric loss of piezoelectric elements by means of the oscilloscope is applied. Variants of power supply of actuators from a sinusoidal voltage source with preservation of positive polarity of a control signal by means of schemes on the basis of operational amplifiers are developed. The possibility of modulating not only the amplitude, frequency but also the phase of mechanical oscillations of the surface of the actuator by using a phase-rotating circuit is provided, the method of calculating the parameters of the FOC elements is proposed. A two-channel control scheme for piezoceramic actuators has been implemented.

#### REFERENCES

1. R.V. Romashko Adaptive holographic interferometry: technique, progress and applications. Vestnik of the FEB RAS, 2021, № 4, p. 40- 47. DOI: 10.37102/0869-7698\_2021\_218\_04\_03
2. M. V. Tsygyka, A. A. Kohutych, I. I. Stoika, A. A. Grabar (2017). Dynamic interferometer on the base of Sn2P2S6 photorefractive crystal modified by indiffusion of Cu. Scientific Herald of Uzhhorod University. Series Physics. DOI:41. 14-19. 10.24144/2415-8038.2017.41.14-19.
3. <http://www.americanpiezo.com>
4. <http://www.elpapierzo.ru>
5. <http://www.physikinstrumente.com>.
6. <http://www.st.com> TDA 2050 32 W hi-fi audio power amplifier.
7. <http://www.ti.com> Texas Instrumentts OPA454 sbos391b – december 2007– revised march 2016.
8. Bessonov L.A. Teoreticheskie osnovy elektrotehniki. Elektricheskie tsepi. – M.: Gardariki. 2002 – 638 s. (ru).
9. Bobtsov A. A., Boykov V. I., Byistrov S. V., Grigorev V. V. Iсполнителные устройства и системы для микроперемещений. – Санкт-Петербург, ГУ ИТМО, 2011, 131 s. (ru).

Editor-in-chief: Dr. Xénia Vámos

The journal is published by the support of  
Society for Cultural and Scientific Progress in Central and Eastern Europe

Készült a Rózsadomb Contact Kft nyomdájában.  
1022 Budapest, Balogvár u. 1.  
[www.rcontact.hu](http://www.rcontact.hu)