



#4 (44), 2019 część 3

**Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe**

(Warszawa, Polska)

**Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce.** W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

**Zespół redakcyjny**

**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

**Mikołaj Wiśniewski**

**Szymon Andrzejewski**

**Dominik Makowski**

**Paweł Lewandowski**

**Rada naukowa**

**Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)**

**Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Peter Cohan (Princeton University)**

**Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)**

**Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)**

**Kolub Frennen (University of Tübingen)**

**Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)**

**Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)**

#4 (44), 2019 part 3

**East European Scientific Journal**

(Warsaw, Poland)

**The journal is registered and published in Poland.** The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

**Editorial**

**Editor in chief - Adam Barczuk**

**Mikołaj Wiśniewski**

**Szymon Andrzejewski**

**Dominik Makowski**

**Paweł Lewandowski**

**The scientific council**

**Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)**

**Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Peter Cohan (Princeton University)**

**Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)**

**Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)**

**Kolub Frennen (University of Tübingen)**

**Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)**

**Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)**

**Dawid Kowalik (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Peter Clarkwood(University College  
London)**  
**Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Klimek (Polska Akademia  
Nauk)**  
**Alexander Rogowski (Uniwersytet  
Jagielloński)**  
**Kehan Schreiner(Hebrew University)**  
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**  
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet  
Warszawski)**  
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet  
Jagielloński)**  
**Szymon Matysiak (Polska Akademia  
Nauk)**  
**Michał Niewiadomski (Instytut  
Stosunków Międzynarodowych)**  
**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

**1000 kopii.**

**Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie  
85/21, 02-001 Warszawa, Polska»**

**Wschodnioeuropejskie Czasopismo  
Naukowe**

Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001  
Warszawa, Polska

**E-mail:** [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com) ,

**<http://eesa-journal.com/>**

**Dawid Kowalik (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Peter Clarkwood(University College  
London)**  
**Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Klimek (Polska Akademia  
Nauk)**  
**Alexander Rogowski (Uniwersytet  
Jagielloński)**  
**Kehan Schreiner(Hebrew University)**  
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**  
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet  
Warszawski)**  
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet  
Jagielloński)**  
**Szymon Matysiak (Polska Akademia  
Nauk)**  
**Michał Niewiadomski (Instytut  
Stosunków Międzynarodowych)**  
**Editor in chief - Adam Barczuk**

**1000 copies.**

**Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-  
001 Warsaw, Poland»**

**East European Scientific Journal**

Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Po-  
land

**E-mail:** [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com) ,

**<http://eesa-journal.com/>**

# СОДЕРЖАНИЕ

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Амеліна Л.В., Біляєв М.М., Козачина В.А., Полторацька В.М.</b> ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПРИ АВАРІЙНІЙ ЕМІСІЇ АМІАКУ .....	4
<b>Ворохобин И.И.</b> ПРОВЕРКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ .....	11
<b>Бурмака А.И., Волков А.Н.</b> УЧЕТ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ СУДНА ПРИ РАСЧЕТЕ ПАРАМЕТРОВ МАНЕВРА РАСХОЖДЕНИЯ В СИТУАЦИИ ЧРЕЗМЕРНОГО СБЛИЖЕНИЯ.....	19
<b>Алексишин В.Г., Алексишин А.В.</b> ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ СУДОВОЙ БЕЗОПАСНОЙ ОБЛАСТИ ОТ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПОЗИЦИОННЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ .....	24
<b>Петриченко Е.А., Калюжный В.В.</b> СЛОЖНЫЙ МАНЕВР ВЫХОДА СУДНА НА ПРОГРАММНУЮ ТРАЕКТОРИЮ ПОСЛЕ УКЛОНЕНИЯ ОТ ОПАСНОЙ ЦЕЛИ .....	31
<b>Бородулин А.В.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО-ДОПУСТИМОЙ ДИСТАНЦИИ СБЛИЖЕНИЯ СУДОВ ДЛЯ ДОМЕНОВ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ И СЛОЖНОЙ ФОРМЫ .....	37
<b>Гайченя А.В., Козаченко А.Ю.</b> ВВОД В БАЗУ ДАННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНА И ЕГО ГРУЗОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ .....	43
<b>Дмитриева Н.В., Попов О.А., Степаненко Н.А.</b> АНАЛИЗ ОПОЛЗНЕВЫХ ЯВЛЕНИЙ И СПОСОБЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЙ .....	48
<b>Кожамжарова Д.П., Жантасов К.Т., Молдабеков Ш.М., Есимов Б.О., Дормешкин О.Б., Наукенова А.С., Жантасов М.К., Жантасова Д.М., Кенжалиева Г.Д.</b> ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЧИСТЫЕ ПРОДУКТЫ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ.....	53
<b>Васько П.Ф.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В КРАЙНЕМ ПАКЕТЕ СТАТОРА ГЕНЕРАТОРА .....	61

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Amelina L.V.**

Postgraduate student of The Department «Hydraulics and Water Supply»,  
Dnipro National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan

**Biliaiev M.M.**

Doctor of Technical Sciences, Professor  
Head of The Department «Hydraulics and Water Supply»,  
Dnipro National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan

**Kozachyna V.A.**

PhD, Senior Lecturer of The Department «Hydraulics and Water Supply»,  
Dnipro National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan

**Poltoratskaya V.M.**

PhD, Assistant Professor  
Assistant Professor of The Department «Ecology and environmental protection»  
Prydniprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture

### PREDICTION OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION DURING ACCIDENTAL AMMONIA EMISSION

**Амеліна Лариса Володимирівна**

здобувач кафедри «Гідравліка та водопостачання»,  
Дніпровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

**Біляєв Микола Миколайович**

доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри «Гідравліка та водопостачання»,  
Дніпровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

**Козачина Віталій Анатолійович**

к.т.н., старший викладач кафедри «Гідравліка та водопостачання»  
Дніпровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

**Полторацька Вікторія Миколаївна**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри «Екології та охорони навколишнього середовища»,  
Придніпровська академія будівництва та архітектури

### ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПРИ АВАРІЙНІЙ ЕМІСІЇ АМІАКУ

**Summary:** A numerical model is developed, which allows to make a forecast of the level of air pollution in the event of emergency emissions of ammonia. The model allows to take into account the profile of wind speed, atmospheric diffusion, emission intensity of a chemical-dangerous substance. Calculations have been done to determine the pollution zone formed as a result of emergency discharge of ammonia at the pumping station of the ammonia pipeline Tolyatti-Odessa near the village Bashmachka.

**Анотація:** Розроблена чисельна модель, що дозволяє зробити прогноз рівня забруднення атмосферного повітря у разі аварійної емісії аміаку. Модель дозволяє враховувати профіль швидкості вітру, атмосферну дифузію, інтенсивність емісії хімічно-небезпечної речовини. Виконано розрахунки по визначенню зони забруднення, що формується внаслідок аварійного викиду аміаку на насосної станції аміакопроводу Тольятті-Одеса поблизу с. Башмачка.

*Key words: numerical model, emergency discharge, pollution of the air environment*

*Ключові слова: чисельна модель, аварійний викид, забруднення повітряного середовища.*

**Постановка проблеми.** Аміакопровід «Тольятті-Одеса» відноситься до числа найбільш великих хімічно небезпечних об'єктів України. Він був споруджений в 1981 р для транспортування аміаку через територію України на Одеський порт. Далі аміак транспортується в країни Західної Європи і США.

По трасі аміакопроводу розташовується 12 насосних станцій, що забезпечують підтримку необхідного тиску в системі. Аміакопровід розділений

на секції запірною арматурою, середня довжина секції близько 5 км. Між секціями знаходиться близько 200 тонн аміаку.

Сьогодні існує великий ризик виходу з ладу аміакопроводу внаслідок зношення обладнання або у випадку зонішнього впливі. У зв'язку з цим вкрай актуальним питанням є науково обґрунтована оцінка наслідків викиду аміаку при екстремальній ситуації на аміакопроводі. Важливість цього завдання обумовлена також тим, що поблизу аміакопроводу,

насосних станцій, що перекачують аміак, розташовані селища.

#### Аналіз літературних даних

Моделювання забруднення атмосферного повітря при емісії аміаку привертає до себе велику увагу в зв'язку з широким використанням аміаку на різних виробництвах [2, 4, 5, 7]. Як правило, таке моделювання проводилося з прив'язкою до конкретного об'єкта. Щодо завдань, пов'язаних з емісією аміаку на трубопроводі Тольятті-Одеса, великі дослідження були розпочаті в ГІАП [2]. У публікаціях, присвячених проблемі забруднення навколишнього середовища, використовувалися спрощені математичні моделі. Як правило, для рішення задач такого класу використовувалася модель Гаусса, модель Сеттона, модель Берлянда, аналітичні рішення моделі масопереносу [1,8,9,10]. На базі цих моделей розроблено спеціалізовані пакети програм типу: «токси», «Аміак», «SLAB», «ALONA» [8] та ін. Як відомо, ці моделі засновані на певних спрощуючих припущеннях. Крім цього, добре відомо, що застосування коефіцієнтів дисперсії, в моделях

Гаусса, для території України потребує наукового обґрунтування.

Іншим підходом до вирішення даного завдання є використання чисельних моделей. Так в роботах [4,5] розглянуто питання забруднення повітряного середовища на території насосної станції, що перекачує, тобто прогнозування виконано в масштабі microscale. Однак питанню прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря в селищах, які розташовуються по трасі аміакопроводу - практично не приділено уваги.

Тому є підстави вважати, що питання забруднення атмосферного повітря в селищах, розташованих поблизу аміакопроводу - недостатньо вивчено і відсутні надійні дані щодо ризику ураження людей в селітебних зонах.

#### Цілі і завдання дослідження

Метою роботи є прогнозування динаміки забруднення атмосферного повітря при аварійній емісії аміаку на насосній станції, що розташована поблизу селища Башмачка (Дніпропетровська область, Україна).



Рис. 1. Положення насосної станції біля с. Башмачка



Рис. 2. Трубопроводи з аміаком на території насосної станції



Рис. 3. Вид розрахункової області: 1 - с. Баумачка (Google Earth image, 2019); 2 - насосна станція, що перекачує аміак; 3 - положення рецептора.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- розробити 3D чисельну модель розсіювання аміаку в атмосфері при його аварійній емісії на території насосної станції, що перекачує;
- встановити закономірності формування зон забруднення на території селища.

#### Математична модель забруднення атмосферного повітря при аварійній емісії аміаку

Для моделювання розсіювання аміаку в атмосферному повітрі будемо використовувати тривимірне рівняння масопереносу (1) (модель Г.І. Марчука) [3]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_g)C}{\partial z} + \sigma C = \text{div}(\mu \text{grad} C) + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i) \quad (1)$$

де  $C$  – концентрація аміаку;  $u, v, w$  – компоненти швидкості вітрового потоку;  $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$  – коефіцієнти атмосферної турбулентної дифузії;  $Q$  – інтенсивність викиду аміаку;  $\sigma$  – в коефіцієнт, що враховує хімічний розпад домішки, вимивання опадами;  $\delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i)$  – дельта-функція Дірака;  $x_i, y_i, z_i$  – координати джерела емісії аміаку;  $w_g$  – швидкість гравітаційного осідання забруднювача;  $t$  – час.

Таким чином, при моделюванні положення джерела емісії аміаку буде задаватися за допомогою дельта-функції Дірака. Розглянута модель також дозволяє враховувати зміну інтенсивності викиду аміаку  $Q$  з плином часу

Постановка крайових умов для даного рівняння розглянута в роботі [3].

При моделюванні будемо враховувати зміну швидкості вітрового потоку з висотою і залежність коефіцієнтів атмосферної турбулентної дифузії від швидкості вітру і висоти. Для цього обліку будемо використовувати наступні залежності (2) [10]:

$$u = u_1 \left(\frac{z}{z_1}\right)^p, \mu_z = k_1 \left(\frac{z}{z_1}\right)^m, \mu_x = \mu_y = k_0 u \quad (2)$$

де  $p=0,15$ ;  $m=1$ ;  $k_1=0,2$ .

Необхідно відзначити, що значення коефіцієнта  $\sigma$  визначається експериментальним шляхом і приведено в науковій літературі. У ряді випадків, при відсутності надійних експериментальних даних і при проведенні «пілотних» розрахунків, обмежимося значенням  $\sigma=0$ .

Після розрахунку зони забруднення на момент часу  $T$  розраховується токсодоза в точці розташування рецептора по залежності(3):

$$Td = \int_0^T C(x, y, z, t) dt \quad (3)$$

де  $C(x, y, z, t)$  – концентрація небезпечної речовини в точці розташування рецептора. Значенню  $t = 0$  відповідає момент часу емісії аміаку.

#### Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря всередині приміщень

В даний час досить важливо отримати оцінку рівня забруднення атмосферного повітря не тільки на відкритій місцевості, а й усередині приміщень.

Для моделювання процесу забруднення повітряного середовища в промислових корпусах при інфільтрації в них забрудненого атмосферного повітря використовується наступне рівняння матеріального балансу:

$$V \frac{dC}{dt} = QC_{\text{пр}} - QC \quad (4)$$

де  $C_{\text{пр}}$  – концентрація забруднювача в припливному повітрі, що інфільтрується;  $C$  – концентрація небезпечної речовини в вихідному з приміщення повітрі;  $V$  – обсяг приміщення;  $Q$  – інтенсивність повітрообміну;  $t$  – час. При використанні моделі (4) було допущено, що концентрація забруднювача в приміщенні дорівнює  $C=0$  для моменту часу  $t=0$ .

Інтенсивність повітрообміну розраховується за допомогою наступного рівняння(5) [11]:

$$Q = ELA \cdot \sqrt{f_s^2 |\Delta T| + f_w^2 U^2} \quad (5)$$

де  $f_s$  – параметр, який враховує процес інфільтрації через дах і підлогу;  $f_w$  – параметр, який враховує наявність біля будівлі інших об'єктів;  $ELA$  – площа інфільтрації;  $\Delta T$  – перепад температур між температурою в середині приміщення і зовні;  $U$  –

швидкість вітру. При розрахунках приймалося, що параметри,  $f_s$ ,  $f_w$  дорівнюють 0,15 [11].

### Метод рішення

Для чисельного інтегрування рівняння (1) будемо використовувати кінцево-різницеві методи. Попередньо можна здійснити розщеплення рівняння (1) на послідовність рішення наступних рівнянь

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w-w_s)C}{\partial z} = 0 \\ \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \\ \frac{\partial C}{\partial t} = \sum Q_i(t) \delta(x - x_i(t)) \delta(y - y_i(t)) \delta(z - z_i) \end{cases} \quad (6)$$

Перше рівняння з системи (6) описує розсіювання аміаку під впливом вітрового потоку (перенесення по траєкторіях). Друге рівняння з системи

$$\begin{aligned} \frac{\partial uC}{\partial x} &= \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x}, \\ \frac{\partial vC}{\partial y} &= \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y}, \\ \frac{\partial wC}{\partial z} &= \frac{\partial w^+ C}{\partial z} + \frac{\partial w^- C}{\partial z}, \end{aligned}$$

$$\text{де } u^+ = \frac{u+|u|}{2}; u^- = \frac{u-|u|}{2}; v^+ = \frac{v+|v|}{2}; v^- = \frac{v-|v|}{2}; w^+ = \frac{w+|w|}{2}; w^- = \frac{w-|w|}{2}$$

Конвективні похідні апроксимуємо розділеними різницями проти потоку [3]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u^+ C}{\partial x} &\approx \frac{u_{i+1,j,k}^+ C_{i,j,k}^{n+1} - u_{i,j,k}^+ C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1}, \\ \frac{\partial u^- C}{\partial x} &\approx \frac{u_{i+1,j,k}^- C_{i+1,j,k}^{n+1} - u_{i,j,k}^- C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1}, \\ \frac{\partial v^+ C}{\partial y} &\approx \frac{v_{i,j+1,k}^+ C_{i,j,k}^{n+1} - v_{i,j,k}^+ C_{i,j-1,k}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1}, \\ \frac{\partial v^- C}{\partial y} &\approx \frac{v_{i,j+1,k}^- C_{i,j+1,k}^{n+1} - v_{i,j,k}^- C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1}, \\ \frac{\partial w^+ C}{\partial z} &\approx \frac{w_{i,j,k+1}^+ C_{i,j,k}^{n+1} - w_{i,j,k}^+ C_{i,j,k-1}^{n+1}}{\Delta z} = L_z^+ C^{n+1}, \\ \frac{\partial w^- C}{\partial z} &\approx \frac{w_{i,j,k+1}^- C_{i,j,k+1}^{n+1} - w_{i,j,k}^- C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z} = L_z^- C^{n+1}, \\ \frac{\partial u^+ C}{\partial x} &\approx \frac{u_{i+1,j,k}^+ C_{i,j,k}^{n+1} - u_{i,j,k}^+ C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1}, \\ \frac{\partial u^- C}{\partial x} &\approx \frac{u_{i+1,j,k}^- C_{i+1,j,k}^{n+1} - u_{i,j,k}^- C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1}, \\ \frac{\partial v^+ C}{\partial y} &\approx \frac{v_{i,j+1,k}^+ C_{i,j,k} - v_{i,j,k}^+ C_{i,j-1,k}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1}, \\ \frac{\partial v^- C}{\partial y} &\approx \frac{v_{i,j+1,k}^- C_{i,j+1,k} - v_{i,j,k}^- C_{i,j,k}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1}, \\ \frac{\partial w^+ C}{\partial z} &\approx \frac{w_{i,j,k+1}^+ C_{i,j,k} - w_{i,j,k}^+ C_{i,j,k-1}}{\Delta z} = L_z^+ C^{n+1}, \end{aligned}$$

(6) описує зміну концентрації аміаку під дією атмосферної турбулентної дифузії. Третє рівняння з системи (6) описує зміну концентрації аміаку під впливом джерела емісії та під дією вимивання опадами та хімічного розпаду.

Для чисельного інтегрування рівнянь з системи (6) буде використовуватися прямокутна рівномірна різницева сітка. Чисельне інтегрування першого рівняння з системи (6) здійснюється за допомогою неявної попеременно-трикутної різницевої схеми [3]. Для чисельного інтегрування другого рівняння з системи (6) застосовується неявна різницева схема сумарною апроксимації.

Розглянемо основні принципи побудови різницевих схем. Конвективні похідні запишемо так [3, 6]:

$$\frac{\partial w^- C}{\partial z} \approx \frac{w_{i,j,k+1}^- C_{i,j,k+1} - w_{i,j,k}^- C_{i,j,k}}{\Delta z} = L_z^- C^{n+1},$$

де  $L_x^+$ ,  $L_y^+$ ,  $L_z^+$ ,  $L_x^-$ ,  $L_y^-$ ,  $L_z^-$  – позначення різницевих операторів. Для апроксимації других похідних використовуємо такі формули [3]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) &\approx \mu_x \frac{C_{i+1,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} - \mu_x \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1}, \\ \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) &\approx \mu_y \frac{C_{i,j+1,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta y^2} - \mu_y \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j-1,k}^{n+1}}{\Delta y^2} = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1}, \\ \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) &\approx \mu_z \frac{C_{i,j,k+1}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z^2} - \mu_z \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k-1}^{n+1}}{\Delta z^2} = M_{zz}^- C^{n+1} + M_{zz}^+ C^{n+1}. \end{aligned}$$

Похідна за часом представляється так:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{C_{ijk}^{n+1} - C_{ijk}^n}{\Delta t}$$

На часовому інтервалі  $dt$  буде здійснювати послідовне рішення рівнянь із системи (6), з урахуванням розглянутих різницевих аналогів. Спочатку вирішуємо перше рівняння з системи (6). Для цього виконаємо розщеплення даного рівняння в різницевої вигляді наступним чином:

на першому кроці  $k = n + \frac{1}{4}$  різницеве рівняння переносу записується так:

$$\frac{C_{i,j,k}^k - C_{i,j,k}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k + L_z^+ C^k) = 0$$

Вирішуючи це рівняння щодо невідомого значення концентрації пилу на верхньому часовому шарі, отримуємо розрахункову формулу

$$C_{i,j,k}^k = C_{i,j,k}^n - \frac{\Delta t}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k + L_z^+ C^k) \quad (7)$$

на другому кроці  $k = n + \frac{1}{2}$ ;  $c = n + \frac{1}{4}$  різницеве рівняння записується так:

$$\frac{C_{i,j,k}^k - C_{i,j,k}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^- C^k + L_y^- C^k + L_z^- C^k) = 0$$

Вирішуючи це рівняння щодо значення концентрації на верхньому часовому шарі, отримуємо розрахункову формулу:

$$C_{i,j,k}^k = C_{i,j,k}^c - \frac{\Delta t}{2} (L_x^- C^k + L_y^- C^k + L_z^- C^k) \quad (8)$$

на третьому кроці  $k = n + \frac{3}{4}$ ;  $c = n + \frac{1}{2}$  використовується формула (8);

на четвертому кроці  $k = n + 1$ ;  $c = n + \frac{3}{4}$  використовується формула (7).

Наведена різницева схема називається поперемінно - трикутної неявній різницевої схемою розщеплення.

Далі, здійснюється рішення другого рівняння з системи (6). Для цього проводимо розщеплення цього рівняння на два кроки:

- на першому кроці розщеплення різницеве рівняння має вигляд:

$$\frac{C_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} - C_{i,j,k}^n}{\Delta t} = \left[ \mu_x \frac{-C_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} + C_{i-1,j,k}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} \right] + \left[ \mu_y \frac{-C_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} + C_{i,j-1,k}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2} \right] + \left[ \mu_z \frac{-C_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} + C_{i,j,k-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta z^2} \right]$$

Вирішуючи це рівняння щодо значення концентрації на верхньому часовому шарі, отримуємо розрахункову формулу:

$$C_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} = C_{i,j,k}^n + \Delta t \left( \left[ \mu_x \frac{-C_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} + C_{i-1,j,k}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} \right] + \left[ \mu_y \frac{-C_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} + C_{i,j-1,k}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2} \right] + \left[ \mu_z \frac{-C_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} + C_{i,j,k-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta z^2} \right] \right) \quad (9)$$

На другому кроці розщеплення різницеве рівняння має вигляд:

$$\frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} = \left[ \mu_x \frac{C_{i+1,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} \right] + \left[ \mu_y \frac{C_{i,j+1,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta y^2} \right] + \left[ \mu_z \frac{C_{i,j,k+1}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z^2} \right]$$

Вирішуючи це рівняння щодо значення концентрації на верхньому часовому шарі, отримуємо розрахункову формулу

$$C_{i,j,k}^{n+1} = C_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} + \Delta t \left( \mu_x \left[ \frac{C_{i+1,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} \right] + \mu_y \left[ \frac{C_{i,j+1,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta y^2} \right] + \mu_z \left[ \frac{C_{i,j,k+1}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z^2} \right] \right) \quad (10)$$

На наступному етапі вирішуємо третє рівняння з системи (6). Це рівняння апроксимуємо так

$$\frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+A}}{\Delta t} = \sum Q_{i,j,k}(t) \delta_l(x - x_i(t)) \delta_l(y - y_i(t)) \delta_l(z - z_i)$$

Вирішуючи це рівняння щодо значення концентрації на верхньому часовому шарі, отримуємо розрахункову формулу

$$C_{i,j,k}^{n+1} = C_{i,j,k}^{n+A} + \Delta t \sum Q_{i,j,k}(t) \delta_l(x - x_i(t)) \delta_l(y - y_i(t)) \delta_l(z - z_i) \quad (11)$$

Слід підкреслити, що при вирішенні рівняння (3.6) використовується таке значення величини емісії

$$Q_{i,j,k} = Q_k / \Delta x / \Delta y$$

де  $Q_{i,j,k}$  – величина точкового джерела емісії.

Особливістю цих різницевих схем є те, що з побудови вони є неявні, але розрахунок невідомого значення, концентрації  $C$ , проводиться за явною формулою (метод рахунку, що біжить). Кодування різнице-вих рівнянь здійснено на алгоритмічній мові FORTRAN. Розроблена комп'ютерна програма (код) побудо-вано за модульним принципом - складається з набору підпрограм, кожна з яких вирішує певне завдання.

### Результати

Розроблена чисельна модель і створений на її основі код була застосована для прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря в с. Башмачка для наступного сценарію аварійної емісії аміаку на насосній станції, що перекачує. Вважається, що в результаті розгерметизації аміакопроводу на території насосної станції, що перекачує, відбувається залповий викид (первинна хмара) аміаку, а далі має місце випаровування решти аміаку з трубопроводу. Грунтуючись на літературних даних, будемо вважати, що в первинну хмару потрапило близько 1 тонни аміаку, а далі має місце тривалий викид (протягом 1 годину) інтенсивністю  $Q=17,3$  кг/с. Швид-

кість вітрового потоку на рівні 10 м приймалася рівною 7 м / с, напрямком вітру - північно-східний,  $\sigma = 0$ .  $W_g = 0,005$  м/с. При моделюванні було прийнято, що обсяг кімнати в будинку на території селища складає 50 м<sup>3</sup>, розмір щілин, через які відбувається інфільтрація забрудненого повітря в приміщення, становить 0,005 м<sup>2</sup>, перепад температури між зовнішнім повітрям і повітрям всередині приміщення вважається рівним 5 °С.

Динаміка формування зони забруднення атмосферного повітря показана на рис. 5-8. Зона забруднення атмосферного повітря представлена для рівня  $z=6$ м.



Рис. 5. Зона забруднення атмосферного повітря ( $t=105$ с)



Рис. 6. Зона забруднення атмосферного повітря ( $t=175$ с)



Рис. 7. Зона забруднення атмосферного повітря  
( $t=420c$ )



Рис. 8. Зона забруднення атмосферного повітря  
( $t=455c$ )

Як видно з представлених малюнків, з плином часу формується велика зона забруднення, яка швидко досягає селища і накриває значну його частину.

На наступних малюнках показано значення токсодози для рецептора, що знаходиться на східній околиці селища (рис. 1, позиція 3, будинки на околиці селища) як для відкритої місцевості, так і для рецептора, що знаходиться всередині приміщення.

$Td, (мг/л) \text{ мин}$

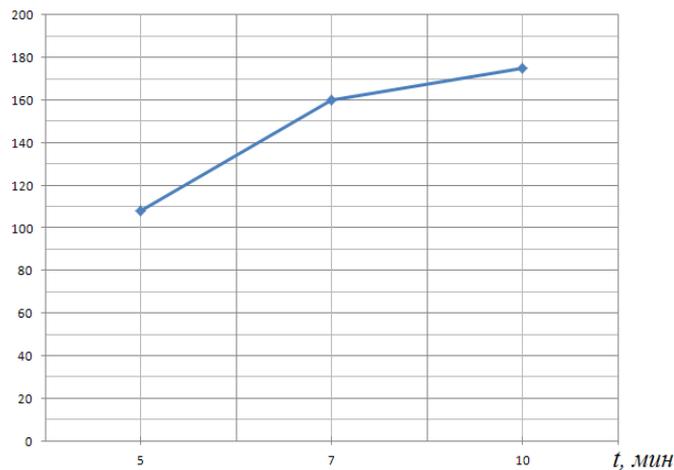


Рис. 9. Значення токсодози для рецептора, що знаходиться на відкритій місцевості

$Td, (мг/л) \text{ мин}$

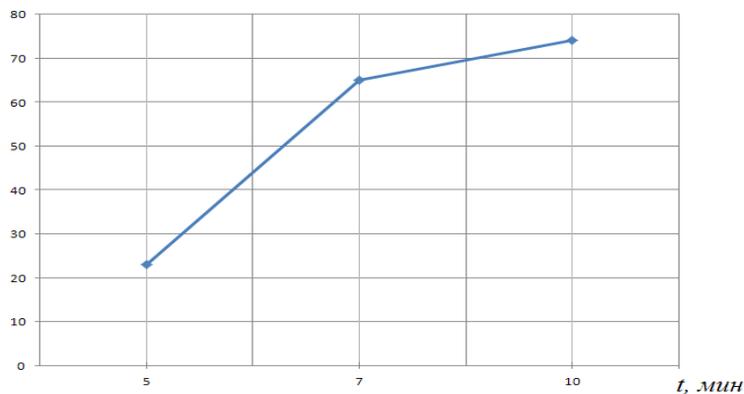


Рис. 10. Значення токсодози для рецептора, що знаходиться у приміщенні

Як відомо, важке отруєння аміаком відбувається при значенні токсодози  $Td=10$  (мг/л)хв, а смертельне ураження при значенні  $Td=100$  (мг/л)хв. Як бачимо з представлених графіків, для рецептора,

що знаходиться на околиці селища, смертельне ураження настане вже через 5 хв після викиду. Для рецептора, що знаходиться всередині приміщення, вкрай важке ураження настане вже через 10 хв після

аварії. Таким чином, аварійна емісія на даному об'єкті може призвести до тяжких наслідків.

На закінчення відзначимо, що розрахунок завдання займає 5 секунд комп'ютерного часу.

#### Висновки

1. Запропоновано чисельну модель для оцінки аварійного забруднення

2. Створено пакет прикладних програм, що дозволяє прогнозувати рівень забруднення атмосфери при аварійній емісії аміаку.

3. Виконано прогноз ризику ураження людей в с. Башмачка у випадку аварії на насосній станції, що перекачує аміак.

Подальший розвиток даної моделі слід проводити в напрямку створення чисельної моделі, що доповнюється рівняннями аеродинаміки, щоб прогнозувати вплив будівель на формування локальних зон забруднення атмосфери.

#### Список використаних джерел

1. Басманов А. Е. Зонирование местности в районе непрерывно действующего источника опасного химического вещества / А. Е. Басманов, С. С. Говаленков, М. В. Васильев // Проблемы надзвичайних ситуацій : зб. наук. пр. – Харків : Нац. ун-т цивільного захисту України, 2011. – Вип. 13. – С. 20–33.

2. Заказнов В.Ф., Куршева Л. А. Распространение аммиака при разгерметизации аммиакопровода, емкостей // Исследования и разработки по созданию магистральных аммиакопроводов и складов жидкого аммиака. Труды ГИАП, М. 1985. – с.57.

3. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – Київ : Наук. думка, 1997. – 368 с.

4. Amelina L.V. Reducing ammonia concentrations in atmosphere after its unplanned release / L.V. Amelina, M.M. Biliaiev, P.B. Mashykhina // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту

залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро : Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2017. – Вип. 4 (70). – С. 16–22.

5. Amelina L.V. Numerical simulation of air pollution in case of unplanned ammonia release / L.V. Amelina, M.M. Biliaiev // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро : Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2017. – Вип. 3 (69). – С. 7–14.

6. Biliaiev M. The Numeric Forecast of Air Pollution Caused by a Blasting Accident in the Enterprise Responsible for Rocket Fuel Utilization in Ukraine / M. Biliaiev, M. Kharitonov // Disposal of Dangerous Chemicals in Urban Areas and Mega Cities. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop. – Springer, 2013. – P. 313–327.

7. Daly, A & Zannetti, Paolo & Jennings, M. (2013). Accident reconstruction and plume modeling of an unplanned ammonia release. AIR POLLUTION, 174, 2013. P. 3-13. 10.2495/AIR130011.

8. Dispersion Modeling of Hydrogen Sulfide at Cimarex Rands Butte Project Using ALOHA. Bureau of Land Management Pinedale Field Office. SWCA Environmental Consultants 1043 Coffeen Avenue, Suite D Sheridan, Wyoming 82801. January 2010. – 26 p. www.swca.com.

9. János T. Atmospheric spreading model for ammonia released from the poultry house / T. János, E. Gorliczay, J. Borbély // Analele Universității din Oradea, Fascicula: Ecotoxicologie, Zootehnie și Tehnologii de Industrie Alimentară, Vol. XV/B Anul 15, 2016. – pp. 331–338.

10. Bruyatskiy, Ye. V., 2000. Atmosphere diffusion theory of radioactive emissions. Institute of hydro-mechanics NAS of Ukraine, Kyiv.

11. Effectiveness of Urban Shelter-in-Place II: Residential Districts / Wanyu R. Chan, William W. Nazaroff, Phillip N. Price, Ashok J. Gadgil // Atmospheric Environment. – 2007. – Vol. 41, iss.33. – P. 7082–7085.

**Vorokhobin I.I.**

*PhD, associate professor,*

*National University «Odessa Maritime Academy»*

## VERIFICATION OF STATISTICAL HYPOTHESES OF DISTRIBUTING OF ERRORS OF MEASURING OF NAVIGATION PARAMETERS

**Ворохобин Игорь Игоревич**

*кандидат технических наук, декан факультета МПУТ,  
Национальный университет "Одесская морская академия"*

## ПРОВЕРКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ

**Summary:** The results of verification of static hypotheses of 12 selections of errors of the navigation measuring are resulted and it is shown that two selections contain errors which submit to the normal law, and the errors of the other selections are distributed on the mixed laws of both types. In the last eight selections of error of measurings it is possible to describe by the generalized law of Puasson, consent of selections of which comparably with the mixed laws.

**Аннотация:** Приведены результаты проверки статических гипотез 12-ти выборок погрешностей навигационных измерений и показано, что две выборки содержат погрешности, которые подчиняются нормальному закону, а погрешности остальных выборок распределены по смешанным законам обоих типов. В последних восьми выборках погрешности измерений можно описать с помощью обобщенного закона Пуассона, согласие выборок которых сопоставимо со смешанными законами.

*Keywords: navigation accident rate, errors of the navigation measuring, statistical hypotheses, selections of errors.*

*Ключевые слова: навигационная аварийность, погрешности навигационных измерений, статистические гипотезы, выборки погрешностей.*

### **Постановка проблемы.**

В последнее время во многих случаях при обработке статистических данных погрешностей навигационных измерений, полученных в натуральных наблюдениях, обнаружено, что они не подчиняются нормальному закону. Это обстоятельство повело к поиску альтернативных законов распределения вероятностей погрешностей навигационных измерений, в качестве которых предложены смешанные законы двух типов, причем их плотность распределения выражается в элементарных функциях.

Для подтверждения правомерности использования смешанных законов распределения вероятностей погрешностей необходимо проведение натуральных наблюдений, результатам которого посвящена данная статья.

### **Анализ последних достижений и публикаций.**

Вопросы повышения точности определения места судна освещены во многих работах отечественных и зарубежных ученых. В работах [2, 3] рассматриваются вопросы законов распределения вероятностей погрешностей навигационной измерений исходной выборки, которая является смесью частных выборок нормально распределенных погрешностей с разной дисперсией. Предложена процедура оценки эффективности обсервованных координат судна с учетом смешанных распределений погрешностей исходной выборки.

В работе [1] представлены результаты анализа статистических материалов точности определения места судна с помощью приёмника спутниковой радионавигационной системы, которые показали, что предположение о распределении случайных погрешностей определения широты и долготы по закону Гаусса не является корректным и требует альтернативного подхода.

Анализ выборок случайных погрешностей измерений навигационных параметров произведен в работе [6] и показано, что наибольшее согласие статистического материала с теоретическим распределением достигается для законов, отличающихся от нормального закона.

Анализ статистических данных погрешностей навигационных измерений представлен в работах [4, 5], который показал, что погрешности навигационных измерений, полученные в натуральных наблюдениях, не подчиняются нормальному закону распределения.

В работах [7, 8] показано, что применение метода наименьших квадратов для расчета обсервованных координат судна не обеспечивает возможности получения их эффективных оценок. Поэтому для получения эффективных оценок обсервованных координат судна следует использовать метод максимального правдоподобия, учитывающий действительный закон распределения погрешностей.

### **Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.**

Так как в рассмотренных работах указывается, что погрешности навигационных измерений могут быть распределенные не только по нормальному закону и теоретически получены смешанные законы первого и второго типа, то возникает необходимость проверки гипотезы о возможности распределения погрешности измерений по альтернативным законам с помощью экспериментальных данных.

Поэтому были проведены натурные наблюдения во время рейса судна, результаты которых приведены в данной статье.

### **Цель статьи.**

Целью статьи является проверки гипотезы о возможности распределения погрешности измерений по смешанным законам первого и второго типа, а также обобщенному закону Пуассона с помощью экспериментальных данных.

### **Изложение основного материала.**

С целью проверки возможности применения смешанных законов обоих типов для описания распределения погрешностей измерения навигационных параметров в реальных условиях эксплуатации были проведены натурные наблюдения. Для формирования исходных выборок погрешностей измерения навигационных параметров производились серии измерения навигационных параметров количеством более 100 измерений. Измерения навигационных параметров производились на стоянке судна, причем с помощью РЛС измерялись дистанция и пеленг на неподвижный ориентир, а с помощью приемника спутниковой навигационной системы GPS фиксировались широта и долгота судна.

Измерения производились в трех портах: Мормугао (Индия), Ричардс Бей (ЮАР) и Дакар (Сенегал). Последовательность измерений была следующей. Вначале измерялись пеленг и дистанция до ориентира, записывались их значения, а затем отсчеты РЛС сбивались. После этого фиксировались координаты судна. Операция повторялась через некоторый интервал времени. Интервал времени про-

изведения всех измерений планировался таким образом, чтобы в порту Мормугао он был наименьшим (около 7 часов, 150 измерений), в порту Ричардс Бей измерения производились в течение суток (210 измерений), а в порту Дакар - в течение двух суток (250 измерений). Различная длительность и число измерений планировалось для выявления влияния фактора времени на погрешности измерений.

Таким образом, в каждом порту были получены 4 серии измерений навигационных параметров, а в течении рейса 12 серий измерений. Для каждой серии измерений определяли среднее значение навигационного параметра и рассчитывали значения погрешностей измерений, которые в совокупности представляли выборку погрешностей. Стандартной процедурой [9] рассчитывались дисперсия и среднее квадратическое отклонение погрешности каждой выборки. Характеристики каждой из выборок приведены в табл. 1.

Таблица 1.

**Характеристики выборок**

Порт	Навигацион. параметр	Число измерений	Среднее значение	Дисперсия D	С. к. о.σ
Мормугао	пеленг	150	350,63°	0,173	0,415° = 24,9'
Мормугао	дистанция	150	0.1526 мм	5,85	2,42 м
Мормугао	широта	150	15°24'. 1865 N	33,84	5,82 м
Мормугао	долгота	150	73°48'. 4980 E	40,46	6,36 м
Ричардс Бей	пеленг	210	217,41°	0,222	0,47° = 28,3'
Ричардс Бей	дистанция	210	0.3378 мм	19,7	4,44 м
Ричардс Бей	широта	210	28°49'. 1005 S	47,13	6,87 м
Ричардс Бей	долгота	210	32°02'. 8950 E	44,4	6,67 м
Дакар	пеленг	250	122,21°	0,246	0,496° = 29,76'
Дакар	дистанция	250	0.1206 мм	5,68	2,38 м
Дакар	широта	250	14°41'. 0030 N	38,11	6,17 м
Дакар	долгота	250	17°25'. 4313 W	39,84	6,31 м

В дальнейшем по каждой выборке строится гистограмма и производится проверка статистических гипотез [9], в процессе которой определяется степень согласия статистического материала выборки с выбранными законами распределения вероятностей погрешностей.

В качестве альтернативных законов были выбраны нормальный закон и смешанные законы первого и второго типа, аналитический вид которых приведен в табл. 2.

Таблица 2.

**Альтернативные законы распределения вероятностей погрешностей**

Закон распределения	Аналитические выражения плотности
Гаусса	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$
Смешанный 1-го типа n=1	$\frac{\frac{3}{2}\alpha^2}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^2}$
Смешанный 1-го типа n=2	$\frac{\frac{5}{8}\alpha^2}{\sqrt{2\pi}3} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^3}$
Смешанный 1-го типа n=3	$\frac{\frac{7}{48}\alpha^2}{\sqrt{2\pi}15} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^4}$

Смешанный 1-го типа n=4	$\frac{384\alpha^{\frac{9}{2}}}{\sqrt{2\pi}105} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^5}$
Смешанный 1-го типа n=5	$\frac{3840\alpha^{\frac{11}{2}}}{\sqrt{2\pi}945} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^6}$
Смешанный 1-го типа n=6	$\frac{46080\alpha^{\frac{13}{2}}}{\sqrt{2\pi}10395} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^7}$
Смешанный 2-го типа n=1	$\frac{3\alpha^2}{\sqrt{24}} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{5/2}}$
Смешанный 2-го типа n=2	$\frac{15\alpha^3}{\sqrt{216}} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{7/2}}$
Смешанный 2-го типа n=3	$\frac{105\alpha^4}{\sqrt{296}} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{9/2}}$
Смешанный 2-го типа n=4	$\frac{945\alpha^5}{\sqrt{2768}} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{11/2}}$
Смешанный 2-го типа n=5	$\frac{10395\alpha^6}{\sqrt{27680}} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{13/2}}$

Для каждой выборки рассчитывались значения критерия согласия  $\chi^2$  —Пирсона с рассмотренными законами распределения вероятностей погрешностей, и в качестве закона распределения выбирался тот, критерий согласия  $\chi^2$  —Пирсона которого имеет минимальное значение.

В качестве примера приведем здесь характеристику первой выборки погрешностей измерения пленга. Статистический ряд и выборка случайных погрешностей приведены в табл. 3. Во второй строке таблицы приводится число погрешностей, попадающих в соответствующий разряд. Число разрядов равно 12, причем длина каждого разряда равного половине значения  $\sigma$  ( $\sigma=24,9'$ ).

Таблица 3.

Первая выборка погрешности измерения пленга

Разряд	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$m_i$	1	2	7	13	23	27	31	21	15	7	2	1
	-68,0, -57,75, -50,45, -37,6, -40,7, -49,5, -39,5, -45,8, -43,3, -37,8, -30,15, -28,75, -29,45, -32,05, -31,15, -25,95, -30,95, -35,85, -31,65, -31,65, -32,25, -25,75, -31,95, -27,55, -24,6, -20,6, -13,2, -14,2, -21,6, -24,9, -24,1, -13,2, -19,0, -13,2, -16,4, -16,3, -22,1, -22,0, -14,0, -22,0, -19,3, -24,0, -14,90, -19,00, -15,00, -15,10, -5,65, -11,35, -10,75, -1,21, -5,95, -2,45, -2,95, -10,25, -4,25, -0,15, -1,75, -1,05, -7,85, -5,45, -0,45, -9,25, -0,55, -2,15, -3,45, -4,95, -11,85, -2,25, -10,35, -4,65, -10,05, -12,45, -10,05, -12,45, -3,45, 8,30, 0,20, 3,80, 5,80, 4,30, 10,60, 7,80, 12,00, 10,30, 0,20, 8,70, 3,00, 11,70, 2,30, 6,50, 3,40, 0,20, 7,50, 11,60, 10,00, 7,90, 4,80, 5,80, 0,50, 2,80, 3,30, 5,80, 4,50, 5,70, 16,45, 18,05, 15,25, 21,15, 21,55, 24,55, 21,15, 22,05, 17,85, 19,65, 18,75, 23,05, 15,15, 20,55, 16,75, 16,55, 22,35, 14,55, 24,75, 23,25, 21,45, 21,35, 29,30, 25,40, 27,80, 27,70, 31,60, 27,60, 30,30, 28,70, 32,80, 33,00, 30,10, 27,50, 32,60, 36,40, 38,95, 45,35, 47,65, 39,25, 39,15, 38,95, 46,05, 58,10, 58,40, 68,65.											

Значения критерия согласия  $\chi^2$  —Пирсона для рассматриваемых законов распределения представлены в табл. 4.

Значения критерия согласия  $\chi^2$  – Пирсона первой выборки

N п/п	Закон распределения	Критерий согласия $\chi^2$ – Пирсона
1	Гаусса	0,0065
2	Смешанный 1-го типа n=1	15,46
3	Смешанный 1-го типа n=2	12,03
4	Смешанный 1-го типа n=3	12,28
5	Смешанный 1-го типа n=4	13,01
6	Смешанный 1-го типа n=5	13,84
7	Смешанный 1-го типа n=6	14,68
8	Смешанный 2-го типа n=1	12,59
9	Смешанный 2-го типа n=2	12,05
10	Смешанный 2-го типа n=3	12,62
11	Смешанный 2-го типа n=4	13,42
12	Смешанный 2-го типа n=5	14,26

Анализ таблицы показывает, что критерий согласия принимает минимальное значение для закона распределения Гаусса, поэтому принимается гипотеза о том, что погрешности распределены по нормальному закону.

Гистограмма первой выборки и кривая плотности распределения закона Гаусса представлены на рис.

1.

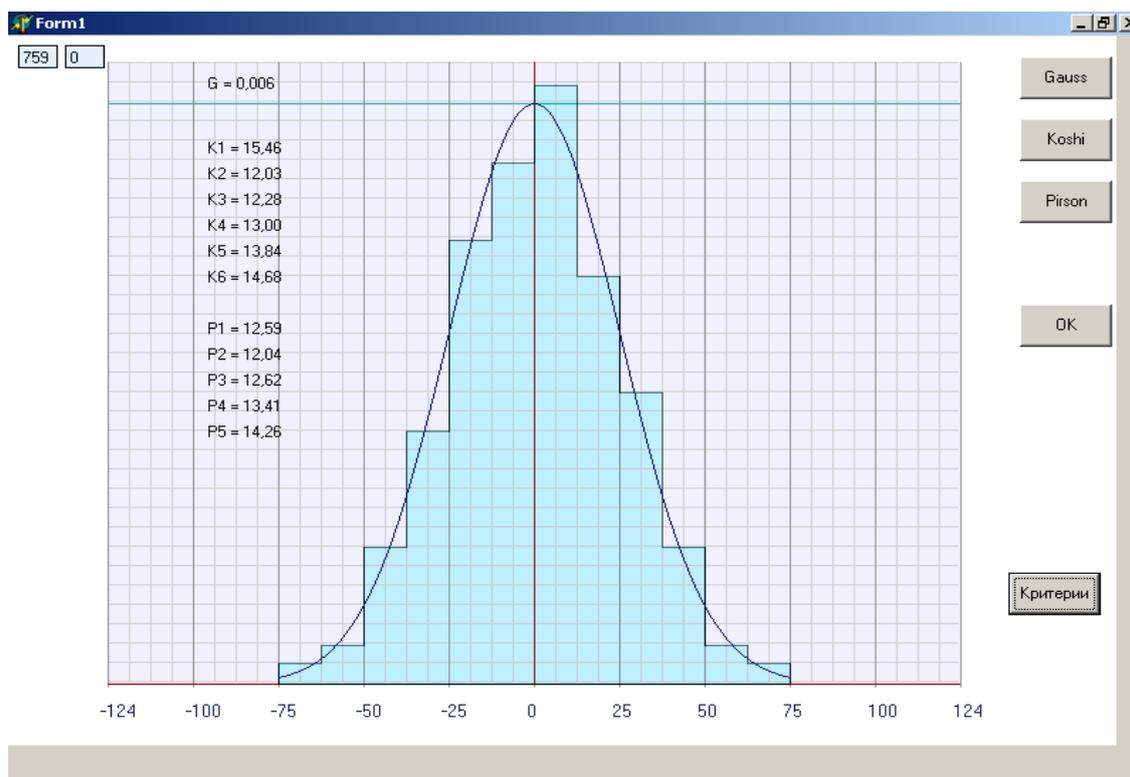


Рис. 1. Гистограмма первой выборки

Результаты экспериментальных натуральных наблюдений приведены в итоговой табл. 5. Анализ итоговой таблицы показывает, что погрешности измерения навигационных параметров (пеленга и дистанции), полученные на ограниченном интервале времени (7 часов), подчиняются нормальному закону распределения вероятностей.

Погрешности определения широты и долготы на том же интервале времени распределены по смешанным законам обоих типов. Это объясняется

тем, что координаты судна рассчитываются по навигационным параметрам (псевдорасстояниям) и погрешности результатов расчета, т. е. координат, могут иметь распределение отличное от нормального, что показал анализ третьей и четвертой выборок.

Для восьми выборок с 5-й по 12-ю была произведена проверка гипотез о распределении их погрешностей по обобщенному закону Пуассона, для чего рассчитывалось значение критерия согласия

$\chi^2$  – Пирсона для всех значений существенного параметра  $c$ .

Таблица 5.

#### Итоговые результаты натуральных наблюдений

№ выборки	Навигац. параметр	Колич. членов	Закон распредел.	$\chi^2$	Длительн. наблюден.
1	пеленг	150	Гаусса	0,0065	7 часов
2	дистанция	150	Гаусса	0,006	7 часов
3	широта	150	1-го типа $n=3$	0,0131	7 часов
4	долгота	150	2-го типа $n=1$	0,015	7 часов
5	пеленг	210	1-го типа $n=2$	0,011	1 сутки
6	дистанция	210	2-го типа $n=2$	0,010	1 сутки
7	широта	210	1-го типа $n=6$	0,0094	1 сутки
8	долгота	210	1-го типа $n=1$	0,013	1 сутки
9	пеленг	250	2-го типа $n=3$	0,0088	2 суток
10	дистанция	250	1-го типа $n=4$	0,0088	2 суток
11	широта	250	1-го типа $n=1$	0,010	2 суток
12	долгота	250	2-го типа $n=1$	0,009	2 суток

Затем произвели сравнение для каждой из указанных выборок смешанный закон первого или второго типа с минимальным значением критерия согласия  $\chi^2$  – Пирсона и обобщенный закон Пуассона из существенным параметром  $c$ , который обеспечивает минимальное значение критерия согласия, как показано в табл. 6.

Таблица 6.

#### Результаты проверки обобщенного закона Пуассона

№ выборки	Колич. членов	Закон распредел.	$\chi^2$	Пуассона $\chi^2$	Длительн. наблюден.
5	210	1-го типа $n=2$	0,0126	0,0255 $c=3,75$	1 сутки
6	210	2-го типа $n=2$	0,0120	0,0167 $c=3,75$	1 сутки
7	210	1-го типа $n=6$	0,0106	0,0100 $c=8,0$	1 сутки
8	210	1-го типа $n=1$	0,014	0,1090 $c=3,75$	1 сутки
9	250	2-го типа $n=3$	0,0095	0,0103 $c=4,00$	2 суток
10	250	2-го типа $n=3$	0,0095	0,0103 $c=4,25$	2 суток
11	250	1-го типа $n=1$	0,011	0,1067 $c=4,00$	2 суток
12	250	2-го типа $n=1$	0,0103	0,0393 $c=4,00$	2 суток

Анализ заключительной табл. 6 показывает, что рассматриваемые выборки с высокой степенью вероятностей могут быть описаны как смешанными законами распределения, так и обобщенным законом Пуассона. При прочих равных условиях использование обобщенного закона Пуассона является предпочтительным, так как в случае зависимых погрешностей линий положения при

обобщенном законе Пуассона систему зависимых погрешностей можно преобразовать в соответствующую систему независимых погрешностей.

В заключение подраздела приведем изображение кривых плотности распределения обобщенного закона Пуассона и гистограммы для 5-й, 9-й и 12-й выборок, показанных на рис. 2 - 4.

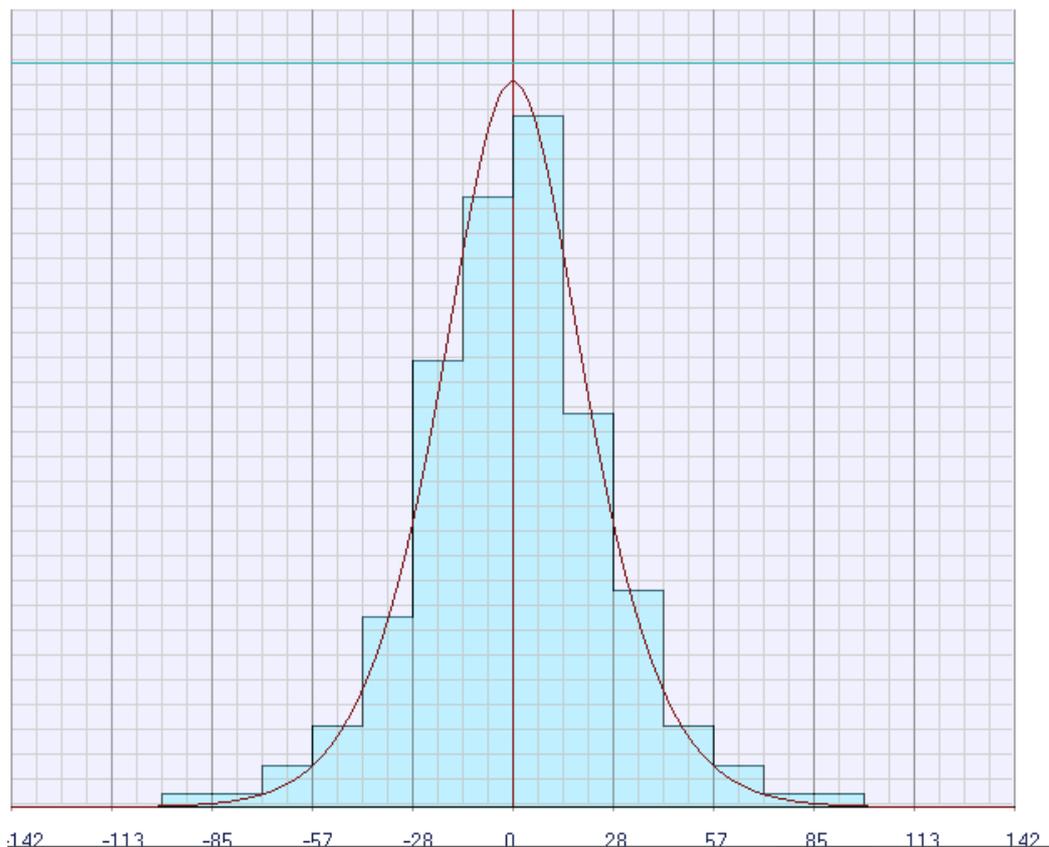


Рис. 2. Выборка 5, обобщенный закон Пуассона,  $c=3,75$

**Выводы.**

1. Приведены результаты проверки статических гипотез 12-ти выборок погрешностей навигационных измерений и показано, что только две выборки содержат погрешности, которые подчиняются нормальному закону, а погрешности

остальных выборок распределены по смешанным законам обоих типов.

2. В последних восьми выборках погрешности измерений можно описать с помощью обобщенного закона Пуассона, согласие выборок которых сопоставимо со смешанными законами.

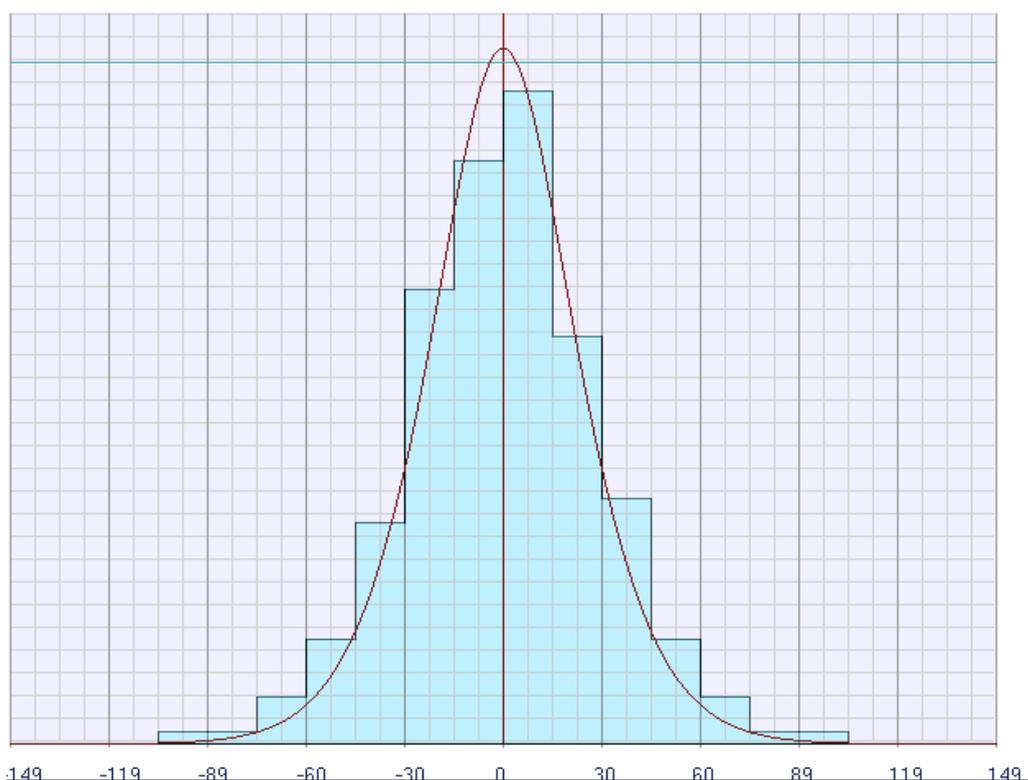


Рис. 3. Выборка 9, обобщенный закон Пуассона,  $c=4$

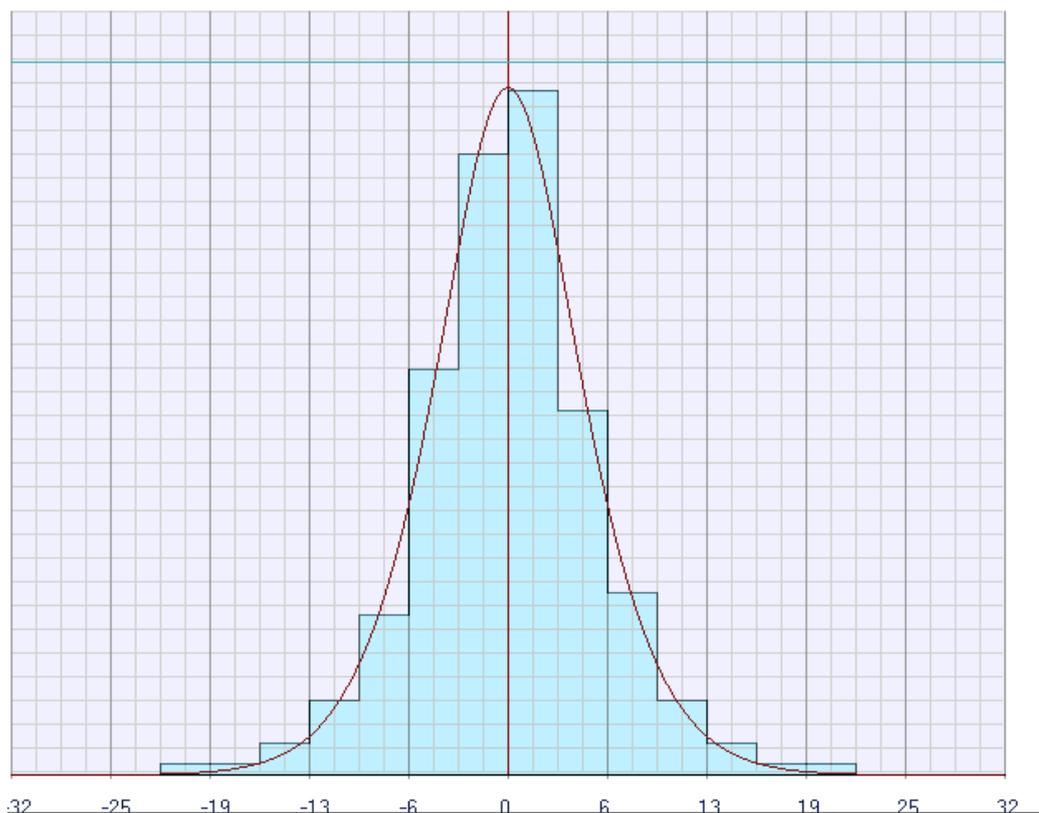


Рис. 4. Выборка 12, обобщенный закон Пуассона,  $c=4$

#### Список литературы:

1. Monteiro Luis. What is the accuracy of DGPS? / Sardinia Monteiro Luis, Moore Terry, Hill Chris. // J. Navig. 2005. 58, № 2, p. 207-225.
2. Астайкин Д.В. Оценка точности позиции судна при наличии случайных погрешностей навигационных измерений / Астайкин Д.В. // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2014. № 4. - С. 147-152.
3. Астайкин Д.В. Аналитическое выражение функции распределения случайных величин смешанных законов / Астайкин Д.В. // Водный транспорт. - 2014. №2 (20). - С. 6 - 11.
4. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / Кондрашихин В.Т. - М.: Транспорт, 1989. - 230с.
5. Hsu D. A. An analysis of error distribution in navigation / Hsu D. A. // The Journal of Navigation. - Vol. 32.- № 3. - P. 426 - 429.
6. Мельник Е.Ф. Приближенное описание смешанных распределений погрешностей навигационных измерений / Мельник Е.Ф. // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. - 2002. - Вып. 7.- Одесса: ОГМА. - С. 96 - 100.
7. Мудров В.М. Методы обработки измерений / Мудров В.М., Кушко В.Л. - М.: Советское радио, 1976. 192 с.
8. В.В. Степаненко. Эффективность оценки параметров ситуации опасного сближения судов/ В.В. Степаненко. // Судовождение: Сб. науч. трудов / ОГМА. - Вып. 2 - Одесса: Латстар, 2000. - С. 201 - 209.
9. Вентцель Е.С. Теория вероятностей/ Е.С. Вентцель - М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. - 564 с.

**Burmak A.I.***PhD, associate professor,  
National University «Odessa Maritime Academy»***Volkov A.N.***PhD, associate professor,  
National University «Odessa Maritime Academy»*

## ACCOUNT OF ANGULAR SPEED OF SHIP AT CALCULATION OF PARAMETERS OF MANOEUVRE OF DIVERGENCE IN SITUATION OF EXCESSIVE RAPPROCHEMENT

**Бурмака Алексей Игоревич***кандидат технических наук, доцент кафедры Теории устройства судном,  
Национальный университет "Одесская морская академия"***Волков Александр Николаевич***кандидат технических наук, доцент кафедры Судовождение,  
Национальный университет "Одесская морская академия"*

## УЧЕТ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ СУДНА ПРИ РАСЧЕТЕ ПАРАМЕТРОВ МАНЕВРА РАСХОЖДЕНИЯ В СИТУАЦИИ ЧРЕЗМЕРНОГО СБЛИЖЕНИЯ

**Summary:** The choice of strategy of urgent divergence of ship at excessive rapprochement taking into account angular speed of turn of ship is considered. It is shown that the turn of ship is optimum strategy of divergence with high angular speed aside from a purpose to the output on a course equal to bearing from a target to the ship, and then motion by such course, while between a ship and target will be multiplied distance to the safe value. The examples of maneuvers of urgent divergence of vessels by the imitation design are resulted.

**Аннотация:** Рассмотрен выбор стратегии экстренного расхождения судна при чрезмерном сближении с учетом угловой скорости поворота судна. Показано, что оптимальной стратегией расхождения является поворот судна с максимальной угловой скоростью в сторону от цели до выхода на курс равный пеленгу с цели на судно, а затем движение таким курсом, пока дистанция между судном и целью увеличится до безопасного значения. Приведены примеры маневров экстренного расхождения судов с помощью имитационного моделирования.

*Keywords: warning of collisions, excessive rapprochement, strategy of urgent divergence.*

*Ключевые слова: предупреждение столкновений, чрезмерное сближение, стратегия экстренного расхождения.*

### Постановка проблемы.

Одной из наиболее актуальных является проблема безаварийного расхождения судов, особенно высок риск столкновения в стесненных водах, где повышена интенсивность их движения и ограничено пространство для маневра.

В ситуациях чрезмерного сближения МППСС-72 предписывает обоим судам предпринимать должные меры, обеспечивающие безопасное расхождение. Практически в таких ситуациях оба судна принимают решения в условиях неопределенности относительно предстоящих действий партнера.

Поэтому разработка методов безопасного экстренного расхождения при чрезмерном сближении судов является актуальной и перспективной проблематикой.

### Анализ последних достижений и публикаций.

Работа [1] посвящена детальному исследованию существующих методов предупреждения столкновения судов и разработанному методу гибких стратегий расхождения, а рассмотрение двух различных подходов к решению задачи безопасного расхождения показано в работе [2], а также приведен анализ их реализации. Описание процесса

расхождения судов методами дифференциальной антагонистической игры предложено в работе [3], а в работе [4] рассмотрены формализация взаимодействия судов при опасном сближении и компенсация ситуационного возмущения.

В работе [5] рассмотрена процедура расчета параметров маневра расхождения при наличии навигационных препятствий, а работа [6] посвящена учету инерционности судна при расчете параметров стратегии расхождения. Выбор оптимального стандартного маневра расхождения пары судов с учетом МППСС-72 рассмотрен в работе [7].

### Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

В ситуации чрезмерного сближения МППСС-72 не координируют процесс расхождения судов, поэтому необходима разработка способа экстренного маневра расхождения и программного продукта, позволяющего оперативно определить параметры стратегии экстренного расхождения. При этом существенным является учет угловой скорости поворота судна при расчете параметров маневра.

### Цель статьи.

Целью данной статьи является рассмотрение ситуации чрезмерного сближения судов без учета

возможных навигационных опасностей и мешающих судов. Также рассматривается маневрирование судов только изменением курса, а инерционность судна учитывается в первом приближении с помощью угловой скорости циркуляции.

#### Изложение основного материала.

Согласно правилу 17 МППСС-72 в ситуациях чрезмерного сближения оба судна обязаны предпринять меры для безопасного расхождения. В таких ситуациях оба судна принимают решения в условиях неопределенности относительно предстоящих действий партнера, что обуславливает целесообразность использования минимаксных стратегий расхождения.

Как показано в работе [8], в нулевой момент времени (момент обнаружения ситуации чрезмерного сближения) судно, следуя минимаксной стратегии, которая предполагает наиболее неблагоприятный маневр уклонения цели, должно лечь на курс  $K_0$ , равный обратному пеленгу на цель, т.е.

$K_0 = \alpha + 180$ , где  $\alpha$  - пеленг на цель. При этом поворот на указанный курс производится в сторону от направления на цель с максимальной угловой скоростью.

Для выхода на требуемый курс судну необходимо выполнить поворот, поэтому необходимо выбрать его параметры. Существенным является то обстоятельство, что на малых дистанциях между судном и целью при маневрировании происходит значительное изменение пеленга. Поэтому при выборе маневра поворота следует помимо относительной позиции учитывать соотношение между скоростью изменения пеленга  $\dot{\alpha}$  и угловой скоростью поворота судна  $\omega_2$ .

В зависимости от относительной позиции и параметров движения судна и цели получено следующее выражение для скорости изменения пеленга  $\dot{\alpha}$ :

$$\dot{\alpha} = \frac{V_1(t)\sin[K_1(t) - \alpha(t)] - V_2(t)\sin[K_2(t) - \alpha(t)]}{L_t}$$

где  $V_1(t)$  и  $K_1(t)$  - параметры движения цели;

$V_2(t)$  и  $K_2(t)$  - параметры движения судна;

$\alpha(t)$  и  $L_t$  - текущие значения пеленга и дистанции.

Если параметры движения цели  $V_1(t)$  и  $K_1(t)$  неизвестны, т.е. реализуется только позиционная стратегия, то нет возможности произвести оценку скорости изменения пеленга  $\dot{\alpha}$ , и обсуждение соотношений  $\dot{\alpha}$  и  $\omega_2$  теряет смысл. При известных  $V_1(t)$  и  $K_1(t)$  можно вычислить  $\dot{\alpha}$  и произвести анализ различных ситуаций, порождаемых возможными соотношениями  $\dot{\alpha}$  и  $\omega_2$ .

Рассмотрим возможные начальные варианты, учитывая, что исходными являются знак начального курсового угла судна  $\varphi_0$  и изменение пеленга  $\dot{\alpha}$ . Выбор заключается в определении необходимого знака угловой скорости поворота судна  $\omega_2$ .

Допустим начальное значение угла  $\varphi_0$  отрицательное, т.е. курсовой угол левого борта, как показано на рис.1. В случае, если  $\dot{\alpha} < 0$ , очевидно, необходимо выбирать  $\omega_{2\max} > 0$ .

При этом будет достигнута максимальная скорость изменения курсового угла  $\dot{\varphi}$ , что минимизирует время выхода судна в позицию «убегания» от цели. Поэтому при начальных значениях  $\varphi_0 < 0$  и  $\dot{\alpha} < 0$  необходимо производить перекадку руля право на борт, изменяя курс, пока  $K_2 = \alpha(t)$ .

При  $\varphi_0 < 0$ , но  $\dot{\alpha} > 0$ , если не изменять  $K_2(t)$ , текущее значение курсового угла  $\varphi$  будет увеличиваться, поэтому независимо от соотношения между  $\omega_2$  и  $\dot{\alpha}$  необходимо производить кладку пера руля на правый борт, т.е.  $\omega_{2\max} > 0$ . В этом случае будет достигнута максимально возможная проекция  $V_2(t)$  на линию пеленга, минимизирующая  $\dot{L}_t$ . Если  $\omega_2 > \dot{\alpha}$ , то имеются предпосылки для выхода судна в позицию «убегания», в противном случае судно не сумеет совместить диаметральной плоскостью с текущим направлением линии пеленга, однако это будет лучшей стратегией судна.

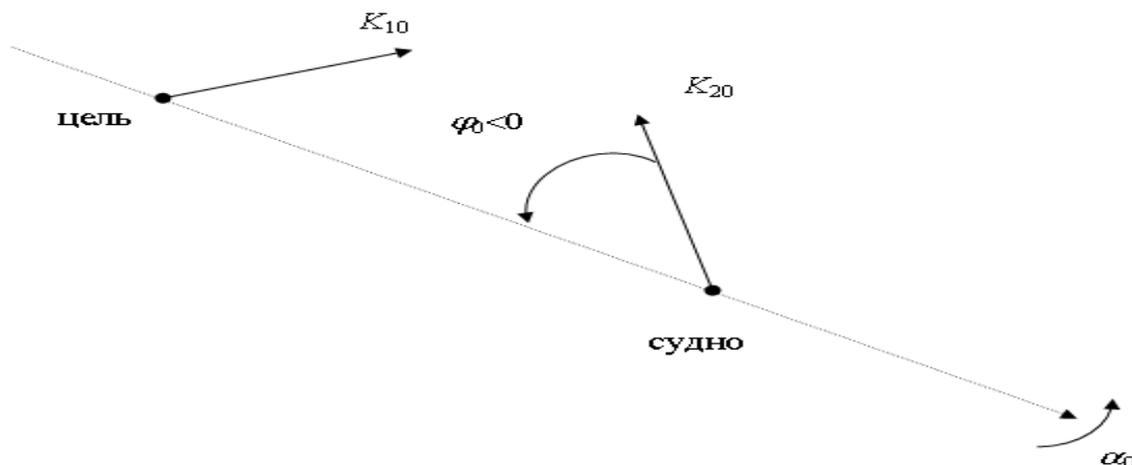


Рис.1. Ситуация при курсовом угле левого борта  $\varphi_0 < 0$

Поэтому при  $\varphi_0 < 0$  необходимо максимально переложить перо руля на правый борт.

Аналогично рассуждая, приходим к выводу, что при курсовом угле правого борта, т. е.  $\varphi_0 > 0$  (рис. 2), необходима перекладка пера руля судна на левый борт, независимо от знака угловой скорости  $\dot{\alpha}$ .

При этом наличие дополнительной информации о курсе и скорости цели не влияет на стратегию расхождения судна с целью.

Указанная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судна с целью гарантирует судну максимальный интервал времени  $\tau_c$  безопасного плавания при следовании цели оптимальной стратегией. Если цель реализует свою оптимальную стратегию, то любое отклонение судна от оптимальной стратегии ведет к сокращению времени преследования  $\tau_c$ .

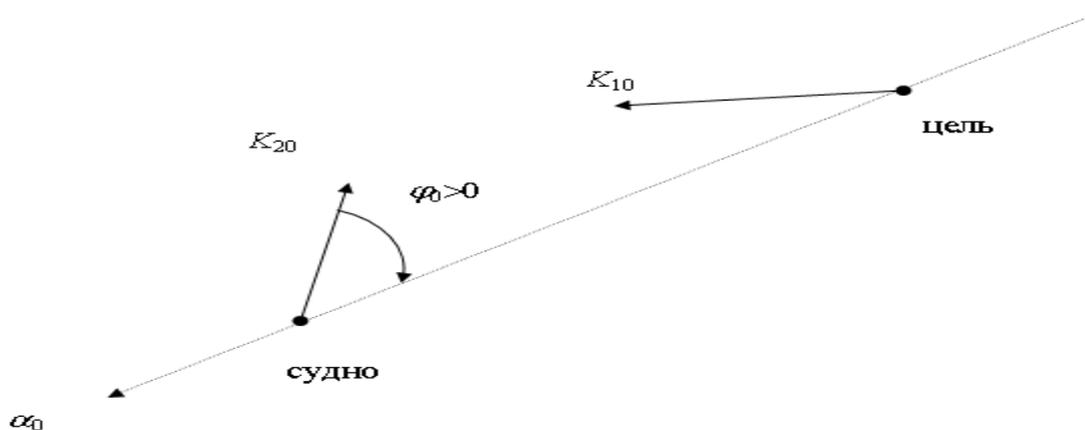


Рис. 2. Ситуация при курсовом угле правого борта  $\varphi_0 > 0$

Для проверки корректности маневра экстренного расхождения была разработана имитационная программа, которая анализирует ситуацию чрезмерного сближения с позицией цели, определяет экстренную стратегию расхождения и управляет движением цели.

На рис. 3 приведены траектория и последовательные положения судна и цели в течение маневра в случае, когда судно следует неизменными параметрами движения, причем более темным цветом

выделена начальная позиция судна и цели. Из рисунка видно, что вначале цель ложится на циркуляцию от судна, однако после пересечения его линии курса цель производит перекладку руля на противоположный борт в сторону программного курса. Если бы цель продолжала выполнять циркуляцию, то могла бы столкнуться с приближающимся судном.

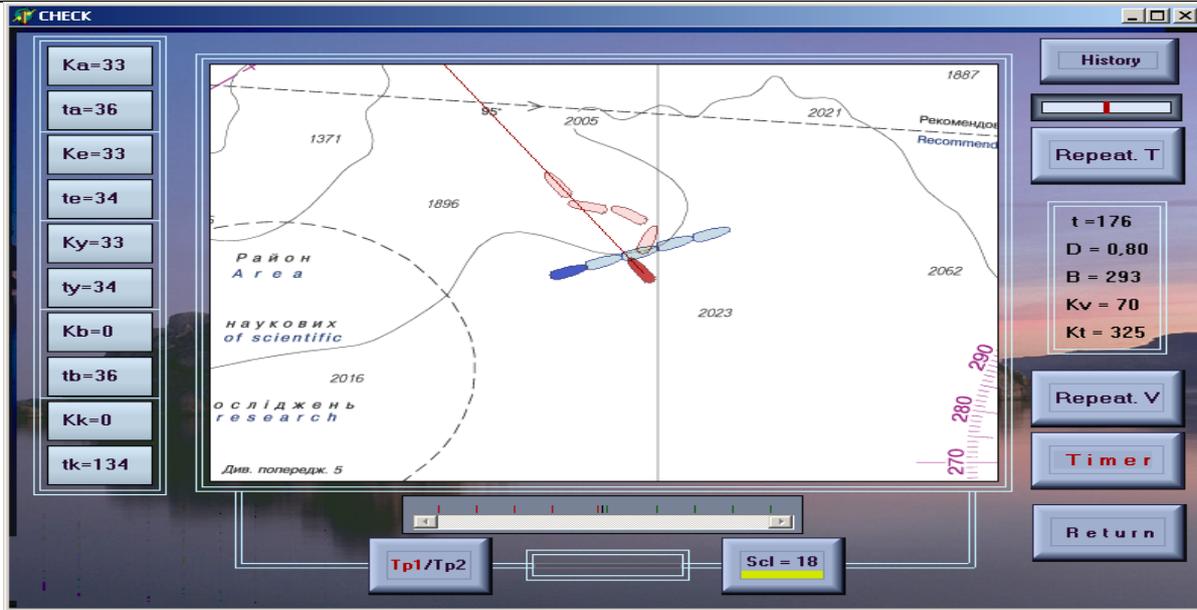


Рис. 3. Экстренная стратегия цели при отсутствии маневра судна

Следующий вариант (рис. 4) рассматривал ту же начальную ситуацию, но в первые секунды после включения таймера судно начало уклоняться вправо. На 20 секунде поворот судна завершился, и при оценке ситуации целью было принято решение беспрепятственного возвращения на программную траекторию движения.

При третьем варианте в той же начальной ситуации, как показано на рис. 5, судно в начале разрешенного для маневрирования интервала времени начинает перекладку руля на левый борт и выполняет уклонение влево. После завершения уклонения судна на 20 секунде цель анализирует ситуацию и принимает решение продолжать циркуляцию до выхода на программную траекторию.

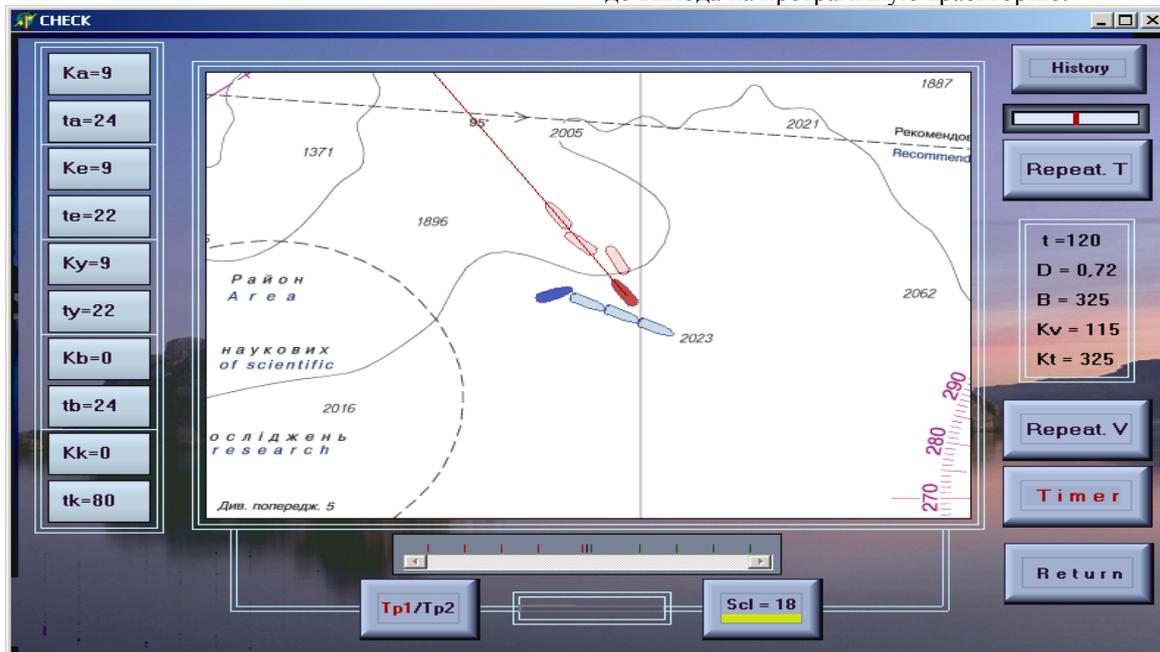


Рис. 4. Экстренная стратегия цели при уклонении судна вправо

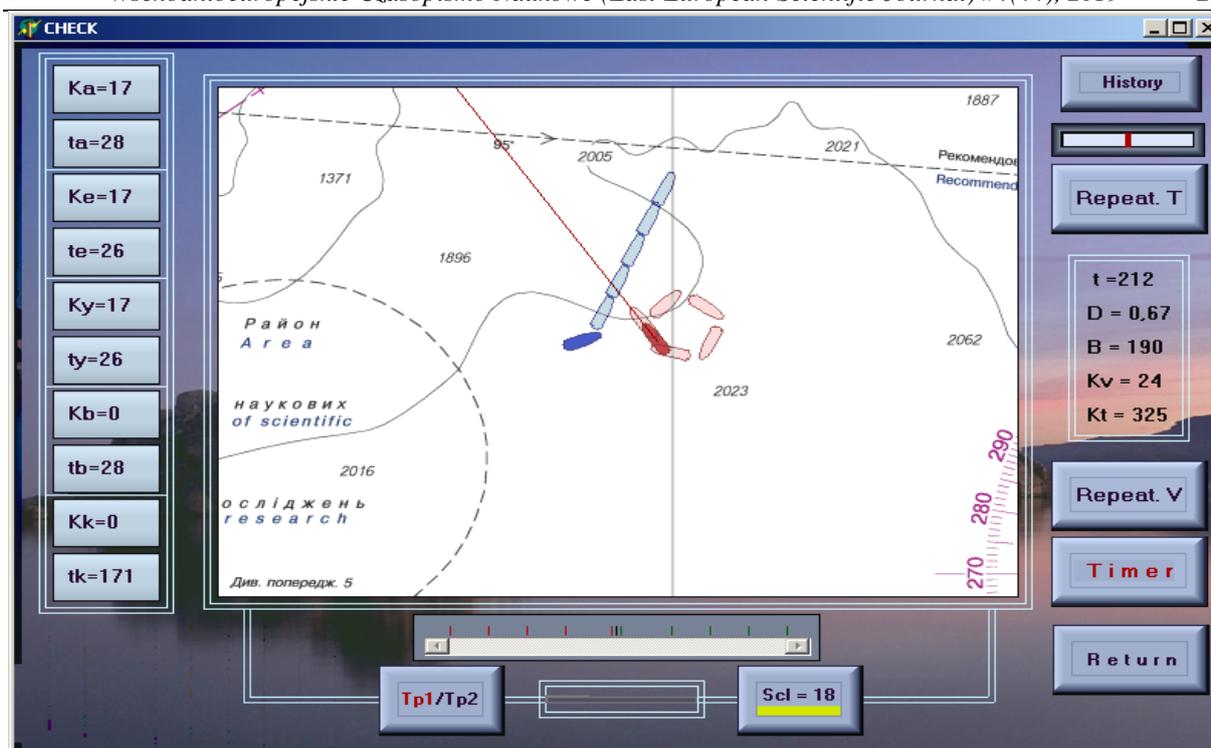


Рис. 5. Экстренная стратегия цели при уклонении судна влево

### Выводы и предложения.

1. Рассмотрена стратегия экстренного расхождения судна при чрезмерном сближении с учетом угловой скорости поворота судна.
2. Показано, что оптимальной стратегией расхождения является поворот судна с максимальной угловой скоростью в сторону от цели до выхода на курс равный пеленгу с цели на судно, а затем движение таким курсом, пока дистанция между судном и целью увеличится до безопасного значения.
3. Приведены примеры маневров экстренного расхождения судов с помощью имитационного моделирования.

### Список литературы:

1. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. - 424 с.
2. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака., Э.Н. Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), - 2016. - 585 с.
3. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf.

on Technologies for Homeland Security and Safety. - 2005. - Gdansk. - P. 71 - 78.

4. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э.Н., Бужбецкий Р.Ю., Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. - Херсон: Гринь Д.С., 2015. - 312 с.
5. Петриченко Е.А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е.А. // Судовождение. - 2003. - №.6. - С. 103 - 107.
6. Бурмака И.А. Результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики / Бурмака И.А. // Судовождение. - 2005. - №10. - С. 21 - 25.
7. Фрейдзон И. Р. Моделирование корабельных систем управления / Фрейдзон И. Р. - Л.: Судостроение, 1975. - 232 с.
8. Бурмака А. И. Разработка стратегии расхождения судов в ситуации опасного сближения / Бурмака А. И. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 20 - Одесса: «ИздатИнформ», 2011 - с. 32-35.

*Aleksyshyn V.G.**PhD, professor,**National university "Odessa Maritime Academy",**Aleksyshyn A.V.**PhD, associate professor,**National university "Odessa Maritime Academy"*

## DEPENDENCE OF PARAMETERS OF SHIP SAFE REGION ON STOCHASTIC POSITION ERRORS

*Алексишин Виктор Григорьевич**кандидат технических наук, профессор, зав. кафедрой Судовождения,  
Национальный университет "Одесская морская академия",**Алексишин Андрей Викторович**кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ЭКС,  
Национальный университет "Одесская морская академия"*

## ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ СУДОВОЙ БЕЗОПАСНОЙ ОБЛАСТИ ОТ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПОЗИЦИОННЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

**Summary:** Analytical expressions for the calculation of parameters of safe stochastic region for the case of normal distribution of errors of the navigation measuring are got.

For a concrete example by the computer program the graphic reflection of the considered region is shown. Possibility of forming of total safe region of ship, which besides position errors takes into account the sizes of ship, is shown.

**Аннотация:** Получены аналитические выражения расчета параметров безопасной стохастической области для случая нормального распределения погрешностей навигационных измерений.

Для конкретного примера с помощью компьютерной программы получено графическое отображение рассмотренной области. Показана возможность формирования суммарной безопасной области судна, которая помимо позиционных погрешностей учитывает габариты судна.

*Keywords: safety of navigation, ship domain, safe stochastic region, normal distribution.*

*Ключевые слова: безопасность судовождения, судовой домен, безопасная стохастическая область, нормальное распределение.*

### Постановка проблемы.

В течение нескольких последних десятилетий активно обсуждается и интенсивно исследуется вопрос формирования и использования судовой безопасной зоны (домена), обеспечивающей безаварийное плавание судна в стесненных водах. Исследованиями выявлены основные факторы, влияющие на форму и размеры безопасной области, однако степень их влияния в разных математических моделях, представлена по-разному. Дальнейшая работа по этой тематике является актуальной, так как разработка и использование способов построения безопасной зоны способствуют снижению уровня аварийности судов.

### Анализ последних достижений и публикаций.

Вопросы построения безопасных зон судна рассмотрены в работах [1-8], в которых основным является вопрос описания формы и размеров таких зон. В работах отмечается, что для описания зон безопасности судна используются круг, центр которого совпадает с судном, эллипс, со смещенным относительно судна центром, ряд авторов указывают только размеры зоны, без указания формы.

Методы расчета формы зон безопасности судов описаны в работах [1, 2], домены Гудвина и Дэвиса описываются в публикации [1], а метод расчета безопасной зоны в ситуациях обгона при хорошей и ограниченной видимости предложен в статье

[2]. Статистическая оценка продольных и поперечных размеров зоны безопасности судов, выполненная по натурным наблюдениям, приведена в работе [3].

В работе [4] описана судовая безопасная зона в виде эллипса, которая используется в автоматизированной радиолокационной системе причем полуоси эллипса зависят от скорости судна, его длины и курсового угла. В работе [5] предложена процедура расчета большой и малой осей эллипса зоны навигационной безопасности для плавания судов в портовых водах. Обе полуоси зависят как габаритов судна, его скорости, так и от протяженности тормозного пути.

В работах [6, 7], как критерий безопасности предлагается «область столкновения», ее радиус зависит от длин и скоростей судна и цели, тормозного пути судна, дистанции кратчайшего сближения, задержки времени при обработке информации, а также радиуса циркуляции судна. В работе [8] показано, что параметры судовой безопасной области зависят от точности определения места судна, его габаритов и инерционных характеристик.

### Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

Анализ рассмотренных работ показывает, что при формировании судовой безопасной области учитывается ряд существенных факторов, исследо-

вание влияния которых на форму и размеры судовой безопасной области требует дополнительного исследования. Одним из наиболее существенных факторов, влияющих на характеристики безопасной области, являются случайные позиционные погрешности, поэтому в данной статье более подробно рассмотрим этот вопрос.

#### Цель статьи.

Целью статьи является разработка способа формирования параметров безопасной судовой зоны, зависящих от стохастических факторов.

#### Изложение основного материала.

Так как положение истинного места судна относительно обсервованного характеризуется двумерной плотностью распределения  $f(x, y)$ , то геометрическое представление стохастического фактора заключается в поиске двумерной области  $Z_1$  симметричной относительно обсервованного места судна, которая с заданной вероятностью  $P_d$

, близкой к единице, содержала бы (накрывала) истинное место судна. Как показано в работе [8], для поиска двумерной области  $Z_1$  следует воспользоваться следующим уравнением:

$$\iint_{Z_1} f(x, y) = P_d.$$

Причем необходимо учитывать требование симметричности относительно обсервованной точки потому, что с учетом унимодальности используемых маргинальных законов распределения погрешностей измерения область  $Z_1$  будет иметь минимальные размеры.

Распределение Гаусса, которое нашло широкое применение для описания случайных погрешностей навигационных измерений, относится к устойчивым распределениям, а его двумерная плотность для нашего случая имеет вид:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left[-\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + 2\frac{xy}{\sigma_{xy}}\right)\right],$$

где  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  - средние квадратические отклонения остаточной векториальной погрешности соответственно по осям  $x$  и  $y$ , причем:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}, \quad \sigma_y = \sqrt{D_y} \quad \text{и} \quad \sigma_{xy} = \sqrt{D_{xy}}.$$

С другой стороны ковариационная матрица  $K(x, y)_{\min}$  выражается через центральные и смешанные моменты второго порядка следующим образом:

$$K(x, y)_{\min} = \begin{vmatrix} D_x & D_{xy} \\ D_{yx} & D_y \end{vmatrix},$$

Величина угла поворота  $\gamma$  относительно опорной системы координат, которая определяет ориентацию области  $Z_1$ , находится из условия исключения недиагонального элемента  $D_{xy}$  ковариационной матрицы  $K(x, y)_{\min}$ , которое, с учетом известных элементов  $D_x$ ,  $D_y$  и  $D_{xy}$ , аналитически выражается следующим образом [9]:

$$\operatorname{tg} 2\gamma = \frac{2D_{xy}}{D_x - D_y},$$

откуда находим выражение для угла  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{2D_{xy}}{D_x - D_y}.$$

При этом изменяются значения дисперсий  $D_x$  и  $D_y$ , характеризующие диагональную ковариационную матрицу, которую обозначим  $K(x, y)_{\min 1}$ , а новые значения дисперсий -  $D_{x1}$  и  $D_{y1}$ , т.е.:

$$K(x, y)_{\min 1} = \begin{vmatrix} D_{x1} & 0 \\ 0 & D_{y1} \end{vmatrix}.$$

Матрицу  $K(x, y)_{\min 1}$  и, следовательно, ее элементы  $D_{x1}$  и  $D_{y1}$  находятся с помощью соотношения [9]:

$$K(x, y)_{\min 1} = G K(x, y)_{\min} G^T,$$

где  $G$  – матрица преобразования, элементы которой, как показано в [10], определяются следующими формулами:

$$g_{11} = g_{22} \left\{ \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{(D_x - D_y)}{\sqrt{4D_{xy}^2 + (D_x - D_y)^2}} \right] \right\}^{1/2},$$

$$g_{21} = -g_{12} = \left\{ \frac{1}{2} \left[ 1 - \frac{(D_x - D_y)}{\sqrt{4D_{xy}^2 + (D_x - D_y)^2}} \right] \right\}^{1/2}.$$

Следовательно, ковариационная матрица некоррелированных случайных величин  $K(x, y)_{\min 1}$  определяется следующим образом:

$$K(x, y)_{\min 1} = \begin{vmatrix} D_{x1} & 0 \\ 0 & D_{y1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} D_x & D_{xy} \\ D_{yx} & D_y \end{vmatrix} \begin{vmatrix} g_{11} & g_{21} \\ g_{12} & g_{22} \end{vmatrix}.$$

$$D_{x1} = \frac{1}{2} [D_x + D_y + \sqrt{4D_{xy}^2 + (D_x - D_y)^2}];$$

$$D_{y1} = \frac{1}{2} [D_x + D_y - \sqrt{4D_{xy}^2 + (D_x - D_y)^2}].$$

После указанных преобразований выражение двумерной плотности  $f(x, y)$  принимает следующий вид:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}} \exp\left[-\left(\frac{x^2}{\sigma_{x1}^2} + \frac{y^2}{\sigma_{y1}^2}\right)\right],$$

причем полуоси эллипса являются функциями дисперсий  $D_{x1}$  и  $D_{y1}$ , а также вероятности  $P_d$  попадания истинного места судна в заданный эллипс.

Обозначая  $\varepsilon = \frac{\sigma_{y1}}{\sigma_{x1}}$ , получим  $b = a\varepsilon$  и записываем выражение для поиска полуоси  $a$  области  $Z_1$ :

$$\frac{1}{2\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}} \int_{-a}^a \int_{-a\varepsilon}^{a\varepsilon} \exp\left[-\left(\frac{x^2}{\sigma_{x1}^2} + \frac{y^2}{\sigma_{y1}^2}\right)\right] dy dx = P_d \quad (1)$$

Используя геометрическую аналогию получения двумерного интеграла, решение уравнения (1) можно следующим образом. Прежде всего, найдем максимальное значение плотности  $f(x, y)$ , которое достигается в точке с координатами  $(0,0)$ , т.е. в начале координат.

Максимальное значение плотности  $f(x, y)$  обозначим  $h$  и находим из выражения:

$$h = f(0,0) = \frac{1}{2\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}} \exp\left[-\left(\frac{0^2}{\sigma_{x1}^2} + \frac{0^2}{\sigma_{y1}^2}\right)\right] = \frac{1}{2\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}}.$$

Область двумерной плотности, которая отсекается плоскостью 1-1, как показано на рис., и равна по величине предельно допустимой вероятности  $P_d$ , может быть представлена набором составляющих, имеющих форму эллипса, толщиной  $\Delta h$ . Если каждую составляющую обозначить  $\Delta P_{di}$ , то можно записать:

$$P_d = \bigcup_i \Delta P_{di}.$$

Начиная с первой, верхней, эллиптической составляющей  $\Delta P_{d1}$  с минимальными полуосями, добавляются последующие составляющие  $\Delta P_{di}$ , причем ведется контроль за суммой составляющих. Когда сумма составляющих  $\Delta P_{di}$  сопоставима со значением  $P_d$ , то полуоси последней составляющей являются искомыми параметрами стохастической области  $Z_1$ . Рассмотрим более подробно процедуру расчета  $\Delta P_{di}$  и большей полуоси эллипса.

Объем составляющей  $\Delta P_{di}$  представляет собой произведение площади эллипса с полуосями  $a$  и  $a\varepsilon$  на величину  $\Delta h$ , т.е.:

$$\Delta P_{di} = \pi a^2 \Delta h \varepsilon.$$

В полученном выражении неизвестной является большая полуось эллипса  $a$ . Для ее поиска обращаем внимание на то, что величина полуоси  $a$  зависит, на каком расстоянии от точки А (рис. 1) производится сечение фигуры двумерной плотности плоскостью, параллельной  $XOY$ , в результате чего образуется эллипс с полуосью  $a$ . В этом случае, как показано на рис., можно записать следующее соотношение:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}} \exp\left[-\left(\frac{x^2}{\sigma_{x1}^2} + \frac{y^2}{\sigma_{y1}^2}\right)\right] = d,$$

которое можно представить в следующем виде:

$$\exp\left[-\left(\frac{x^2}{\sigma_{x1}^2} + \frac{y^2}{\sigma_{y1}^2}\right)\right] = d2\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}.$$

Логарифмируем полученное уравнение:

$$-\left(\frac{x^2}{\sigma_{x1}^2} + \frac{y^2}{\sigma_{y1}^2}\right) = \ln(d2\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}),$$

или

$$\frac{x^2}{\sigma_{x1}^2} + \frac{y^2}{\sigma_{y1}^2} = \ln\left(\frac{1}{d2\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}}\right).$$

Введем следующее обозначение  $\rho = \ln\left(\frac{1}{d2\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}}\right)$ , с учетом которого последнее уравнение принимает вид:

$$\frac{x^2}{\rho\sigma_{x1}^2} + \frac{y^2}{\rho\sigma_{y1}^2} = 1.$$

Обращаем внимание на последнее уравнение, которое является уравнением эллипса с полуосями: большей  $a^2 = \rho\sigma_{x1}^2$  и меньшей  $b^2 = \rho\sigma_{y1}^2$ . Следовательно, большая полуось эллипса  $a$ , может быть рассчитана по формуле:

$$a = \sigma_{x1}\sqrt{\rho},$$

или подставляя значение  $\rho$ :

$$a = \sigma_{x1}\sqrt{\ln\left(\frac{1}{d2\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}}\right)}.$$

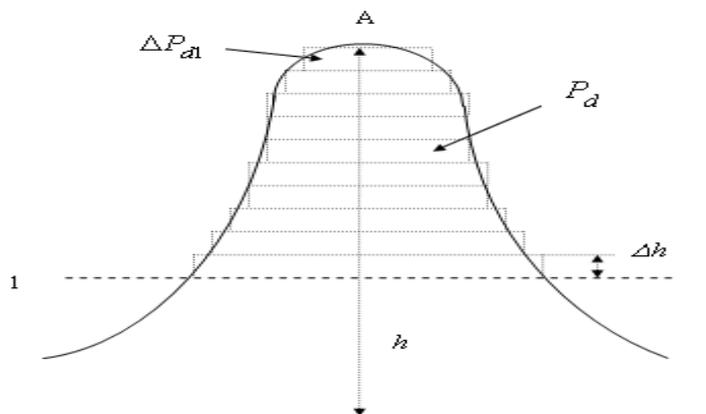


Рис. 1. Разбиение области  $P_d$  на составляющие

Процедура определения области  $Z_1$  с учетом полученных соотношений реализуется следующим образом. Для первой составляющей  $\Delta P_{d1}$  (рис.) величина  $d$  равна  $d_1 = h - \Delta h / 2$ . По значению  $d_1$  производится вычисление полуоси  $a_1$  эллипса первой составляющей:

$$a_1 = \sigma_{x1} \sqrt{\ln\left[\frac{1}{2(h - \Delta h / 2)\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}}\right]}.$$

Затем следует рассчитать площадь эллипса  $S_1 = \pi a_1^2 \varepsilon$  и объем первой составляющей, который соответствует вероятности  $\Delta P_{d1}$ , т.е.:

$$\Delta P_{d1} = S_1 \Delta h = \pi a_1^2 \varepsilon \Delta h = \pi \varepsilon \Delta h \sigma_{x1}^2 \ln\left[\frac{1}{2(h - \Delta h / 2)\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}}\right],$$

или

$$\Delta P_{d1} = \pi \varepsilon \Delta h \sigma_{x1}^2 \ln\left[\frac{1}{2(h - \Delta h / 2)\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}}\right].$$

Вероятности каждой составляющей при вычислении по предлагаемой процедуре следует складывать и сравнивать с предельно-допустимой  $P_d$ . Поэтому суммарную вероятность обозначаем  $P_{d\Sigma}$ . После первого этапа процедуры  $P_{d\Sigma} = \Delta P_{d1}$ . Если  $P_{d\Sigma} < P_d$ , то рассчитываем следующую, т.е. вторую составляющую.

Вторая составляющая  $\Delta P_{d2}$  определяется значением плотности равным  $d_2 = h - 3\Delta h / 2$ , по которому рассчитывается значение полуоси  $a_2$  эллипса второй составляющей. Причем:

$$a_2 = \sigma_{x1} \sqrt{\ln\left[\frac{1}{2(h - 3\Delta h / 2)\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}}\right]}.$$

Аналогично вычисляется вероятность второй составляющей  $\Delta P_{d2}$ :

$$\Delta P_{d2} = \pi \varepsilon \Delta h \sigma_{x1}^2 \ln\left[\frac{1}{2(h - 3\Delta h / 2)\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}}\right].$$

Суммарная вероятность  $P_{d\Sigma} = \Delta P_{d1} + \Delta P_{d2}$ . В общем случае для  $i$ -й составляющей  $\Delta P_{di}$  величина  $d_i$  находится из следующего выражения  $d_i = h - (2i - 1)\Delta h / 2$ . Полуось соответствующего эллипса  $a_i$  определяется выражением:

$$a_i = \sigma_{x1} \sqrt{\ln\left[\frac{1}{2(h - (2i - 1)\Delta h / 2)\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}}\right]},$$

а объем и, следовательно, вероятность  $\Delta P_{di}$  вычисляются по формуле:

$$\Delta P_{di} = \pi \varepsilon \Delta h \sigma_{x1}^2 \ln\left[\frac{1}{2(h - (2i - 1)\Delta h / 2)\pi\sigma_{x1}\sigma_{y1}}\right].$$

Суммарная вероятность представляет сумму всех  $i$  составляющих, т.е.:

$$P_{d\Sigma} = \sum_i \Delta P_{di}.$$

Процедура повторяется до тех пор, пока величина суммарной вероятности  $P_{d\Sigma}$  первый раз не превысит предельно-допустимую  $P_d$ , т.е.  $P_{d\Sigma} \approx P_d$ . Процедура завершается, и последнее значение полуосей эллипса  $a_i$  и  $b_i = \varepsilon a_i$  является полуосями области стохастического фактора  $Z_1$  в случае, если векториальные позиционные погрешности подчинены распределению Гаусса.

Если границы области  $Z_1$  отодвинуть от ее центра на расстояние, равное проекции габаритов судна, то получим суммарную безопасную область судна, которая помимо позиционных погрешностей учитывает габариты судна. С помощью компьютерной программы были рассчитаны границы области  $Z_1$  и суммарной безопасной области судна, которые показаны на рис. 2, причем внутри изображена область  $Z_1$ .

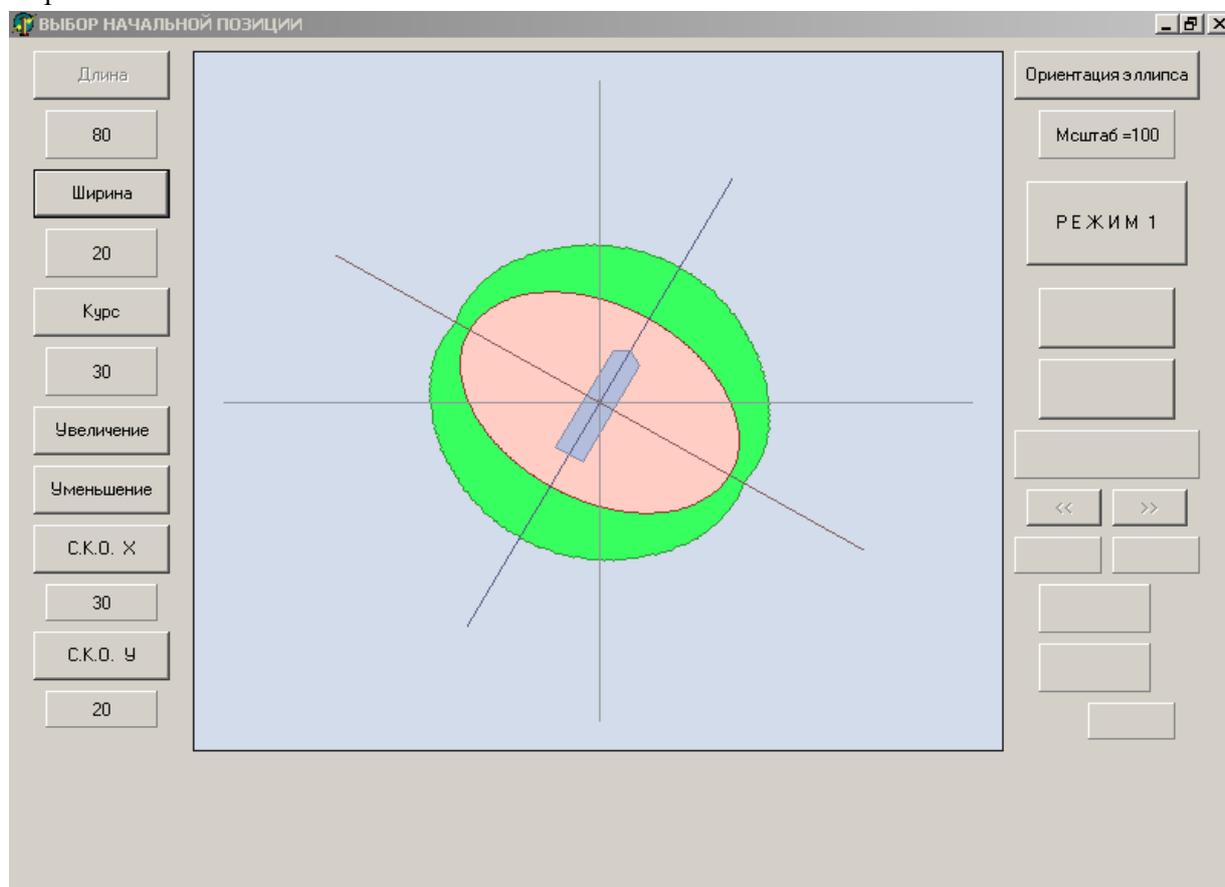


Рис. 2. Суммарная безопасная область судна

**Выводы и предложения.**

1. Получены аналитические выражения для определения параметров безопасной стохастической области для случая, когда погрешности навигационных измерений распределены по нормальному закону.

2. С помощью компьютерной программы показано графическое отображение рассмотренной области для конкретного примера.

3. Показана возможность формирования суммарной безопасной области судна, которая помимо позиционных погрешностей учитывает габариты судна.

**Список литературы:**

1. Мальцев А.С. Учет маневренных характеристик для обеспечения безопасности плавания / Мальцев А. С. // Судостроение и ремонт. – 1989. – № 9. – С. 29 – 31.

2. Lamb W. G. P. Calculation of the geometry of ship collision zones/ Lamb W. G. P.// The Journal of Navigation. – 1989. – 42, № 2. – P. 298 - 305.

3. Goodwin E. M. A Statistical Study of Ship Domains/ Goodwin E. M. // The Journal of Navigation. – 1975. – 28, № 3. – P. 328 – 341.

4. Баскин А.С. Береговые системы управления движением судов/ Баскин А.С., Москвин Г.И. – М.: Транспорт, 1986. – 150 с.

5. Погосов С.Г. Береговые системы управления движением судов/ Погосов С.Г., Москвин Г.И. – М.: Судовождение и связь, 1976. – 54 с.

6. Демин С.И. Вопросы управления морскими судами/Демин С.И. – М.: Рекламин-формбюро ММФ, 1975. – 75 с.

7. Taha M.Y. Vessel Traffic Services in Egypt/ Taha M.Y., Hafez M.A. – Egypt, 2002.- 78 p.

8. Алексин А.В. Использование зоны безопасности судна для снижения аварийности/ Алексин А.В. // Судовождение. – 2005. – № 10. – С. 3 – 8.

9. Крамер Г. Математические методы статистики/ Крамер Г. – М.: Мир, 1975.- 648 с.

10. Широков В.М. Распределение погрешностей обсервации при использовании методов корреляционной навигации/ Широков В.М.// Судовождение. – 2003. – № 6. – С. 154-158.

**Petrichenko E.A.**

*PhD, associate professor,*

*National University «Odessa Maritime Academy»,*

**Kalyuzhniy V.V.**

*assistant,*

*National University «Odessa Maritime Academy»*

**DIFFICULT MANOEUVRE OF OUTPUT OF SHIP ON PROGRAMMATIC TRAJECTORY AFTER DEVIATION FROM DANGEROUS PURPOSE**

**Петриченко Евгений Анатольевич**

*кандидат технических наук, доцент*

*Национальный университет "Одесская морская академия",*

**Калюжный Вадим Витальевич**

*ассистент кафедры УС,*

*Национальный университет "Одесская морская академия"*

**СЛОЖНЫЙ МАНЕВР ВЫХОДА СУДНА НА ПРОГРАММНУЮ ТРАЕКТОРИЮ ПОСЛЕ УКЛОНЕНИЯ ОТ ОПАСНОЙ ЦЕЛИ**

**Summary:** Difficult strategy of divergence of ship is offered with the dangerously drawn together purpose in instance where there is the distributed linear navigation danger in the district of maneuvering, thus difficult strategy contains two parts of output on the set trajectory. The analytical condition of determination of necessity of application of strategy of divergence with one or two areas of output of ship on the set trajectory is resulted.

Formulas for the calculation of moments of time of turn of ship on the first and second parts of output on the set trajectory in the situation of divergence of ship with a dangerous target at presence of maneuvering of the linear distributed navigation danger in a district are got.

**Аннотация:** Предложена сложная стратегия расхождения судна с опасно сближающейся целью в ситуации, когда в районе маневрирования находится распределенная линейная навигационная опасность, причем сложная стратегия содержит два участка выхода на заданную траекторию. Приведено аналитическое условие определения необходимости применения стратегии расхождения с одним или двумя участками выхода судна на заданную траекторию.

Получены формулы для расчета моментов времени поворота судна на первый и второй участки выхода на заданную траекторию в ситуации расхождения судна с опасной целью при наличии в районе маневрирования линейной распределенной навигационной опасности.

**Keywords:** *safety of navigation, warning of collision of vessels, navigation danger, difficult strategy of divergence.*

Ключевые слова: безопасность судоходства, предупреждение столкновения судов, навигационная опасность, сложная стратегия расхождения.

### Постановка проблемы.

В случае опасного сближения судна и цели маневр расхождения судна содержит этап уклонения курсом  $K_y$  с программной траектории движения, а после достижения дистанции кратчайшего сближения  $\min D$ , равной предельно-допустимой дистанции  $D_d$ , судно ложится на курс выхода  $K_b$  на программную траекторию. Причем курс выхода  $K_b$  отличается на  $30-40^\circ$  от начального курса  $K_o$ . При достижении судном программной траектории движения судно ложится на начальный курс  $K_o$ .

Если расхождение судна с опасной целью происходит в стесненных водах, то при выборе маневра предупреждения столкновения зачастую приходится учитывать навигационные опасности в районе маневрирования, что может повести к изменению стандартной стратегии расхождения.

Поэтому разработка методов, обеспечивающих безопасное расхождение судов при наличии навигационных опасностей, чему посвящена данная статья, является актуальным и перспективным научным направлением.

### Анализ последних достижений и публикаций.

Два подхода к решению задачи безопасного расхождения рассмотрены в работе [1], которыми является локально-независимого и полного внешнего управления процессом расхождения опасно сближающихся судов, а также приведен анализ их реализации.

Формализация взаимодействия судов при опасном сближении и компенсация ситуационного возмущения рассмотрены в работе [2], а в работе [3] представлено подробное исследование проблемы предупреждения столкновения судов и предложен метод формирования гибких стратегий расхождения.

Учет инерционности судна при выборе стратегии расхождения рассмотрен в работе [4].

Ситуации расхождения судна с целью при опасном сближении в стесненных водах посвящены работы [5] - [8]. В работе [5] рассмотрено аналитическое описание линейной навигационной опасности и учет ее при расхождении судна с опасной целью.

Формализации различных типов навигационных опасностей для решения задачи расхождения судов посвящена статья [6]. В ней приведены аналитические выражения, позволяющие формализовать навигационные ограничения для точечной, линейной распределенной и сложной распределенной навигационных опасностей. Условие существования множества допустимых стратегий расхождения с совместным учетом навигационных опасностей и

опасно сближающейся целью получено в работе [7], а статья [8] посвящена изложению основных принципов учета навигационных опасностей точечного и распределенных типов при расхождении судна с опасной целью.

### Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

В указанных статьях рассматривались стратегии расхождения, в которых на этапе выхода на программную траекторию используется один курс выхода и соответствующий ему момент времени. Однако возможны ситуации, когда для безопасного расхождения целесообразно применять два последовательных участка выхода на заданную траекторию, что обусловило выбор темы публикации.

### Цель статьи.

Целью статьи является разработка стратегии расхождения судна с опасной целью при наличии распределенной линейной навигационной опасности, содержащей два участка выхода на заданную траекторию.

### Изложение основного материала.

На рис. 1 показан стандартный маневр расхождения судна с целью. Судно с целью сближаются и дистанция кратчайшего сближения меньше предельно-допустимой дистанции  $D_d$ , что требует выбора безопасного маневра расхождения.

На том же рис. 1 показано, что судно предпринимает маневр расхождения, который содержит уклонение с программного курса  $K_o$  вправо на курс  $K_y$ , который выбирается таким образом, что соответствующий относительный курс  $K_{oty}$  является касательным к окружности с радиусом, равным предельно-допустимой дистанции. Поэтому судно на этапе уклонения безопасно расходится с целью, а в момент времени  $t_b$ , когда дистанция между судном и целью возрастает, судно может поворачивать на курс выхода на программную траекторию движения  $K_b = K_o - 45^\circ$ , причем относительный курс  $K_{otb}$  является касательным к той же окружности радиуса  $D_d$ .

Судно, следуя курсом уклонения  $K_y$ , в момент времени  $t_{bn}$  может критически сблизиться с границей линейной распределенной навигационной опасности. Поэтому, если момент времени  $t_b$  меньше момента  $t_{bn}$ , то судно может лечь на курс

$K_b$  в момент времени  $t_b$ , предупреждая посадку на мель.

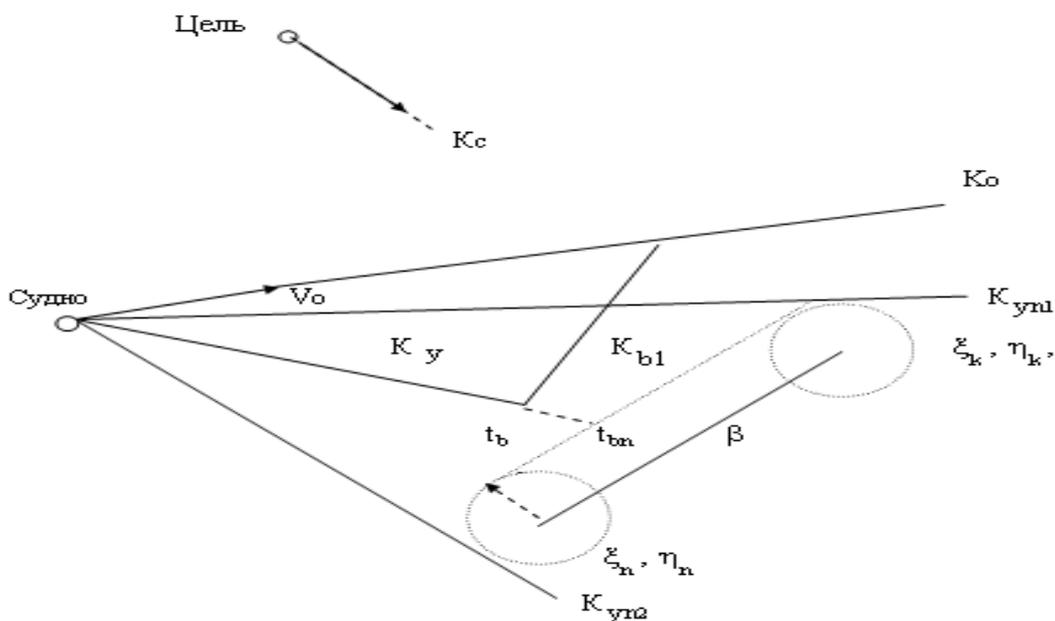


Рис. 1. Стандартный маневр расхождения судна

В этом случае маневр расхождения является стандартным и содержит один участок выхода судна на программную траекторию. В работе [5] приведены выражения для проверки существования стандартного маневра расхождения и расчета момента времени  $t_b$  поворота на курс выхода на программную траекторию.

Если имеет место неравенство  $t_b > t_{bn}$ , то стандартный маневр расхождения не может быть выполнен и возникает необходимость использовать сложный маневр расхождения, содержащий два участка выхода судна на программную траекторию (рис.2).

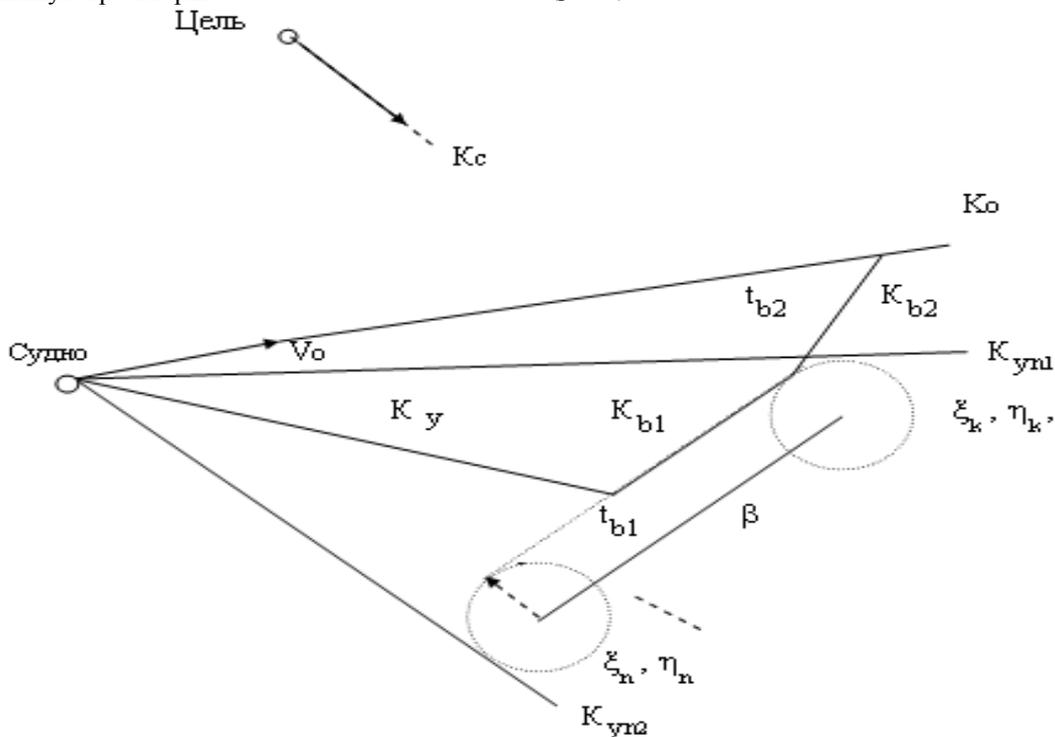


Рис. 2. Сложный маневр расхождения судна

Как показано на рис.2, судно следует курсом уклонения  $K_y$  до момента времени  $t_{b1}$ , когда

судно подходит на предельно- допустимое расстояние к линейной распределенной навигационной

опасности. Поворачивать на курс выхода на программную траекторию  $K_b$  судну еще нельзя, так как в этой позиции судно продолжает сближаться с целью. Поэтому в момент времени

$t_{b1}$  судно ложится на курс  $K_{b1}$ , параллельный линейной навигационной опасности, т.е.  $K_{b1} = \beta$ , и следует этим курсом до момента времени  $t_{b2}$ , в который дистанция между судном и целью начинает увеличиваться. В этот момент времени судно поворачивает на курс выхода на заданную траекторию  $K_{b2} = K_b$  и, продолжая удаляться от цели, перемещается в сторону начальной траектории движения.

Достигнув программной траектории движения после уклонения, судно ложится на программный курс  $K_o$  и продолжает реализовывать движение программной траекторией.

Расчет момента времени  $t_{b1}$  начала первого участка выхода судна на заданную траекторию, как следует из рис. 2, может быть рассчитан с помощью выражения:

$$t_{b1} = \frac{S_y}{V_o},$$

где  $S_y$  - расстояние от начального положения судна до предельно-допустимой границы навигационной опасности;

$V_o$  - скорость судна. Расстояние  $S_y$ , в свою очередь, рассчитывается с помощью формулы:

$$S_y = S_\beta - R_\beta,$$

где  $S_\beta$  - расстояние от начального положения судна до навигационной опасности;

$R_\beta$  - предельно-допустимая дистанция до навигационной опасности. Величина расстояния  $S_\beta$  рассчитывается с помощью формулы:

$$S_\beta = \sqrt{(X_\beta - X_o)^2 + (Y_\beta - Y_o)^2},$$

где  $X_o$  и  $Y_o$  - начальные координаты судна;

$X_\beta$  и  $Y_\beta$  - координаты точки пересечения

линии курса уклонения  $K_y$ , и линии навигационной опасности.

Координаты  $X_\beta$  и  $Y_\beta$  определяются следующим образом. Вначале следует записать уравнения линии курса уклонения и линии навигационной опасности, затем совместное решение системы этих уравнений позволяет определить искомые координаты точки пересечения  $X_\beta$  и  $Y_\beta$ .

Уравнение линии курса уклонения, проходящей через начальные координаты судна, имеет следующий вид:

$$y = Y_o + (x - X_o) \operatorname{ctg} K_y,$$

а уравнение линии навигационной опасности, проходящей через точку с координатами  $\xi_n$  и  $\eta_n$

$$y = \eta_n + (x - \xi_n) \operatorname{ctg} \beta.$$

Координата точки пересечения  $X_\beta$  находится из равенства:

$$Y_o + (X_\beta - X_o) \operatorname{ctg} K_y = \eta_n + (X_\beta - \xi_n) \operatorname{ctg} \beta,$$

откуда

$$X_\beta = \frac{\eta_n - \xi_n \operatorname{ctg} \beta - Y_o + X_o \operatorname{ctg} K_y}{\operatorname{ctg} K_y - \operatorname{ctg} \beta}.$$

Вторая координата точки пересечения  $Y_\beta$  определяется уравнением:

$$Y_\beta = Y_o + (X_\beta - X_o) \operatorname{ctg} K_y,$$

или

$$Y_\beta = Y_o + \left( \frac{\eta_n - \xi_n \operatorname{ctg} \beta - Y_o + X_o \operatorname{ctg} K_y}{\operatorname{ctg} K_y - \operatorname{ctg} \beta} - X_o \right) \operatorname{ctg} K_y$$

Подставляем полученные координаты  $X_\beta$  и  $Y_\beta$  в уравнение (3), а затем с помощью выражений (2) и (1) находим искомое значение  $t_{b1}$ . Для расчета значения  $t_{b2}$  можно воспользоваться известным выражением, приведенным в работе [2].

Для имитационного моделирования маневра расхождения судна с целью при наличии линейной распределенной навигационной опасности была разработана компьютерная имитационная программа. После ввода исходных данных имитационная модель выводит на экран допустимые области

безопасных маневров в системе координат курсов уклонения и выхода. На рис. 1 в левом верхнем углу экрана показана область допустимых маневров при уклонении судна вправо. Точки, соответствующие допустимым маневрам расхождения, окрашены в темный цвет. Как следует из рис. 1, при уклонении судна вправо область допустимых маневров состоит из двух небольших районов, что обусловлено наличием навигационной опасности. При маневрировании влево навигационная опасность не препят-

ствует выбору маневра, и область допустимых маневров расхождения является непрерывной. Если в области допустимых маневров расхождения «кликнуть» на некоторой точке, то траектория соответствующего ей маневра расхождения отображается на графическом изображении ситуации. На рис. 1 показана траектория расхождения судна уклонением вправо. На экран также выводятся параметры выбранного маневра расхождения и соответствующие ему потери пройденного расстояния.

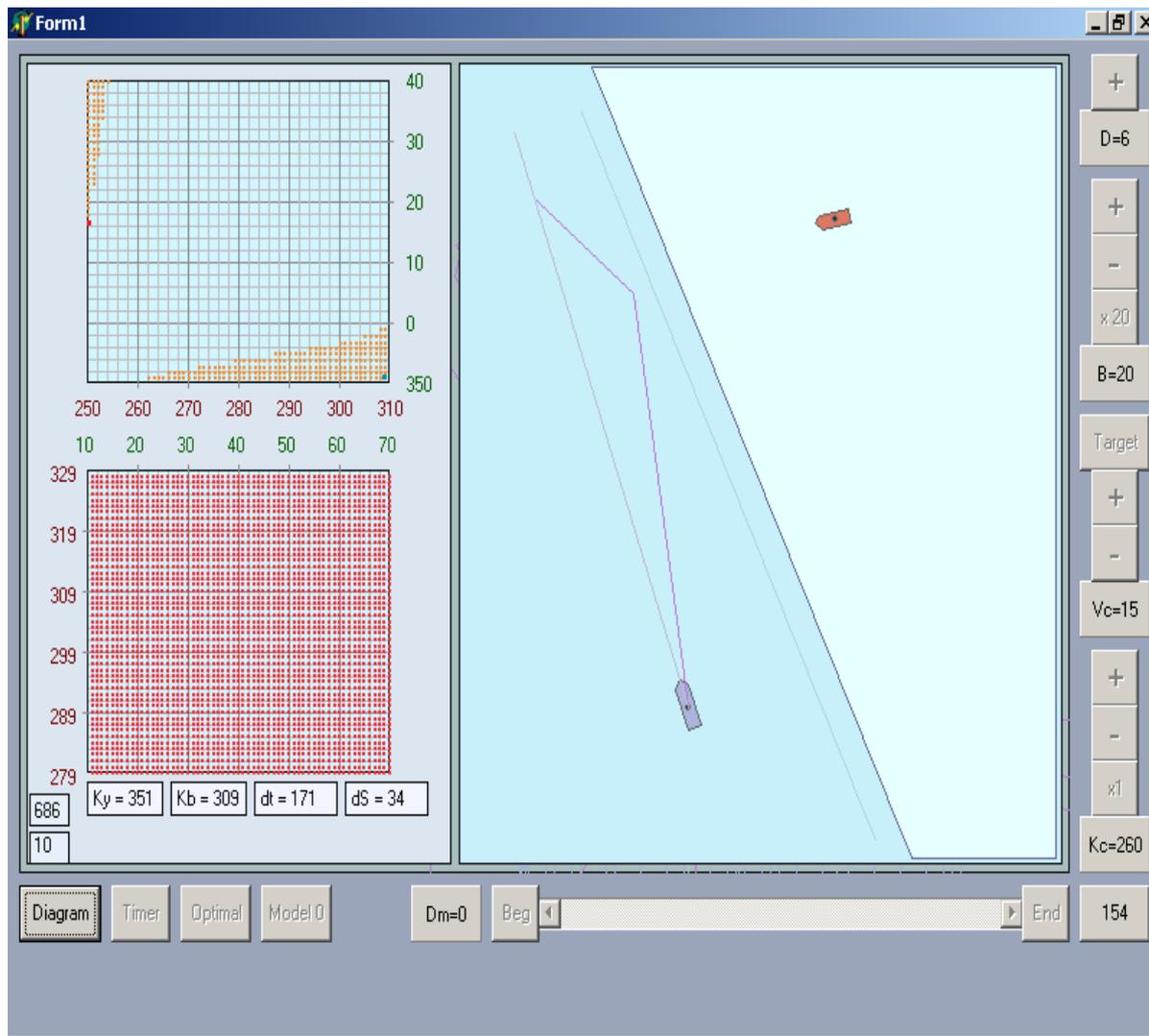


Рис. 1. Области допустимых маневров расхождения судна

В имитационной модели предусмотрено проигрывание выбранного маневра расхождения, для чего надо воспользоваться клавишей «Timer». При этом имитируется движение судна и цели с заданными параметрами движения, причем с целью (рис. 2) связан круг предельно допустимого радиуса, для визуального контроля корректности процесса имитации. При проигрывании маневра расхождения выводится текущее значение дистанции между судами.

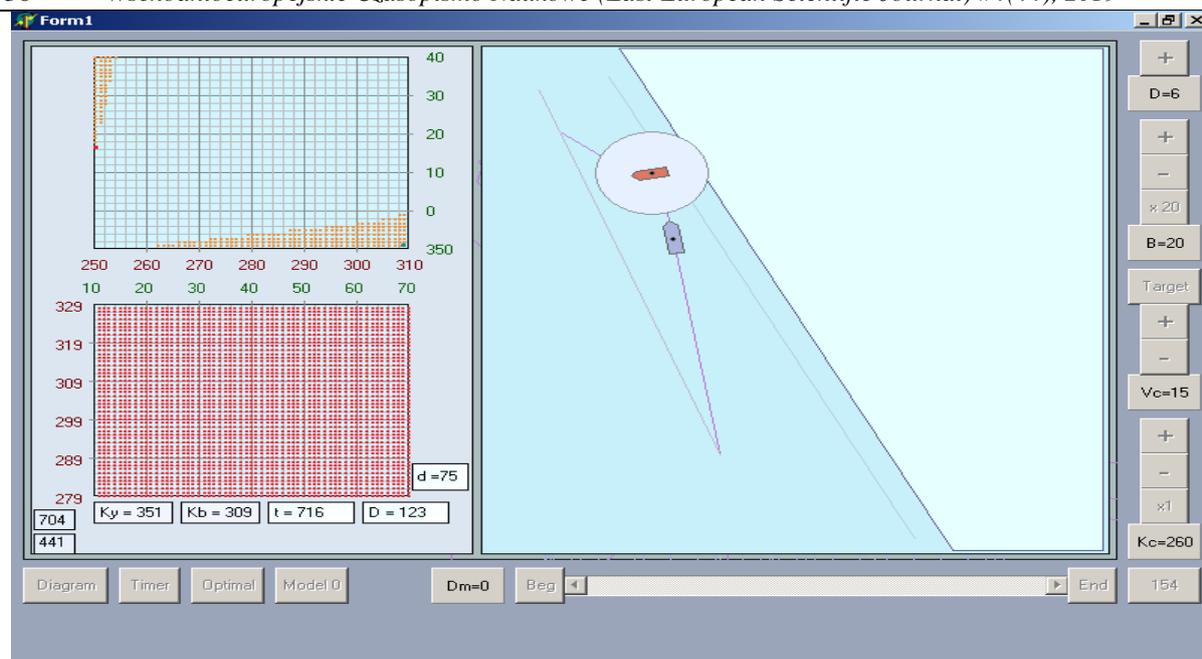


Рис. 2. Имитация процесса расхождения судна с целью

### Выводы и предложения.

1. В работе рассмотрена сложная стратегия расхождения судна с опасной целью при наличии в районе маневрирования распределенной линейной навигационной опасности, которая содержит два участка выхода на заданную траекторию.

2. Приведено аналитическое условие, которое определяет необходимость применения стратегии расхождения с одним или двумя участками выхода судна на заданную траекторию.

3. Получены аналитические выражения для расчета моментов времени поворота судна на первый и второй участки выхода на заданную траекторию в ситуации расхождения судна с опасной целью при наличии в районе маневрирования линейной распределенной навигационной опасностью.

### Список литературы:

1. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

2. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака., Э.Н. Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. – 585 с.

3. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э.Н., Бужбецкий Р.Ю., Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. – Херсон: Гринь Д.С., 2015. - 312 с.

4. Бурмака И.А. Результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики / Бурмака И.А. // Судовождение. – 2005. - №10. – С. 21 – 25.

5. Петриченко Е.А. Учет линейной навигационной опасности при расхождении судов/ Е.А. Петриченко // Автоматизация судовых технических средств. – 2003. – № 8. – С. 72 - 76.

6. Петриченко Е.А. Описание навигационных опасностей в задаче расхождения судов/ Е.А. Петриченко // Судовождение. – 2002. – № 5. – С. 89 – 95.

7. Петриченко Е.А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей/ Е.А. Петриченко // Судовождение. – 2003. – № 6. – С. 103 - 107.

8. Петриченко Е.А. Основные принципы учета навигационных опасностей различных типов при расхождении судов/ Е.А. Петриченко, Н.Н. Цымбал // Судовождение: Сб. научн. трудов. - ОНМА, Вып. 20. – Одесса: «ИнформИздат», 2011 - С. 101 - 106.

## DETERMINATION OF MINIMUM-POSSIBLE DISTANCE OF RAPPROCHEMENT OF VESSELS FOR DOMAINS OF ELLIPTIC AND DIFFICULT FORM

*Бородулин Анатолий Викторович*

*аспирант,*

*Национальный университет "Одесская морская академия"*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО-ДОПУСТИМОЙ ДИСТАНЦИИ СБЛИЖЕНИЯ СУДОВ ДЛЯ ДОМЕНОВ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ И СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

**Summary:** Analytical expressions of calculation of minimum-possible distance of rapprochement for the safe domains of elliptic and difficult forms are got. Graphic dependence of minimum-possible distance of rapprochement is represented on the initial bearing on a target and its course for the indicated forms of safe domains.

It is shown that dependences of minimum-possible distance of rapprochement of the considered forms of domains on the course of target small differ from each other and application of only domain of elliptic form is expedient.

**Аннотация:** Получены аналитические выражения расчета предельно-допустимой дистанции сближения для безопасных доменов эллиптической и сложной форм. Представлена графическая зависимость предельно-допустимой дистанции сближения от начального пеленга на цель и ее курса для указанных форм безопасных доменов.

Показано, что зависимости предельно-допустимой дистанции сближения рассмотренных форм доменов от курса цели мало отличаются друг от друга и целесообразно применение только домена эллиптической формы.

*Keywords: warning of collisions, safe domains, minimum-possible distance of rapprochement.*

*Ключевые слова: предупреждение столкновений, безопасные домены, предельно-допустимая дистанция сближения.*

### Постановка проблемы.

Интенсивное судоходство и навигационные препятствия способствуют повышенной аварийности судов при плавании в стесненных водах, чем и обусловлено их оборудование станциями управления движением судов (СУДС). Помимо контроля процесса судовождения СУДС осуществляет управление движением опасно сближающихся судов. Для их безопасного расхождения необходимо выбрать граничный относительный курс, который является касательным к безопасной зоне с учетом ее формы. Так как в последнее время помимо круговой рассматриваются другие формы безопасной зоны, то актуальным является вопрос определение величины предельно - допустимой дистанции сближения судов в зависимости от формы безопасной зоны.

### Анализ последних достижений и публикаций.

В работе [1] для описания процесса расхождения используются методы теории оптимальных дискретных процессов, а в работах [2, 3] предложена формализация взаимодействия судов при расхождении методами теории дифференциальных игр.

Метод нелинейной интегральной инвариантности для описания процесса расхождения и выбора одношагового маневра предупреждения столкновения предложен в работе [4]. Способ предупреждения столкновения судов путем смещения

на параллельную линию пути с оптимизацией маневра по экономическому критерию рассмотрен в монографии [5]. Формализация взаимодействия судов при возникновении угрозы столкновения предложена в работе [6], с ее помощью предложена алгоритмизация МППСС-72, а в работе [7] изложены результаты исследования эффективности парных маневров расхождения. В монографии [8] всесторонне исследован принцип локально-независимого управления процессом расхождения и разработан метод гибких стратегий их расхождения, который позволяет произвести синтез стратегии расхождения судна с несколькими опасными целями с учетом навигационных опасностей и динамики судна. Рассмотрению двух различных подходов к решению задачи безопасного расхождения посвящена работа [9], а также приведен анализ методов их реализации.

### Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

В настоящее время для выбора маневра расхождения судов пользуются доменом круглой формы, в центре которого находится судно, а радиус равный предельно-допустимой дистанции сближения. В общем случае предельно- допустимая дистанция сближения определяется касательной к домену. Очевидно, для домена круглой формы величина предельно-допустимой дистанции сближения является неизменной, чего нельзя утверждать в отношении доменов другой формы. Поэтому сле-

дует найти зависимость предельно-допустимой дистанции сближения от ракурса сближающихся судов для доменов эллиптической и сложной форм.

**Цель статьи.**

Цель настоящей статьи - разработка процедуры определения величины предельно - допустимой дистанции сближения судов в случае применения доменов эллиптической и сложной формы.

**Изложение основного материала.**

Рассмотрим два безопасных домена, форма которых отличается от круга. Первый домен имеет эллиптическую форму со смещенным относительно центра эллипса местом судна, как показано на рис. 1. Он характеризуется большей полуосью эллипса  $a$  и малой -  $b$ .

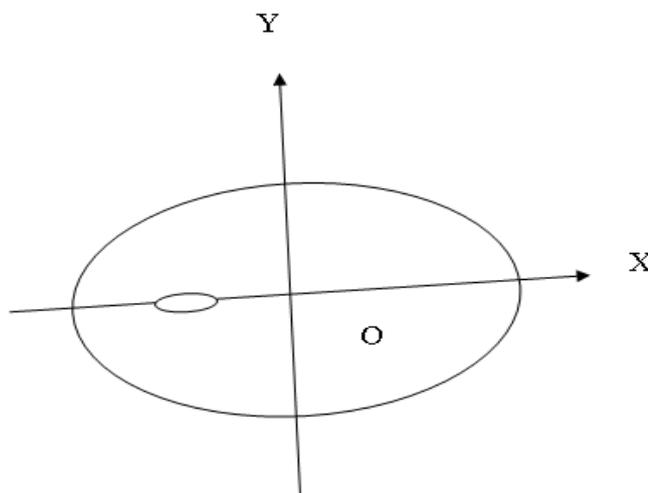


Рис. 1. Безопасный домен эллиптической формы

Второй домен, имеющий сложную форму полукруга полу-эллипса, характеризуется двумя параметрами: радиусом круга  $R_b$  и большей полуосью эллипса  $a_b$  (рис. 2).

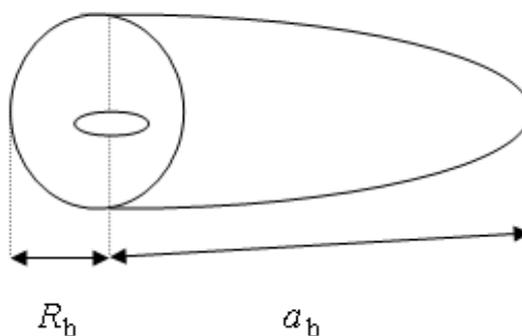


Рис. 2. Безопасный домен сложной формы

Найдем выражения для расчета предельно-допустимой дистанции сближения рассмотренных доменов. Рассмотрим наиболее часто предлагаемый домен эллиптической формы со смещенным местом цели, как показано на рис. 3.

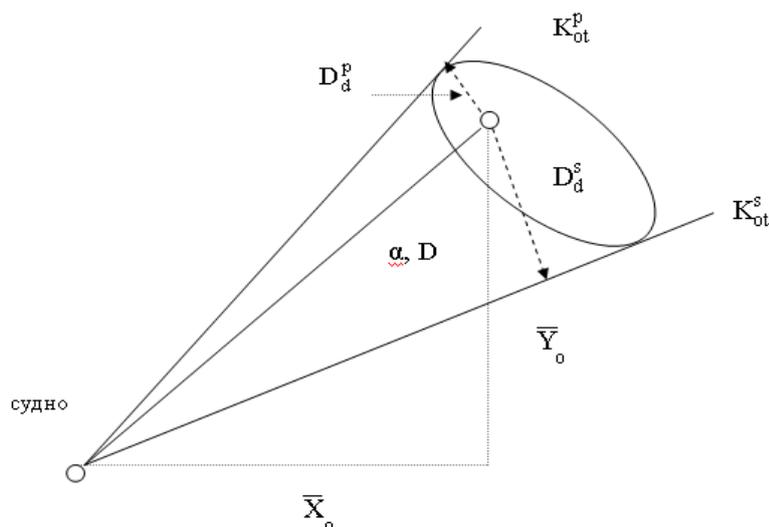


Рис. 3. Предельно - допустимые дистанции сближения

Величина предельно - допустимой дистанции сближения судов с учетом формы безопасной зоны зависит от стороны относительного уклонения и определяется граничными относительными курсами  $K_{ot}^S$  и  $K_{ot}^P$ . Поэтому обозначим  $D_d^S$  и  $D_d^P$  - предельно - допустимые дистанции сближения при относительном уклонении судна соответственно вправо и влево, как показано на рис. 3. Из этого же рисунка можно найти выражения для определения предельно - допустимых дистанций сближения:

$$D_d^S = D \left| \sin(K_{ot}^S - \alpha) \right|; \quad D_d^P = D \left| \sin(K_{ot}^P - \alpha) \right|.$$

В работе [10] показано, что граничные относительные курсы  $K_{ot}^S$  и  $K_{ot}^P$  определяются одним из четырех относительных курсов  $\bar{K}_{ymin1}$ ,  $\bar{K}_{ymin2}$ ,  $\bar{K}_{ymin3}$  и  $\bar{K}_{ymin4}$ , после расчета которых искомые величины относительных граничных курсов уклонения судна  $K_{ot}^S$  и  $K_{ot}^P$  находятся из выражений:

$$K_{ot}^S = \max \{ \bar{K}_{ymin1}, \bar{K}_{ymin2}, \bar{K}_{ymin3}, \bar{K}_{ymin4} \}.$$

$$K_{ot}^P = \min \{ \bar{K}_{ymin1}, \bar{K}_{ymin2}, \bar{K}_{ymin3}, \bar{K}_{ymin4} \}.$$

Выражения для относительных курсов  $\bar{K}_{ymin1}$ ,  $\bar{K}_{ymin2}$ ,  $\bar{K}_{ymin3}$  и  $\bar{K}_{ymin4}$  получены в работе [10] и имеют следующий вид:

$$\bar{K}_{ymin1,2} = \arctg \frac{\bar{X}_o \pm b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \sin K_c + x_1 \cos K_c}{\bar{Y}_o \pm b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \cos K_c - x_1 \sin K_c},$$

$$\bar{K}_{ymin3,4} = \arctg \frac{\bar{X}_o \pm b \sqrt{1 - \frac{x_2^2}{a^2}} \sin K_c + x_2 \cos K_c}{\bar{Y}_o \pm b \sqrt{1 - \frac{x_2^2}{a^2}} \cos K_c - x_2 \sin K_c},$$

где  $x_1$  и  $x_2$  равны:

$$x_1 = -\frac{a^2 cb}{a^2 + c^2 r^2} + \sqrt{\left(\frac{a^2 cb}{a^2 + c^2 r^2}\right)^2 - \frac{a^2 c^2 (b^2 - r^2)}{(a^2 + c^2 r^2)}},$$

$$x_2 = -\frac{a^2 cb}{a^2 + c^2 r^2} - \sqrt{\left(\frac{a^2 cb}{a^2 + c^2 r^2}\right)^2 - \frac{a^2 c^2 (b^2 - r^2)}{(a^2 + c^2 r^2)}},$$

причем

$$c = \frac{a^2}{b(\bar{Y}_o \sin K_c - \bar{X}_o \cos K_c)} \text{ и } r = (\bar{Y}_o \cos K_c + \bar{X}_o \sin K_c).$$

Для домена сложной формы, как следует из рис. 4, значение относительного минимального курса уклонения судна  $\bar{K}_{ymin}$  зависит от угла  $\beta$ .

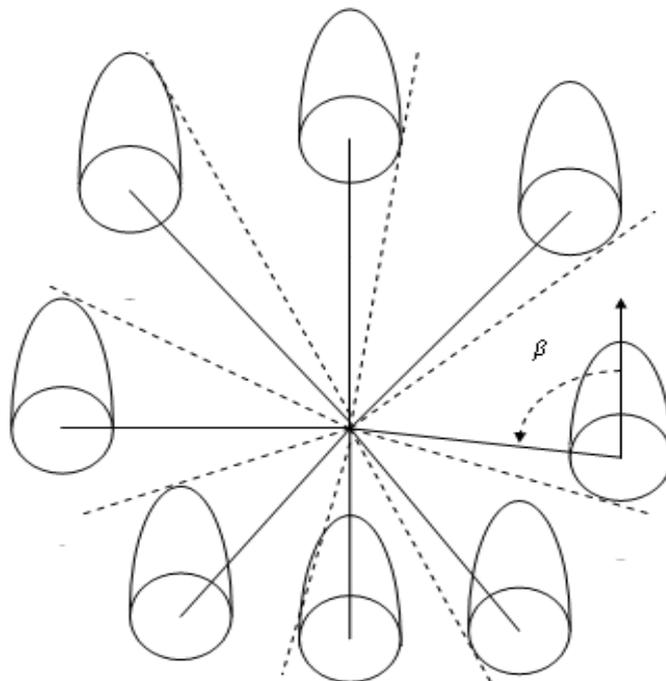


Рис. 4. Положение касательной по отношению к домену сложной области

Как следует из того же рис. 4, при курсовых углах левого борта положение касательной определяется кругом, а если курсовые углы цели правого борта, то положение касательной характеризуется эллипсом. Следовательно, минимальный курс уклонения судна  $\bar{K}_{ymin}$  в зависимости от курсового угла цели вычисляется по разным формулам.

В случае когда касательная к полуокругу безопасного домена, относительный минимальный курс уклонения судна  $\bar{K}_{ymin}$  рассчитывается с помощью очевидной формулы:

$$\bar{K}_{ymin} = K_{otn} + \arcsin \frac{R_b}{D},$$

где  $K_{otn}$  - начальный относительный курс.

Из анализа данной формулы следует, что относительный курс  $\bar{K}_{ymin}$  не зависит от курса цели  $K_c$  и его значение неизменно. Поэтому для курсовых углов цели  $\beta$  левого борта, что аналитически выражается неравенством  $\sin \beta < 0$ , относительный минимальный курс уклонения судна  $\bar{K}_{ymin}$  рассчитывается по приведенному выражению.

При курсовых углах цели  $\beta$  правого борта, как следует из рис. 4, относительный минимальный курс уклонения судна  $\bar{K}_{ymin}$  равен касательной к полу-эллипсу безопасного домена сложной формы, причем условие реализации курсового угла цели  $\beta$  определяется неравенством  $\sin \beta > 0$ .

В общем случае относительный минимальный курс уклонения судна  $\bar{K}_{ymin}$  безопасного домена сложной формы определяется выражением:

$$\bar{K}_{ymin} = \begin{cases} K_{otn} + \arcsin \frac{R_b}{D}, & \text{если } \sin \beta < 0, \\ \max\{\bar{K}_{ymin1}, \bar{K}_{ymin2}, \bar{K}_{ymin3}, \bar{K}_{ymin4}\}, & \text{если } \sin \beta > 0, \end{cases}$$

С помощью компьютерной программы производился расчет предельно-допустимой дистанции сближения  $D_d(K_c)$ , и приводилась ее графическая зависимость от курса  $K_c$  при неизменной начальной относительной позиции. На рис. 5 и рис. 6 показаны графические зависимости  $D_d(K_c)$  для безопасных доменов эллиптической и сложной

форм. Обращаем внимание, что зависимости  $D_d(K_c)$  от курса  $K_c$  для безопасных доменов эллиптической и сложной форм мало отличаются друг от друга. Поэтому в дальнейшем целесообразно рассматривать только один из доменов, а именно эллиптической формы, как более удобного при аналитическом описании.

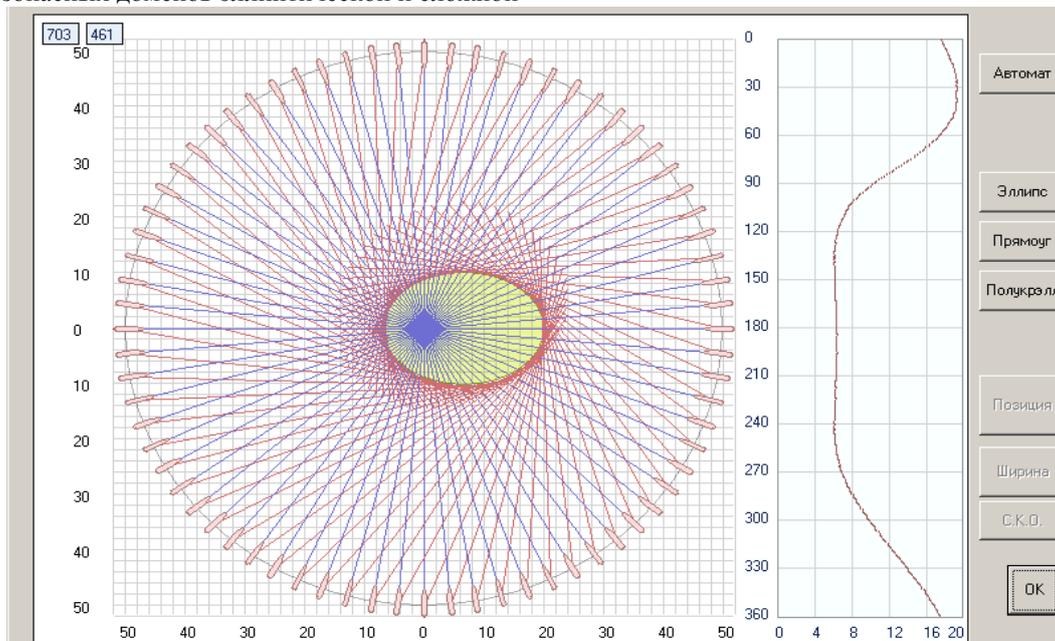


Рис. 5. Изменение дистанции  $D_d(K_c)$  для эллиптического домена

### Выводы и предложения.

1. Получены аналитические выражения расчета предельно-допустимой дистанции сближения для безопасных доменов эллиптической и сложной форм, которая необходима для вычисления параметров маневра расхождения судов.

2. Представлена графическая зависимость предельно-допустимой дистанции сближения от начального пеленга на цель и ее курса для безопасных доменов эллиптической и сложной форм.

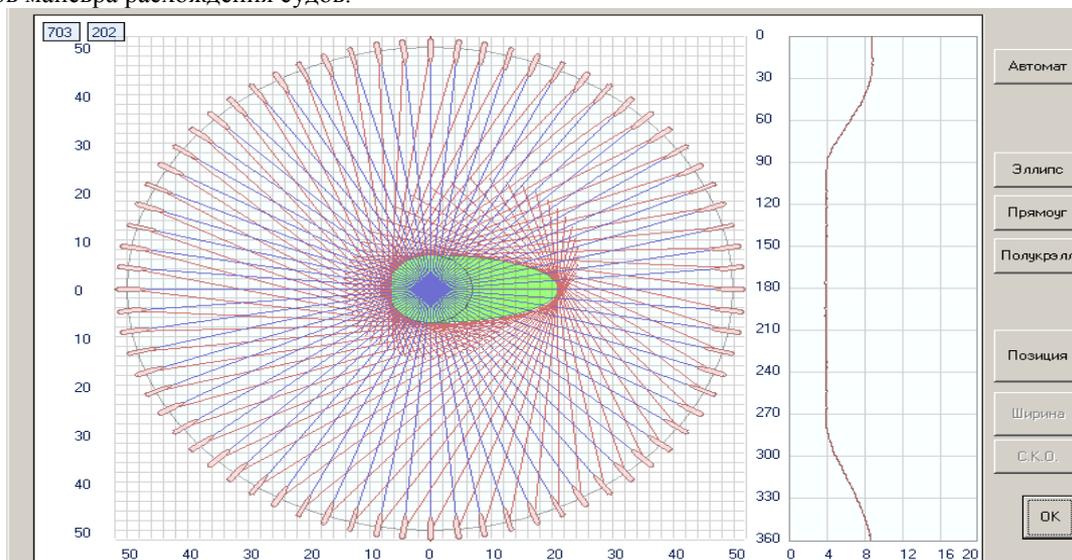


Рис. 6. Изменение дистанции  $D_d(K_c)$  домена сложной формы

3. Показано, что зависимости предельно-допустимой дистанции сближения рассмотренных форм доменов от курса  $K_c$  мало отличаются друг от друга и целесообразно применение только домена эллиптической формы.

### Список литературы:

1. Куликов А. М. Оптимальное управление расхождением судов / А. М. Куликов, В. В. Поддубный // Судостроение. – 1984. - № 12. - С. 22-24.
2. Кудряшов В. Е. Синтез алгоритмов безопасного управления судном при расхождении с несколькими объектами / В. Е. Кудряшов // Судостроение. – 1978.- №5. – С. 35-40.
3. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. - Vol. 2. - London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285-1292.
4. Павлов В.В. Некоторые вопросы алгоритмизации выбора маневра в ситуациях расхождения судов/ В.В. Павлов, Н.И. Сеньшин // Кибернетика и вычислительная техника. – 1985. - № 68. - С. 43-45.

5. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.

6. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Э.Н. Пятаков, Р.Ю. Бужбецкий, И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков – Херсон: Гринь Д.С., 2015.-312 с.

7. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов / Э.Н. Пятаков., С.И. Заичко // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, – Вып.15. - Одесса: "ИздатИнформ", 2008. – С. 166 – 171.

8. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н.Цымбал, И.А.Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

9. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака., Э.Н. Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.

10. Бурмака И.А. Определение предельно-допустимой дистанции сближения при эллиптической форме судового домена/ Бурмака И.А. // Austria - science, Issue: 23, 2019.- С. 36 - 43.

*Gaychenja A.V.**PhD, associate professor,**National University «Odessa Maritime Academy»,**Kozachenko A.Yu.**assistant,**National University «Odessa Maritime Academy»*

## INPUT IN DATABASE OF DESCRIPTIONS OF VESSEL AND ITS CARGO APARTMENTS.

*Гайченя Александр Викторович**кандидат технических наук, доцент, зам. декана,**Национальный университет "Одесская морская академия",**Козаченко Александр Юрьевич**ассистент кафедры ЭКС,**Национальный университет "Одесская морская академия"*

## ВВОД В БАЗУ ДАННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНА И ЕГО ГРУЗОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ.

**Summary:** The method of input of form and parameters of standard holds of ship in the database of software product which carries out forming of the cargo program of ship is considered.

Procedure of input of basic descriptions of ship is offered, as aggregate of cargo apartments, in the database of the cargo program of ship.

By the computer program possible realization of the offered modules of input of information in a database is shown.

**Аннотация:** Рассмотрен способ ввода формы и параметров стандартных трюмов судна в базу данных программного продукта, который осуществляет формирование грузовой программы судна.

Предложена процедура ввода основных характеристик судна, как совокупности грузовых помещений, в базу данных грузовой программы судна.

С помощью компьютерной программы показана возможная реализация предлагаемых модулей ввода информации в базу данных.

*Keywords: nautical safety, cargo program of ship, database, standard hold of ship.*

*Ключевые слова: мореходная безопасность, грузовая программа судна, база данных, стандартные трюма судна.*

### Постановка проблемы.

Ответственной операцией, связанной с загрузкой судна, является подготовка и расчет предварительного грузового плана судна, которая определяет мореходную безопасность судна, т.е. соответствие параметров посадки, остойчивости и прочности корпуса судна их допустимым значениям.

Целесообразность разработки компьютерного пакета, который позволяет синтезировать грузовую программу судна, показана в работах [1,2]. Пакет предусматривает ввод необходимой информации из судовой грузовой документации для формирования базы данных компьютерной грузовой программы.

Очевидно, разработка методов, позволяющих реализацию предложенного программного продукта, является актуальным и перспективным научным направлением.

### Анализ последних достижений и публикаций.

Вопросы загрузки балкеров навалочными грузами рассмотрены в работах [3,4]. Предлагается решение двухуровневой оптимизационной задачи, на первом уровне которой минимизируется число этапов загрузки балкеров, а на втором – находится максимум количества принятого груза. Для решения задачи используется симплекс-метод.

Процедура формирования оптимальной загрузки универсального судна генеральным грузом по критерию доходности перевозки партий груза рассмотрена в работах [5,6]. Для решения задачи применен эвристический способ минимального спуска критерия оптимальности возможными замещениями групп трюмов.

Работы [7,8] посвящены формированию оптимальной загрузки контейнеровоза с учетом сил инерции, возникающих при качке судна на переезде.

### Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

Эффективная работа морских судов возможна лишь при обеспечении навигационной и мореходной безопасности. Необходимый уровень мореходной безопасности в значительной мере определяется корректной загрузкой судна, которая обеспечивается судовой компьютерной программой.

Существует ряд ситуаций, когда воспользоваться грузовой программой вообще невозможно, например, при эксплуатации старых (субстандартных) судов, на которых грузовая программа перестала работать или вообще отсутствует. В таком случае составление предварительного грузового плана судна по судовой документации существенно усложняется.

Учитывая, что на судне обязательно имеется документация для составления предварительного грузового плана, целесообразна разработка компьютерного пакета, позволяющего синтезировать грузовую программу судна. При наличии такого программного продукта оператор вводит необходимую информацию из судовой грузовой документации для формирования базы данных компьютерной грузовой программы. После завершения ввода исходных данных производится инициализация второго модуля программы, который, используя сформированную базу данных, генерирует собственно грузовую программу, позволяющую решение как прямой, так и обратной задачи загрузки судна. Очевидно, разработка методов, позволяющих реализацию предложенного программного продукта является актуальным направлением повышения морской безопасности судна.

#### Цель статьи.

Статья посвящена описанию способа ввода основных характеристик судна, как совокупности грузовых помещений, и процедуре формирования параметров и формы стандартных судовых трюмов для базы данных программного продукта, который осуществляет формирование грузовой программы судна.

#### Изложение основного материала.

Одной из задач формирования базы данных программного продукта является ввод информации о судовых грузовых помещениях, которая позволит отображать грузовые помещения в графическом виде в двух- и трехмерных проекциях для возможного моделирования укладки генерального груза.

В результате анализа судовые грузовые помещения, с позиций их описания, были разделены на два класса: стандартные и сложные. К стандартным помещениям отнесены те, форма которых может быть описана конечным числом характеристик, включающих габариты помещения и наличие в нем балластных танков. Всего предложено к описанию пять типов стандартных грузовых помещений, форма которых показана на рис. 1.

Была произведена разработка модуля компьютерной программы, позволяющего ввод в исходную базу данных необходимой информации о грузовых помещениях судна.

Так, для приведенных пяти типов стандартных трюмов для третьего и пятого типа трюма необходимо ввести максимально семь параметров. Модулем предусмотрен вначале выбор типа трюма, для чего необходимо левой кнопкой мыши «кликнуть» кнопку с изображением соответствующего типа трюма. На рис.2 показано, что произведен выбор третьего типа трюма, при этом выводится на экран его изображение с обозначением размеров.

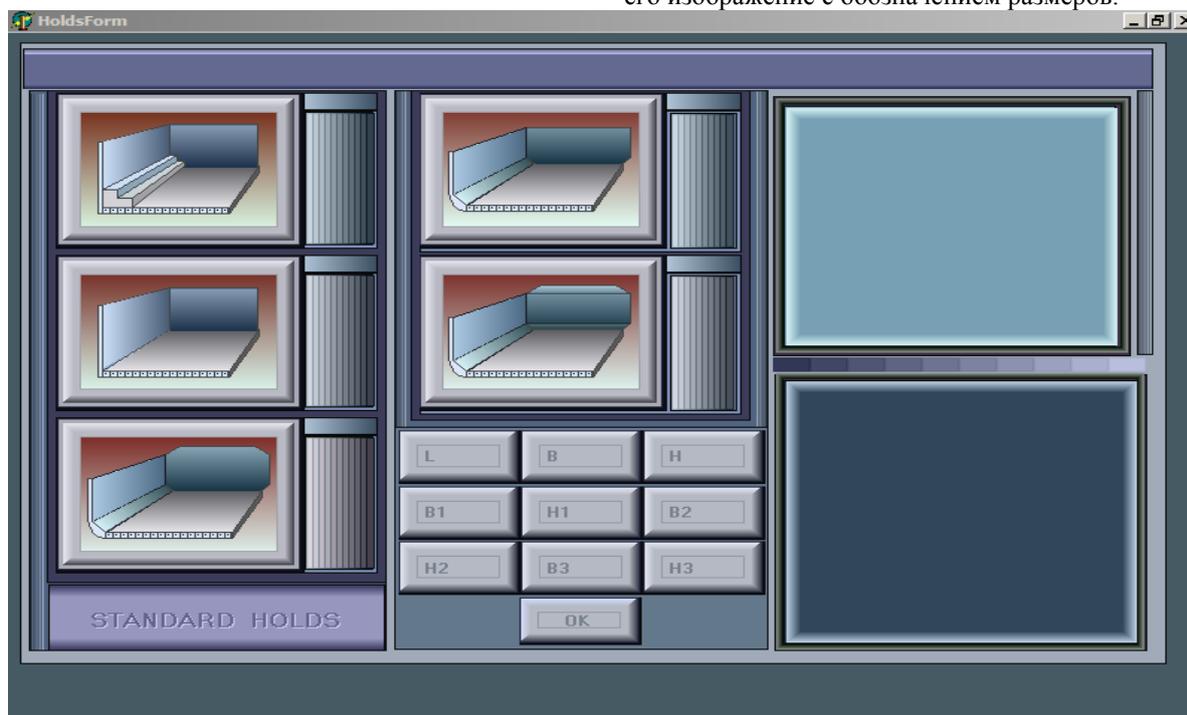


Рис. 1. Типы стандартных грузовых помещений

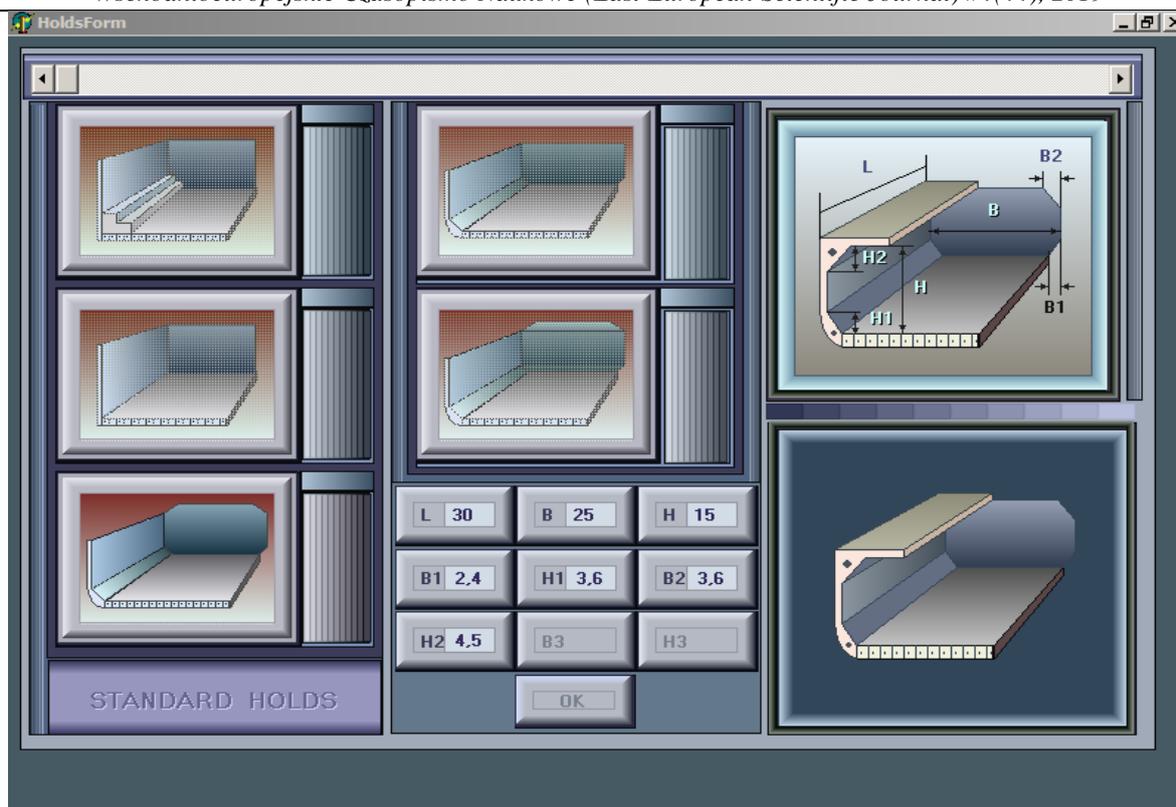


Рис.2. Выбор третьего типа стандартного трюма

С помощью линейки прокрутки в верхней части экрана и кнопок с наименованием единиц измерения выбирается нужный параметр и вводится его значение, которое индицируется на соответствующей кнопке, при этом изменяются размеры изображения трюма в правой нижней части экрана, как показано на рис.3.

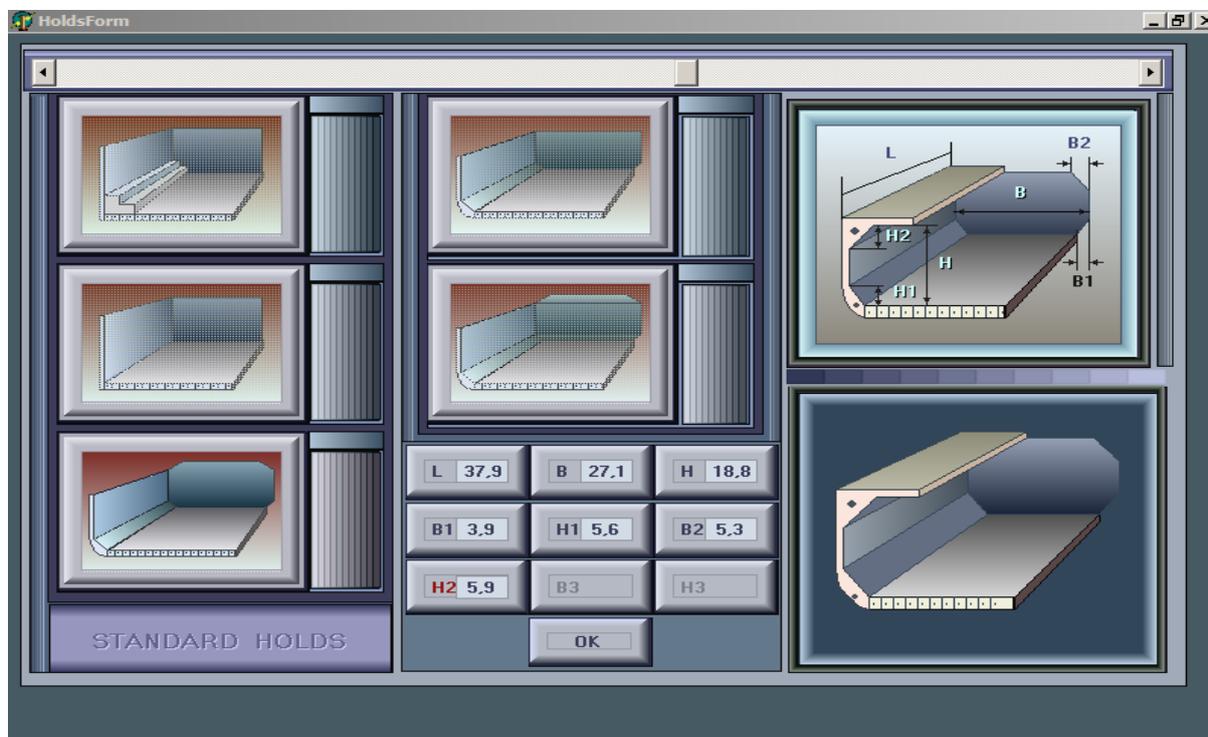


Рис.3. Ввод габаритов трюма

После ввода в базу данных информации об архитектуре судовых грузовых помещений необходимо указать их положение относительно корпуса судна, а также его основные характеристики.

Положения грузовых помещений определяется координатами их центра тяжести  $X_i$ ,  $Y_i$  и

$Z_i$  в судовой системе координат. Так как центры тяжести грузовых помещений расположены в диаметральной плоскости судна, то  $Y_i=0$ , и необходим ввод лишь значений  $X_i$  и  $Z_i$ . С помощью специального программного модуля предусмотрен ввод длины, ширины судна (рис.4), максимального водоизмещения и водоизмещения порожнем.

Программный модуль также дает возможность ввода указанных координат трюмов  $X_i$ ,  $Z_i$ , и их объема, как показано на рис. 5. Причем при вводе координат  $X_i$  на изображении судна происходит смещение трюмов по длине судна.

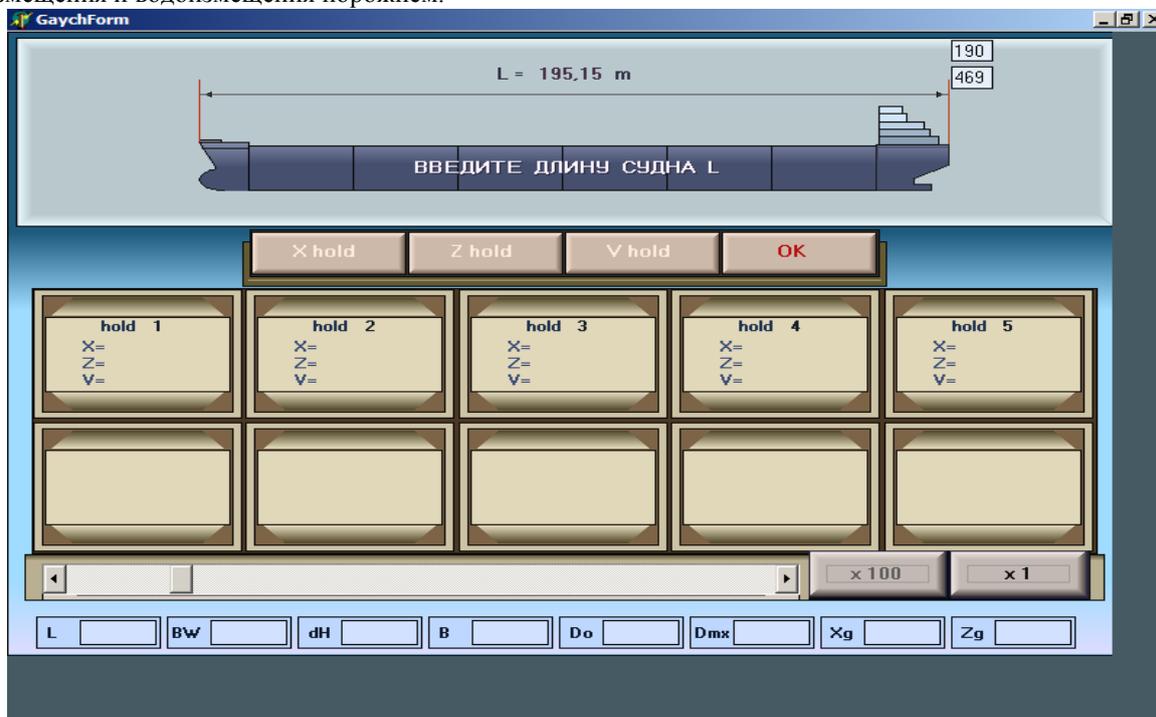


Рис. 4. Ввод длины судна

При вводе упомянутой информации надлежит воспользоваться клавишами с названием трюмов и линейкой прокрутки, предварительно выбрав кнопку вводимой величины. В случае необходимости для каждого из трюмов имеется возможность ввода зависимости объема и аппликаты центра тяжести от высоты заполнения трюма грузом.

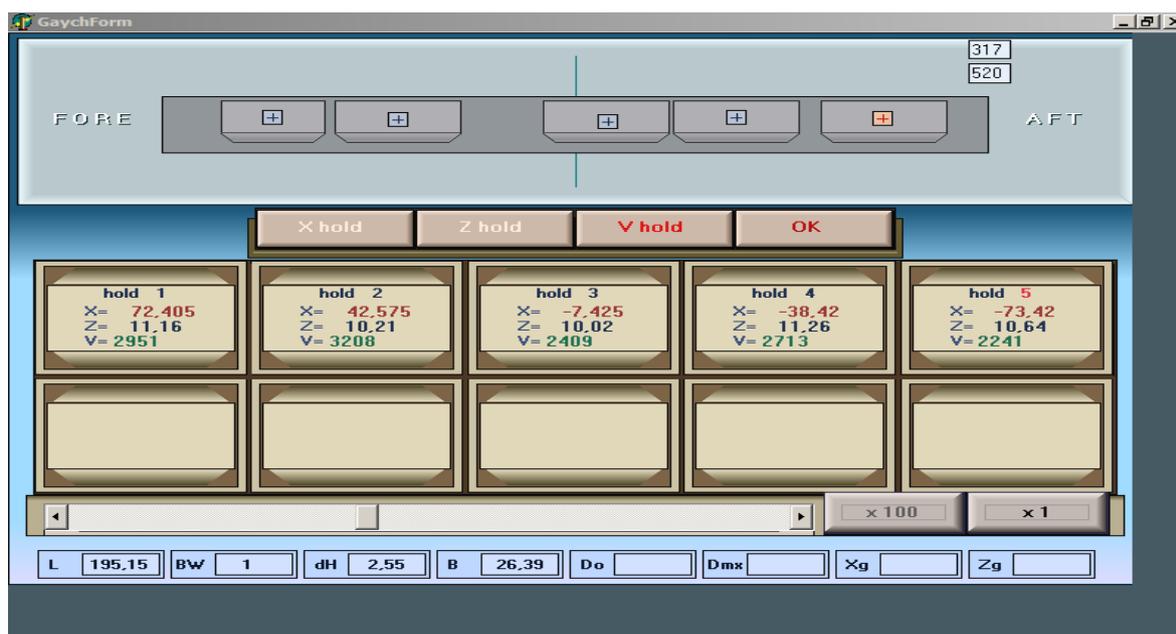


Рис. 5. Ввод координат центра тяжести и объема трюмов

Рассматриваемый программный модуль обеспечивает возможность ввода координат центра тяжести судна порожнем, т.е. абсциссы и аппликаты, что показано на рис. 6.

### Выводы и предложения.

1. Рассмотрен способ ввода формы и параметров стандартных трюмов судна в базу данных программного продукта, который осуществляет формирование грузовой программы судна.

2. Предложена процедура ввода основных характеристик судна, как совокупности грузовых помещений, в базу данных грузовой программы судна.

3. С помощью компьютерной программы показана возможная реализация предлагаемых модулей ввода информации в базу данных.

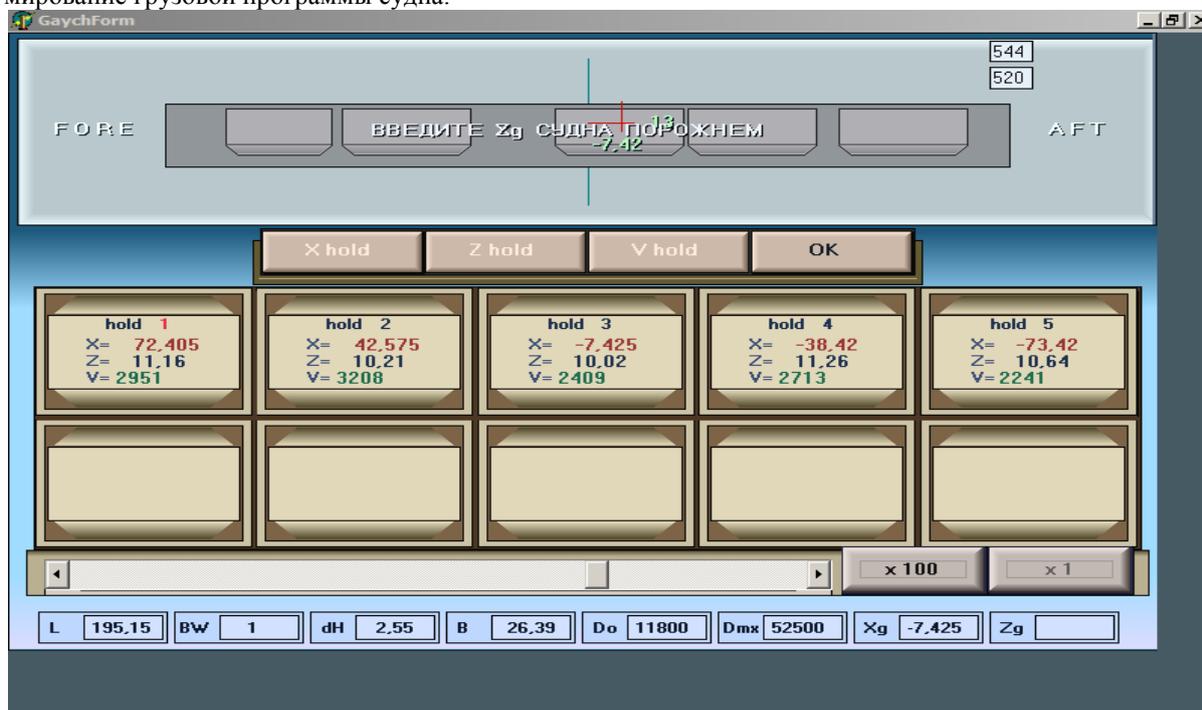


Рис.3. Ввод координат центра тяжести судна порожнем

### Список литературы:

1. Николаева Л.Л. Разработка метода оперативной оценки критериев мореходности судна / Николаева Л.Л., Гайченя А.В., Соколов М.Ю. // Судовождение: Сб. научн. трудов. ОНМА, Вып. 16. – Одесса: Латстар, 2009 - С. 132-136.
2. Николаева Л.Л. Универсальный метод разработки компьютерной программы загрузки / Николаева Л.Л., Гайченя А.В., Соколов М.Ю. // Сборник трудов междунар. науч.-прак. конф. «Современные информационные и инновационные технологии на транспорте». – Херсон: ХГМИ, 2009. - С. 20-22.
3. Цымбал Н.Н. Формирование оптимизационной задачи проведения грузовых операций навалочных судов/Цымбал Н.Н., Васьков Ю.Ю. // Судовождение. – 2004. - № 7. – С. 3 - 10.
4. Цымбал Н.Н. Выбор оптимального варианта проведения грузовых операций навалочных судов/Цымбал Н.Н., Васьков Ю.Ю. // Автоматизация

судовых технических средств.- 2005. - № 9. – С. 103 – 107.

5. Заичко В.С. Особенности формирования загрузки судов генеральными грузами // Судовождение. – 2005. - № 9. – С. 25 - 28.

6. Заичко В.С. Алгоритм формирования множества допустимых загрузок судна генеральными грузами/ Заичко В.С. // Судовождение. – 2006. - № 12. – С. 59 – 62.

7. Власенко Е.А. Допустимая загрузка контейнеровоза/ Власенко Е.А.// Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V1(22), Issue: 186, 2018.- С. 82 - 86.

8. Власенко Е.А. Определение максимального значения горизонтальной составляющей сил инерции, действующей на груз при качке судна // Власенко Е.А., Бурмака И.А./ Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI (18), Issue: 158, 2018. - С. 80 - 84.

**Дмитриева Н.В.**

кандидат технических наук

доцент кафедры технологии строительного производства,

**Попов О.А.**

кандидат технических наук

доцент кафедры технологии строительного производства,

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина

**Степаненко Н.А.**

магистрант кафедры «Промышленное и гражданское строительство»,

Бендерский политехнический филиал

Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко

Молдова

## АНАЛИЗ ОПОЛЗНЕВЫХ ЯВЛЕНИЙ И СПОСОБЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЙ

**Dmitrieva N.V.**

Candidate of Technical Sciences

Associate Professor of the Department of Construction Technology,

**Popov O.A.**

Candidate of Technical Sciences

Associate Professor of the Department of Construction Technology,

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine

**Stepanenko N.A.**

Master student of the department "Industrial and civil construction"

Bendery Polytechnic Branch of the

Transnistrian State University. T.G. Shevchenko, Moldova

## ANALYSIS OF THE APPEARANCE AND METHODS OF THEIR PREVENTION

**Аннотация:** Работа посвящена проблеме оползневой ситуации в Молдове. Проведен анализ технологических решений укрепления земляных сооружений, в том числе оползневых склонов. В результате анализа выявлены как положительные, так и отрицательные характеристики традиционных армирующих технологий и материалов. Обоснована необходимость применения конструктивно-технологических решений с использованием геосинтетических материалов при армировании земляных сооружений.

**Summary.** The article reveals the problems of landslide situation in Moldova. The analysis of technological solutions for earthworks, including those on landslide slopes, has been made. As a result of the analysis, both positive and negative characteristics of traditional reinforcing technologies and materials were identified. The necessity of using constructive-technological solutions with the use of geosynthetic materials when reinforcing earthen structures is substantiated.

*Ключевые слова:* оползневые явления, геоматериалы, технологические решения, укрепление склонов, откос, земляные сооружения.

*Keywords:* landslide phenomena, geomaterials, technological solutions, slope reinforcement, slope, earthworks.

**Постановка проблемы.** На сегодняшний день в Молдове зафиксировано более 17 тысяч оползневых зон, общей площадью 790 квадратных километров. Оползни зафиксированы в 984 населенных пунктах. В 450 - активность довольно высока. Наибольшая зона поражения в Дубосарском, Телештском, Шолданештском, Оргеевском, Бричанском, Каларшском, Страшенском, Кагульском и Унгенском районах.

Начиная с 1975 г. по настоящее время инженерно-геологической службой осуществляет контроль над состоянием оползнеопасных зон на территории Молдовы. Необходимость ведения таких работ была вызвана значительной активизацией оползневых процессов, захватывающих все большую территорию страны [1]. Серьезные трудности могут возникнуть при укреплении склонов, которые могут подвергаться оползням, так как участки

на берегах водоемов и склонов оврагов являются подвижными из-за того, что под верхним слоем грунта залегает глина. Эти слои подвергаются разрушению за счет потоков дождевой воды, проседают после таяния снегов, осыпаются от перепадов температур и деятельности человека. Их рельеф изменяется с течением времени. Иногда это случается очень быстро.

Решением этой проблемы является повышение устойчивости оползневого откоса. На сегодняшний день известен ряд конструктивно-технологических решений, повышающих устойчивость откосов, однако они не позволяют в полной мере решить поставленную задачу.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Метод укрепления грунта армированием был предложен французским ученым Анри Видалем в 60-х годах XX века. Укрепление грунта встречается

и в более ранних сооружениях с использованием тростника, соломы и бревен. Таких, например, как зикуррат древнего города Агар-Каф или великая китайская стена, построенная на армированном грунте с примеси гравия и веток тamarиска. Известно, что римляне еще в 1-ом веке использовали армирование грунта, чему свидетельство построенные вдоль Тибры земляные дамбы, армированные тростником [2,3].

В настоящее время существуют различные способы укрепления склонов, откосов и земляных сооружений при их устройстве.

Технология возведения грунтовой подпорной стенки с применением армирующих элементов из дерева и облегченной облицовки, предложенной Манстером (США)[4], не получила распространения в современном строительстве из-за сложности изготовления оболочки и нерационального материала армирования.

Ступенчатая стенка из сборных железобетонных плит с использованием металлических тяг с анкерами и обратной засыпкой из сортированного камня предложенная во Франции)[5], так же имеет недостаток - использование стальных тяг, подвергающихся коррозии.

Сегодня одним из распространенных способов армирования грунтового и дорожного полотна является способ с использованием георешетки, изготовленной из полиэтиленовых лент, расположенных в шахматном порядке [6]. Недостатками такого способа являются ограничение области применения, сравнительно большой расход материала, соответственно удорожание сооружения в целом. Недостатком является высокая трудоемкость, обусловленная необходимостью тщательной планировки поверхности откоса и закрепления.

Известен способ укрепления склонов утилизированными автопокрышками скрепленными между собой соединительными элементами и внедренными в тело земляного полотна. Пространство между покрышками заполняется бутовым камнем. Недостатками такой технологии являются высокие трудозатраты, опасность воспламенения и отсутствие данных об экологической безопасности.

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Исходя из анализа литературных источников, можно выделить недостатки традиционных армирующих технологий и материалов к которым относятся ограничение срока службы дерева и стали, высокая трудоемкость и стоимость производства работ.

Решение сформулированной задачи невозможно без анализа состояния оползневой ситуации в регионе и эффективности конструктивно-технологических решений, повышающих устойчивость откосов.

**Формулирование целей статьи** Целью данной статьи является анализ состояния оползневой ситуации в Молдове и конструктивно-технологических решений укрепления откосов с использованием геосинтетических материалов.

**Изложение основного материала.** Наибольшую обеспокоенность специалистов вызывает ситуация в селе **Нижние Климэуцы** Шолданештского района, Бэлэсинештах Бричанского района, а так же в трех селах Кагульского района. По официальным данным, оползни наносят населенным пунктам Молдовы ущерб на сумму в 30 миллионов леев ежегодно. Общая площадь земель, которым угрожают оползни, составляет более 20% территории страны.

В Кишиневе таких зон риска – более 60. Подобные зоны есть во всех районах столицы. На этих участках находятся и частные дома, и многоэтажные жилые корпуса. За последние 20 лет только на территории города Кишинев произошло несколько оползней. Первый из них произошел 23 января 2008г [7]. Он стал причиной обвала стены строящегося объекта в микрорайоне «Телецентр» столицы Молдовы. В непосредственной близости от оползневой зоны находится жилой пятиэтажный дом, жильцы, которого впоследствии были эвакуированы.

В районе Карьерного переулка в Кишиневе 22 июня 2014г. произошел оползень [8], в результате которого образовался огромный провал (рис.1). Специалистами строительной фирмы были предприняты попытки остановить распространение оползня, пока это не привело к решению проблемы.



Рис.1 Провал в Кишиневе, в районе Карьерного переулка.

В селе Тогатино [9] сложилась опасная ситуация.

С конца марта 2006г. около 30 домов по улице Пэдурилор находятся на краю оползневой зоны. На сегодняшний день на территории села сформировалось семь оползневых зон.

Смещение пластов почвы, на которой стоит село Маркэуць Дубоссарского района (рис.2), при-

водит к тому, что дома жителей села буквально рушатся на глазах. В стенах за считанные дни образуются трещины толщиной в несколько сантиметров, а в полу и в фундаменте появляются разломы. Село, в котором живут более 700 человек, находится высоко над Днестром, более чем в 150 метрах над уровнем моря, и оползни грозят полностью уничтожить этот населенный пункт.



Рис.2 Село Маркэуць Дубоссарского района

30 марта 2018 в результате оползня повредились несущие конструкции жилого дома в селе

Маркэуць Дубоссарского района, появились трещины в наружных стенах шириной раскрытия 5-8см. (рис.3).



Рис.3 Разрушение несущих конструкций дома в селе Маркэуць.

Еще один очаг оползней возник в городе Леова [10]. Первые оползни начались около 20 лет назад, однако в последние годы проблема усугубилась. 12 домов сползают в реку Прут с обрыва. Ситуацию усугубляют подземные воды.

Все места, возможного образования оползней находятся в зоне ответственности ученых и инженеров АНМ и института геологии и сейсмологии Молдовы. Кроме этого, там же должны проводиться предупредительные меры, заключающиеся в разработке построек, предназначенных для

предотвращения или ограничения оползней путем стабилизации земляного полотна.

Укрепление склонов – одно из важных мероприятий при создании искусственных склонов и откосов. Для укрепления склонов, пользуются различными методами, подбираемыми с учетом уклона, близости грунтовых вод, вероятности подмыва участка при разливе водоемов, особенностей грунта и других неблагоприятных природных факторов.

В первую очередь учитывается величина уклона. При маленьких и средних уклонах – до 8% – склоны укрепляются растениями вертикального и горизонтального действия и деревьями. Во многом укреплению наклонных поверхностей участка способствуют растения с развитой корневой системой, которые специально высаживаются в ячейках укрепляющих конструкций. Корневая система растений, переплетаясь с крепежом и конструкцией укрепителя, усиливает почву, препятствует ее эрозии и оползневым процессам.

При уклонах выше среднего – то есть от 8%, до 15% – обычно применяют искусственные конструкции в виде биоматов, геотекстилей, газонных решеток, геосеток. Для укрепления склонов разного

уклона строительная индустрия предлагает разнообразные материалы и конструкции.

Проектирование укрепления крутых склонов можно разделить на несколько стадий:

1. Расчёт общего давления грунта: производится визуально.

2. Выбор укрепляющего материала исходя из уклона грунта и его свойств.

3. Определение зоны усиления и выбора анкерного крепления. Его производится в зависимости от выбранного материала. Если есть вероятность оползней или другие неблагоприятные факторы: сброс воды, подмыв склона и т.д., применяется комбинированный крепеж.

При защите склонов от оползней и разрушения часто используется геотекстиль (Рис.4).



Рис.4 – Рулон геотекстиля

Это обусловлено тем, что прочность на сдвиг у геотекстиля намного выше, чем у грунта. За счет этого свойства грунт в комбинации с геотекстилем способен выдерживать намного большие нагрузки.

Перед укладкой геотекстиля (рис.5.) поверхность склона выравнивают. Если площадка засыпается вровень с поверхностью, то следует вынуть грунт. Глубина выемки: 20-50 см – определяется при проектировании. Затем выемка, дно и стены, застилаются геотекстилем. Сверху насыпают слой щебня или гравия. На него укладывается еще один слой геотекстиля. Затем засыпается песок, на него укладывают брусчатку, декоративный камень или плитку. Если планируется площадка выше уровня земли, то после выравнивания поверхности на грунт укладывают геотекстиль с перекрытием 20

см. По периметру укрепляемой поверхности устанавливают опалубку. Геотекстиль засыпают песком или щебнем, сверху на него укладывается следующий слой полотна, который снова засыпается песком. После этого на песок укладывают цементный раствор, на который кладут плитку. Технологические рекомендации укладки геотекстиля, представленные ниже, должны строго соблюдаться.

1. Перекрывающиеся части геотекстиля закрепляют с помощью костылей, скоб или путём укладки небольшого количества насыпного материала вдоль швов. Костыли и скобы могут быть из дерева или металлическими, иметь длину около 20 см.

2. Укладка геотекстиля производится непосредственно перед его засыпкой заполнителем [11].



Рис. 5. Склон, укрепленный с помощью геотекстиля.

#### Выводы из данного исследования и перспективы

1. Анализ состояния оползневой ситуации в регионе говорит о необходимости применения инновационных технологий укрепления склонов.

2. В информационных источниках отсутствует информация о научных исследованиях влияния технологических параметров применения геотекстиля на устойчивость таких сооружений, что способствует дальнейшим исследованиям в этой области.

3. Наиболее перспективной технологией укрепления земляных сооружений является технология с использованием геотекстиля.

#### Использованная литература:

1. Мониторинг опасных геологических процессов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ehgeom.gov.md/ru/proiecte-din-bugetul-de-stat/monitorizarea-proceselor-geologice-exogene>

2. Исторический очерк применения армированного грунта в строительстве: перевод: Vidal A. : Revue generaldes routes, Ponts et aerodromes. – 1986. №635.- p.65-72. – М.: ВЦП – №25647. 1988. – 28с.

3. Тимофеева Л.М. Армирование грунтов, теория и практика применения. – Пермь.: Перм. политех. инст., 1991.- 478с.

4. Elvidge C.B. Raymond G.P. Laboratory survivability of nonwoven geotextiles on open-graded crushed aggregate// Geosynthetics International. I.F.A.I. St. Paul, U.S.A. Vol. 6 №2. – 1999. – P.93-117.

5. Элементы, сооружения и конструкции земляного полотна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.idt-invest.ru/termin9.htm>

6. Принципиальные схемы конструктивно-технологических решений по применению объемных георешеток "ПРУДОН-494" и примеры их реализации в транспортных сооружениях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/text/Principialnyesxemykonstru.html>

7. Активный оползень стал причиной обвала стены строящегося объекта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://point.md/ru/novosti/proisshestviya/aktivnij-opolzenj-stal-prichinoj-obvala-steni-stroyaschegosya-objekta>

8. Часть кишиневцев опасается, что их дома могут уйти под землю [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://point.md/ru/novosti/obschestvo/chastj-kishinevcev-opasaetsya-chto-ih-doma-mogut-ujti-pod-zemlyu>

9. Оползневый процесс в Тогатино приостановился [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://point.md/ru/novosti/obschestvo/opolznevij-process-v-togatino-priostanovilsya>

10. На краю обрыва [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.canal3.md/ru/na-kraju-obryva\\_64070.html](https://www.canal3.md/ru/na-kraju-obryva_64070.html)

11. Дать схему укрепления склонов оврагов. Типы укрепления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/5768372/page:3/>

**Kozhamzharova D.P.**

*Doctor of Historical Sciences, Professor,  
Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan  
Professor of the Department "History of Kazakhstan"*

**Zhantsov K.T.**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Academician of the Russian Academy of Natural Sciences  
Professor of the Department "Chemical technology of inorganic substances"*

**Moldabekov Sh.M.**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Academician of the National Academy of Engineering of the Republic of Kazakhstan.*

**Esimov B.O.**

*Doctor of Geology Mineralogical Sciences, Professor*

**Dormashkin O.B.**

*Doctor of Technical Sciences, Professor*

**Naukenova A.S.**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the department  
"Life Safety and Environmental Protection"*

**Zhantsov M.K.**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

**Zhantsova D.M.**

*Master of Economics senior teacher of the department*

**Kenzhalieva G.D.**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
M.Auezov South Kazakhstan State University,  
Shymkent, Republic of Kazakhstan*

#### **ECOLOGICALLY CLEAN PRODUCTS AND ECONOMIC ASPECTS OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT**

**Кожамжарова Д.П.**

*доктор исторических наук, профессор,  
академик Национальной академии наук Республики Казахстан,  
профессор кафедры «История Казахстана»*

**Жантасов К.Т.**

*доктор технических наук, профессор,  
академик Российской академии естествознания,  
профессор кафедры «Химическая технология неорганических веществ»*

**Молдабеков Ш.М.**

*доктор технических наук, профессор,  
академик национальной инженерной академии Республики Казахстан.*

**Есимов Б.О.**

*доктор геолого-минералогических наук, профессор*

**Дормешкин О.Б.**

*доктор технических наук, профессор*

**Науkenova A.S.**

*кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой  
«Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды»*

**Жантасов М.К.**

*к.т.н., ассоциированный профессор,  
доцент кафедры «Нефтегазовое дело»*

**Жантасова Д.М.,**

*магистр экономики, старший преподаватель кафедры*

**Кенжалиева Г.Д.**

*к.т.н., доцент кафедры  
«Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды»  
Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауэзова,  
г. Шымкент Республика Казахстан*

#### **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЧИСТЫЕ ПРОДУКТЫ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

**Abstract:** The aim of the work is the development new assortments of the tucomixtures of the raising the quality of agricultural crops, while the decisive reduction of environmental damage is natural and welfare improved the Earth's population.

The theoretical and practical economic aspects of the evaluation of the production of environmentally friendly products and rational nature use are given information about the history of the appearance of fertilizer materials and the development of technologies for obtaining a tucomixtures of mechanochemical activated phosphate-silicone raw materials, based on mechanical slides of the talls of the little truth and dust, settled in cyclones and filters of the agglomeration production, for the purpose of rational nature management.

The materials are used for chemical and granulously the production of basic starting materials, phosphate and granulometric compositions of the main starting materials, phosphate, vermiculite, internal overburden formed during the extraction of brown coal, and potassium-containing raw materials, based on potassium bicarbonate, technical.

It is shown that the content of the components of the mixture is (in mass%): phosphates 70-75; vermiculite 9-12; internal coal overburden 8-12; potassium bicarbonate 5-7;

Given the optimal technological parameters of the pilot plant, with the centrifugal-elliptical mill AS-500, to obtain up to 500kg / hour of activated raw materials and fertilizer mixtures containing humectants, trace elements and humates based on potassium bicarbonate and carbon, located in the coal overburden.

The data of analyzes on the chlorine content of organic pesticides, heavy metals and radionuclides in various constituent parts of cultivated plants - stems and fruits are given during the experimental tests of ZHAMB-70 tucomixtures on various cultivated areas of farmers in the South Kazakhstan region. Information is given on the increase in yields of various agricultural crops at different ratios of the components of the mixed fertilizers introduced into the soil of sown lands.

**Аннотация:** Цель работы - разработка новых ассортиментов тукосмеси, повышающих качество продукции сельскохозяйственных культур, при одновременном снижении экологического ущерба природной среде и улучшении благосостояния населения планеты Земля.

Исследованы теоретические и практико-экономические аспекты оценки получения экологически чистых продуктов и рационального природопользования

Приведены сведения об истории возникновения удобрительных материалов и по разработке технологии получения тукосмеси из механохимической активированного фосфатно-кремнистого сырья, на основе механических просыпей отсевов мелочи и пылей, улавленных в циклонах и электрофильтрах производства агломерата из отсевов фосфоритов, с целью рационального природопользования.

Представлены материалы по химическому и гранулометрическому составам основных исходных материалов из природных минералов - фосфатов, вермикулита, внутренним вскрышным породам, образующихся при добыче бурых углей, и калий содержащего сырья, на основе бикарбоната калия, технического.

Показано, что содержание компонентов тукосмеси составляет (в масс %): фосфатов 62-70; вермикулита 10-12; внутренних вскрышных пород угледобычи 10-12; бикарбоната калия 2-3,0, серы 2 от 3, бурого угля 3-5 и аммофоса по заказу фермеров и химического состава почвы 5.

Даны оптимальные технологические параметры работы опытной установки, с центробежно-эллиптической мельницей АС-500, по получению до 500кг/час активированного сырья и тукосмеси, содержащей влагоудерживающие вещества, микроэлементы и гуматы на основе бикарбоната калия и углерода, находящегося во внутренних вскрышных породах угледобычи.

Приведены данные анализов по содержанию хлор органических пестицидов, тяжелых металлов и радионуклидов в различных составных частях культурных растений - стеблях и плодах, при проведении опытных испытаний тукосмеси ЖАМБ-70 на различных посевных площадях фермеров Южно-Казахстанской области.

Даны сведения по приросту урожайности различных сельскохозяйственных культур при различных соотношениях компонентов тукосмеси, вносимых в почву посевных угодий.

**Key words:** *phosphate, vermiculite, internal overburden of coal mining, potassium bicarbonate, brown coal, mixtures, crops, organochlorine pesticides, heavy metals.*

**Ключевые слова:** *фосфат, вермикулит, внутренние вскрышные породы угледобычи, бикарбонат калия, бурый уголь, тукосмесь, сельскохозяйственная культура, хлорорганические пестициды, тяжелые металлы.*

### Введение

Современный агропромышленный комплекс в течение последних лет не в достаточной мере использует минеральные удобрения по ряду объективных и субъективных причин. Это привело к истощению плодородия земельных угодий представителей среднего и малого бизнеса, фермеров, крестьянских хозяйств и индивидуальных предпринимателей.

Рациональное природопользование с одновременным решением экологической безопасности промышленных регионов, обеспечивающих благосостояние населения страны, является одной из основных приоритетных направлений.

Это относится и к агропромышленному комплексу, имеющему отношение к выпуску продуктов потребления сельскохозяйственных культур не только для людей, но и для животных и птиц.

К предприятиям, которые работают на природном сырье и ежечасно выбрасывают многотоннажные твердые, жидкие и газообразные отходы можно отнести и тепло-энергоцентрали (ТЭЦ), связанные с образованием зольных отходов, а также химической, металлургической, горно-рудной и угледобывающей промышленности, а также строительную, перерабатывающие многомиллионные тонны сырьевых ресурсов.

Все эти отходы наносят невосполнимый ущерб окружающей среде и в тоже время, являются хорошим сырьем для производства минеральных удобрений и тукосмесей, содержащих макро и микро-элементы, остро необходимые для метаболизма растений.

Применение в качестве удобрений соединений фосфора относится к древним временам, когда не существовало еще письменности и сведений о том, где их начали применять впервые отсутствуют [1].

По историческим сведениям за 200 лет до нашей эры карфагеняне в качестве удобрений применяли птичий помет [2], в состав которого входит большинство макро и микро-элементов участвующих в метаболизме растений. Кать и Колумело [2] были первыми авторами книг о земледелии, где они рекомендовали применять для удобрения лугов, пашен и садов помет голубей. Также к далекой древности относится использование в качестве удобрений костей животных, туков из рыбы и гуано. Так например, начало применения гуано в Европе датируется примерно 1839 годом [3], в то время как инки в Перу [4] применяли это удобрение задолго до покорения этой страны испанцами. Отмечается, что ещё в 1550г Палисси [5] объяснил эффективность помета наличием растворимых солей в этом веществе.

В течение долгого времени три вида этих материалов оставались основными источниками удобрений. Природа этих соединений и микроэлементов входящих в состав этих удобрений требовала расширенных исследований.

Элементарный фосфор по историческим данным был известен арабским алхимикам ещё в XII веке, и получен алхимиком Алхид Бехиль [5,1]. В первые фосфор в Европе был получен алхимиком из Гамбурга Братдтом в 1669г при поисках философского камня [6]. Упаривая значительные количество мочи им было получено фосфоресцирующее в темноте вещество названное фосфором.

Прошло более 175 лет, как немецкий химик Юстус Литих издал книгу «Сельскохозяйственная химия», где он утверждал, что «наступает время, когда пашня и каждое растение будет обеспечено необходимым для него удобрением, изготавливаемых на химических заводах». Он еще в 1840г научно доказал, что источником питания растений служат воздух, вода и почвенные растворы минеральных веществ [7].

В 1901году было положено начало фиксации азота воздуха в пламени электрической дуги, а в 1906г промышленно осуществлен цианамидный

метод связывания атмосферного азота. Так например, цианамид кальция хорошее удобрение которое может служить сырьем для получения аммиака [8].

Известно, что для перевода фосфора из фосфатного сырья в формы соединений усвояемые растениями, необходимо применять азотную кислоту, оставшуюся в составе удобрений в виде полезного компонента азота. Идея этого процесса принадлежит академику Д.Н. Прянишникову еще 1910 году, указавшему на перспективность азотнокислотной переработки фосфатного сырья [9].

Многие микроудобрения, применяемые в сельском хозяйстве, представляют из себя соли или оксиды металлов, которые при определенных условиях не полностью переходят в растения [10-30].

Так например, многие микроэлементы при их использовании быстро сорбируются почвенными комплексами и переходят в недоступные для растений формы, а минеральные соли железа и цинка не оказывают влияния в щелочных почвах.

На фоне достижений химической подотрасли и сельскохозяйственного сектора экономики, имеются и недостатки, которые отрицательно характеризуют природоохранные и экологические показатели в промышленных регионах и агропромышленном комплексе. В почвах посевных площадей наблюдаются постоянное снижение содержания гумуса, увеличение засоленности пахатных земель от пересыщения солями и кислотами, за счет близости подпочвенных вод ухудшающих биологические свойства земельного покрова. Нерегулируемое применение средств защиты и стимулирования роста растений привело к накоплению в почвах и грунтовых водах остатков минеральных удобрений и ядохимикатов, изменению состава биогеохимических потоков и загрязнению природной среды.

Поддержание состояния пахатных и посевных земель, обеспечивающих необходимый уровень урожайности, требует с каждым годом значительных материальных затрат, что приводит к неизбежному повышению стоимости производимого сельскохозяйственного сырья и продуктов питания. Улучшение качества и количества продуктов питания должно обеспечиваться применением различных агротехнических приемов, со знанием химического состава почвы, органоминеральных удобрений и тукосмесей, содержащих макро- и микро-элементы, которое остро необходимые посевным земельным угодиям.

#### Экспериментальная часть

Предпосылками к выполнению исследований явилось снижение качества продукции сельскохозяйственных культур агропромышленного комплекса и ухудшение экологического состояния природной среды, за счет нерационального отношения к ней. С учетом вышеуказанного, сотрудниками и специалистами Южно-Казахстанского государственного университета им. М.Ауэзова, совместно с Белорусским государственным технологическим университетом (БГТУ) Республика Беларусь, государственным технологическим институтом (Техни-

ческим университетом) Российской Федерации, Казахским научно-исследовательским институтом агрохимии и почвоведения им. А.А.Успанова и Казахским научно-исследовательским институтом защиты растений и карантина реализованы грантовые работы Министерства образования и науки Республики Казахстан по темам: «Создание технологии и разработка научных основ синтеза поликомпонентных минеральных удобрений со специфическими особенностями для сероземных почва» [19] и «Исследование изменения содержания санитарно-эпидемиологических, токсикологических и радиологических соединений в томатах, моркови, кукурузе и сое-бобовых культурах при применении гуматсодержащих сложно-смешанных NPK удобрений пролонгированного действия, для обеспечения экологической безопасности» [20].

Общеизвестно, что минеральные удобрения, как простые, так и сложно смешанные, содержащие азот фосфор и калий, получают из природных сырьевых ресурсов. Так например, получение однокомпонентных фосфорных и многокомпонентных удобрений основано на экстракции фосфора из тонкоизмельченных природных фосфатов путем выщелачивания серной, азотной или соляной кислотой, который требует значительных расходов материальных и топливно-энергетических ресурсов [12-20].

Нами предлагается получение тукосмеси из отходов различных отраслей экономики государства, с одновременным решением природоохраненных

мероприятий и частичной рекультивацией посевных площадей [10-11].

По данным работы Пинского [21] известно, что в почвенном покрове протекают ионообменные процессы. Это связано с тем, что вносимая в почвенный покров тукосмесь, в результате взаимодействия с почвой подвергается различным процессам превращений, влияющих на ее способность к передвижению в земном слое растворимых элементов, входящих в состав туков и их доступность по корневой системе растениям. Так например, один из основоположников современной химии почв, выдающийся физико-химик почвовед К.К.Гедройц [21] сформировал такие понятия, как емкость поглощения катионов почвой, характеризующую ионообменную поглатительную способность почвы катионы или анионы из состава тукосмеси.

Количественный состав высоко дисперсных частиц зависит от обменных катионов и увеличивается при насыщении почвы катионами в соответствии с показанным рядом:  $H^+ \leq B^{2+} < Ca^{2+} < Mg^{2+} < K < Na^2$ , которые содержатся во внутренних вскрышных породах угледобычи, а также гуминовых кислот, играющих значительную роль в создании почвенного плодородия и питание растений.

Для решения поставленной задачи проведены исследования по получению тукосмеси из природного сырья и отходов различных отраслей экономики Южных регион Республики Казахстан [22-24]. Усредненные значения результатов исследований представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1.

**Усредненный химический состав шихтовых материалов.**

Наименование пробы	Содержание основных компонентов (%,%)								
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> общ	Н.О	СаО	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	S общ.	С св.	F
Третичный возврат агло-производства	22,3	28,4	34,2	1,9	12,6	5,1	0,25	0,9	0,8
Пыль циклона агло-производства	21,0	30,4	21,4	4,6	12,8	4,9	0,74	5,6	0,9
Пыль электро-филтраагло-производства	2,	28,4	Не опр.	Не опр.	14,4	5,4	0,35	2,2	0,7
Вермикулит обогащенный	7	42,5	3,6	Не опр.	38,7	7,5			
Внутренние вскрышные породы	Не опр.	24,3	14,7	1,3	0,7	0,6	0,24	17,9	0,07
Бурый уголь		18,1	6,9	1,1	0,8	0,6	-	67,9	-

Таблица 2.

**Усредненный химический состав сложно-смешанных минеральных удобрений за период опытно-промышленных испытаний**

п/п	Наименование проб	Содержание компонентов						
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> общ.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> водо-раст	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> усв.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> лимонно раст.	Азот, аммонийный	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
1	PK удобрение содержащее аммофос	17,2	2,91	4,7	3,4	0,2	5,7	0,5
2		17,6	3,3	4,7	3,3	0,2	6,0	0,5
3	NPK удобрение	20,7	7,0	6,4	5,9	0,9	4,8	0,6
4		19,4	5,1	6,3	5,5	0,8	4,8	0,5

В ходе проведения экспериментальных исследований и опытных испытаний на опытной технологической установке, производительностью 500кг/час по получению нового ассортимента сложно смешанного удобрения тукосмеси, «ЖАМБ-70» показанной на рис 1, подтверждены наши предположения и гипотезы[10-11].

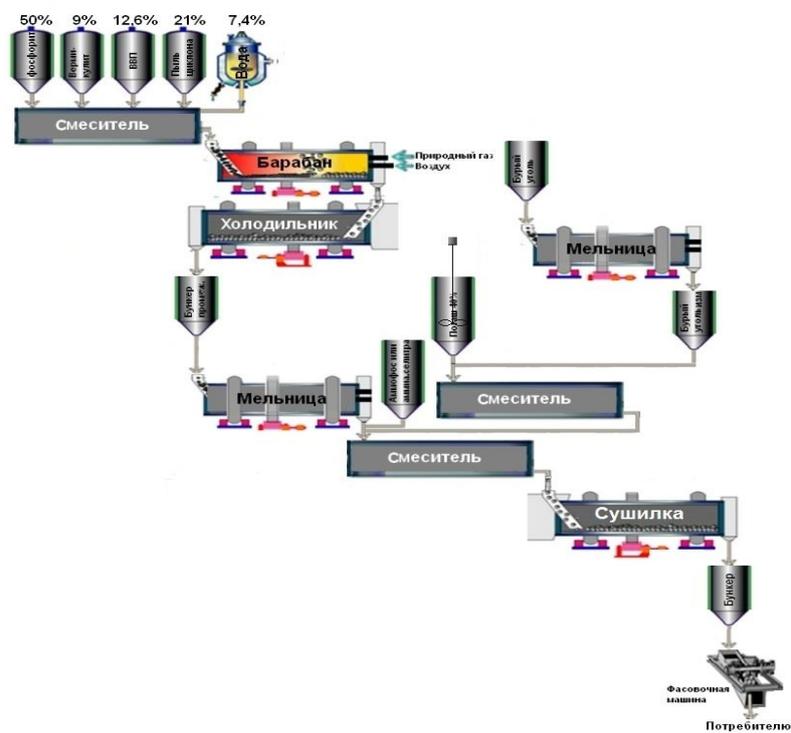
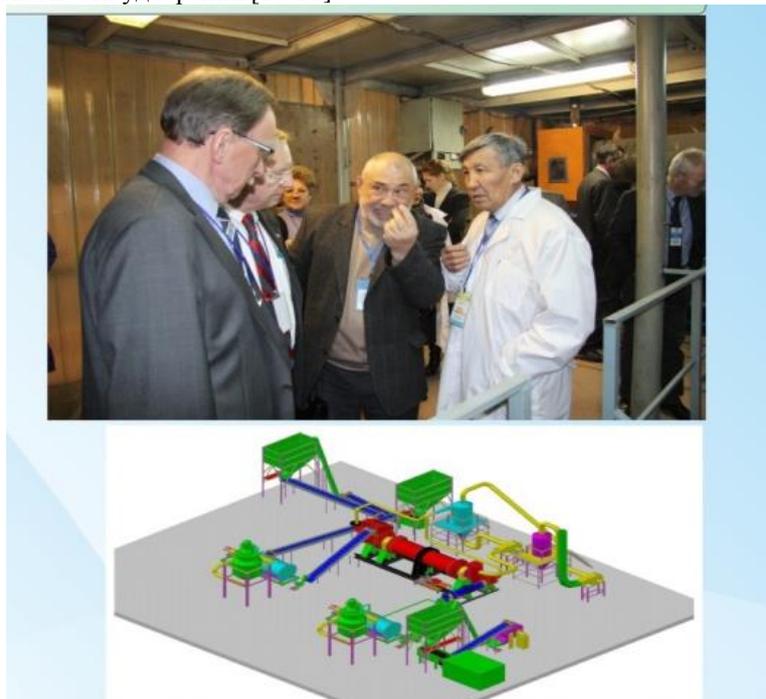


Рисунок 1. Аппаратурно технологическая схема опытной установки получения тукосмеси «ЖАМБ-70»

Анализы, проведенные в аккредитованных лабораториях «Сапа» и Исследовательской региональной лаборатории инженерного профиля ЮКГУ им. М.Ауэзова показали, что фактические показатели по содержанию макро и микроэлементов находятся в пределах норм гостов и соответствия удобрения «ЖАМБ-70» требованиям и безопасности удобрения [10-11].





Проведенные в РУП Научно-практическом центре Национальной академии наук Беларуси по продовольствию, полученные в Республиканском контрольно-испытательном комплексе по качеству и безопасности продуктов в январе 2017г, в лаборатории государственного Белорусского технологического университета в 2015 и 2017 годах и в КазНИИ защита растений и карантин на хлороганические пестициды в разных точках мест опытов на различных продукциях сельхозкультур в период с 2015 по 2017 года показали в большинстве случаев их отсутствие, а наличие тяжелых металлов не превышало нормативные показатели [11].

На основании положительных результатов исследований разработан стандарт организации «Сложно-смешанные минеральные удобрения пролонгированного действия «ЖАМБ-70», Технические условия СТ 2425-1958-01-ГП-001-2014.

В соответствие технологической схеме исходные материалы компонентов шихты, взятые в определенных количествах, перед подачей во вращающуюся печь и центробежную эллиптическую мельницу-активатор тщательно перемешивают (по стадийно):

- фосфоритная мелочь, внутренние вскрышные породы (ВВП) и вермикулит;
- измельченный до пылеводной фракций бурый уголь и 40%-ый водный раствор бикарбоната калия.

В процессе измельчения фосфатного сырья, совместно с ВПП и вермикулитом, происходит механо-химическая активация материала, а взаимодействия водных растворов бикарбоната калия и углерода бурых углей к образованию гуматов как при получении тукосмесей, так и при взаимодействии углерод, кали и натрий содержащих элементов в почвенной среде.

В ходе опытно-промышленных испытаний установлена принципиальная возможность получения механо-активированного поликомпонентного сложно-смешанного влагоудерживающего N-P-K-гумус-содержащего удобрения пролонгированного действия с микроэлементами. В зависимости от химического состава почвы, по заказу потребителя в состав шихты добавляют аммофос для увеличения содержания фосфора и азота.

За период опытных испытаний наработано более 3000 кг сложно-смешанных удобрений «ЖАМБ-70» пролонгированного действия содержащего влагоудерживающие вещества, гуматы и микроэлементы, (табл. 3) которые испытаны при посадке различных сельскохозяйственных культур: кукуруза, подсолнух, томаты, баклажан, перец болгарский, морковь, сое-бобовые, картофель, сорго и хлопчатник на посевных площадях КХ «Жантас» Казгуртского района, ТОО «Борсыксай» и ТОО «Март» Ордабасинского района и на арендованных ЮКГУ им. М. Ауэзова площадях в сельском округе Жаскешу Тулкибасского района Туркестанской области.

Таблица 3.

**Соотношение компонентов в сложно-смешанном удобрении пролонгированного действия**

Проба	Проба №1	Проба №2	Проба №3	Проба №4	Проба №5
Пыль циклона	70,0	64,0	62,0	67,5	100
Вермикулит	10	10	12,5	12,5	-
Бурый уголь	5	5	3	0	-
ВВП	10	10	12,5	12,5	-
Аммофос	0	5	5	5	-
Сера	2	3	3	0	-
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3	3	2	2,5	-

Испытания показали положительные результаты не только по увеличению урожайности, но и по отсутствию наличия тяжелых металлов и радионуклидов в растениях и плодах исследуемых сельскохозяйственных культур.

Усредненный химический состав исследуемых проб по основным компонентам тукосмесей и их содержания показаны в таблице 4.

Таблица 4.

**Усредненный химический состав проб по основным компонентам (в %)**

Проба	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> общ	Усвояемый	Азот	K <sub>2</sub> O	гумат	вермикулит	сера
		Лимонно растворим.					
Проба 1 68%	17,2	5,39	0,9	4,8	5,1	10	2
		5,42					
Проба 2 64%	17,7	6,42	0,8	4,8	5,4	10	3
		5,48					
Проба 3 59%	14,2	5,9	0,2	5,7	5,9	12,5	3
		5,4					
Проба 4 59%	13,6	5,4	0,2	6,0	5,8	12,5	3
		4,9					
Проба 5 100%	20,7	6,49					
		5,87					

Анализ таблицы показывает, что содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>общ составляет более 15%, в том числе (в%) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>усв и лимонно растворимое 5,9 и 5,4; азота от 0,2 до 0,9; калия в пересчете на K<sub>2</sub>O 5,3; гуматов около 5,6; вермикулита 11,25 и серы 2,75.

Испытания удобрений на посевных площадях позволили получить значительный привес продукции сельскохозяйственных культур, на 10-20%, данные которых приведены в таблице 5.

Таблица 5.

**Усредненный выход продукция различных сельхоз культура в период испытаний тукосмеси «ЖАМБ-70».**

Наименование культуры	Съем урожая с 1м <sup>2</sup> посевной площади (кг) за период испытаний с 9 августа по 9 октября 2015г.						Повышение урожайности, % мин/макс
	Контрольное без удобрения	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4	Проба 5	
1	2	3	4	5	6	7	8
Кукуруза	5,39	6,16	6,74	6,14	6,24	6,34	14-25,0
Сорго	39,83	43,76	49,09	45,50	48,50	48,96	9,9-24,2
Подсолнуха	2,41	2,57	2,65	2,87	2,83	2,7	6,60-19,1
Томаты	36,7	44,47	49,09	45,17	48,53	49,0	21,2-33,8
Фасоль	1,82	1,95	2,34	2,08	2,53	2,1	7,1-39,0
Морковь	2,85	3,20	3,35	3,15	3,50	3,3	10,56-22,8
Болгарский перец	7,0	7,9	9,8	7,5	10,3	8,8	7,1-47,1
Баклажаны	8,1	9,3	11,5	8,9	12,4	10,8	9,9-53,1
Хлопок, сырец	3,14	3,52	3,62	3,56	3,73	3,47	10,50-18,8



Рисунок 2. Исследования развития и роста различных растений сельскохозяйственных культур полевых площадях КХ «Жантас»

Анализ таблиц показывает, что продукты сельскохозяйственных культур, выращенных на посеваемых площадях крестьянского хозяйства «Жантас», ТОО «Борсыксай» и ТОО «Март» с применением удобрения (тукосмеси) является экологически чистым и безопасными для жизнедеятельности живых организмов.

#### Обсуждение.

1. На основании анализа современного состояния производства удобрений с рациональным, использованием природных ресурсов и получением экологически чистых продуктов поставлены цели и задачи исследований.

2. Разработаны способы получения сложно-смешанного поликомпонентного органоминерального удобрения, содержащего в своем составе макро и микро элементы, остро необходимые сельскохозяйственным культурам, входящие в состав внутренних вскрышных пород, вещества на основе влагоудерживающиеся вермикулита, гуматов на основе бурых углей и бикарбоната калия. Представлена технологическая схема с оптимальными параметрами.

3. Проведена проверка разработанной технологии производства тукосмеси «ЖАМБ-70» на технологической с центробежно эллиптической мельницей АС-500 с получением механохимически активированных сложно-смешанных удобрений пролонгированного действия, содержащего в своем составе влагоудерживающие вещества, гуматы, макро- и микро-элементы.

4. Опытными испытаниями тукосмеси «ЖАМБ-70» на фермерских хозяйствах установлено на повышение съема продукции сельхоз культур от 15-50% и более, в зависимости от культуры и состава тукосмеси «ЖАМБ-70». Кроме того, установлено отсутствие в продукции сельхоз культуры органических пестицидов. Тяжелые металлы и радионуклиды, находятся в пределах нормативных показателей, что позволяет сделать вывод об экологической чистоте и безопасности применения. Стебли и зеленую массу сельхозкультур можно также использовать в кормах птиц и животных.

5. Внедрение разработанной технологии получения тукосмеси «ЖАМБ-70» позволяет рациональное применение природных минеральных сырьевых ресурсов с одновременным обеспечением природоохранных мероприятий и получением по экономически выгодной агротехнологии экологически чистые и безопасные сельскохозяйственные продукты.

#### Список литературы:

1. Wm. H. WAGGAMA WPHOSPHORIC ACID, PHOSPHATES AND PHOSPHATIC FERTILIZERS- Second edition American chemical society monograph series. New York, 1953

2. Pliny's "Watural History" Book 17. P 457

3. Thorpe, S.F., and Whiteley, O.B.E., Dictionary of Applied chemistry, 5.p.63 (1941)

4. Fritsch, g., "Manufacture of Chemical Manures" (2 nd. Ed.), pp. 1-2 (1920)

5. Gray, A.N. "Phosphates and Superphosphate", p.22, New York, Interscience Publishers, Inc (1943)

6. Mellor S.M., "A Comprehensive Treatise on Inorganic and Therotical Chemistry", 8,729 (1928)

7. Соколовский А.А. «Технология минеральных удобрений» М. Изд «Химия», 1966 г. 304 с.

8. Атрауенка В.И., Карчин С.И. Технология азотной кислоты. Гос Науч. изд. Химическая литература М. 1962 524с.

9. Набиев М.Н. и др. Жидкие сложные удобрения на основе азотнокислотной переработки фосфатов Изд. Наука УзССР, Ташкент 1965, 404 с.

10. Жантасов К.Т. Создание технологии и разработка научных основ синтеза поликомпонентных минеральных удобрений со специфическими особенностями для сероземных почв. гос регистрации №0112РК02590 Заключительный отчет за 2012-2014гг, г. Шымкент, 2014 ЮКГУ им. М.Ауезова

11. Жантасов К.Т. Исследование изменения содержания санитарно-эпидемиологических, токсикологических и радиологических соединений в томатах, моркови, кукурузе соебобовых культурах при применении гуматсодержащих сложно-смешанных НРК удобрения пролонгированного действия, для обеспечения экологической безопасности.

гос регистрации №0115РК01485 Заключительный отчет за 2015-2017 гг. г. Шымкент, 2014 ЮКГУ им. М.Ауезова.

12. Позин М.Е. Технология минеральных солей удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот 1, ч1. Изд 4-с, искр. Л., издательство «Химия» 1974.- 792 с.

13. Копылев Б.А. технология экстракционной фосфорной кислоты. – 2 с издперераб. - М.: химия, 1981.-224 с

14. Технология фосфорных и комплексных удобрений/ под ред С.Д. Эвенчика и А.А. Кродного М.: Химия, 1987. 464 с.

15. Цыпина Э.Н., Забележинский Ю.А., Унанянц Т.П. Экономика производства минеральных удобрений. М., «Химия»: 1974. 280с.

16. Соколовский А.А., Яшке Е.В. Технология минеральных удобрений и кислот Изд.во «Химия», М., 1971. 456 с.

17. Кувшинников И.М. минеральные удобрения и соли: Свойства и способа их улучшения. М. химия 1987. - 256 с.

18. Справочник агрохимика 2-е изд. перераб и доп.- М.: Россельхозиздат, 1980- 286 с.

19. Смирнов П.М., Муравин Э.А. Агрохимия. - М.: Колье, 1981. - 319с.

20. Калюжный И.Л., Павлова К.К., Лавров С.А. Гидрофизические исследования при мелирации переувлажненных земель. Д.: Гидрометеониздат, 1988. -263с.

21. Пинский Д.Л. Ионообменные процессы в почвах. - 1997.-166с.

22. Патент KZ В 27551 Способ получения сложно-смешанного минерального удобрения.

Опублик. 15.10.2013. Бюл. №10. заявка № 2011/457.1 от 07.11.2011.

23. Инновац. патент KZ A4 29132 фосфорное органоминеральное удобрение. заявка №2013/1144.1 от 02.09.2013 опублик. 17.11.2014г, бюл 11

24. Евразийский патент № 023417 Способ получения комплексного органоминерального удобрения заявка № 201301063 от 04.03.2013 Дата выдачи и опублик. патента 30.06.2016 г.

25. Овсяников Ю.А. Производство экологически чистых продуктов питания как одно из направлений рационального природопользования. Экономика природопользования Известия УрГЭУ, 2 (40) 2012. С156-158.

26. Agronomical Field Testing of newkinds of Multicomponent Mineral Fertilizers Zhantsov K.T., Myrhalikov Z.U., Moldabekov S.M., Zhantsov M.K.

and/and Eurazian Chemico-Technological Journal 17 [2015] 79-86 P.

27. Микроудобрения из зольных отходов ТЭЦ. Пронин В.А., Клименко Е.П. экология и промышленность России, май 2007. С14-15.

28. Микроудобрения для тепличных хозяйств и особенности их применения. М.П. Ладогина, Агрохимическое обслуживание. Гарвиш № 1-2006, с 22-24.

29. Высокоэффективное комплексное микроудобрение. Егоров Д., Егоров Н., Цой С., Шафронов О. Наноматериалы Наноиндустрия. Научно технический журнал. 2011, с 28-30.

30. Микроудобрения в современном земледелии. Гайсин И.А., Сигитова Р.Н., Хабибуллина Р.Р. Казанский гос. аграрный университет. Агрохимический вестник. № 4-2010 с 13-15.

**Vasko P.F.**

*Doctor of sciences (engineering), manager of department, Renewable Energy Institute of NAS of Ukraine*

### **SIMULATION OF HEAT PROCESSES IN STATOR END PACKET OF A GENERATOR**

**Васько Петр Федосеевич**

*доктор технических наук, заведующий отделом,  
Институт возобновляемой энергетики НАН Украины*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В КРАЙНЕМ ПАКЕТЕ СТАТОРА ГЕНЕРАТОРА**

**Summary:** The purpose of work is the creation a mathematical model and studies the heat transfer processes in stator core end zone of a turbogenerator, as well as a scientific substantiation of technical solutions for decrease the tangential unevenness of end packets heat. Found that the teeth at phase zone junction of the stator winding lower layer are the most heating. Their temperature exceeds the limit permissible value (120 °C) under rated load condition of a turbogenerator and negatively affects the state of winding main insulation and reduces the reliability of machine on the whole. With help a mathematical simulation the efficiency of technical solutions for decrease the tangential unevenness of end packets heat and their complex (simultaneous) use, is shown. The complex approach allows reducing the maximum temperature of stator core end packets teeth by 24% and eliminating the unevenness of their heating.

**Аннотация:** Целью работы является создание математической модели и проведение исследований теплообменных процессов в торцевой зоне сердечника статора турбогенератора, а также научное обоснование технических решений, направленных на снижение тангенциальной неравномерности нагрева крайних пакетов. Установлено, что зубцы на стыке фазной зоны нижнего слоя обмотки статора имеют наибольший нагрев. Для номинального режима работы турбогенератора их температура превышает предельно допустимое значение (120 °C), что негативно влияет на состояние основной изоляции обмотки и снижает надежность машины в целом. С помощью математического моделирования показана эффективность технических решений по снижению тангенциальной неравномерности нагрева крайних пакетов, а также комплексного (одновременного) их использования. Комплексный подход позволяет на 24 % снизить максимальную температуру зубцов крайних пакетов сердечника статора и устранить неравномерность их нагрева.

**Keywords:** *turbogenerator, mathematical model, stator core end packet, tangential unevenness, losses, temperature, cooling.*

**Ключевые слова:** *турбогенератор, математическая модель, крайний пакет сердечника статора, тангенциальная неравномерность, потери, температура, охлаждение.*

**Постановка проблемы.** С помощью экспериментальных и теоретических исследований [1 – 4] доказано, что при эксплуатации мощных турбоге-

нераторов, особенно в режиме потребления реактивной мощности, имеет место тангенциальная неравномерность нагрева крайних пакетов сердеч-

ника статора. При этом температура отдельных зубцов может отличаться по окружности в 1,8 – 2,0 раза.

Прежде всего, это касается зубцов межфазных зон, прилегающие пазы которых содержат стержни разных фаз обмотки статора. К тому же, установлено, что уровень нагрева зубцов межфазной зоны зависит от места расположения стержней разных фаз. Максимальный нагрев наблюдается в зубцах, в соседних пазах которых размещаются стержни разных фаз нижнего слоя обмотки статора. Уровень температуры может превышать допустимые для железа статора значения (120 °С), что в эксплуатации негативно влияет на надежность обмотки и турбогенератора в целом. Поэтому обоснование технических решений, направленных на снижение нагрева зубцов на стыках фазных зон обмотки статора и его неравномерности по окружности крайнего пакета сердечника статора турбогенератора, является актуальной задачей.

**Цель работы.** Создание математической модели теплообменных процессов в крайнем пакете сердечника статора для проведения вариационных расчетов нагрева отдельных зон пакета при разных нагрузках и условиях охлаждения.

**Изложение основного материала.** С помощью математической модели выполнен оценочный тепловой расчёт, который, с одной стороны, не требует большого объёма трудовых затрат, а с другой – может представить информацию касательно теплового состояния отдельных элементов и узлов объекта исследования. Использование приближённых методов расчёта допустимо для типовых конструкций турбогенераторов [5]. При этом общепринятое отдельное рассмотрение теплового состояния статора и ротора, поскольку их взаимное влияние друг на друга в этом отношении незначительно [6 – 8].

При создании математической модели приняты допущения, которые упрощают расчеты и вместе с тем не влияют на достоверность модели реальным физическим процессам:

- с учетом транспозиции элементарных проводников стержня, принято, что тепловыделения в меди распределены равномерно;

- тепловые потери в стали сердечника статора в радиальном направлении заданы согласно результатам экспериментальных исследований для турбогенератора аналогичной мощности [8];

- элементы расчетной области рассматриваются как однородные анизотропные тела с усредненными теплофизическими параметрами материалов по соответствующему направлению в пределах элементарных расчетных объемов [6];

- поверхности расчётной области являются гладкими, скорость охлаждающего потока для поверхностей принята постоянной [6]

- коэффициенты теплоотдачи охлаждающих поверхностей определяются в соответствии с известными зависимостями [6, 9] и экспериментальными данными [8];

- зависимость теплофизических параметров (теплопроводности, плотности, теплоемкости) материалов обмотки и сердечника статора от температуры не учитывается;

- при выборе расчетной области учитываются симметрия и периодическая повторяемость элементов конструкции обмотки и сердечника статора, условия охлаждения и тепловыделения по окружности статора [7];

- потери в меди стержня и в стали сердечника статора, а также теплофизические параметры (теплопроводность, плотность и теплоемкость) задаются для ожидаемой расчетной температуры.

С учетом изложенных допущений, конструктивных особенностей и существующей схемы циркуляции хладагента рассматривается полевая задача общего расчета трёхмерного температурного поля для сектора крайнего пакета сердечника и обмотки статора. Для возможности сопоставления уровня нагрева зубцов межфазной зоны, прилегающие пазы которых содержат стержни разных фаз нижнего слоя обмотки статора, с нагревом зубцов со стержнями одной фазы в соседних пазах, расчетная схема охватывает три зубцовых (пазовых) деления статора (рис. 1). Для пазовой части обмотки математически корректно описана тепловая связь с сердечником (сталью) статора. Аналогично описана тепловая связь соответствующих поверхностей пакета и охлаждающих трубок стержня с хладагентом (водородом).

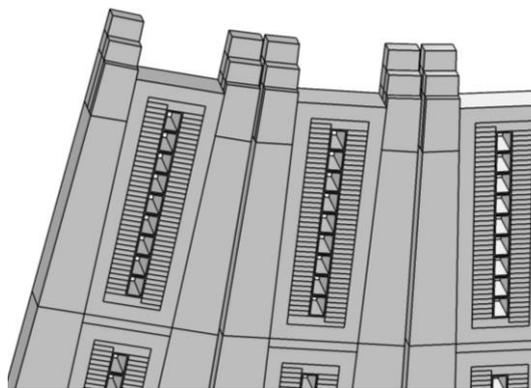


Рис. 1

Температурное поле описывается дифференциальным уравнением теплопроводности

$$c(T, l) \rho(T, l) \frac{\partial T}{\partial t} = \operatorname{div}(\lambda(T, l) \cdot \operatorname{grad} T) + q_v(T, l) \quad (1)$$

где  $T$  – температура в расчетной области;  $c, \rho, \lambda$  – удельная теплоемкость, плотность и коэффициент теплопроводности материала расчетной области, соответственно;  $q_v$  – удельные тепловые потери в расчетной области;  $l$  – соответствующая пространственная координата.

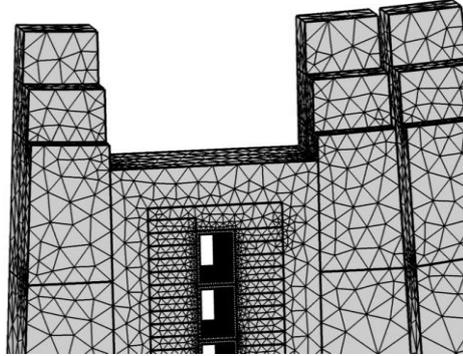


Рис. 2

На внешних границах каждой подобласти установлены следующие граничные условия:

– для каналов охлаждающих трубок стержней обмотки

$$\Delta T_{xi} = \pm \frac{\lambda_{\text{HCT}}}{\alpha_{xi}} \frac{\partial T}{\partial l_i} \quad (2)$$

где  $\lambda_{\text{HCT}}$  – коэффициент теплопроводности нержавеющей стали трубок;  $\alpha_{xi}$  – коэффициент теплоотдачи от стенок охлаждающих трубок к водороду;

– для пакета сердечника статора

$$\Delta T_{xi} = \pm \frac{\lambda_{\text{CT}}}{\alpha_{xi}} \frac{\partial T}{\partial l_i} \quad (3)$$

где  $\lambda_{\text{CT}}$  – коэффициент теплопроводности стали пакета;  $\alpha_{xi}$  – коэффициент теплоотдачи к водороду соответствующей поверхности теплообмена;

– на границе контактных поверхностей элементов расчетной области задается равенство тепловых потоков

$$\begin{aligned} \pm \lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial n}(\xi - 0) &= \Lambda_k [T_i(\xi + 0) - T_j(\xi - 0)]; \\ \Lambda_k [T_i(\xi + 0) - \theta_j(\xi - 0)] &= \pm \lambda_j \frac{\partial T_j}{\partial n}(\xi + 0); \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\Lambda_k = \lambda_k \cdot F_k$  – эквивалентная теплопроводность,  $F_k$  – площадь контакта.

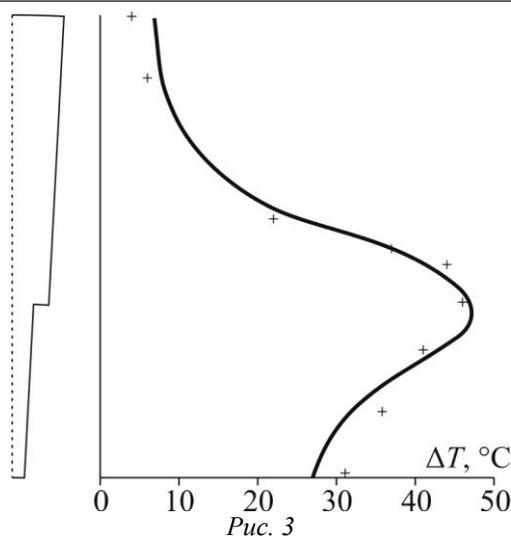


Рис. 3

Задача является нелинейной, ее решение осуществляется численным методом в трёхмерной (пространственной) постановке с помощью программного обеспечения *Comsol Multiphysics* [10]. На рис. 2 показана сетка конечных элементов расчётной области крайнего пакета сердечника статора турбогенератора.

Теплофизические параметры основных конструктивных материалов элементов сердечника и обмотки статора, используемые в расчётной модели, сведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование материала	Расчётное значение коэффициента теплопроводности, Вт/(м·К)
Медь проводников стержня	400
Главная изоляция стержня (класс B)	0,185
Сталь пакета	
- вдоль листов	20
- поперек листов	2,4
Стеклотекстолит прокладок между стержнями	0,34
Изоляция элементарных проводников	0,22
Изоляция охлаждающей трубки	0,2
Нержавеющая сталь охлаждающей трубки	17
Эпоксидная мастика	0,59

Тонкослойные структуры, такие как изоляция элементарного проводника (0,17 мм на сторону) и изоляция охлаждающей трубки стержня (0,2 мм на сторону), учтены путем использования эквивалентного коэффициента теплоотдачи – отношения теплопроводности соответствующей изоляции к ее толщине ( $\alpha_{\text{эkv}} = \lambda_i / \delta_i$ ).

Распределение и уровень потерь по пакету заданы согласно результатам экспериментальных исследований на действующем турбогенераторе аналогичного типа и мощности. Тепловые потери в зубце межфазной зоны определены с учетом данных экспериментальных исследований на масштабной физической модели концевой зоны аналогичного турбогенератора [8]. В частности, было установлено, что тепловые потери в зубцах, прилегающие пазы которых содержат стержни разных фаз нижнего слоя обмотки статора, в 1,795 раз

превышают тепловые потери в зубцах, в соседних пазах которых расположены стержни лишь одной фазы.

Соответствие математической модели реальному протеканию теплообменных процессов проверено путем сопоставления расчётного распределения температурного поля с результатами экспериментальных исследований для зубца вне межфазной зоны, прилегающие пазы которых содержат стержни одной фазы [8], и получены для турбогенератора аналогичного типа и мощности в номинальном режиме работы. Результаты расчётных и экспериментальных исследований приведены на рис. 3. Согласно с этими результатам, расхождение температуры отдельных зон составляет не больше 3 °C, что для тепловых расчетов считается приемлемым.

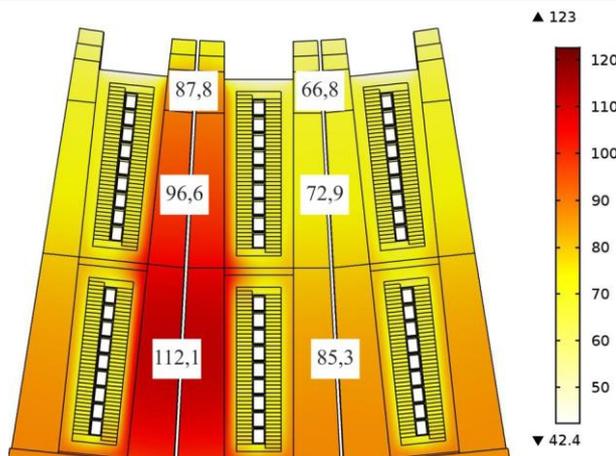


Рис. 4

На рис. 4 приведено полученное с помощью математического моделирования распределение температуры в крайнем пакете сердечника статора при номинальной нагрузке турбогенератора ТГВ-200 для зубца межфазной зоны и зубца вне ее (температура охлаждающего водорода принята 40 °С). Для наглядности на этом же рисунке представлены значения температуры на поверхности крайнего пакета, которые позволяют сделать вывод о том, что

максимальная температура стали пакета в межфазной зоне при номинальной нагрузке турбогенератора превышает допустимый уровень (120 °С согласно ГОСТ 533-2000) и находится у основания зубца на середине толщины пакета. При эксплуатации турбогенератора в режимах потребления реактивной мощности уровень температуры будет еще больше [8], что негативно скажется на состоянии основной изоляции обмотки и снизит надежность электрической машины в целом.

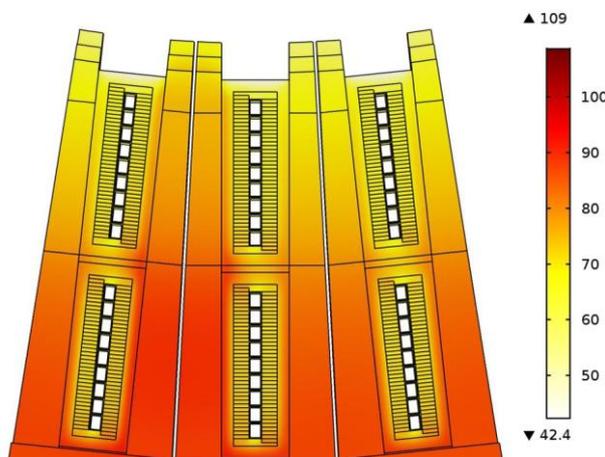


Рис. 5

Основным методом снижения тангенциальной неравномерности и уровня нагрева крайнего пакета сердечника статора турбогенератора является, прежде всего, интенсификация отвода тепловых потерь к охлаждающему водороду. Как показывают предварительные оценки [8], наибольшая часть тепловых потерь отводится с торцевых поверхностей пакета в радиальный вентиляционный канал между первым и вторым пакетами, а также в вентиляционный канал между нажимной плитой и крайним пакетом (общий объем составляет почти 95 %). В связи с этим одним из эффективных способов уменьшения тангенциальной неравномерности нагрева крайнего пакета сердечника статора явля-

ется перераспределение потока охлаждающего водорода между нажимной плитой и этим пакетом с одновременным увеличением объема хладагента направляемого на охлаждение именно межфазных зон путем увеличения соответствующих отверстий в газораспределительном цилиндре. Как результат, поток водорода в межфазной зоне (и коэффициент теплоотдачи, соответственно) может быть увеличен в 1,5-2 раза без значительного ухудшения охлаждения других элементов и узлов торцевой зоны статора турбогенератора.

В данной работе исследовано повышение теплоотдачи для торцевой поверхности зубца межфаз-

ной зоны в вентиляционном канале между нажимной плитой и пакетом в 1,5 раза. В соответствии с полученными результатами математического моделирования, представленными на рис. 5, даже за счет такой интенсификации охлаждения межфазной зоны максимальные температуры пакета могут быть снижены до 109 °С (на 11,4 %).

Также известен способ уменьшения нагрева крайнего пакета сердечника статора путём повышения тепловой проводимости шихтованного пакета поперёк листов. Одной из технологий, которая позволяет увеличить поперечную теплопроводность, является склеивание листов пакета, например, с помощью эпоксидного клея ЭК-3. С одной стороны, это повышает механическую жёсткость пакета, особенно устойчивость его листов на деформацию (изгиб) в режимах переменной нагрузки и потребления реактивной мощности турбогенератора. С другой стороны, как свидетельствуют исследования

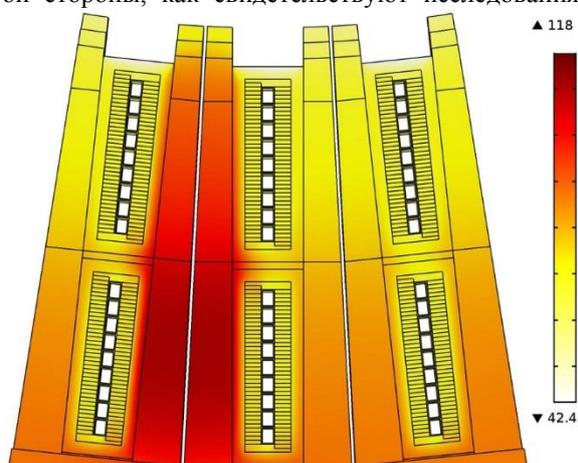


Рис. 6

В более новых модификациях турбогенератора типа ТГВ-200 (после 1968 г.) с целью снижения тепловых потерь от аксиального магнитного поля в зубцах крайних пакетов сердечника статора на глубину до дна паза выполняются продольные расщепки (шлицы). Для обеспечения механической жёсткости пакетов шлицы заполняются эпоксидной смолой с добавками (замоноличеными). Таким образом, участвуя в отведении тепловых потерь шлицы не принимают (без учёта уменьшения потерь на вихревые токи в зубцах от аксиальных потоков рассеяния обмоток статора и ротора).

Размноличивание расщепок в межфазной зоне и обеспечение циркуляции в них хладагента позволит существенно повысить отвод тепловых потерь.

[11], – теплопроводность клееного пакета составляет в среднем 3,4 Вт/(м·К), что почти вдвое превышает её значение при отсутствии склеивания (1,9 Вт/(м·К)). Добавление же в клей дисперсных изоляционных наполнителей с высокой теплопроводностью ( $\geq 5-10$  Вт/(м·К)) позволяет получить эквивалентную теплопроводность пакета до 5-6 Вт/(м·К).

На рис. 6 приведены результаты математического моделирования нагрева крайнего пакета при его поперечной теплопроводности 3,4 Вт/(м·К), из которых можно заключить, что максимальная температура стали зубцов составляет 118 °С (снижение на 4 %).

На рис. 7 показаны результаты моделирования для одновременного применения интенсификации охлаждения межфазной зоны и повышения поперечной теплопроводности стали. Согласно этим результатам, такой подход позволяет снизить максимальный нагрев зубца до 103 °С (на 16,3%).

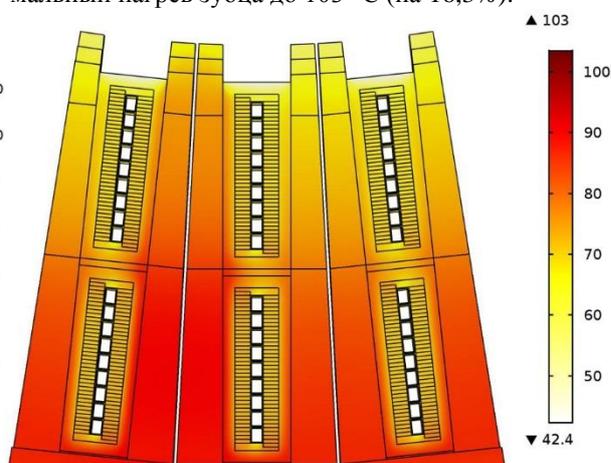


Рис. 7

На рис. 8 показано полученное с помощью математической модели распределение температуры на поверхности крайнего пакета при коэффициенте теплоотдачи в расщепках 100 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Температура при этом может быть снижена до 106 °С (на 13,8 %).

Из рис.9 можно сделать вывод, что одновременное (комплексное) применение описанных выше решений позволит снизить максимальную температуру до 94,6 °С (на 23,8 %). При этом максимум нагрева расположен в глубине зубца вне межфазной зоны, а температура зубцов межфазной зоны имеет такой же уровень (максимальное значение 89,6 °С), как и в остальных по окружности крайнего пакета.

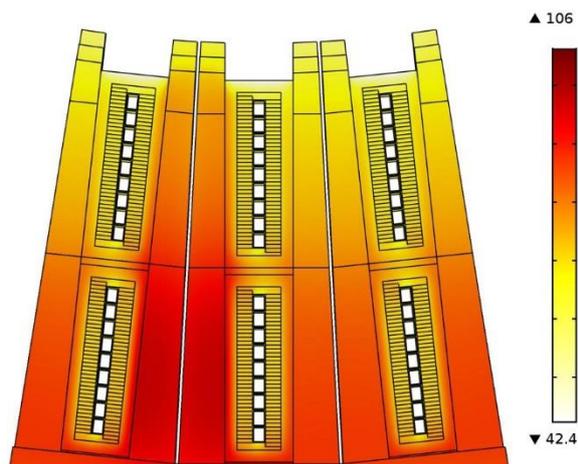


Рис. 8

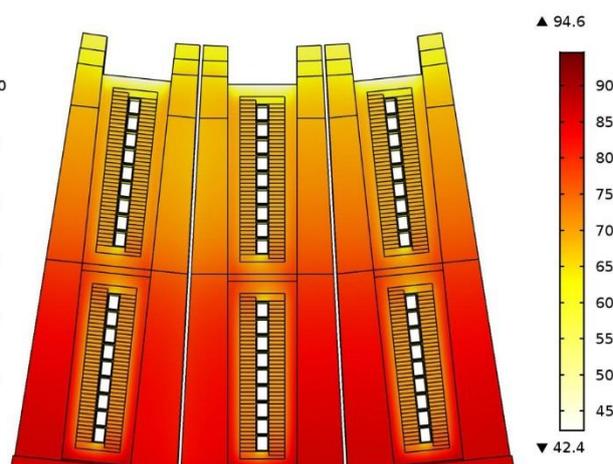


Рис. 9

Таким образом, комплексное применение вышеописанных технических решений позволяет получить практически одинаковый уровень нагрева зубцов крайнего пакета сердечника статора в тангенциальном направлении при номинальной нагрузке турбогенератора, независимо от их расположения относительно обмотки статора. В целом, турбогенератор будет иметь запас по температуре стали сердечника статора  $25,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что способствует повышению его надежности и нагрузочной способности при эксплуатации.

#### Выводы

1. Нагрев зубцов межфазной зоны крайнего пакета сердечника статора, в соседних пазах которых размещены стержни разных фаз нижнего слоя обмотки статора, для номинального режима работы мощного турбогенератора достигает  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При эксплуатации машины в режимах с потреблением реактивной мощности температура этих зубцов будет превышать допустимое в соответствии с ГОСТ 533-2000 (МЭК 34-3-88) значение, что негативно скажется на состоянии основной изоляции обмотки и снизит надежность турбогенератора, в целом.

2. Эффективными методами улучшения отвода тепловых потерь от торцевого пакета турбогенератора ТГВ-200 являются:

- внедрение вентиляции шлицов зубцов межфазных зон;
- интенсификация охлаждения межфазной зоны путем перераспределения потока водорода между нажимной плитой и крайним пакетом;
- повышение поперечной теплопроводности стали пакета за счет применения технологии склеивания листов железа.

Комплексное применение таких мероприятий позволит на 24 % снизить максимальную температуру стали, устранить тангенциальную неравномерность нагрева крайних пакетов сердечника статора, повысить надежность и нагрузочную способность турбогенератора, а также расширить диапазон его регулирования в режиме потребления реактивной мощности.

#### Список литературы

1. Костяев, Б. В. О нагреве крайних пакетов сердечника статора крупных турбогенераторов при недовозбуждении / Б. В. Костяев, А. В. Пташкин // Электрические станции. 1979. № 5. С. 40–44.
2. Данилевич, Я. Б. Магнитное поле в торцевой зоне сердечника статора электрической машины переменного поля с учетом влияния пазового рассеяния / Я. Б. Данилевич, Р. М. Пипко // Электротехника. 1982. № 9. С. 36–39.
3. Смородин, В. И. Некоторые особенности электромагнитных процессов на торце статора турбогенератора / В. И. Смородин, А. С. Карацуба, Л. Н. Руденко Л.Н. [и др.] // Техническая электродинамика. 1983. № 3. С. 65–72.
4. Электромагнитное экранирование незамкнутыми структурами в электрических машинах / А. И. Титко. Киев: Наук. думка, 1994. 304 с.
5. Турбогенераторы. Расчет и конструкция / В. В. Титов [и др.]. Л.: Энергия, 1967. 896 с.
6. 3D loss and heat analysis at the end region of 4-poles 1150 MW nuclear power turbine generator / G. Zhou [et al.] // Archives of electrical engineering. 2014, Vol. 63 (1). P. 47–61.
7. Study of Three-Dimensional Temperature Field with Changed Structures of Air-Cooled Turbo Generator Stator / Y. Liu [et al.] // International Journal of Control and Automation. 2015, Vol. 8. № 5. P. 37–42.
8. Счастливый, Г. Г. Турбо- и гидрогенераторы при переменных графиках нагрузки / Г. Г. Счастливый, Г. М. Федоренко, В. И. Выговский. Киев: Наук. думка, 1985. 208 с.
9. Борисенко, А. И. Аэродинамика и теплопередача в электрических машинах / А. И. Борисенко, В. Г. Данько, А. И. Яковлев. Москва: Энергия, 1974. 560 с.
10. Comsol Multiphysics Modeling and Simulation Software [Electronic Resource]. Mode of access: <http://www.comsol.com/>.
11. Электрические машины с жидкостным охлаждением / Г. Г. Счастливый [и др.]. Киев: Наукова думка, 1989. 288 с.

#4 (44), 2019 część 3  
**Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe**  
(Warszawa, Polska)  
**Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce.** W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

### **Zespół redakcyjny**

**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

**Mikołaj Wiśniewski**

**Szymon Andrzejewski**

**Dominik Makowski**

**Paweł Lewandowski**

### **Rada naukowa**

**Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)**

**Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Peter Cohan (Princeton University)**

**Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)**

**Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)**

**Kolub Frennen (University of Tübingen)**

**Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)**

**Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)**

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood (University College London)**

#4 (44), 2019 part 3  
**East European Scientific Journal**  
(Warsaw, Poland)  
**The journal is registered and published in Poland.** The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

### **Editorial**

**Editor in chief - Adam Barczuk**

**Mikołaj Wiśniewski**

**Szymon Andrzejewski**

**Dominik Makowski**

**Paweł Lewandowski**

### **The scientific council**

**Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)**

**Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Peter Cohan (Princeton University)**

**Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)**

**Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)**

**Kolub Frennen (University of Tübingen)**

**Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)**

**Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)**

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood (University College London)**

**Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Kehan Schreiner(Hebrew University)**  
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**  
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)**  
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)**  
**Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**  
**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

**1000 kopii.**

**Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warszawa, Polska»**

**Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe**

Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001  
Warszawa, Polska

**E-mail:** [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com) ,

**<http://eesa-journal.com/>**

**Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Kehan Schreiner(Hebrew University)**  
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**  
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)**  
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)**  
**Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**  
**Editor in chief - Adam Barczuk**

**1000 copies.**

**Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland»**

**East European Scientific Journal**

Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland

**E-mail:** [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com) ,

**<http://eesa-journal.com>**