

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет математики, фізики та інформаційних технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра механіки, автоматизації та інформаційних технологій

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти « магістр »

«Інформаційна технологія оцінювання безпеки руху судна в підхідному каналі в умовах хвиль»

(тема кваліфікаційної роботи українською мовою)

«Information technology for assessing the safety of vessel movement in the approach channel under wave conditions»

(тема кваліфікаційної роботи англійською мовою)

Виконала: студент заочної форми навчання спеціальності 126 – Інформаційні системи та технології
(код, назва спеціальності)

Освітня програма _____

(назва)

Притула Юрій Миколайович

(прізвище, ім'я, по-батькові здобувача)

Керівник канд.тех.наук, Косой М.Б.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент доктор тех.наук, проф. Волков В.Е.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рекомендовано до захисту:
Протокол засідання кафедри _____

№ ____ від ____ . ____ . 2023 р.

Завідувач(ка) кафедри _____

(підпис)

Алла РАЧИНСЬКА

(прізвище, ім'я)

Захищено на засіданні ЕК № ____
протокол № __ від ____ . ____ . 2023 р.

Оцінка _____ / _____ / _____
(за національною шкалою/шкалою ECTS/ бали)

Голова ЕК _____

(підпис)

Володимир ВИЧУЖАНІН

(прізвище, ім'я)

Одеса 2023

АНОТАЦІЯ

У дипломній роботі представлена інформаційна технологія, що реалізує вирішення задачі визначення ймовірності факту невиходу судна за межі смуги руху заданої ширини при проходженні цим судном заданої дистанції за певних умов вітру та хвилювання. Ця ймовірність є інтегральною характеристикою керованості судна, що дозволяє кількісно оцінювати з позиції сучасної теорії керованості рівень безпеки плавання судна у складних гідрометеорологічних та навігаційних умовах. Розроблена технологія може бути застосовані при розробці нормативних документів портконтролю щодо заходів по забезпеченню безпечного руху суден в вузкістях та підхідних каналах до акваторій портів, а також при проектуванні підхідних каналів з урахуванням обслуговування спеціалізованих суден.

ABSTRACT

The thesis presents information technology that implements the solution to the problem of determining the probability of a vessel not leaving the traffic lane of a given width when this vessel travels a given distance under certain conditions of wind and turbulence. This probability is an integral characteristic of the ship's controllability, which makes it possible to quantitatively assess the level of safety of the ship's navigation in difficult hydrometeorological and navigational conditions from the standpoint of modern controllability theory. The developed technology can be applied in the development of regulatory documents of port control regarding measures to ensure the safe movement of ships in narrows and approach channels to the water areas of ports, as well as in the design of approach channels taking into account the maintenance of specialized vessels.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. КРИТЕРІЙ БЕЗПЕЧНОСТІ КЕРОВАНОГО РУХУ СУДНА В СКЛАДНИХ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВАХ.....	7
1.1. Огляд сучасних методів визначення критеріїв безпечного руху судна.....	7
1.2 Критерій безпечного руху судна в стиснутих умовах.....	9
2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КЕРОВАНОГО РУХУ СУДНА.....	12
2.1 Диференціальні рівняння керованого руху судна.....	12
2.2 Стійкість системи.....	15
2.3 Визначення безпеки керованого руху судна у межі смуги фіксованої ширини.....	16
3. ПРОГРАМА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ РУХУ СУДНА У МЕЖАХ СМУГИ ФІКСОВАНОЇ ШИРИНИ.....	23
3.1 Інтерфейс доданку.....	23
3.2 Процедури обробки даних.....	29
3.3 Тестування програми та вивід результатів.....	34
ВИСНОВКИ.....	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	37
ДОДАТОК А.....	39
ДОДАТОК Б.....	41
ДОДАТОК В.....	42

ВСТУП

Висока завантаженість морських шляхів особливо в вузькостях і на підхідних каналах до портів підвищує ймовірність навігаційних аварій, наслідки яких дуже відчутні як з економічної, так і екологічної точок зору. У зв'язку з цим особливо важливою є проблема забезпечення досить високого рівня навігаційної безпеки, яка вирішується шляхом вибору безпечної траєкторії руху судна та найточнішою реалізацією наміченої траєкторії за допомогою засобів автоматизації судноводіння.

Розробка кількісних характеристик керованості судна при експлуатації у складних метеорологічних умовах має ґрунтуватися на результатах сучасних досліджень у галузі гідродинаміки судна та автоматизації судноводіння. Теоретичне дослідження цих характеристик та моделювання на ЕОМ разом з аналізом та узагальненням досвіду практичної експлуатації суден повинні дати відповіді на питання, пов'язані із забезпеченням безпеки плавання судна.

Актуальність теми дипломної роботи обумовлена необхідністю створення ефективних інструментів для кількісної оцінки рівня безпеки плавання судна, заснованих на використанні досягнень навігації, гідромеханіки, прикладної математики та сучасної обчислювальної техніки.

Об'єктом дослідження є судно, що рухається в мілководному фарватері під дією нерегулярного хвилювання та вітру.

Предметом дослідження є ймовірність керованого руху судна у межах смуги фіксованої ширини, яка запропонована як інтегральна характеристика рівня навігаційної безпеки судна в конкретних умовах плавання.

Мета дипломної роботи полягає в створенні інформаційної технології та програми визначення ймовірності керованого руху судна у межах смуги заданої ширини. Методи, що застосовані в роботі базуються на теорії стохастичних диференціальних рівнянь із застосуванням методів

гідроаеродинаміки, а також на сучасних методах розробки комп'ютерних програм.

1. КРИТЕРІЙ БЕЗПЕЧНОСТІ КЕРОВАНОГО РУХУ СУДНА В СКЛАДНИХ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

1.1. Огляд сучасних методів визначення критеріїв безпечного руху судна

Існуючі методики визначення характеристик безпечного руху судна знайшли своє відображення у відомчій нормативній документації [1], [2], [3], [4]. Діючі нормативні документи РД 31.31.47–88 та РД 31.63.03–86 з'явилися наслідком комплексних досліджень, виконаних науково–дослідною лабораторією морських каналів та портових акваторій ЧорноморНДПроекту та кафедрою теорії корабля Одеського інституту інженерів морського флоту х років.

Результати цих досліджень були викладені в роботі [5], присвяченій огляду методів та результатів вивчення комплексу технічних питань будівництва та експлуатації підхідних каналів. Там же зазначено, що найбільш складною та найменш розробленою залишається проблема визначення навігаційної ширини судноплавного каналу, яка забезпечує безпечний прохід розрахункового судна. У проблемі визначення розмірів підхідного каналу традиційно виділяють два напрями:

- детерміністський, при якому габарити судноплавного прорізу визначаються як сума алгебри детермінованих величин;
- стохастичний, при якому габарити каналу встановлюються на основі ймовірнісної оцінки умов його безпечної та ефективної експлуатації.

Згідно з детерміністською концепцією, навігаційна ширина підхідного каналу визначається за формулою

$$B_n = B + 2C, \quad (1.1)$$

де B_n – ширина маневрової смуги; C – навігаційний запас ширини каналу, що враховує гідродинамічну взаємодію судна із бровкою каналу; B – ширина розрахункового судна. Ширина маневрової смуги визначається як огинаюча координат точок на корпусі судна, найбільш віддалених від осі каналу

(рис.2.1). Визначення величини має спиратися на достовірні відомості про конфігурацію смуги, яку займає судно при його русі в каналі.

Для визначення ширини смуги руху судна (СРС) в 1984 на кафедрі теорії корабля ОПМФ була створена на ЕОМ імітаційна модель, в якій розроблялися основні положення згаданих вище нормативних документів. Зокрема, була реалізована на ЕОМ математична модель керованого руху судна по мілководному фарватеру. Модель містила три диференціальних рівняння керованості та рівняння, що описує роботу гребного гвинта за корпусом судна. В якості зовнішніх впливів, що обурюють, враховувалися впливу вітру, течії, а також гідродинамічна сила і момент, що відображають вплив брівки підхідного каналу. У процесі обчислювального експерименту імітувалися рух судна у заданому режимі та виконання маневру за заданим законом управління. Досліджувалися вплив зміни швидкості руху, напряму та сили вітру, напряму та швидкості течії, інерційності системи управління при виконанні команд. У математичній моделі вітрове навантаження на судно передбачалося незмінним за часом, але передбачалася можливість його штучне доповнення короткочасними імпульсами високої інтенсивності. Була реалізована можливість оцінки впливу помилок, що допускаються кермовим оператором при визначенні положення судна та ухваленні рішення про вибір команди управління. Результати 180 сеансів моделювання дозволили встановити кількісну залежність навігаційної ширини каналу від водотоннажності та швидкості ходу розрахункового судна, відношення площі парусності до зануреної діаметральної площі цього судна, швидкості та напрямки вітру та течії.

Так як у математичній моделі руху судна імітувалися випадкові зміни гідрометеорологічних умов та помилки, що допускаються при управлінні та позиціонуванні судна, то для інтерпретації результатів машинного експерименту була використана імовірнісна модель. У її основі лежить припущення у тому, що це кінематичні характеристики руху судна, зовнішні впливу (хвилювання, вітер, протягом) і процес управління судном може бути

представлені як випадкові процеси. Але спроби ввести випадкові фактори у процес моделювання не змінили основного недоліку описаного методу, який ґрунтується на детерміністському підході до фіксації верхніх меж габаритів підходящого каналу.

Ймовірнісний підхід до вирішення задачі щодо визначення ширини смуги руху судна (СРС), заснований на застосуванні апарату дифузійних марківських процесів для аналізу динаміки систем порогового типу, використаний у роботі [8]. Динамічну систему «судно – підхідний канал» можна віднести до систем такого типу і в якості її ймовірнісної моделі використовувати модель обмеженого випадкового блукання. Послідовність координат, що характеризують положення судна в довільні фіксовані моменти часу, можна розглядати як послідовність випадкових величин, що приймають свої значення певної області фазового простору системи, що описує поведінку судна. Передбачається, що ця система не може описувати рух судна на кордоні або поза цією областю, і у разі досягнення меж області вивчення процесу припиняється. У найзагальнішій постановці завдання про випадкове блукання проблема полягає у визначенні ймовірності настання часу першого виходу системи на межу фіксованої області. У такій інтерпретації завдання визначення ширини СРС зводиться до обчислення ймовірності події, що полягає в тому, що для будь-якої кінцевої послідовності інтервалів часу судно знаходиться всередині заданої області.

1.2 Критерій безпечного руху судна в стиснутих умовах

У роботі [8] визначено поняття ширини СРС на мілководді за результатами аналізу геометричної картини цього руху на рисунку 2.1.

Введено позначення наступних геометричних характеристик:

- D, Γ_D – область руху судна та її кордон;
- S_n, S_k, S_G – криволінійні траєкторії носа, корми та центру тяжкості G судна відповідно;
- $\xi_G(t), \eta_G(t)$ – координатами центру тяжіння G судна;

- $\xi_n(t), \eta_n(t), \xi_k(t), \eta_k(t)$ – координати носа та корми судна відповідно;
- Γ_n, Γ_k – точки перетину кордону з нормаллями до траєкторії S_G в носі та кормі судна;
- r_n – відстань між довільною точкою A траєкторії та траєкторією S_n , виміряна вздовж нормаллі до S_G ;
- r_k – відстань між цією точкою та траєкторією S_k , виміряна вздовж цієї ж нормаллі;
- x_f – абсцису центру тяжкості діючої ватерлінії;
- φ – курсовий кут із позитивним відліком значень за годинниковою стрілкою. У [*] значення цього кута вважають малим, тобто курс судна відхиляється від напрямку фарватеру не більше 15° , що відповідає практиці безпечного судноводіння;
- β – кут дрейфу в центрі тяжкості судна з позитивним відліком проти годинникової стрілки.

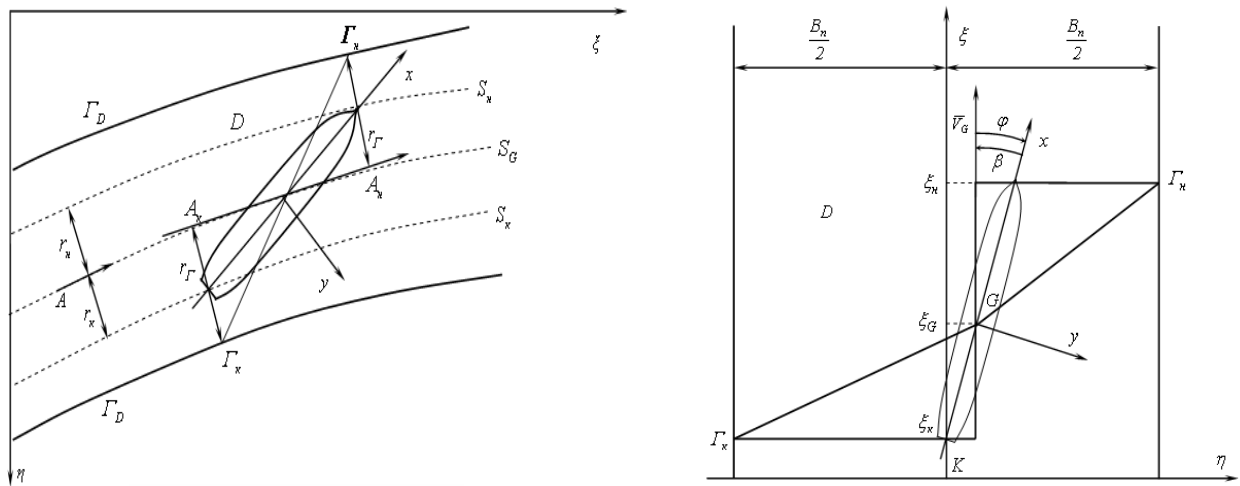


Рисунок 1.1 – Визначення поняття про смугу руху судна

Смуга змінної ширини $r_A = (r_n + r_k)$, осьова лінія якої співпадає з траєкторією S_G , є смуга руху судна. Якщо величина r_A в деякій точці A менша за ширину судна B , то ширину СРС у цій точці слід вважати рівною

ширині судна B . Нерівність, що визначає умову належності СРС смузі шириною B_n , наступні:

$$\left(\frac{1}{2} - x_f\right) |\varphi| + |\eta_G| < \frac{B_n - B}{2}, \quad (1.2)$$

значення ймовірності

$$P\left(\bigcap_{i=1}^N \left\{ \left(\frac{1}{2} - x_f\right) |\varphi_i| + |\eta_{Gi}| < \frac{B_n - B}{2} \right\}\right) \quad (1.3)$$

послідовності подій (2.2) для довільної кінцевої послідовності моментів часу $\{t_i\}_{i=1}^N$ є рішенням завдання про визначення ширини СРС. Для обчислення цієї

ймовірності необхідно знати спільне розподілення ймовірності $P\left(\bigcap_{i=1}^N (\varphi_i, \eta_{Gi})\right)$

параметрів руху судна φ і η_G , що розглядаються як випадкові функції.

Параметри руху судна під впливом зовнішніх збурень (вітер, хвилювання) з урахуванням інерційних і демпфіруючих властивостей системи «судно – схвилюване море – вітер» описуються системою диференціальних рівнянь керованого руху судна.

2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КЕРОВАНОГО РУХУ СУДНА

2.1 Диференціальні рівняння керованого руху судна

Для опису руху судна в роботі [8] використовувалися дві прямокутні декартові системи координат (рис.2.1): нерухома система $K\xi\eta\zeta$ та рухома, жорстко пов'язана з судном система $Oxyz$.

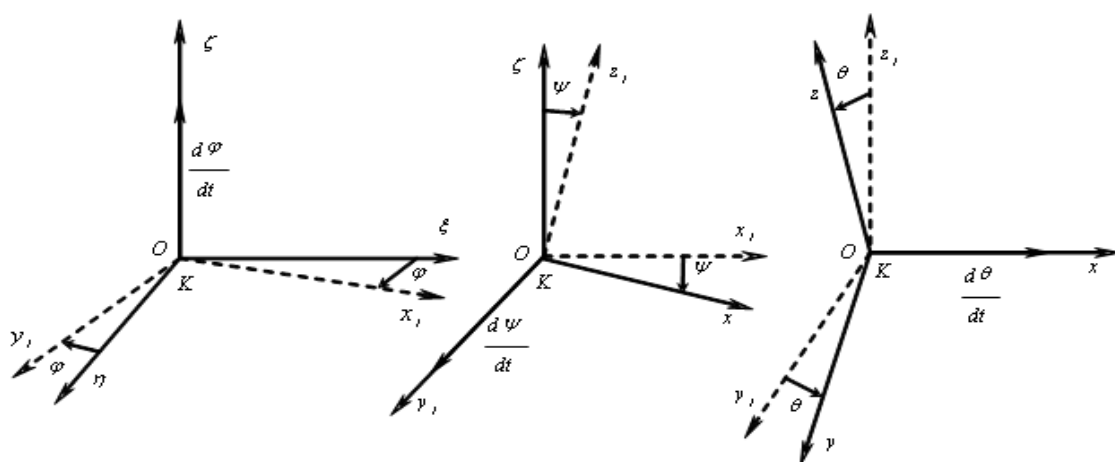


Рисунок 2.1 – Системи координат та корабельні ейлерові кути

Орієнтація базисних векторів двох систем описується за допомогою корабельних ейлерових кутів φ , θ і ψ , і у разі малих значень виражається співвідношеннями

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \bar{\xi} + \varphi\bar{\eta} - \psi\bar{\zeta}; \\ \bar{y} &= \varphi\bar{\xi} + \bar{\eta} + \theta\bar{\zeta}; \\ \bar{z} &= \psi\bar{\xi} - \theta\bar{\eta} + \bar{\zeta}.\end{aligned}\tag{2.1}$$

Також використані загальноприйняті позначення основних розмірів, елементів судна, коефіцієнтів рівнянь керованості та показників руху судна:

- L – довжина судна між перпендикулярами;
- B – ширина судна за діючою ватерлінією;
- S_y – площа зануреної частини діаметральної площини судна;

- x_f – абсциса центру тяжкості діючої ватерлінії;
- $\bar{x}_f = \frac{x_f}{L}$ – наведена абсциса центру ваги площі діючої ватерлінії;
- $u = |\bar{V}_G|$ – модуль вектора швидкості руху центру тяжкості судна;
- ξ_G та η_G – координати центру тяжкості судна;
- β – кут дрейфу в центрі тяжкості судна з позитивним відліком проти годинникової стрілки; у цьому випадку при позитивних значеннях кутів β проекція на вісь Oy гідродинамічних сил, викликаних несиметричним обтіканням корпусу, виявляється позитивною;
- φ – курсовий кут із позитивним відліком значень за годинниковою стрілкою;
- ω – кутова швидкість обертання судна в площині з позитивним відліком значень за годинниковою стрілкою;
- m , J_z , λ_{11} , λ_{22} , λ_{26} , λ_{66} – маса судна, момент її інерції щодо вертикальної осі та узагальнені приєднані маси судна;
- $m_{11} = \frac{2(m + \lambda_{11})}{\rho S_y L}$; $m_{22} = \frac{2(m + \lambda_{22})}{\rho S_y L}$; $m_{26} = \frac{2\lambda_{26}}{\rho S_y L^2}$; $m_{66} = \frac{2(J_z + \lambda_{66})}{\rho S_y L^3}$ – коефіцієнти інерції [10];
- \bar{n}_y^β , \bar{m}_z^β – похідні поперечної сили і моменту нищпорення на корпусі судна [10];
- \tilde{n}_y^ω , \tilde{m}_z^ω – обертальні похідні поперечної сили та моменту нищпорення на корпусі судна [10];
- δ – кут перекладки керма;
- n_y^δ – коефіцієнт поперечної сили, обумовлений дією керма;
- $\bar{l}_p = \frac{l_p}{L}$ – відносне плече пера керма;
- $\bar{l}_g = \frac{l_g}{L}$ – відносне плече гребного гвинта;

- N_b – діюча сумарна сила, що обурює, викликана вітром і хвилюванням;
- $n_b = \frac{2N_b}{\rho u S_y}$ – коефіцієнт збурюючої сили від вітру та хвилювання;
- M_b – діючий сумарний момент, що обурює, викликаний вітром і хвилюванням;
- $m_b = \frac{2M_b}{\rho u S_y L}$ – коефіцієнт обурювального моменту від вітру та хвилювання;
- $\gamma_\varphi, \gamma_\omega, \gamma_\eta$ – коефіцієнти регулювання, які є характеристиками регулятора авторульового пристрою.

Через те, що сили та моменти, що діють на судно з боку хвилювання та вітру, є величини випадкові, то параметри руху судна є випадковими процесами. Тією ж властивістю характеризуються параметри органів управління судном. Для цих величин визначено їх центровані значення:

- φ_0 – математичне очікування курсового кута;
- β_0 – математичне очікування кута дрейфу;
- ξ_0 та η_0 – математичні очікування координат центру тяжкості судна;
- δ_0 – математичне очікування кута перекладки керма.

Отримано систему рівнянь керованого руху судна

$$\begin{cases} m_{22}\dot{\beta} + \bar{n}_y^\beta \beta - m_{26}\dot{\omega} - \bar{n}_y^\omega \varphi + \bar{n}_y^\delta (\delta_0 + \gamma_\varphi(\varphi_0 - \varphi) + \gamma_\omega \omega + \gamma_\eta \eta_G) = n_b^0; \\ -m_{26}\dot{\beta} - \bar{m}_z^\beta \beta + m_{66}\dot{\omega} - \bar{m}_z^\omega \varphi + \bar{l}_p \bar{n}_y^\delta (\delta_0 + \gamma_\varphi(\varphi_0 - \varphi) + \gamma_\omega \omega + \gamma_\eta \eta_G) = m_b^0; \\ \omega = \dot{\varphi}; \\ \varphi - \beta = \frac{d\eta_G}{d\tau} \end{cases} \quad (2.2)$$

де $n_b^0 = n_b - M(n_b)$ та $m_b^0 = m_b - M(m_b)$ – центровані зовнішні обурення, $M(n_b)$ та $M(m_b)$ – математичні очікування цих обурень. Значення $\varphi_0, \omega_0, \eta_0$

та $\frac{d\eta_0}{d\tau}$ визначаються з системи руху під дією постійних зовнішніх сил і моментів, рівних їх математичним очікуванням

$$\begin{cases} \bar{n}_y^\beta \beta_0 - \tilde{n}_y^\omega \varphi_0 + \bar{n}_y^\delta \delta_0 = M(n_b); \\ -\bar{m}_z^\beta \beta_0 - \bar{m}_z^\omega \varphi_0 + \bar{l}_p \bar{n}_y^\delta \delta_0 = M(m_b); \\ \varphi_0 - \beta_0 = 0. \end{cases} \quad (2.3)$$

2.2 Стійкість системи

Важливим елементом технології визначення безпечної ширини ПДС є перевірка системи, що визначає рух судна на стійкість. Для полегшення вираження та сприйняття критерію стійкості, введено позначення

$$\begin{aligned} A &= m_{26}^2 + m_{22} m_{66}; & B &= \bar{n}_y^\delta (\bar{l}_p m_{22} - m_{26}); \\ C &= -2(\bar{m}_z^\beta m_{22} + \bar{n}_y^\beta m_{26}) + (\tilde{n}_y^\omega m_{26} - \bar{m}_z^\omega m_{22}) + (\bar{n}_y^\beta m_{66} + \bar{m}_z^\beta m_{26}); \\ D &= \bar{n}_y^\delta (\bar{l}_p \bar{n}_y^\beta - \bar{m}_z^\beta); & E &= -2\bar{m}_z^\beta \bar{n}_y^\beta - \bar{m}_z^\omega \bar{n}_y^\beta + \bar{m}_z^\beta \tilde{n}_y^\omega; \\ F &= \bar{n}_y^\delta ((\bar{l}_p m_{22} + m_{26}) - (\bar{l}_p m_{26} + m_{66})); & G &= \bar{n}_y^\delta ((\bar{l}_p \bar{n}_y^\beta + \bar{m}_z^\beta) - (\bar{l}_p \tilde{n}_y^\omega - \bar{m}_z^\omega)); \end{aligned} \quad (2.4)$$

Характеристичний багаточлен системи (3.2) має вигляд

$$Q(p) = (A + B\gamma_\omega)p^3 + (C - B\gamma_\varphi + D\gamma_\omega)p^2 + (E + F\gamma_\eta - D\gamma_\varphi)p + G\gamma_\eta. \quad (2.5)$$

Введені також слідуєчі означення $a = \frac{(C - B\gamma_\varphi + D\gamma_\omega)}{(A + B\gamma_\omega)^{\frac{2}{3}}(G\gamma_\eta)^{\frac{1}{3}}}$ та $b = \frac{(E + F\gamma_\eta - D\gamma_\varphi)}{(A + B\gamma_\omega)^{\frac{1}{3}}(G\gamma_\eta)^{\frac{2}{3}}}$.

Умови стійкості системи виражаються нерівністю

$$ab = \frac{(E + F\gamma_\eta - D\gamma_\varphi)(C - B\gamma_\varphi + D\gamma_\omega)}{(A + B\gamma_\omega)G\gamma_\eta} > 1. \quad (2.6)$$

Характер стійкості можна визначити за значенням виразу $R = a^2 b^2 - 4(a^3 + b^3) + 18ab - 27$. Якщо $R < 0$, то регульований процес є

періодичним, якщо ж $R \geq 0$, це аперіодичний процес. Варіюючи значення коефіцієнтів регулювання γ_φ , γ_ω та γ_η , можна забезпечити необхідний характер стійкості процесу.

2.3 Визначення безпеки керованого руху судна у межі смуги фіксованої ширини

Як було зазначено вище, рішенням щодо безпечного руху судна в межах фарватеру є визначення ймовірності події (2.2). Випадкові величини φ и η_G визначаються системою диференціальних рівнянь руху (3.2). Вхідні процеси силового впливу вітру та хвилювання на судно є стаціонарними випадковими процесами. Тому цю систему слід розглядати як систему диференціальних рівнянь із випадковими вхідними функціями. Для визначення спільної ймовірності випадкових функцій системи (3.2) в [8] застосовано метод стохастичних диференціальних рівнянь Іто [9] з правими частинами типу «білий шум», якою отримана система не є. Однак цю систему можна апроксимувати системою такого типу, і ідея перетворення полягає в тому, щоб представити (3.2) вхідні процеси n_b^0 та m_b^0 у вигляді рішень деяких стохастичних диференціальних рівнянь з правими частинами типу «білий шум». Далі ці рівняння доповнюють вихідну систему. Отримана таким чином система стохастичних диференціальних рівнянь описує дифузійні процеси із незалежними приростами.

Розмірність системи після цього перетворення неминуче збільшується. Метод розширення системи, метод формуючих фільтрів [9], полягає у пошуку таких стохастичних диференціальних рівнянь у вхідними процесами типу «білий шум», рішеннями яких є процеси n_b^0 та m_b^0 . Ці рівняння можна отримати зверненням операторної форми подання сили n_b^0 та моменту m_b^0 як перетворення хвилювання та віра у гідро- та аеродинамічні сили та

моменти, що впливають на судно, якщо спектральні функції цього перетворення мають дробово-раціональне уявлення.

У роботі [8] спектральні функції аеродинамічної сили та моменту, а значить і швидкості вітру, представлені саме в такому вигляді. А саме як доданки передавальних функцій сил та моментів $W^{\zeta_w \rightarrow F_w}$, $W^{\zeta_w \rightarrow M_w}$, $W^{u_f \rightarrow F_u}$, $W^{u_f \rightarrow M_u}$ на спектральні функції хвиль $W^{v \rightarrow \zeta_w}$ та вітру $W^{v \rightarrow u_f}$ відповідно. Передавальні функції гідродинамічних сил знайдені в табличній формі і для подальшого використання в аналітичних розрахунках потрібно провести їхню дробово-раціональну апроксимацію

$$W^{v \rightarrow F_w} = \frac{\sum_{l=1}^{n_F} b_l^{F_w} (i\sigma)^l}{\sum_{k=1}^{m_F} a_k^{F_w} (i\sigma)^k}; \quad n_F, m_F \in N. \quad (2.7)$$

$$W^{v \rightarrow M_w} = \frac{\sum_{l=1}^{n_M} b_l^{M_w} (i\sigma)^l}{\sum_{k=1}^{m_M} a_k^{M_w} (i\sigma)^k}; \quad n_M, m_M \in N, \quad (2.8)$$

$$W^{v \rightarrow u_f} = \frac{\sum_{l=1}^{n_u} b_l^{u_f} (i\sigma)^l}{\sum_{k=1}^{m_u} a_k^{u_f} (i\sigma)^k}; \quad n_u, m_u \in N. \quad (2.9)$$

Відповідні їм диференціальні рівняння перетворення «білого шуму» в гідродинамічні сили, моменти та швидкість вітру мають вигляд

$$\left(\sum_{k=1}^{m_F} a_k^{F_w} \frac{d^k}{dt^k} \right) F_w = \left(\sum_{l=1}^{n_F} b_l^{F_w} \frac{d^l}{dt^l} \right) v. \quad (2.10)$$

$$\left(\sum_{k=1}^{m_M} a_k^{M_w} \frac{d^k}{dt^k} \right) M_w = \left(\sum_{l=1}^{n_M} b_l^{M_w} \frac{d^l}{dt^l} \right) v. \quad (2.11)$$

$$\left(\sum_{k=1}^{m_u} a_k^{u_f} \frac{d^k}{dt^k} \right) u_f = \left(\sum_{l=1}^{n_u} b_l^{u_f} \frac{d^l}{dt^l} \right) v. \quad (2.12)$$

Доповнюючи цими рівняннями систему (3.2), отримано розширену систему стохастичних рівнянь Іто

$$\begin{cases} \dot{X}_l = \sum_{k=1}^N a_k^l X_k + q_l \nu_l; \\ l = 1..(m_F + m_M + m_u + 4); \quad N = m_F + m_M + m_u + 4. \end{cases}$$

$$q_0 = q_1 = \dots = q_{(m_F - n_F - 1)} = 0; \quad q_{(m_F - n_F)} = \frac{b_{n_F}^{F_w}}{a_{m_F}^{F_w}}$$

$$q_j = (a_{m_F}^{F_f})^{-1} \left[b_{m_F - j}^{F_w} - \sum_{h=(m_F - n_F)}^{j-1} \sum_{l=0}^{j-h} C_{(m_F - j + 1)}^{(m_F - j)} a_{(m_F - j + h + 1)}^{F_w} q_h^{(l)} \right], \quad j = (m_F - n_F)..m_F.$$

$$q_{m_F} = q_{m_F + 1} = \dots = q_{(m_F + m_M - n_M - 1)} = 0; \quad q_{(m_F + m_M - n_M)} = \frac{b_{n_M}^{M_w}}{a_{m_M}^{M_w}}; \tag{2.13}$$

$$q_j = (a_{m_M}^{M_w})^{-1} \left[b_{m_M - j}^{M_w} - \sum_{h=(m_M - n_M)}^{j-1} \sum_{l=0}^{j-h} C_{(m_M - j + 1)}^{(m_M - j)} a_{(m_M - j + h + 1)}^{M_w} q_{(m_M + h)}^{(l)} \right], \quad j = (m_F + m_M - n_M)..(m_F + m_M).$$

$$q_{(m_F + m_M)} = q_{(m_F + m_M + 1)} = \dots = q_{(m_F + m_M + m_u - n_u - 1)} = 0; \quad q_{(m_F + m_M + m_u - n_u)} = \frac{b_{n_u}^{u_f^k}}{a_{m_u}^{u_f^k}};$$

$$q_j = (a_{m_u}^{u_f^k})^{-1} \left[b_{m_u - j}^{u_f^k} - \sum_{h=(m_u - n_u)}^{j-1} \sum_{l=0}^{j-h} C_{(m_u - j + 1)}^{(m_u - j)} a_{(m_u - j + h + 1)}^{u_f^k} q_{(m_F + m_M + h)}^{(l)} \right],$$

$$j = (m_F + m_M + m_u - n_u)..(m_F + m_M + m_u).$$

де $F_w = X_1 + q_0 \nu$, $M_w = X_{m_2 + 1} + q_{m_F} \nu$, $u_f^k = X_{(m_F + m_M + 1)} + q_{(m_F + m_M)} \nu$, $\varphi = X_{(m_F + m_M + m_u + 1)}$, $\eta_G = X_{(m_F + m_M + m_u + 2)}$.
 Всі коефіцієнти a_{hjk}^l та a_{jk}^l дорівнюють нулю, крім коефіцієнтів a_{hjk}^l и a_{jk}^l , $h = (m_F + m_M + m_u + 1)$, $j = (m_F + m_M + 1)$, $k = (+1)$, тобто крім коефіцієнтів, які відповідають доданкам з множниками $(X_{(m_F + m_M + 1)})^2 = (u_f^k)^2$, $(X_{(m_F + m_M + m_u + 1)})(X_{(m_F + m_M + 1)}) = \varphi u_f$ и $(X_{(m_F + m_M + m_u + 1)})(X_{(m_F + m_M + 1)})^2 = \varphi (u_f)^2$.
 Згідно з [9], щільність розподілу багатовимірнього марківського процесу задовольняє рівняння Фоккера–Планка–Колмогорова з початковими та граничними умовами

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t} p(\bar{X}, t) = -\sum_j^N \frac{\partial}{\partial X_j} [\alpha_j(t) p(\bar{X}, t)] + \frac{1}{2} \sum_{g,h}^N \frac{\partial^2}{\partial X_g \partial X_h} [\beta_{gh}(t) p(\bar{X}, t)], \\ p(\bar{X}, t_0) = \prod_j^N \delta(X_j(t) - X_j^0); \\ p(\bar{X}, t) = \prod_j^N \delta(X_j(t) - X_j^T(t)). \end{cases} \quad (2.14)$$

Тут $\alpha_j(t)$ и $\beta_{gh}(t)$ – коефіцієнти зносу та дифузії процесу, $\bar{X}(t)$, X_j^0 – значення компонент вектора $\bar{X}(t)$ в початковий момент часу, X_j^T – значення компонент вектора $\bar{X}(t)$ на межі області D . Імовірнісний зміст коефіцієнтів $\alpha_j(t)$ у тому, що це математичні очікування функцій $X_j(t)$, т. е. $\alpha_j(t) = M(X_j(t))$. Параметри $\beta_{gh}(t)$ – це спільні кореляції центрованих $-g$ та h – компонент вектора $\bar{X}(t)$, тобто $\beta_{gh}(t) = M((X_g(t) - \alpha_g(t))(X_h(t) - \alpha_h(t)))$.

Застосування методу нормальної апроксимації, описаному в [9], дозволяє отримати рішення у вигляді умовної нормальної щільності спільного розподілу ймовірності компонентів вектора $\bar{X}(t)$ при вироджених початкових умовах у вигляді

$$p(\bar{X}(t)) = \left[\sqrt{(2\pi)^n |K^{-1}(t)|} \right]^{-1} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^N \beta_{ij}(t) \frac{(\alpha_i(t) - X_i(t))(\alpha_j(t) - X_j(t))}{\sigma_i(t)\sigma_j(t)} \right\}. \quad (2.15)$$

де $K(t) = \|\beta_{ij}(t)\|$ – коваріаційна матриці вектора $\bar{X}(t)$, $|K^{-1}(t)|$ – визначник зворотної матриці $K^{-1}(t)$, а $\sigma_i = \sqrt{\beta_{ii}}$ – середньоквадратичні відхилення значень компоненти $X_i(t)$. Завдання у результаті зводиться до визначення перших та других моментів вектора $\bar{X}(t)$ та деяких їх творів. Значення $\alpha_j(t)$ визначаються з наступної задачі Коші

$$\begin{cases} \dot{\alpha}_l = \sum_{k=1}^N a_k^l \alpha_k, \\ \alpha_l(t_0) = \alpha_l^0, \\ l = 1..(m_F + m_M + m_u + 4); \quad N = m_F + m_M + m_u + 4; \end{cases} \quad (2.16)$$

Диференціальне рівняння для $\beta_{gh}(t)$ має наступний вид

$$\begin{cases} \dot{\beta}_{gh} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_i^g a_j^h \beta_{ij} + q_g q_h, \\ \beta_{gh}(t_0) = 0, \\ g, h = 1..N; \quad N = m_F + m_M + m_u + 4; \end{cases} \quad (2.17)$$

Спільна щільність ймовірності послідовності векторних процесів $\{\bar{X}(t_j)\}$ дорівнює

$$p(\bar{X}_0, t_0; \bar{X}_1, t_1; \dots; \bar{X}_T, t_T) = \prod_{j=1}^{T-1} p(\bar{X}_{j+1}, t_{j+1} / \bar{X}_j, t_j) \times p(\bar{X}_0, t_0). \quad (2.18)$$

причому умовні ймовірності $p(\bar{X}_{j+1}, t_{j+1} / \bar{X}_j, t_j)$ визначаються з розв'язання задачі (5.8), якщо прийняти як початковий момент часу t_j і задати початкові значення математичних очікувань $\alpha_i(t_j)$ змінними величинами, а другі моменти $\beta_{kl}(t_j)$ рівними нулю. Ці припущення є допустимі, тому що стан системи в початковий момент є детермінованим. Виходячи з умов типу (2.1), а також враховуючи досвід проведення суден по підхідним каналам, можна накласти такі обмеження на інтервал зміни значень φ_j , η_j та їх перших похідних

$$|\varphi_j| \leq 0,4; \quad |\dot{\varphi}_j| \leq 0,1; \quad |\eta_j| < b_n - b - \left(\frac{1}{2} - \bar{x}_f\right) |\varphi_j|; \quad \left|\frac{d\eta}{dt}\right| \leq 0,3. \quad (2.19)$$

Відповідно до введених вище позначень спільну ймовірність для послідовності подій типу (2.1) визначається з наступного виразу

$$P\left(|X_l^0| \leq \varphi_{\max}, |X_{l+1}^0| \leq \hat{\eta}_{\max}, t_0; \dots; |X_l^T| \leq \varphi_{\max}, |X_{l+1}^T| \leq \hat{\eta}_{\max}, t_T\right) = \prod_{l=0}^T \int_{-\Gamma}^{\Gamma} p(\bar{X}_0, t_0; \bar{X}_1, t_1; \dots; \bar{X}_T, t_T) \prod_{j=1}^N dX_j^l; \quad (2.20)$$

$$l = m_F + m_M + m_u + 1.$$

тут Γ – межа інтегрування, рівна φ_{\max} для X_l^i , η_{\max} для X_{l+1}^i , і нескінченності для інших компонентів векторів $\bar{X}(t_i)$, верхній індекс X_j^i вказує на належність вектору $\bar{X}(t_i)$, що відповідає i -му моменту часу, нижній – на порядковий номер компонента в цьому векторі.

Практичне використання запропонованої методики визначення ширини смуги безпечного руху судна, через її складність і масштабність, вимагає розробки спеціальної інформаційної системи, що вирішує комплекс підзадач на шляху реалізації кінцевого основного завдання – визначення ймовірності руху судна в межах смуги фіксованої ширини при заданих вітро-хвильових умовах протягом фіксованого часу. Зазначені вище підзадачі інформаційної системи включають:

1. визначення гідродинамічних сил та моментів, що діють на судно із боку хвилювання.
2. визначення аеродинамічних сил та моментів, що діють на надводну частину судна із боку вітру.
3. визначення спектральних характеристик зазначених сил та моментів у вигляді дробово-раціональних виразів.
4. побудова математичної моделі руху судна як нормалізованої системи стохастичних диференціальних рівнянь Іто для випадкових процесів, що описують рух судна з початковими умовами.
5. побудова за вказаною системою рівнянь систем диференціальних рівнянь для математичних очікувань та кореляційних функцій. Вирішення

зазначених систем рівнянь та визначення багатовимірної щільності ймовірності випадкових процесів.

б. інтегрування щільності ймовірності з межами інтегрування, що виділяють умови події, що спостерігається.

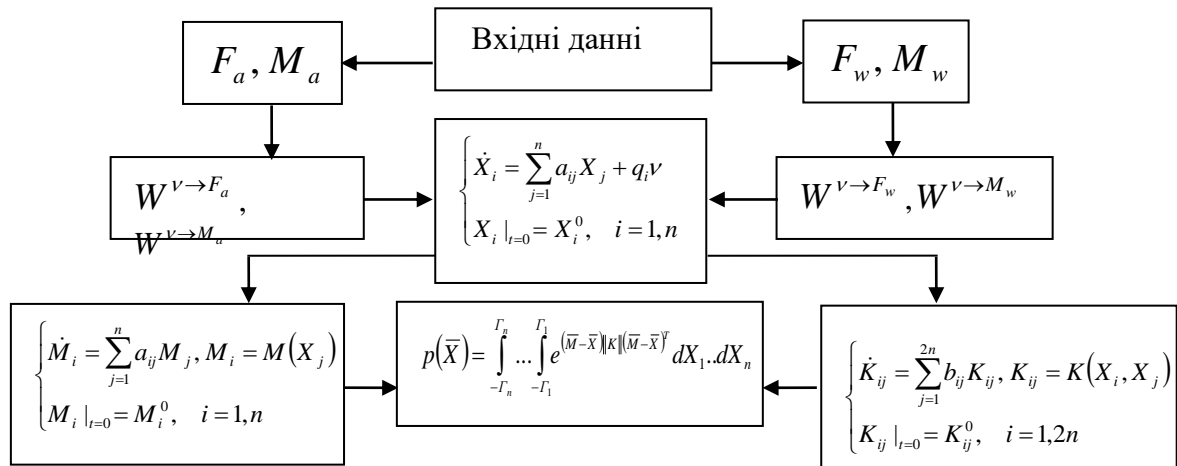


Рисунок 2.1 – Схема компонентів інформаційної системи визначення вірогідності безопарного руху судна.

В дипломній роботі реалізовані пункти 4-6 з зазначених в переліку у вигляді комп'ютерної програми, яка по вхідним даним про гідрометеорологічні умови, силові характеристики судна та його швидкість, визначає ймовірність послідовності подій (2.2), що визначає рівень безпеки руху судна в каналі заданої ширини B_n .

3. ПРОГРАМА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ РУХУ СУДНА У МЕЖАХ СМУГИ ФІКСОВАНОЇ ШИРИНИ

Створення доданку складається з декількох етапів:

- створення інтерфейсної частини для взаємодії користувача із доданком (ввід та корекція даних, тощо)
- створення процедур обробки даних для визначення проміжних та цільових параметрів (розрахунки коефіцієнтів систем рівнянь по введеним початковим даним, обробка їх матриць, рішення цих рівнянь)
- створення процедур виводу отриманих рішень у вигляді графіків та таблиць

3.1 Інтерфейс доданку

Рішення задачі по описаній вище методиці потребує обробку даних щодо технічних параметрів судна, ширини та довжини підхідного каналу та дані про гідрометеорологічні умови. До технічних параметрів входять геометричні, інерційні характеристики, відомості про кермову систему, рушії та силовий вплив останніх на корпус судна та задаються таблицею на кшталт Доданку 1.

Гідро- та аеродинамічні сили та моменти, що діють на судно з боку хвиль та вітру, є специфічними для судна і представлені передаючими функціями $W^{\zeta_w \rightarrow F_w}$, $W^{\zeta_w \rightarrow M_w}$, $W^{u_f \rightarrow F_u}$, $W^{u_f \rightarrow M_u}$ вигляді дробово-раціональних функцій. Гідрометеорологічні умови задаються спектральними функціями швидкості вітру $W^{v \rightarrow u_f}$ та хвиль $W^{v \rightarrow \zeta_w}$ також у вигляді дробово-раціональних функцій. У програму дані про ці характеристики заносяться як окремі змінні. Для зручності користувача, дані групуються за змістом та для кожної групи створено окремий модуль вводу.

Під час реалізації етапу візуального програмування розроблювач оснащений потужним інструментом середовища розробки Microsoft VS –

набором готових компонентів, які необхідним чином розташовуються в додатку. На даному етапі було додано відповідний набір компонентів та змінено їх властивості, що відповідають за оформлення, вигляд і подальшу роботу додатка.

В додатку створено десять модулів класу Form, який представляє графічний інтерфейс користувача (GUI) в програмі: Main_Modul, Dimensions_of_the_ship_Modul, Ship_hull_characteristics_Modul, Rudder_device_specifications_Modul, Propeller_specifications_Modul, Superstructure_specifications_Modul, Ship_speed_Modul, Wind_characteristics_Modul, Wave_characteristics_Modul, Power_characteristics_Modul. В рамках специфічності дизайну, усі модулі додатку, окрім головного, мають колір GradientActiveCaption, що встановлюється за допомогою властивості BackColor.

Main_Modul – головний керуючий модуль, який з'являється першим при завантаженні додатка. Цьому компонентові змінено властивість FormBorderStyle на FixedDialog та властивість Text на значення: «ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ РУХУ СУДНА». Тут розташовані три компоненти label, один numericUpDown та три вікна для вводу часу t та виводу отриманої інформації щодо швидкості судна та ширини смуги (textBox) (рис. 3.1). Компонентам textBox необхідно змінити властивість ReadOnly на true, щоб користувач не мав змоги вносити в ці вікна інші значення (з міркувань коректності роботи додатка), та BackColor на white.

Однак головним керуючим компонентом цього модуля є меню (menustrip), за допомогою якого генеруємо наступне меню (рис. 3.1). Кожен пункт розділу меню «Вхідні дані» має функцію виклику відповідного модуля з вищезгаданих для внесення необхідних початкових параметрів.

Пункт «Розміри судна» відкриває вікно для внесення необхідних розмірів судна, які наведені в додатку 1 (рисунок 3.2). Це об'єкт Dimensions_of_the_ship_Modul, якому змінено властивість Text на значення: «Розміри судна». На ньому розташовано 2 кнопки (компоненти button), 12

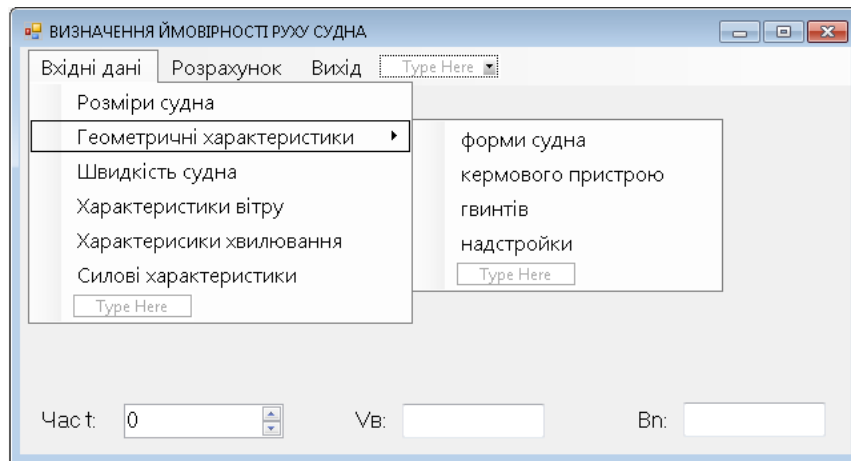


Рисунок 3.1 – Головний модуль та меню

компонентів label та 6 компонентів textBox, у яких також змінено властивості Text на відповідні (рисунок 3.2).

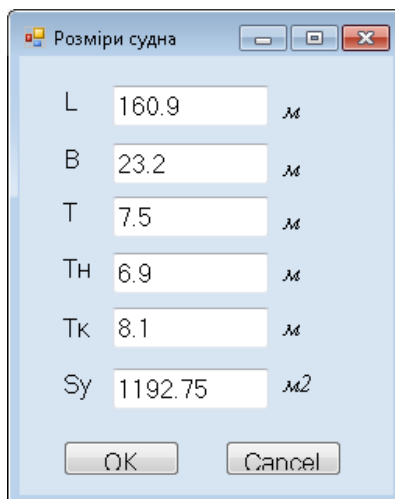


Рисунок 3.2 – Модуль для зміни розмірів судна

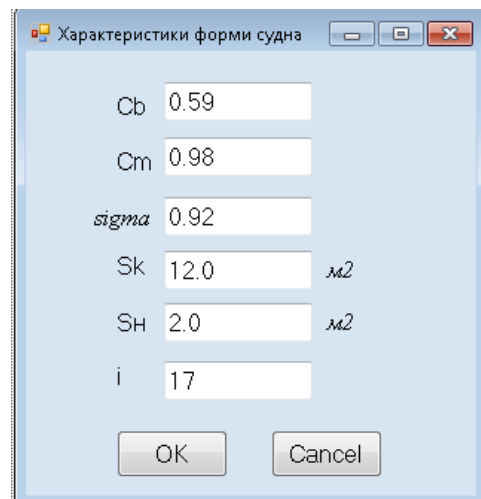


Рисунок 3.3 – Модуль для зміни характеристик форми судна

Наступний пункт меню «Геометричні характеристики» відкриває перелік підпунктів головного меню, які надають можливість змінити:

- Характеристики «форми судна» – передає керування модулю Ship_hull_characteristics_Modul та відкриває вікно для внесення необхідних параметрів форми судна, які наведені в додатку 1 (рисунок 3.3). Даному об'єкту змінено властивість Text на значення: «Характеристики форми судна». На ньому розташовано 2 кнопки керування OK та Cancel (компоненти button), 8 інформативних

компонентів label та 6 компонентів вводу даних textBox. Відповідно до призначення в цих компонентів також змінено властивості Text таким чином, як показано на рисунку 3.3.

- Характеристики «кермового пристрою» – передає керування модулю Rudder_device_specifications_Modul та відкриває вікно для зміни необхідних параметрів кермового пристрою судна (дод. А). Цьому об'єкту також необхідно змінити властивість Text на значення: «Характеристики кермового пристрою». Тут теж розташовано 2 керуючі кнопки (компоненти button) з написами «ОК» та «Cancel», 8 компонентів, що містять інформацію відповідно до вводу даних (label) та 6 контейнерів саме для вводу даних (textBox). Властивості Text описаним компонентам змінено таким чином, як продемонстровано на рисунку 3.4.
- Характеристики «гвинтів» – передає керування модулю Propeller_specifications_Modul та відкриває вікно для зміни необхідних характеристик, що відповідають назві обраного пункту меню (рис. 3.5).
- Характеристики «надстройки» передає керування модулю Superstructure_specifications_Modul та надає можливість змінити такі геометричні параметри судна: абсцису центру парусності, довжину та висоту надстройки, тому необхідними є три компоненти для вводу даних, дві керуючі кнопки та шість інформативних компонентів (рис.3.6).

За допомогою пункту меню «Швидкість судна» з'являється можливість обмежити максимальну швидкість судна. Для цього керування передається створеному модулю Ship_speed_Modul, який містить лише одне вікно для вводу даних, два інформативних компоненти та дві керуючі кнопки ОК та Cancel (рис. 3.7).

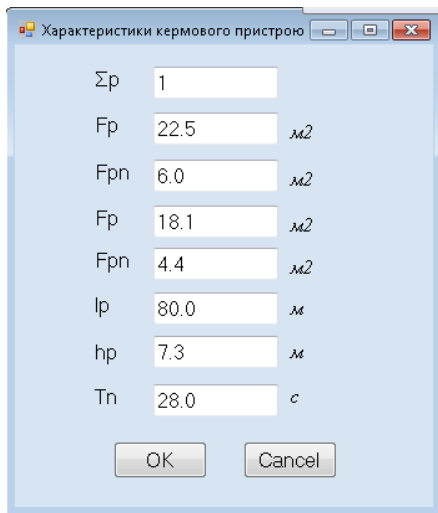


Рисунок 3.4 – Модуль для зміни характеристик кермового пристрою

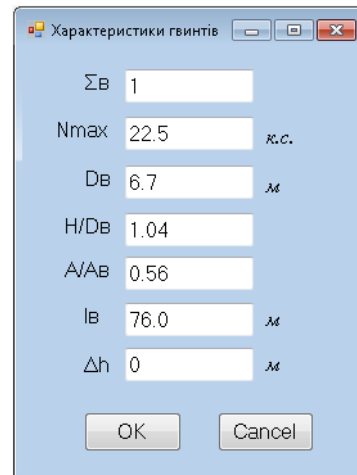


Рисунок 3.5 – Модуль для внесення параметрів гвинтів

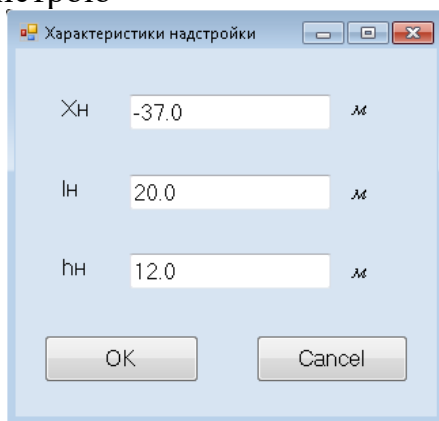


Рисунок 3.6 – Модуль для зміни параметрів надстройки судна

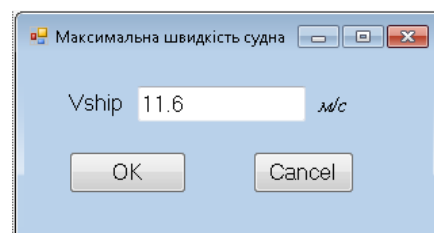


Рисунок 3.7 – Модуль для коригування максимальної швидкості судна

Елемент меню «Характеристики вітру» передає керування модулю Wind_characteristics_Modul, який містить вікна для зміни передавальних функцій перетворення білого шуму в швидкість вітру та введення самої швидкості вітру. Для збереження змін або відміни коректування даних додано дві кнопки керування модулем з відповідними написами: OK та Cancel, а інформативні написи містяться в компонентах PictureBox та label (рис.3.8).

За внесення у програму параметрів хвилювання відповідає модуль Wave_characteristics_Modul, який викликається за допомогою елементу меню «Характеристики хвилювання». Цей модуль містить вікна для зміни передавальних функцій перетворення білого шуму в хвилювання та кута

генерального напрямку хвилювання, компоненти для інформативних написів (PictureBox, label) та дві кнопки керування: OK та Cancel (рис.3.9). Для всіх компонентів класу PictureBox усіх наступних модулів були створені окремі індивідуальні зображення та завантажені відповідно до проекту додатку. Розміри зображень та компонентів PictureBox були також підібрані індивідуально одне одному та відповідно до дизайну додатку.

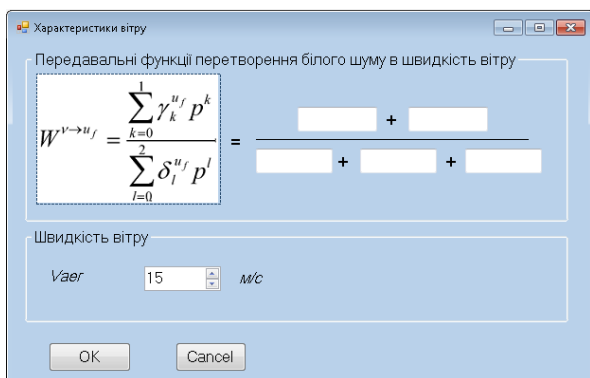


Рисунок 3.8 – Модуль для коригування характеристик вітру

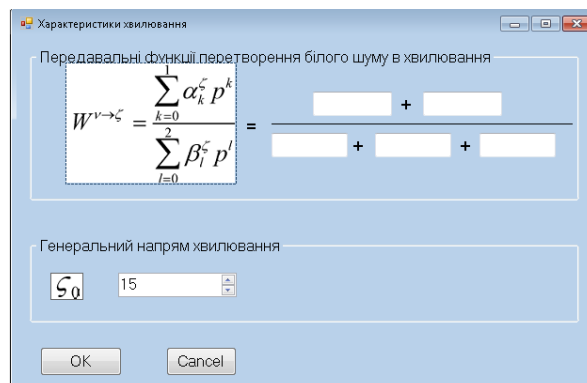


Рисунок 3.9 – Модуль для коригування характеристик вітру

Основним модулем для зміни передавальних функцій перетворення є модуль Power_characteristics_Modul, який викликається пунктом меню «Силкові характеристики» (рис. 3.10).

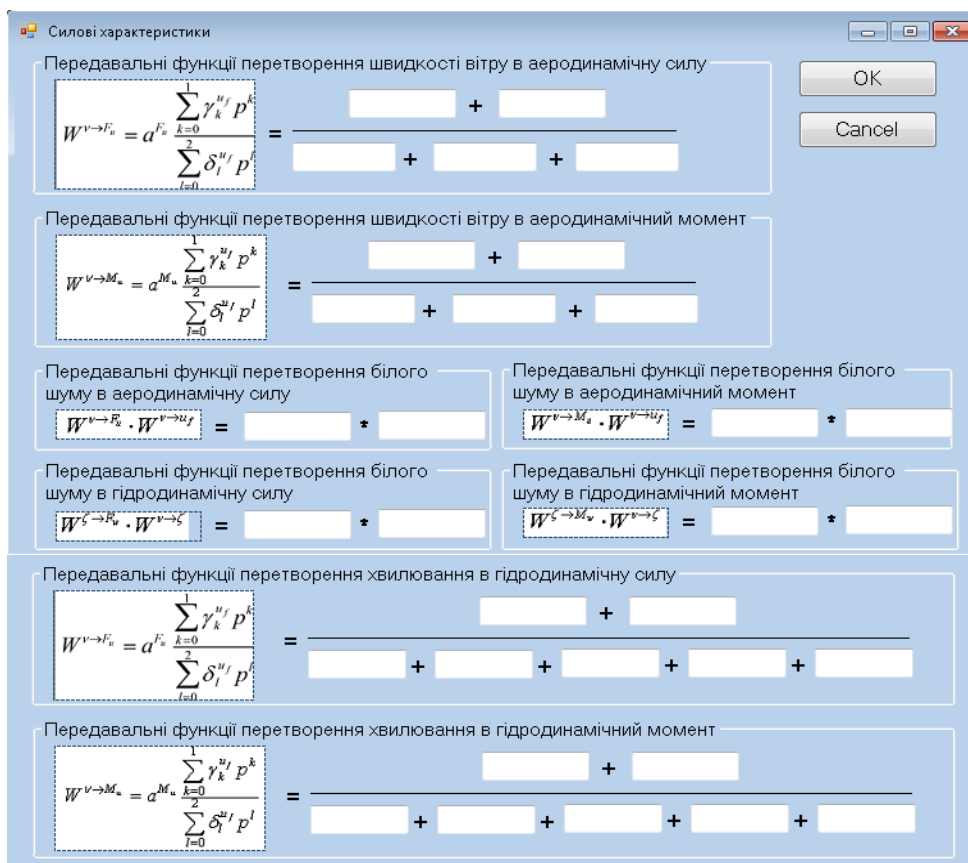


Рисунок 3.10 – Модуль для коригування силових характеристик

Він забезпечує програму усіма необхідними силовими характеристиками та надає змогу їх змінювати. Тут розташовано необхідну кількість вікон для вводу даних (textBox) та відповідних інформативних написів (label та PictureBox), що згруповані особливим чином (з використанням контейнерів GroupBox, яким також змінено властивість Text на відповідний напис згідно компонування даних) для підкреслення їх відношення до відповідних передавальних функцій перетворення. Цей модуль також керується двома кнопками: OK та Cancel.

Пункти меню «Розрахунок» та «Вихід» є самостійними відповідними елементами керування додатком. Вони відповідають за розрахунок коефіцієнтів систем рівнянь по введеним початковим даним, обробку їх матриць, рішення цих рівнянь і виведення інформації на головний модуль та за завершення роботи програми.

На доданок, важливо також встановити властивості FormBorderStyle всіх модулів зміни параметрів у значення FixedSingle та змінити розміри всіх вікон до необхідних. Це можна зробити вручну, використовуючи звичайну стрілку: просто наведіть курсор миші на край форми та змініть її розміри. Вказані вище дії є ключовими у процесі розробки цього додатка для Windows. Будь-які інші зміни, які можуть з'явитися під час використання додатка, вже внесені на етапі написання програмного коду.

3.2 Процедури обробки даних

Інерційні та демпфіруючі характеристики судна. Згідно до рівнянь (3.2) та (3.3) ці параметри розраховуються за формулами

$$\bar{n}_y^\beta = n_y^\beta + n_y^\delta \bar{\chi}_\beta + n_{y\beta}^\beta \chi_{\beta\beta}, \quad \bar{m}_z^\beta = m_z^\beta - n_y^\delta \bar{l}_p \bar{\chi}_\beta - n_{y\beta}^\beta \bar{l}_\beta \chi_{\beta\beta}, \quad (3.1)$$

$$\bar{n}_y^\omega = n_y^\omega + n_y^\delta \bar{l}_p \bar{\chi}_\omega + n_{y\beta}^\beta \bar{l}_\beta \chi_{\omega\beta}, \quad \tilde{n}_y^\omega = m_{11} - \bar{n}_y^\omega, \quad \bar{m}_z^\omega = m_z^\omega - n_y^\delta \bar{l}_p^2 \bar{\chi}_\omega - n_{y\beta}^\beta \bar{l}_\beta^2 \chi_{\omega\beta},$$

$$n_y^\beta = v_\beta \frac{\pi \lambda}{2}, \quad v_\beta = 1,3 \left(1 + \frac{\psi}{\lambda}\right)^2 + 3,6 \sigma_c, \quad \lambda = \frac{2T}{L}, \quad \psi = \frac{T_\kappa - T_y}{L}, \quad \frac{\psi}{\lambda} = \frac{T_\kappa - T_n}{2T}, \quad (3.2)$$

$$\sigma_c = \delta_\kappa - \frac{i}{20}, \quad \sigma_\kappa = 1 - \frac{2S_\kappa}{LT}, \quad \sigma_n = 1 - \frac{2S_n}{LT},$$

$$m_z^\beta = \mu_\beta \frac{\pi\lambda}{4}, \quad \mu_\beta = \frac{8C_b \left(1 - \frac{0,75B}{L}\right)}{\pi \left(1 - \left(\frac{\psi}{\lambda}\right)^2\right)} \left\{ \frac{1}{3}(4\sigma - 1) + \frac{2}{3} \left(\frac{\psi}{\lambda}\right)^2 + (\sigma_\kappa - \sigma_n) \frac{\psi}{\lambda} \right\} - v_\omega, \quad (3.3)$$

$$n_y^\omega = v_\omega \frac{\pi\lambda}{2}, \quad v_\omega = -2(\bar{x}_3 + 3,6\sigma_c \bar{x}_c), \quad \bar{x}_c = 0,5 - \sigma_\kappa, \quad (3.4)$$

$$\bar{x}_3 = 1,5(1 - \sigma_\kappa) \frac{\lambda + 0,5\psi}{\lambda + \psi},$$

$$m_z^\omega = -\mu_\omega \frac{\pi\lambda}{8},$$

$$\mu_\omega = \frac{16C_b \left(1 - \frac{1,6B}{L}\right)}{\pi \left(1 - \left(\frac{\psi}{\lambda}\right)^2\right)} \left\{ \left(\sigma - \frac{2}{3}\right) \frac{\psi}{\lambda} + \frac{(\sigma_\kappa - \sigma_n)}{1 - \left(\frac{\psi}{\lambda}\right)^2} \left[\frac{1}{6}(3\sigma - 1) - \frac{1}{3} \left(\frac{\psi}{\lambda}\right)^2 \right] \right\} + \left(\frac{C_b}{C_m}\right)^2 + 3,6\sigma_c (2\bar{x}_c)^2 \quad (3.5)$$

$$n_y^\delta = r_1 r_2 r_3 \frac{F_{p+pn}}{S_y} C_{yp}^\delta, \quad F_{p+pn} = F_p + F_{pn}, \quad C_{yp}^\delta = \frac{2\pi\lambda_p}{2 + \lambda_p}$$

$$r_1 = 1 + \frac{F_p'}{F_p} \left[(1 - 0,0125\sigma_p)^2 \left(\frac{\sqrt{1 + \sigma_p} + 1}{2} \right)^2 - 1 \right], \quad \sigma_p = \frac{1,22N_{\max}}{v_{\max}^3 D_\epsilon^2}, \quad (3.6)$$

$$r_2 = (1 - \psi_p)^2, \quad \psi_p = 0,07 + \lambda_p, \quad \lambda_p = \frac{h_p^2}{F_p}$$

$$r_3 = 1 + 0,2(\lambda_{p+pn})^{1/2} \sin \left[\frac{\pi(1 - \bar{F}_p)}{0,3 + 0,1\lambda_{p+pn}} \right], \quad \bar{F}_p = \frac{F_p}{F_{p+pn}}, \quad \lambda_{p+pn} = 1,5 \frac{h_p^2}{F_{p+pn}}$$

$$n_{y\epsilon}^\beta = (n_1 + n_2 \sqrt{\sigma_p}) \frac{D_\epsilon^2}{\sigma L T}, \quad n_1 = 0,139 \frac{H_\epsilon}{D_\epsilon} + 0,068 \left(\frac{A}{A_d} - 0,55 \right)$$

$$n_2 = \left[0,216 + 0,183 \left(\frac{A}{A_\epsilon} - 0,55 \right) \right] \left(\frac{H_\epsilon}{D_\epsilon} \right)^2 + \left[0,053 - 0,014 \left(\frac{A}{A_\epsilon} - 0,55 \right) \right] \quad (3.7)$$

$$n_{y\epsilon} = n_{y\epsilon}^\beta (\chi_{\beta\epsilon} \beta + \chi_{\omega\epsilon} \bar{l}_\epsilon \omega), \quad \bar{l}_\epsilon = \frac{l_\epsilon}{L}, \quad \beta_p = \bar{\chi}_\beta \beta + \bar{\chi}_\omega \bar{l}_p \omega, \quad \bar{l}_p = \frac{l_p}{L},$$

де необхідні параметри додаються відповідно таблиці, на кшталт указаної в Додатку А.

Визначення спектральних функцій сил та моментів. Для отримання спектральних функцій сил та моментів (2.7) - (2.9) потрібно перемножити спектральні функції хвиль та швидкості вітру на відповідні передаючі функції сил та моментів. Визначення коефіцієнтів цих спектральних функцій

виконувалось за наступним алгоритмом. Нехай функції $W^{V \rightarrow \zeta_w}$ відповідає набір чисел $(\alpha_i, \beta_j), i=0, n, j=0, m$, де α_i коефіцієнти чисельника, β_j коефіцієнти знаменника. Функції $W^{\zeta_w \rightarrow F_w}$ відповідає набір чисел $(c_l, d_k), l=0, r, k=0, s$, де c_l коефіцієнти чисельника, d_s коефіцієнти знаменника. Тоді спектральній функції $W^{V \rightarrow F_w}$ відповідає набір чисел $(a_p, b_q), p=0, r+n, q=0, s+m$, де a_p коефіцієнти чисельника, b_q коефіцієнти

знаменника, причому

$$a_p = \sum_{i=0}^n \sum_{l=0}^r f \alpha_i c_l, f = \begin{cases} 0, & i+l \neq p \\ 1, & i+l = p \end{cases},$$

$$b_q = \sum_{i=0}^n \sum_{l=0}^r f \beta_j d_k, f = \begin{cases} 0, & j+k \neq q \\ 1, & j+k = q \end{cases}.$$

Визначення математичних очікувань, кореляції та функції розподілу сумісної ймовірності випадкових функцій. По знайдених характеристиках судна а також спектральних функціях сил та моментів будується нормована система стохастичних рівнянь Іто руху судна. У програмі ця система представлена матрицею коефіцієнтів, які розраховані по формулах (2.13). Далі, по матриці системи рівнянь руху сформовані матриці системи рівнянь (2.16) для математичних очікувань та системи рівнянь (2.17) для кореляцій випадкових функцій. Лінійність то однорідність цих систем визначає тип їх рішення, а саме $\alpha_i(t) = \sum_{j=1}^N C_{ij} e^{\lambda_j t}, \beta_{ij}(t) = \sum_{k=1}^N D_{ijk} e^{\mu_k t}, i=1, N$, де λ_j та μ_k власні числа матриць відповідних систем рівнянь. Визначення власних чисел матриці здійснюється за алгоритмом, наданим на рисунку 3.11. Визначення ймовірності руху судна в межах смуги заданої ширини. Ймовірність означеної події визначається умовою (2.2). Це означає що потрібно визначити сумісну ймовірність випадкових величин $\varphi(t_j)$ та $\eta_G(t_j)$ для j моментів часу. Часовий інтервал має істотний масштаб, а саме час реакції судна на керуючі дії руля. Для таких інтервалів послідовність величин $\varphi(t_j)$ та $\eta_G(t_j)$ можна вважати статистично незалежною. Тому сумісна ймовірність

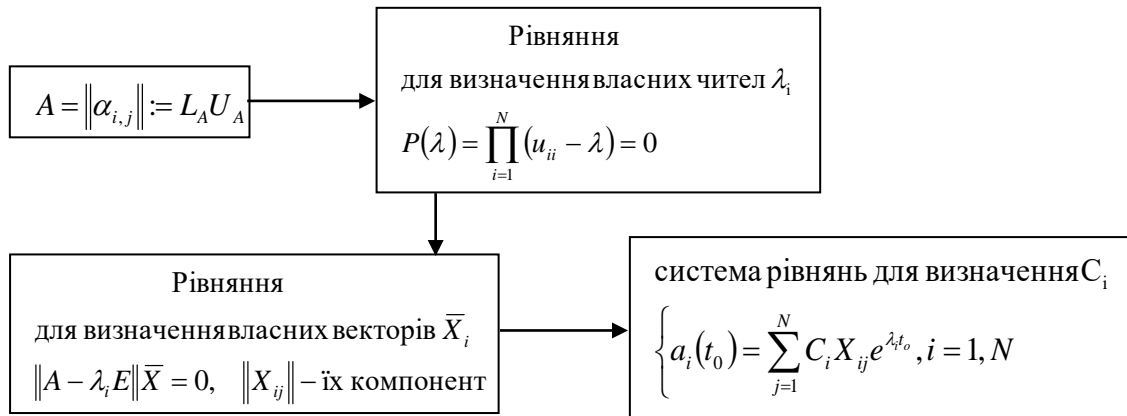


Рисунок 3.11 – Схема процедури рішення системи лінійних диференціальних рівнянь.

для значень цієї послідовності визначається як добуток

$P(\varphi(t_0), \eta_G(t_0), \dots, \varphi(t_N), \eta_G(t_N)) = \prod_{j=1}^N P(\varphi(t_j), \eta_G(t_j))$. Тому, по-перше, треба визначити

ймовірність $P(\varphi(t_j), \eta_G(t_j))$. Як що означити $\varphi(t_j) = X_{13}(t_j)$ і $\eta_G(t_j) = X_{14}(t_j)$, то

$$P(\varphi(t_j), \eta_G(t_j)) = \int_{-\infty}^{\infty} p(\bar{X}(t_j)) dX_{11} \dots dX_{12}$$

При інтегруванні багатовимірної щільності ймовірності (18) виникають обчислювальні труднощі. Кратність інтегралів залежить від розмірності вектора $\bar{X}(t)$, тобто від кількості невідомих функцій, що входять до розширеної системи стохастичних диференціальних рівнянь. Наприклад, якщо розмірність вектора дорівнює 14, то відповідно до формули (5.9) для визначення умовної ймовірності $P(|X_{13}| < \varphi_{\max}, |X_{14}| < \eta_{\max})$ по всіх компонентах X_i де $i \neq 13$ та $i \neq 14$, інтегрування ведеться по нескінченних межах, а для $i = 13$ межі інтегрування від $-\varphi_{\max}$ до φ_{\max} , а для $i = 14$ від $-\eta_{\max}$ до η_{\max} . Щоб отримати двовірну щільність розподілу $p(X_{13}, X_{14})$, багатовимірну щільність розподілу (5.9) слід проінтегрувати по всіх компонентах, відмінних від X_{13} і X_{14} по нескінченних границях. Враховуючи, що під знаком інтеграла стоїть ступінь експоненти з квадратичною формою у показнику, можна записати

$$\int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^N \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{g=1}^{N-1} \sum_{h=g+1}^N \beta_{gh} X_g X_h \right] \right\} \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq 13 \\ k \neq 14}}^{14} dX_k \quad (3.8)$$

Збираючи коефіцієнти при ступенях X_i , вираз (3.8) можна перетворити на вигляд

$$\int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^N \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{g=1}^{N-1} \sum_{h=g+1}^N \beta_{gh} X_g X_h \right] \right\} \prod_{k=1}^{14} dX_k \quad (3.9)$$

Нескладно показати, як процес інтегрування зробити рекурсивним.

Розглянемо інтеграл виду $I = \int_{-\infty}^{\infty} \exp \{-AY^2 + BY\} dY$. При $A > 0$ первісна підінтегральній функції є $\frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{A}} \exp \left\{ \frac{B^2}{4A} \right\} \operatorname{Erf} \left\{ \frac{2AY \pm B}{2\sqrt{A}} \right\}$. При $Y \rightarrow \pm\infty$ цей вираз прагне до $\pm I$, тому інтеграл дорівнює $\frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{A}} \exp \left\{ \frac{B^2}{4A} \right\}$. Підставляючи $\frac{1}{2} \beta_{11}$ замість A , $\sum_{k=2}^N \beta_{1k} X_k$ замість B і X_1 замість Y , отримуємо, що у (3.9)

внутрішній інтеграл визначається співвідношенням

$$\frac{\sqrt{2\pi}}{\sqrt{\beta_{11}}} \exp \left\{ \frac{\left(\sum_{k=2}^N \beta_{1k} X_k \right)^2}{2\beta_{11}} \right\}, k \neq 13, 14. \quad \text{Складаючи показник експоненти цього}$$

інтегралу з показником другої експоненти в інтегралі (3.9), отримуємо інтеграл того ж самого типу. Проводячи подібним чином послідовне інтегрування та використовуючи на кожному кроці попередній результат, знаходимо двомірну щільність розподілу

$$p(X_{13}, X_{14}) = (2\pi)^2 \sqrt{|K^{-1}(t)|} \prod_{i=1, i \neq 13, i \neq 14}^N \beta_{ii} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\sum_{i=13, 14} \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{\substack{h=13, 14 \\ h \neq g}} \beta_{gh} X_g X_h \right] \right\} \quad (3.10)$$

Ймовірність події $P(|X_{13}| < \varphi_{\max}, |X_{14}| < \eta_{\max}) = P$ можна визначити, знаючи щільність розподілу ймовірності (3.10), за допомогою співвідношення

$$P = 1 - \left[\int_{-\infty}^{-\varphi_{\max}} p(X_{13}) dX_{13} + \int_{\varphi_{\max}}^{\infty} p(X_{13}) dX_{13} + \int_{-\infty}^{-\eta_{\max}} p(X_{14}) dX_{14} + \int_{\eta_{\max}}^{\infty} p(X_{14}) dX_{14} + \right. \\ \left. + \int_{-\infty}^{-\varphi_{\max}} \left(\int_{-\infty}^{-\eta_{\max}} p(X_{13}, X_{14}) dX_{14} + \int_{\eta_{\max}}^{\infty} p(X_{13}, X_{14}) dX_{14} \right) dX_{13} + \int_{\varphi_{\max}}^{\infty} \left(\int_{-\infty}^{-\eta_{\max}} p(X_{13}, X_{14}) dX_{14} + \int_b^{\infty} p(X_{13}, X_{14}) dX_{14} \right) dX_{13}. \right] \quad (3.11)$$

Інтеграл з кінцевими границями $I = \int_{-a}^a \exp\{-AY^2 + BY\} dY$ має вид

$$\frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{A}} \exp\left\{\frac{B^2}{4A}\right\} \operatorname{Erf}\left\{\frac{2AY \pm B}{2\sqrt{A}}\right\}, \text{ де функцію } \operatorname{Erf}\left\{\frac{2AY \pm B}{2\sqrt{A}}\right\} \text{ з інженерною точністю}$$

можна апроксимувати поліномом $2\left(\frac{Y}{\sqrt{\pi}} - \frac{Y^3}{3\sqrt{\pi}} + \frac{Y^5}{2\sqrt{\pi}} - \frac{Y^7}{21\sqrt{\pi}}\right)$. Розрахунок

ймовірності $P(|X_{13}| < \varphi_{\max}, |X_{14}| < \eta_{\max}) = P$ реалізовано алгоритмом відповідно до блок-схеми в ДОДАТКУ В

3.3 Тестування програми та вивід результатів

Для тестування роботи програми була розрахована ймовірність (2.2) для руху танкера «Крим» при систематичній зміні значень швидкості вітру, генеральному напрям вітру и хвиль, швидкості судна, ширини каналу та дистанції руху. Результати розрахунку наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Ймовірність «невиходу» судна, що рухається із швидкістю $V_c=5\text{м/с}$ за межі смуги шириною B_n на дистанції L

Напрямок вітру		15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
$V_B=15\text{м/с},$ $B_n=3B$	10L	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
	25L	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,90	0,93	0,95	0,96	0,98	0,99
	50L	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,88	0,91	0,93	0,94	0,96	0,99
$V_B=20\text{м/с},$ $B_n=3B$	10L	0,99	0,97	0,96	0,94	0,90	0,87	0,88	0,88	0,93	0,96	0,99
	25L	0,98	0,96	0,94	0,92	0,88	0,85	0,83	0,87	0,90	0,95	0,98
	50L	0,98	0,93	0,90	0,87	0,84	0,78	0,81	0,84	0,88	0,92	0,98
$V_B=25\text{м/с},$ $B_n=3B$	10L	0,98	0,96	0,94	0,88	0,80	0,67	0,68	0,73	0,84	0,94	0,98
	25L	0,98	0,92	0,90	0,86	0,77	0,65	0,66	0,71	0,81	0,90	0,97
	50L	0,97	0,92	0,88	0,83	0,74	0,61	0,63	0,69	0,82	0,90	0,96

Для цього ж судна були проведені розрахунки в [8], тому можна порівняти результати. Характеристики судна наведені в Додатку А. З точністю до 10^{-3} величини розрахованих ймовірностей співпадають із величинами в [8].

ВИСНОВКИ

У даній роботі розроблено Windows-додаток, який розраховує ймовірність «невиходу» судна, що рухається із швидкістю V_c , за межі смуги шириною B_n на дистанції L .

Користувач розробленого додатку може задавати різні вхідні дані: розміри судна, характеристики форми судна, характеристики кермового пристрою, характеристики гвинтів та настройки, максимальну швидкість судна, характеристики вітру та хвиль. Також є можливість змінювати силові характеристики судна, що обумовлені дією вітру та хвиль.

Перспективи подальшого розвитку теми «Інформаційна технологія оцінювання безпеки руху судна в підхідному каналі в умовах хвиль» можуть включати такі аспекти:

- 1) втілення методики розрахунку передаючих функцій гідро- та аеродинамічних сил;
- 2) втілення алгоритму апроксимації функцій дробово-раціональними виразами;
- 3) інтеграція з іншими технологіями.

Загалом, перспективи подальшого розвитку теми є широкими і включають різноманітні аспекти, що дає можливість покращити функціональність та застосування додатку у галузі судноплавства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Норми технологічного проектування морських каналів ВСН 19-70/ММФ-М. СоюзНДІпроект, 1970.
2. Технічні умови проектування морських каналів ВСН 24-71/ММФ-М. СоюзНДІпроект. 1971
3. Норми технологічного проектування морських портів ВНТП-02-79. М., ІБНТІММФ, 1980.
4. Посібник з оперативного визначення прохідної осідання суден на підхідних каналах до морських портів РД 31.63.01-83/ММФ. М., В/О Мортехінформреклама, 1983.
5. Пашкин В.П., Яковлев П.И., Соколов В.Т. Дноуглубительные, рефулерные и гидромеханизированные работы. Одесса, «Астропринт», 1999. 427 с.
6. Vorobyov Y.L., Drobishevskiy Y.E., Kokhanov E.V. Computer simulation of a ship maneuvers while entering the harbor // Scientific and Methodological Seminar on ship Hydrodynamics, 19th session, 1990, Varna.
7. Vorobyov Y.L., Drobishevskiy Y.E. Mathematical simulation of a ship maneuvers in unbounded and restricted seas // Marine, Offshore and Ice Technology. 5th International Conference on Computer aid design, Manufacture and Operation in Ice (CADMO/94 and ITC/94) South emption. – Computer Mechanics Publications, 1994, p. 205-213.
8. Косой М. Б. Визначення ширини смуги керованого руху судна в умовах вітру та хвилювання на мілководді: дис. канд. техн. наук: 05.08.01 / Одеський національний морський ун-т. - О., 2006. - 194л. - Бібліогр.: л. 165-172.
9. Пугачёв В.С., Сеницын И.Н. Теория стохастических процессов. М., Логос, 2000. 1000с.

- 10.Соболев Г.В. Управляемость корабля и автоматизация судовождения. Л., Судостроение, 1976. 477с.
- 11.Эндрю Троелсен. С# и платформа .NET. / Библиотека программиста/ Москва., Санкт-Петербург: Издательство «Питер». – 2004. – 785 с.
- 12.Джесс Либерти. Программирование на С#./ 2-е издание.
- 13.Шилдт Г. Полный справочник по С#. /. М.: Издательский дом «Вильямс». 2004 – 740 с.
- 14.Культин Н.Б. С# в задачах и примерах. – БХВ.-Петербург, 2007. – 240с. : с иллюстрациями.

ДОДАТОК А

Основні технічні характеристики судна «Крим»

Розміри судна

Довжина судна мшж перпендикулярами	L	m	160,9
Ширина судна по діючу ватерлінію	B	m	23,2
Осадка судна на міделі	T	m	7,5
Осадка судна носом	T_n	m	6,9
Осадка судна кормою	T_k	m	8,1
Площа зануреної діаметральної площини	S_v	m^2	1192,75
Характеристики форми судна			
Коефіцієнт загальної повноти	C_b	–	0,59
Коефіцієнт повноти площі мідельшпангоута	C_m	–	0,98
Коефіцієнт повноти площі діаметральної площі	σ	–	0,92
Площа, що доповнює кормову частину діаметральної площі до прямокутника при $T_k=T$	S_k	m^2	12,0
Площа, що доповнює носову частину діаметральної площі до прямокутника при $T_n=T$	S_n	m^2	2,0
Номер шпангоута, що межує між U- и V-образними обводами в кормі	i	–	17
Характеристики кермового пристрою			
Кількість пір'я керма	Σ_p	–	1
Площа пера керма, що відповідає T_k	F_p	m^2	22,5
Площа рудерпоста, що відповідає T_k	F_{pn}	m^2	6,0
Площа пера керма, що попадає в струмінь гвинта	F'_p	m^2	18,1
Площа рудерпоста, що попадає в струмінь гвинта	F'_{pn}	m^2	4,4
Відстань баллера пера керма від центру тяжіння судна	l_p	m	80,0
Висота пера керма найбільша, що відповідає T_k	h_p	m	7,3
Час перекладки пера керма с $\delta=-35^\circ$ до $\delta=30^\circ$	T_n	c	28,0
Характеристики гвинтів			
Мощність на валу при v_{max}	N_{max}	л.с.	19250
Кількість гвинтів	Σ_g	–	1
Діаметр гребного гвинта	D_g	m	6,7
Шагове відношення гвинта	H/D_g	–	1,04
Дискове відношення гвинта	A/A_g	–	0,56
Відстань диска гвинта від центру тяжіння судна	l_g	m	76,0
Відстань верхньої кромки пера керма від ватерлінії, що відповідає T_k	Δh	m	0
Характеристики надстройки			
Абсциса центру вітрильності	x_n	m	-37
Довжина надстройки	l_n	m	20

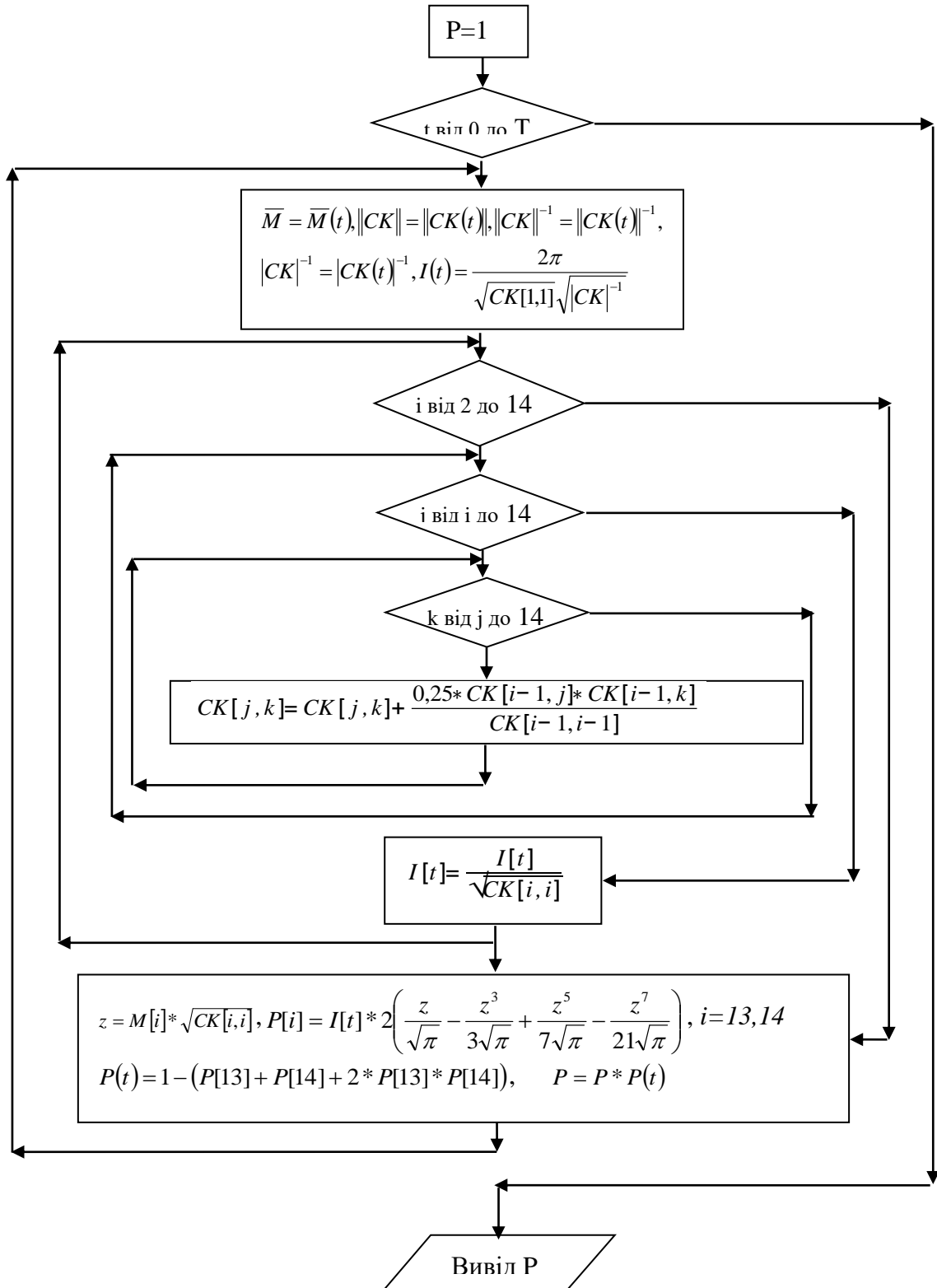
Висота надстройки	h_H	m	12
Швидкість судна			
Максимальна швидкість судна	V_{ship}	m/c	11,6

Характеристики вітру	
Передаточні функції перетворення білого шуму в швидкість вітру	$W^{v \rightarrow u_f} = \frac{\sum_{k=0}^1 \gamma_k^{u_f} p^k}{\sum_{l=0}^2 \delta_l^{u_f} p^l}$
швидкість вітру	V_{aer}
Характеристики хвиль	
Передаточні функції перетворення білого шуму в хвилювання	$W^{v \rightarrow \zeta} = \frac{\sum_{k=0}^1 \alpha_k^{\zeta} p^k}{\sum_{l=0}^2 \beta_l^{\zeta} p^l}$
Генеральний напрям хвиль	ζ_0

Силкові характеристики судна	
Передаточні функції перетворення швидкості вітру в аеродинамічну силу	$W^{v \rightarrow F_u} = a^{F_u} \frac{\sum_{k=0}^1 \gamma_k^{u_f} p^k}{\sum_{l=0}^2 \delta_l^{u_f} p^l}$
Передаточні функції перетворення швидкості вітру в аеродинамічний момент	$W^{v \rightarrow M_u} = a^{M_u} \frac{\sum_{k=0}^1 \gamma_k^{u_f} p^k}{\sum_{l=0}^2 \delta_l^{u_f} p^l}$
Передаточні функції перетворення білого шуму в аеродинамічну силу	$W^{v \rightarrow F_u} \cdot W^{v \rightarrow u_f}$
Передаточні функції перетворення білого шуму в аеродинамічний момент	$W^{v \rightarrow M_u} \cdot W^{v \rightarrow u_f}$
Передаточні функції перетворення хвилювання в гідродинамічну силу	$W^{\zeta \rightarrow F_w} = \frac{\sum_{k=0}^1 a_k^{F_w} p^k}{\sum_{l=0}^4 b_l^{F_w} p^l}$
Передаточні функції перетворення хвилювання в гідродинамічний момент	$W^{v \rightarrow M_w} = \frac{\sum_{k=0}^1 a_k^{M_w} p^k}{\sum_{l=0}^4 b_l^{M_w} p^l}$
Передаточні функції перетворення білого шуму в гідродинамічну силу	$W^{\zeta \rightarrow F_w} \cdot W^{v \rightarrow \zeta}$
Передаточні функції перетворення білого шуму в гідродинамічний момент	$W^{\zeta \rightarrow M_w} \cdot W^{v \rightarrow \zeta}$

ДОДАТОК Б

Блок-схема алгоритму розрахунку ймовірності Р



Додаток В

Код програми Windows – додатка

```
//Файл Form1.cs
using System;
using System.IO;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Math;
namespace WindowsFormsApp_05_12_23
{
public partial class Main_Modul : Form
    {
        public static int t = 0;//час
        public Main_Modul()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {
        }
        private void
характеристикиФормиСуднаToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
        {
        }
        private void надстройкиToolStripMenuItem_Click(object
sender, EventArgs e)
        {
            Close();
        }
        private void
геометричніХарактеристикиToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
        {
        }
        private void
силовіХарактеристикиToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
        {
            Power_characteristics_Modul form10 = new
Power_characteristics_Modul();
            form10.ShowDialog();
        }
    }
}
```

```

        private void
швидкістьСуднаToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs
e)
    {
        Ship_speed_Modul forma7 = new Ship_speed_Modul();
        forma7.ShowDialog();
    }
    private void
характеристикиХвилюванняToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
    {
        Wave_characteristics_Modul forma9 = new
Wave_characteristics_Modul();
        forma9.ShowDialog();
    }
    private void розрахунокToolStripMenuItem_Click(object
sender, EventArgs e)
    {
        Read_Vector();
    }
    private void t_numericUpDown1_ValueChanged(object
sender, EventArgs e)
    {
        t = (int)t_numericUpDown1.Value;
    }
    public static void Read_Vector()
    {
        StreamReader read = new
StreamReader(Wave_characteristics_Modul.Path_Vector);
        string buffer = read.ReadLine();
        buffer = buffer.Trim();
        string[] element = buffer.Split(',');
        int n = element.Length;
        //double a;
        ListBox listBox1 = new ListBox();
        for (int i = 0; i < n; i++)
        {
            // a = Convert.ToDouble(my[i]);
            //Console.WriteLine("{0}\t", element[i]);
            // rez += a;
            // richTextBox1.Text = element[i];
            listBox1.Text = element[i];
        }
        //rez = rez / n;
        read.Close();
    }
    private void вихідToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
    {
        Close();
    }
    private void розміриСуднаToolStripMenuItem_Click(object
sender, EventArgs e)

```

```

        {
            Dimensions_of_the_ship_Modul forma2 = new
Dimensions_of_the_ship_Modul();
            forma2.ShowDialog();
        }
        private void формиСуднаToolStripMenuItem_Click(object
sender, EventArgs e)
        {
            Ship_hull_characteristics_Modul forma3 = new
Ship_hull_characteristics_Modul();
            forma3.ShowDialog();
        }
        private void
кермовогоПристроюToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
        {
            Rudder_device_specifications_Modul forma4 = new
Rudder_device_specifications_Modul();
            forma4.ShowDialog();
        }
        private void гвинтівToolStripMenuItem_Click(object
sender, EventArgs e)
        {
            Propeller_specifications_Modul forma5 = new
Propeller_specifications_Modul();
            forma5.ShowDialog();
        }
        private void надстройкиToolStripMenuItem_Click_1(object
sender, EventArgs e)
        {
            Superstructure_specifications_Modul forma6 = new
Superstructure_specifications_Modul();
            forma6.ShowDialog();
        }
        private void
характеристикиВітруToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
        {
            Wind_characteristics_Modul forma8 = new
Wind_characteristics_Modul();
            forma8.ShowDialog();
        }
    }
}

//Файл Form2.cs
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;

```

```
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
namespace WindowsFormsApp_05_12_23
{
    public partial class Dimensions_of_the_ship_Modul : Form
    {
        public Dimensions_of_the_ship_Modul()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Close();
        }
        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
        }
    }
}
//Файл Form3.cs
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace WindowsFormsApp_05_12_23
{
    public partial class Ship_hull_characteristics_Modul : Form
    {
        public Ship_hull_characteristics_Modul()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Close();
        }
    }
}
//Файл Form4.cs
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
```

```

using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
namespace WindowsFormsApp_05_12_23
{
    public partial class Rudder_device_specifications_Modul :
Form
    {
        public Rudder_device_specifications_Modul()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Close();
        }
    }
}
//Файл Form5.cs
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
namespace WindowsFormsApp_05_12_23
{
    public partial class Propeller_specifications_Modul : Form
    {
        public Propeller_specifications_Modul()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Close();
        }
    }
}
//Файл Form6.cs
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

```

```
using System.Windows.Forms;
namespace WindowsFormsApp_05_12_23
{
    public partial class Superstructure_specifications_Modul :
Form
    {
        public Superstructure_specifications_Modul()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Close();
        }
    }
}
//Файл Form7.cs
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace WindowsFormsApp_05_12_23
{
    public partial class Ship_speed_Modul : Form
    {
        public Ship_speed_Modul()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Close();
        }
    }
}
//Файл Form8.cs
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
```

```

using System.Windows.Forms;

namespace WindowsFormsApp_05_12_23
{
    public partial class Wind_characteristics_Modul : Form
    {
        public Wind_characteristics_Modul()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Close();
        }
    }
}
//Файл Form9.cs
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
namespace WindowsFormsApp_05_12_23
{
    public partial class Wave_characteristics_Modul : Form
    {
        public static string Path_Vector="30_Vector_M.txt";
        public static string Path_Matrix = "30_Matrix.txt";

        public Wave_characteristics_Modul()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void Form9_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            Path_Vector = "30_Vector_M.txt";
            Path_Matrix = "30_Matrix.txt";
        }
        private void UGOL_numericUpDown1_ValueChanged(object sender, EventArgs e)
        {string
        ugol=Convert.ToString(UGOL_numericUpDown1.Value);
        switch (ugol)
        {
            case "15": Path_Vector = "15_Vector_M.txt";
                Path_Matrix = "15_Matrix.txt";
                break;

```

```
        case "30": Path_Vector = "30_Vector_M.txt";
                   Path_Matrix = "30_Matrix.txt";
                   break;
        case "45": Path_Vector = "45_Vector_M.txt";
                   Path_Matrix = "45_Matrix.txt";
                   break;
        case "60": Path_Vector = "60_Vector_M.txt";
                   Path_Matrix = "60_Matrix.txt";
                   break;
        case "75": Path_Vector = "75_Vector_M.txt";
                   Path_Matrix = "75_Matrix.txt";
                   break;
        case "90": Path_Vector = "90_Vector_M.txt";
                   Path_Matrix = "90_Matrix.txt";
                   break;
        case "105": Path_Vector = "105_Vector_M.txt";
                   Path_Matrix = "105_Matrix.txt";
                   break;
        case "120": Path_Vector = "120_Vector_M.txt";
                   Path_Matrix = "120_Matrix.txt";
                   break;
        case "135": Path_Vector = "135_Vector_M.txt";
                   Path_Matrix = "135_Matrix.txt";
                   break;
        case "150": Path_Vector = "150_Vector_M.txt";
                   Path_Matrix = "150_Matrix.txt";
                   break;
        case "165": Path_Vector = "165_Vector_M.txt";
                   Path_Matrix = "165_Matrix.txt";
                   break;
        case "180": Path_Vector = "180_Vector_M.txt";
                   Path_Matrix = "180_Matrix.txt";
                   break;
        default: return;
    }
}

private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Close();
}
}

//Файл Form10.cs
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
```

```

using System.Windows.Forms;

namespace WindowsFormsApp_05_12_23
{
    public partial class Power_characteristics_Modul : Form
    {
        public Power_characteristics_Modul()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Close();
        }
    }
}

//Процедура LU-розкладання матриці
static double[][] LUDecompose(double[][] matrix,
    out int[] perm, out int toggle)
{
    int n = matrix.Length;
    double[][] result = LUDuplicate(matrix);
    perm = new int[n];
    for (int i = 0; i < n; ++i) { perm[i] = i; }
    toggle = 1;
    for (int j = 0; j < n - 1; ++j) {
        double colMax = Math.Abs(result[j][j]);
        int pRow = j;
        for (int i = j + 1; i < n; ++i)
        {
            if (result[i][j] > colMax)
            {
                colMax = result[i][j];
                pRow = i;
            }
        }
        if (pRow != j) {
            double[] rowPtr = result[pRow];
            result[pRow] = result[j];
            result[j] = rowPtr;
            int tmp = perm[pRow];
            perm[pRow] = perm[j];
            perm[j] = tmp;
            toggle = -toggle;
        }
        if (Math.Abs(result[j][j]) < 1.0E-20)
            return null;
        for (int i = j + 1; i < n; ++i)
        {
            result[i][j] /= result[j][j];
            for (int k = j + 1; k < n; ++k)
                result[i][k] -= result[i][j] * result[j][k];
        }
    }
}

```

```

    }
    }
    return result;
}
static double[][] LUDuplicate(double[][] matrix)
{
    double[][] result = MatrixCreate(matrix.Length,
matrix[0].Length);
    for (int i = 0; i < matrix.Length; ++i)
        for (int j = 0; j < matrix[i].Length; ++j)
            result[i][j] = matrix[i][j];
    return result;
}
//Процедура обернення матриці
static double[] HSol(double[][] luMatrix,
double[] b)
{
    // Решаем luMatrix * x = b
    int n = luMatrix.Length;
    double[] x = new double[n];
    b.CopyTo(x, 0);
    for (int i = 1; i < n; ++i)
    {
        double sum = x[i];
        for (int j = 0; j < i; ++j)
            sum -= luMatrix[i][j] * x[j];
        x[i] = sum;
    }
    x[n - 1] /= luMatrix[n - 1][n - 1];
    for (int i = n - 2; i >= 0; --i)
    {
        double sum = x[i];
        for (int j = i + 1; j < n; ++j)
            sum -= luMatrix[i][j] * x[j];
        x[i] = sum / luMatrix[i][i];
    }
    return x;
}
static double[][] MatrInverse(double[][] matrix)
{
    int n = matrix.Length;
    double[][] result = LUDuplicate(matrix);
    int[] perm;
    int toggle;
    double[][] lum = LUDecompose(matrix, out perm, out toggle);
    if (lum == null)
        return null;
    double[] b = new double[n];
    for (int i = 0; i < n; ++i)
    {
        for (int j = 0; j < n; ++j)
        {
            if (i == perm[j])
                b[j] = 1.0;
        }
    }
}

```

```

        else
            b[j] = 0.0;
    }
    double[] x = HSol(lum, b);
    for (int j = 0; j < n; ++j)
        result[j][i] = x[j];
    }
    return result;
} }
static double[][] MatrInverse(double[][] matrix)
{
    int n = matrix.Length;
    double[][] result = LUDuplicate(matrix);
    int[] perm;
    int toggle;
    double[][] lum = LUDecompose(matrix, out perm, out toggle);
    if (lum == null)
        double[] b = new double[n];
    for (int i = 0; i < n; ++i)
    {
        for (int j = 0; j < n; ++j)
        {
            if (i == perm[j])
                b[j] = 1.0;
            else
                b[j] = 0.0;
        }
        double[] x = HSol(lum, b);
        for (int j = 0; j < n; ++j)
            result[j][i] = x[j];
    }
    return result;
}
//Визначник матриці
static double MatrDet(double[][] matrix)
{
    int[] perm;
    int toggle;
    double[][] lum = LUDecompose(matrix, out perm, out toggle);
    if (lum == null)
        double result = toggle;
    for (int i = 0; i < lum.Length; ++i)
        result *= lum[i][i];
    return result;
}

```