

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Явтушкевич Сергій Юрійович

УДК 004.415.25

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ СКАЛЯРНИХ ПОЛІВ
ОКЕАНІЧНИМИ МЕАНДРОВИМИ ТЕЧІЯМИ**

Спеціальність – 8.05010102

«Інформаційні технології проектування»

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня
магістра програмного забезпечення

Київ – 2014

Робота виконана на кафедрі автоматизації проектування енергетичних процесів та систем НТУУ «КПІ» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: Гуржій Олександр Андрійович
доктор фізико-математичних наук, професор
Національний технічний університет України
„Київський політехнічний інститут”

Рецензенти:

Захист відбудеться 10 червня 2014 р., о _____ на засіданні ДЕК кафедри АПЕПС
НТУУ «КПІ», аудиторія _____

З дисертацією можна ознайомитись у методичному кабінеті кафедри АПЕПС
НТУУ «КПІ», аудиторія 415-5

Автореферат підготовлено та надано для розгляду “__” _____ 2014 р.
Робота рекомендована до захисту “__” _____ 2014 р.

Завідувач кафедри АПЕПС НТУУ «КПІ»,
доктор технічних наук, професор

Лук’яненко С.О.

Відповідальний за випуск магістрів
кафедри АПЕПС НТУУ «КПІ»,
кандидат технічних наук, доцент

Гагарін О.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

Розуміння процесів переносу скалярних полів у взаємодії з вихровими рухами є вкрай важливими питанням сучасної наукової діяльності, зокрема через тісний взаємозв'язок цих процесів з проблемами екології, наприклад з питанням розповсюдження забруднення океанічними течіями. Наразі необхідність охорони морського середовища від несанкціонованого потрапляння забруднюючої речовини, наприклад нафти, особливо зросла у зв'язку з інтенсивною розробкою в морі нафтових родовищ. Фактори, які впливають на масштаби забруднення також багаточисленні, тому охорона морського середовища повинна проводитись комплексним шляхом, використовуючи та створюючи при цьому нові технологічні методи, принципи та засоби попередження забруднень. Саме спрямованість на вирішення таких задач формує актуальність розробки програмної системи, спрямованої на моделювання процесів переносу скалярних полів поверхневими меандруючими океанічними течіями. Також розроблена система може використовувати при моделювання та прогнозуванні атмосферних явищ, що залежать від великомасштабних океанічних течій, зокрема зміни температури тощо.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота магістра виконувалась у НТУУ "КПІ" у відповідності до плану наукових досліджень кафедри АПЕПС.

Метою дисертаційної роботи є створення програмної системи, яка призначена для вивчення особливостей структури меандруючих течій на безмежній поверхні і процесів переносу меандром скалярних полів. Також розроблена програмна система, призначена для ідентифікації потенційно небезпечних зон розташування нафтовидобувних платформ, для прогнозування і моделювання можливих забруднень водних середовищ у випадку потрапляння поверхневого забруднення у меандруючу течію, що сприятиме розповсюдженню забруднення на значні відстані, що може призвести до екологічної катастрофи.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні **завдання**:

- проаналізувати існуючі моделі розв'язку поставленої задачі, визначити необхідні удосконалення та оптимальний у використанні та реалізації підхід;
- розробити архітектуру програмної системи, проаналізувати етапи реалізації програмних модулів та їх взаємодію;
- створити програмні модулі системи, що забезпечать виконання процесу моделювання та допоміжного функціоналу.

Об'єкт дослідження – комп'ютерної інформаційної системи, що спрямована на моделювання та вивчення меандрових океанічних течій, та процесів переносу скалярних полів у таких зонах.

Предмет дослідження – програмне система, що забезпечує реалізацію процесу моделювання та аналіз деформації контуру виділеної рідини у меандровій течії, що сформована системою точкових вихорів, за певний проміжок часу.

Методи дослідження

В ході досліджень було використано наступні методи:

- метод дискретних особливостей, а саме модель точкових вихорів для формування меандрової течії;
- метод Рунге-Кутта четвертого порядку для вирішення системи звичайних диференціальних рівнянь у задачі Коші з заданими початковими умовами;
- метод кусково-поліноміальної інтерполяції для побудови динамічного контуру виділеної області.

Наукова новизна одержаних результатів.

Удосконалено спосіб розв'язання начально-краєвої задачі Коші переносу скалярних полів у гідродинамічних течіях, за рахунок зведення її до багатоточкової задачі Коші з початковими умовами. Цей підхід набув подальшого розвитку в програмній системі через використання разом з моделлю точкових вихорів для відтворення структури меандрової течії. У програмній системі також значно удосконалено метод анімаційного результатів моделювання за рахунок використання динамічного контуру виділеної області, зокрема застосування кусково-поліноміальної інтерполяції до маркерів контуру.

Практичне значення одержаних результатів роботи полягає у тому, що створена програмна системи, забезпечує отримання результатів моделювання у режимі, випереджаючими реальний час. Також широкий набір функції обробки отриманих даних значно спрощує інтеграцію з іншими системами.

Апробація результатів дисертації

Основні положення роботи доповідались і обговорювались на :

1. X Міжнародній науково-практичній конференції аспірантів, магістрантів і студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» (м. Київ, 21-25 квітня 2012 р.).

2. XII Міжнародній науково-практичній конференції аспірантів, магістрантів і студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» (м. Київ, 22-25 квітня 2014 р.).

Ключові слова. МЕАНДР, ОКЕАНІЧНА ТЕЧІЯ, АДВЕКЦІЯ, ТОЧКОВІ ВИХОРИ, ПРОЦЕСИ ПЕРЕНОСУ, ВИХРОВІ СТРУКТУРИ, ГОЛЬФСТРИМ, ЦИРКУЛЯЦІЯ

Структура й обсяг дипломної роботи.

Магістерська дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновку, переліку посилань з 46 найменувань, 3 додатки і містить 31 рисунки, 1 таблиць. Повний обсяг магістерської дисертації складає 124 сторінок, з яких перелік посилань займає 4 сторінок, додатки – 15 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** окреслено загальні проблеми сучасної гідродинаміки що призводять до необхідності вирішення задачі переносу скалярних полів океанічними меандровими течіями. Також визначено причин складності вирішення подібних задач. Коротко описано підхід для розв'язання поставленої задачі, інструменти

програмної розробки та функціонал розробленої програмної системи. Приводиться склад та структура пояснювальної записки.

У **першому** розділі «Задача моделювання процесів переносу скалярних полів океанічними меандровими течіями» розглянуто задачу моделювання процесів переносу скалярного поля двовимірною океанічною меандровою течією, підходи до її вирішення та актуальність цієї задачі.

У світовому океані спостерігається велика різноманітність вихорів різного масштабу і вихрових рухів у різних областях світового океану. Зазвичай виділяють фронтальні вихори, вихори відкритого океану, що виникають внаслідок бароклінної нестійкості, топографічні вихори, пов'язані з обтіканням підводних перешкод водними масами, і синоптичні вихори, породжені атмосферними процесами наприклад тайфунами.

На сьогодні активно вивчаються різні вихрові структури, серед яких: ринги відкритого океану, що виникають через меандрування великомасштабних течій (таких як Гольфстрім і Куросіо). Космічні зображення дозволяють отримати інформацію про типи нестационарних вихрових рухів в океані, про їх горизонтальні масштаби, час життя, напрямки обертання (циклонний або антициклонічний) і напрямки переміщення в просторі, як показано на рисунку 1.

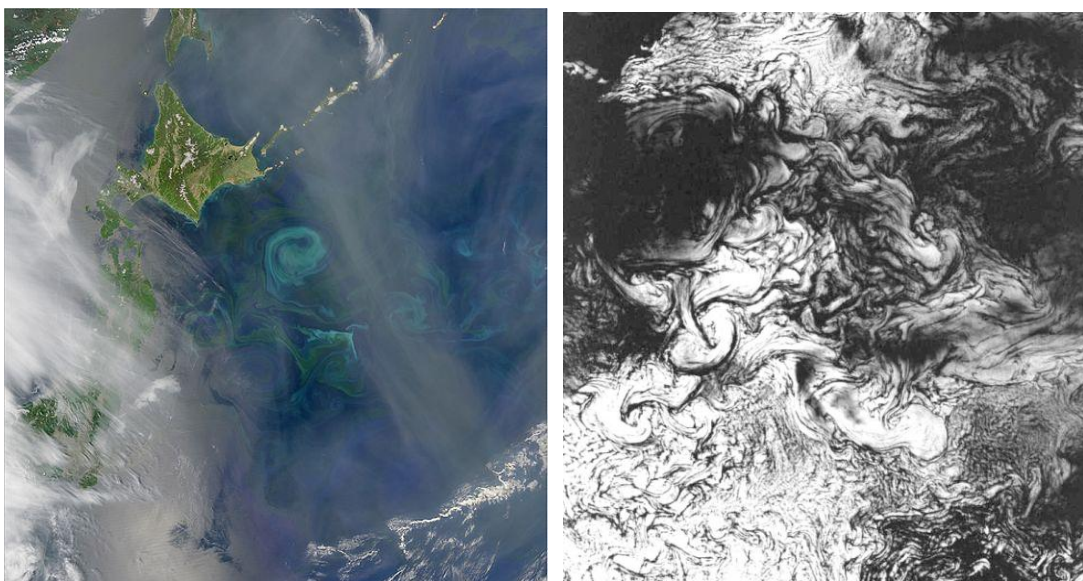


Рисунок 1- Течія Куросіо та вихрові утворення в північній частині Каспійського моря

Оскільки вихори проявляються на морській поверхні, використання різних індикаторів та підходів, дозволяє вивчати їх, використовуючи принцип множинності, тобто за допомогою серії різних датчиків на одному супутнику, виконуючи квазісинхронні зйомки у видимому, тепловому інфрачервоному і радіодіапазоні.

Значна кількість океанічних течій містить систему великомасштабних вихрових формувань, які створюють меандруючу течію. Характерною ознакою меандруючої течії є то, що глобальна швидкість переміщення вихорів є значно меншою, ніж швидкість наведена вихорами у самому меандрі. За рахунок такої особливості меандруючих течій для наближених розрахунків доцільно вважати великомасштабні вихори нерухомими, такий підхід призводить до істотного спрощення моделювання меандруючої течії і процесів переносу скалярних полів. Саме такий підхід використовується у розробленій програмній системі.

Вхідною інформацією для вирішення задачі моделювання процесів переносу скалярних полів меандровою океанічною течією є:

- гідродинамічні параметри системи, координати розташування великомасштабних вихорів та параметри моделювання: інтенсивність кожного вихору, їх координати в початковий момент часу, час та кількість кроків моделювання;
- координати початкового положення та параметри виділеної області (поля) на поверхні, яка може бути сформована системою рідких частинок (маркерів) або може задаватися через визначення контуру виділеної області: кількість і координати кожної частки в початковий момент часу або параметри контуру.

Вихідною інформацією є:

- анімаційне відтворення процесу деформації та переносу виділеної області у встановленій системі великомасштабних вихрових структур на безмежній площині;
- відображення результатів моделювання переносу сукупності часток домішки з відображенням траєкторії руху кожної частки на певний момент часу;
- стан контуру області виділеної рідини для кожного моменту часу та

графік траєкторії руху кожної частки домішки за весь проміжок часу моделювання;

- таблиця точок, з яких складається траєкторії руху для кожної частинки виділеної рідини як для групи часток так і для контуру області виділеної рідини.

У **другому** розділі «Огляд існуючих методів розв'язку задачі моделювання процесів переносу океанічними течіями» розглянуто історичні засади розвитку задачі моделювання процесів переносу скалярних полів океанічними течіями, особливу увагу приділено теорії вихрової динаміки та великомасштабній океанічній циркуляції. Проведено огляд сучасних підходів до моделювання океанічних течій, обґрунтовано та детально розглянуто використання системи точкових вихорів для моделювання меандрових течій. Сформульовано наукову новизну даної роботи.

В даний час у зв'язку з розвитком експериментальної та комп'ютерної техніки з'являється можливість глибше проникнути в розуміння багатьох складних процесів. Розділ гідромеханіки, який вивчає основні закономірності зародження і розвитку океанічних течій, їх взаємодію, процесів масо - і теплопереносу називається океанологією. Серед основних напрямків розвитку океанології можна виділити три найбільш важливих: натурні спостереження, вимірювання та теоретичні дослідження. Океанологи постійно розробляють нові способи одержання найбільш повної інформації про океан. Для цього використовується науково-дослідницькі судна, дослідницькі підводні човни, штучні супутники Землі. Важливе значення у цьому плані мають буйкові станції, які встановлюються і дрейфують у різних районах світового океану і внутрішніх морів.

Вихрова динаміка як широкий розділ сучасної гідродинаміки бере свій початок з класичного мемуара Г. Гельмгольца. У цій роботі він не тільки означив вихровий рух кінематично, але й довів до досконалості динамічну теорію руху вихорів в ідеальній (нев'язкій) нестисливій рідині у вигляді трьох законів збереження приблизно в тій же формі, в якій вони наведені у всіх підручниках з гідродинаміки. Основний зміст динамічної теорії міститься в законі збереження вихрового руху: в ідеальній рідині вихори не можуть зникнути і їх інтенсивність постійна в часі. До збереження вихорів у часі додається і збереження у просторі: інтенсивність вихорів постійна вздовж кожної вихрової трубки.

Однією з добре вивчених меандрових течій є Гольфстрім, яка показана на рисунку 2. На рисунку зображено супутникові знімки течії Гольфстрім в інфрачервоному діапазоні. Червоний колір на знімку відповідає течією теплої води, а синій - руху холодних мас води. Щорічно по обидві сторони Гольфстріму утворюється 5-8 пар вихорів обох видів.

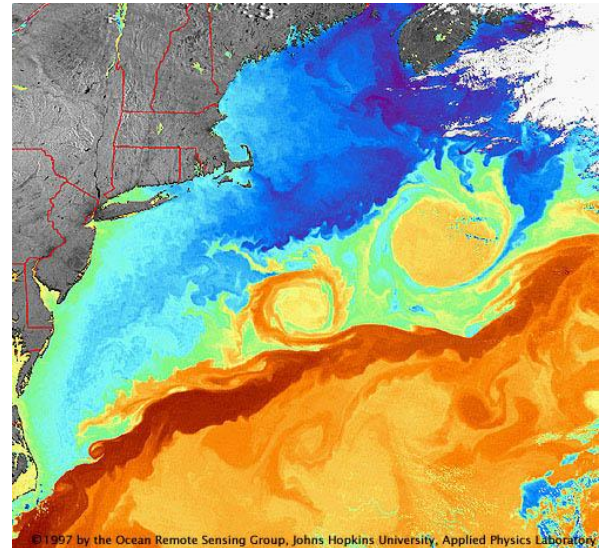
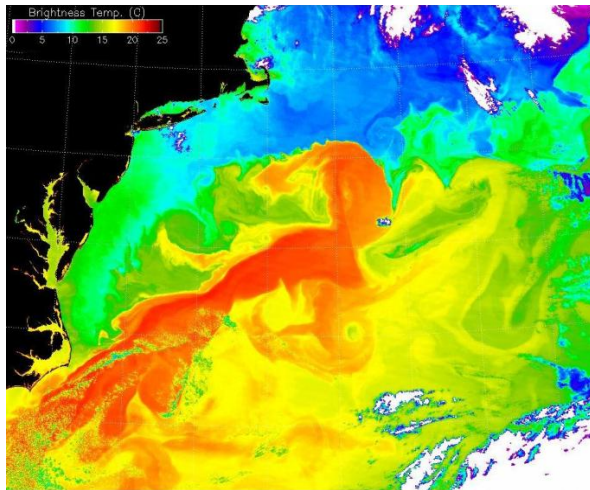


Рисунок 2 - Теплова карта меандруючої течії Гольфстріму

Сьогодні велике значення в океанології мають аналітичні та чисельно-аналітичні методи вирішення задач гідромеханіки. Однак задачі, пов'язані з нелінійними, нестационарними процесами в неоднорідних середовищах не можуть бути розв'язані аналітичними методами. Задачі такого типу на сьогодні можуть бути вирішені тільки чисельно. Революційний прорив у розвитку чисельності методів в гідромеханіці та просуненні в дослідженнях викликала поява обчислювальної техніки і нових теоретичних підходів до вирішення прикладних задач гідромеханіки: теорії потенціалу, методу дискретних особливостей та ін.

Сучасні чисельні моделі океану засновані на рівняннях Рейнольдса - осереднених за деякими просторовим і часовим масштабами рівнянням Нав'є - Стокса . Передбачається , що характеристики ефектів дрібномасштабних процесів можуть бути виражені, через характеристики великомасштабних процесів. Використовуються традиційні наближення Буссінеска, щодо нестисливості морської

рідини, гідростатики, щодо врівноваження вертикального градієнту тиску силою тяжіння, постійного радіуса Землі та менше уваги приділяється складовими сили Коріоліса, в яких враховується вертикальна швидкість руху.

Добре вивченою меандровою течією з великомасштабними вихровими утвореннями є Гольфстрім, який характеризується різким градієнтом температур між водами течії і оточуючими, такий стан це дозволяє чітко окреслити контури самої течії і стежити за процесами обміну. Експериментальне вивчення транспортних властивостей течії і його теплих вод проводиться в основному за допомогою дрейфуючих буїв, що містять електронну апаратуру, яка дозволяє з супутників відслідковувати їх переміщення. Американські вчені Боуер і Россби, що проводили вперше експериментальні роботи, простежили пересування 37 таких буїв протягом 30-45 днів. Вони показали, що спочатку буї, запуснені біля мису Хатгерас, пливають за течією, але потім починають дрейфувати самим непередбачуваним чином.

Вид заплутаних траєкторій буїв Боуер також намагалася пояснити, побудувавши спрощену кінематичну модель течії Гольфстрім. На основі цієї моделі з аналітично заданої функцією току передбачалося пояснити складність траєкторій, застосовуючи парадигму хаотичної адвекції, коли складне хаотичний рух лагранжевих частинок виникає навіть в простому ейлеровим поле течії. Емі Боуер запропонувала при двовимірної апроксимації Гольфстріму, в якій розподіл функції току має вигляд:

$$\Psi(x, y, t) = \Psi_0 \left\{ 1 - t_h \left[\frac{y - A \sin k(x - ct)}{\lambda} \right] \right\} \left[\cos \{ \arctg (Ak \cos(x - ct)) \} \right] \quad (1)$$

де A – амплітуда центральної лінії меандруючого потоку,

$k = 2\pi/L$ – хвильове число,

λ – ширина потоку,

ct – фазова швидкість руху.

Пізніше Самелсон запропонував ускладнити модель Боуера. Він ввів додаткову залежність амплітуди від часу, поклавши, що $A = A_0 + \varepsilon \cos(\omega t)$, де ε – малий параметр. При цьому Самелсон використовував для функції току апроксимацію виду:

$$\psi(x', y') = \Psi_0 \left\{ 1 - t_k \left[\frac{y' - A \sin kx'}{\lambda (1 + A^2 k^2 \sin^2 kx')^{\frac{1}{2}}} \right] \right\} + cy' \quad (2)$$

Картина ліній току в меандруючій течії, відповідна моделі Самелсона при $A = A_0$, наведена на рисунку 3. Ізолінії які побудовані в безрозмірних координатах, причому в якості параметра приведення в безрозмірні координати, обрана довжина меандру L .

На графіку добре видно когерентні структури: основний струмінь (область М), рециркуляційні зони (області R), обтікаюча зустрічна течія в областях В.

Система ліній току має особливі точки типу центра в областях рециркуляції R, а також сідлові (гіперболічні) точки К. Докладний аналіз конфігурації особливих точок у моделі Самелсона проведено в роботі.

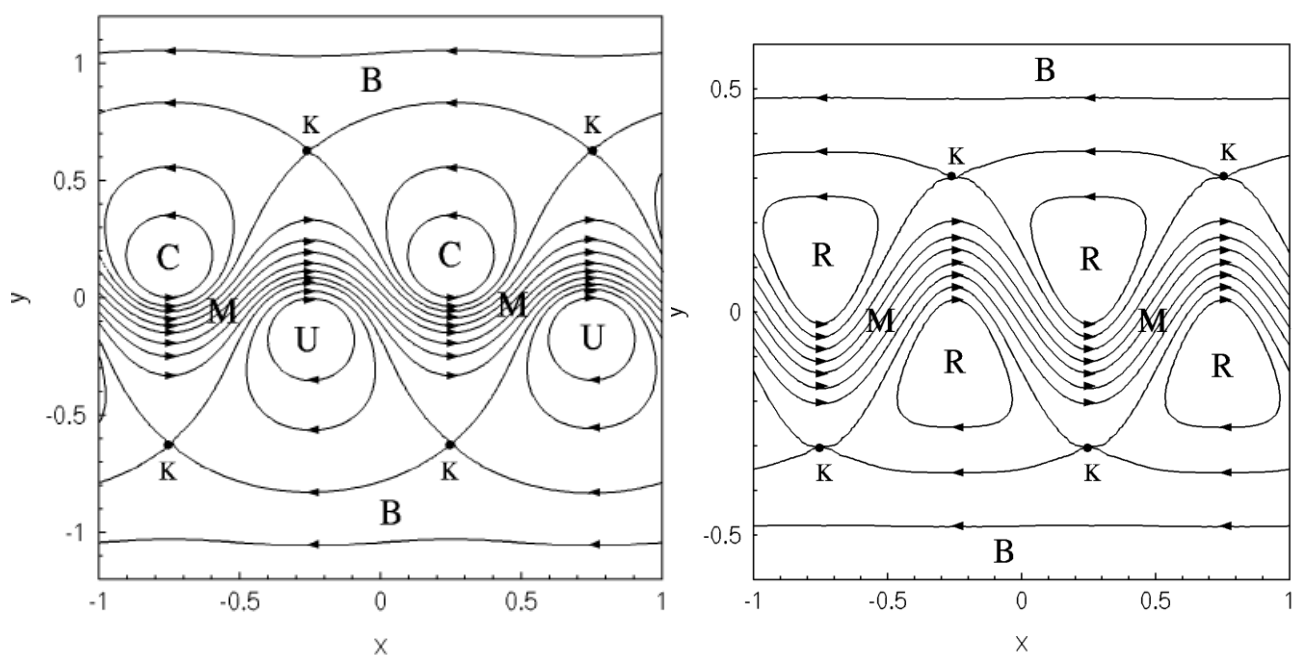


Рисунок 3- Лінії току у вихровій моделі та в моделі Самелсона

Динамічні моделі, як і кінематична модель Самелсона, вказують на можливість ефективного хаотичного перемішування об'ємів рідини, і більш детально описують цей процес. У роботі Флерла, Меланотте-Ріццолі і Забузького баротропні рівняння для β -площини вирішувалися чисельно з метою визначити початкові дані, які б генерували меандруючу течію. Наступні роботи Міллера та ін, а також Роджерсона та ін. були присвячені вивченню на основі чисельного моделювання властивостей переносу рідини в лагранжевому наближенні.

В сучасній обчислювальній гідромеханіці отримав широке поширення метод дискретних особливостей. Головним його перевагою в порівнянні з іншими обчислювальними методами є відносна простота в описі двовимірних течій, які розвиваються в областях зі складною геометрією кордонів. Основна ідея методу дискретних особливостей зводиться до формування на кордонах розглянутої течії системи точкових вихорів, суперпозиція яких дозволяє апроксимувати вихровий рух ідеальної нестисливої рідини через циркуляційні течії в розрахунковій області, що розглядається.

Модель точкових вихорів використовується як один з підходів до моделювання гідродинамічних течій ідеальної нестисливої рідини, однією з важливих особливостей моделі є те, що поле завихреності вихорів сконцентровано в точці. Саме підхід до моделювання циркуляційних течій через точкові вихори використаний у розробленій програмній системі. В якості моделі течії прийнято система нерухомих точкових вихорів. Параметри, зокрема положення точкових вихорів задані у відповідності до зовнішніх даних, наприклад, до супутникової фотозйомки. Описана система складається з N точкових вихорів, поле функції току для яких описується формулою:

$$\Psi = -\frac{1}{4\pi} \sum_{\alpha=1}^N \Gamma_{\alpha} \ln \left[(x - x_{\alpha})^2 + (y - y_{\alpha})^2 \right] \quad (3)$$

Γ_α

де Γ_α - інтенсивність вихорів,

x_α, y_α – просторове положення великомасштабних вихорів.

Спираючись на формул, що описують аналітичні вирази для компонентів наведеного вихорами поля швидкості, можна перейти до рівнянь адвекції для двовимірного випадку. В основу розрахунку покладено рівняння адвекції з початковими умовами. Така система рівнянь адвекції утворює собою задачу Коші що описує рух окремих часток у виділеній області:

$$\frac{dx}{dt} = U(x,y), \quad \frac{dy}{dt} = V(x,y) \quad (4)$$

Фізичний зміст цих рівнянь передбачає, що пасивна неінертна рідка частинка у виділеній області рухається з швидкістю, рівної швидкості течії в точці, в якій вона знаходиться.

У **третьому** розділі «Обчислювальні методи реалізації програмної системи» розглянуто математичну постановку задачі моделювання процесів перносу скалярних полів у системі токових вихорів, що використовується для побудови структури меандру океанічної течії. Окреслено та проаналізовано основні методи для розв'язання отриманої задачі Коші. Розглянуто використання методу кусково-поліноміальної інтерполяції для побудови контуру виділеної рідини. Обґрунтовано вибір прикладних засобів програмування і середовища розробки програмного забезпечення.

Для створеної програмної системи у моделі меандруючої океанічної течії поле швидкості, наведене вихорами, визначається сумою вкладу системи точкових вихорів. Функція току для системи точкових вихорів записується у вигляді наведеному у формулі 3 з позначеннями прийнятими раніше.

Складові компоненти поля швидкості течії $U(x,y)$ і $V(x,y)$, наведеною такою системою точкових вихорів, визначаються диференціюванням рівняння функції

току за відповідними аналітичними виразами розподілу поля швидкості.

Після використання рівнянь адвекції окремих пасивних рідких часток виділеної області та інших перетворень отримаємо формули для програмної реалізації чисельного моделювання процесів адвекції часток виділеної області у системі точкових вихорів:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{2\pi} \sum_{\alpha=1}^N \frac{\Gamma_{\alpha}(x - x_{\alpha})}{(x - x_{\alpha})^2 + (y - y_{\alpha})^2} \quad (6)$$

Γ

де Γ - інтенсивність точкового вихору,

x_{α}, y_{α} - координати X та Y точкового вихору,

x, y – координати X та Y частки, в області виділеної рідини.

Таким чином отримано систему звичайних диференціальних рівнянь першого порядку, що не залежать від часу і мають відомі початкові умови. Така задача є становить задачу Коші з заданими початковими умовами.

Задача Коші є однією з основних задач теорії диференціальних рівнянь та

полягає в пошуку розв'язку диференціального рівняння, що задовольняє початковим умовам (початковим даним). Протягом багатьох років чисельний розв'язок задачі Коші був об'єктом пильної уваги науковців оскільки він широко застосовується в різних галузях науки і техніки при вирішенні як теоретичних так і практичних задач. Тому і кількість розроблених для нього методів дуже велика, кожен з яких може відрізнитися точністю, швидкістю виконання, простотою реалізацію та інше.

Чисельні методи розв'язання задачі Коші часто можна поділити на 2 групи, які найбільш широко застосовуються при вирішенні задачі:

- одноточкові;
- багатоточкові.

Варто зазначити, що кожен з багатьох методів розв'язання задачі Коші має як свої переваги так і недоліки. Висока точність методів розв'язання задачі Коші може бути досягнута при обчисленні вищих похідних і збереженні більшої кількості членів ряду Тейлора. До таких методів відносяться методи Рунге-Кутта різних порядків.

Метод Рунге-Кутта четвертого порядку має значно більш високу точність обчислень, що дозволяє збільшити крок інтегрування. Його максимальну величину визначає допустима похибка. Вибір кроку інтегрування часто здійснюється автоматично і включається як частина, вбудована в алгоритм, побудований за методом Рунге-Кутта. Для розв'язання поставленої задачі у програмній системі реалізовано метод Рунге-Кутти 4-го порядку.

У розробленій програмній системі для побудови контуру області з виділеною рідиною використовується метод кусково-поліноміальної інтерполяції. Такий підхід було використано, оскільки представлення області з виділеною рідиною як скупчення багатьох окремих точок є не завжди зручно і раціонально, зокрема при візуальному спостереженню та аналізу процесів переносу у змодельованій меандровій течії.

В багатьох випадках в процесі відтворення результатів моделювання точки, що були в початковий момент часу на близькій відстані через певний час значно змінюють своє положення відносно одна одної, що ускладнює процес аналізу результатів. Також, варто зазначити, що такий підхід вимагає значних апаратних

ресурсів обчислювальної техніки при використанні значної кількості точок.

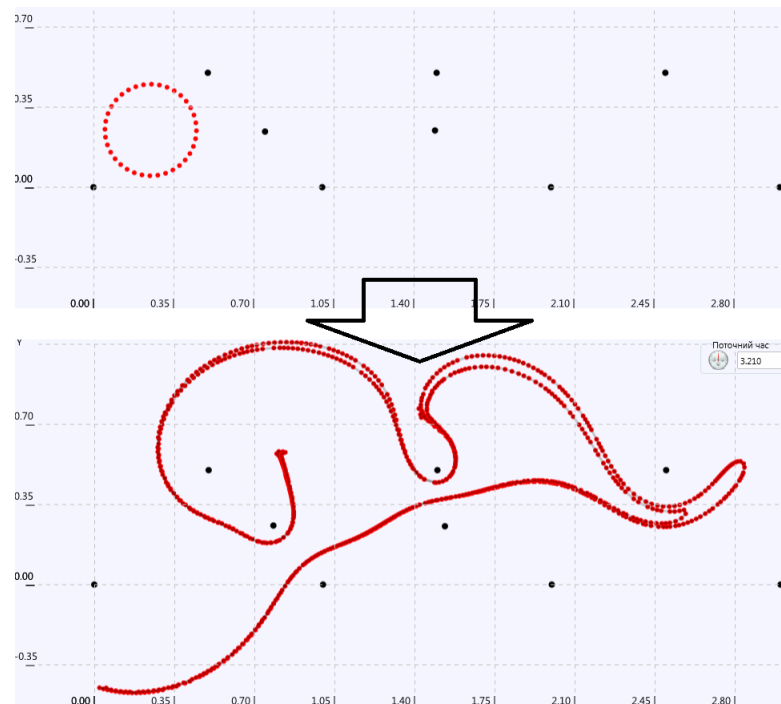


Рисунок 4 – Анімація при використанні контуру виділеної області

Використання кусково-поліноміальної інтерполяції надало змогу значно наочніше проводити демонстрації та полегшити подальшу обробку результатів моделювання процесів переносу у меандровій течії, що зображено на рисунку 4.

Також, варто зазначити, значну економію ресурсів обчислювального апаратного забезпечення за рахунок сильного скорочення активних точок для процесу моделювання на початковому етапі відображення.

Програмна система реалізована мовою програмування Object Pascal у програмному середовищі Embarcadero Rad Studio XE2 з використанням графічної бібліотеки FireMonkey для відображення анімаційних ефектів та графічних елементів інтерфейсу користувача. Перевагами розробки застосунку у програмному середовищі Embarcadero Rad Studio XE2 є велике число нових можливостей, що забезпечують відчутне зростання продуктивності при створенні програмних додатків. Для розробки програмної системи прийнятно також використання інших програмних засобів, наприклад мову програмування C# з використанням середовища Visual Studio, або використання мови програмування Java SE, але основною перевагою обраної платформи розробки є можливість швидкої розробки

графічних програмних додатків з можливістю їх подальшої ефективною та зручною модифікації.

У **четвертому** розділі «Опис програмної реалізації» розглянуто структуру програмної системи та приведено перелік реалізованих функцій розробленої програмної системи. Окреслено сфери діяльності, де можливе застосування розробленої програмної системи та її потенційні користувачі.

Створена програмна система має шість окремих програмних модулів. Кожний з модулів реалізує необхідні функції та відповідає за певний етап роботи з програмною системою. Взаємозв'язок між програмними модулями і відповідними вікнами представлений у вигляді діаграми на рисунку 5. Зокрема, суцільні стрілки позначають можливість зміни різних етапів роботи з програмною системою та відповідні сценарії переходів між вікнами програми.

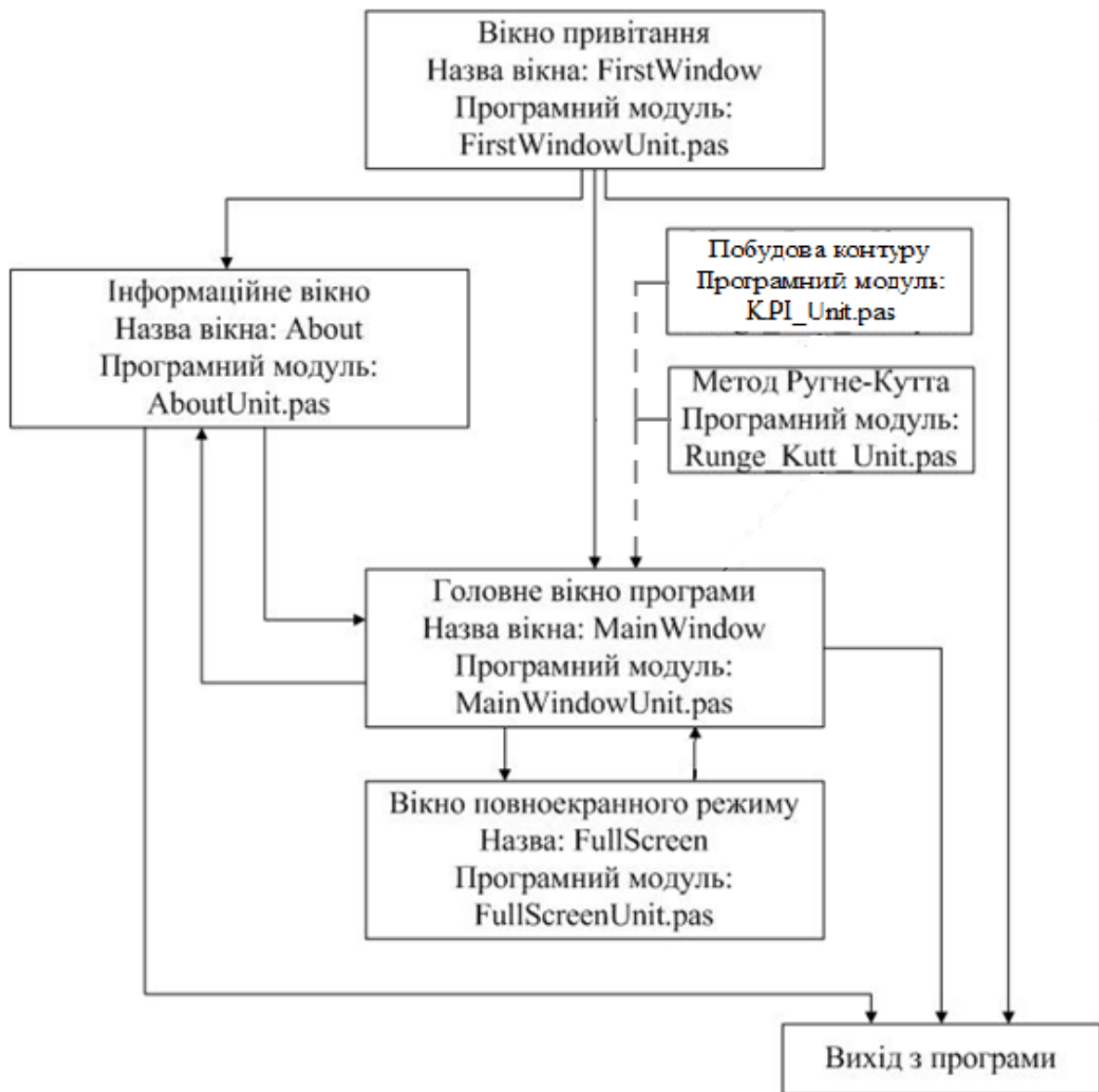


Рисунок 5 – Зв'язок між програмними модулями

У програмній системі реалізовано широкий набір функцій для ефективної роботи з вхідними та вихідними даними, зокрема функції збереження та завантаження вхідних даних та результатів моделювання, візуальне відображення параметрів та процесу моделювання. Також створено спеціальний розділ налаштувань для зручності персоналізації програмної системи. Деякі основні компоненти роботи з програмною системою зображені на рисунку 6.

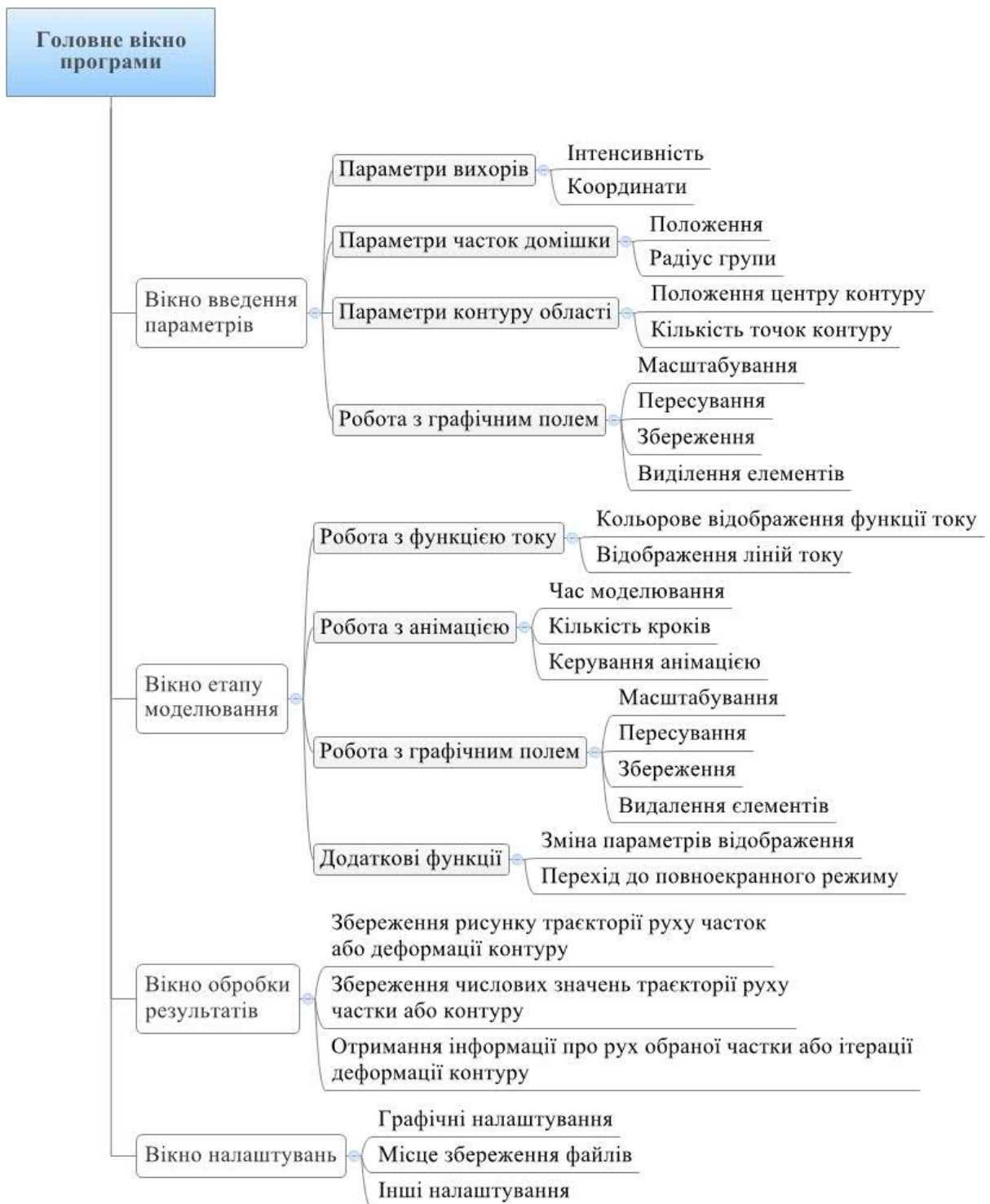


Рисунок 6 – Основні компоненти роботи з головним вікном програми

Розроблена система може використовуватись користувачами у сферах океанічного нафтовидобування та екологічні служби, фахівці в області гідродинаміки, океанологи та інші зацікавлені спеціалісти. Також програмне забезпечення може бути впроваджено в комплексі програм, що використовується

при розрахунку місця побудови нафтовидобувних конструкцій, та використане в галузях: нафтовидобувної промисловості та екологічного та синоптичного моніторингу.

У **п'ятому** розділі «Методика роботи користувача з програмною системою» створено детальний опис роботи з програмною системою. Зокрема надано інформацію щодо рекомендованих характеристик апаратного та програмного забезпечення, що повністю відповідають можливостям сучасних персональних комп'ютерів. Пояснено та проілюстровано кожний етап інсталяції та деінсталяції програмної системи а такою склад інсталяційного пакету.

Детально описано кожний етап роботи з програмною системою а також відповідні сценарії дії користувача. Зокрема приведені приклади можливого використання системи. Описані всі обмеження та попереджувальні сигнали. Проілюстрована різні можливості використання реалізованих функцій, як у процесі моделювання так і на етапі графічного відображення або встановлення користувацьких налаштувань.

Приведені приклади збереження, завантаження та подальшої обробки у сторонніх програмах даних, що отримані після процесу моделювання у створеній програмній системі, що забезпечує дуже широкі можливості по використанню системи у комплексі з іншими програмними продуктами.

У **шостому** розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» проаналізовано умови праці у робочому приміщенні, обладнаному комп'ютерною технікою. Основними проблемами, які можуть виникнути, являються проблеми зі здоров'ям, пов'язані з невиконанням правил роботи з комп'ютером. Оскільки основним процесом роботи являється перегляд інформації на моніторі, основне навантаження приходиться на очі та мозкову діяльність. Також виявлено інші небезпечні і шкідливі виробничі фактори робочого місця. Розроблено і описано заходи, спрямовані на усунення та приведення даних факторів до нормативних значень. Описано сценарій дій персоналу при виникненні надзвичайної ситуації.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

За результатами магістерської роботи можна зробити наступні висновки:

1. Розглянуто задачу моделювання процесів переносу скалярного поля двовимірною океанічною меандровою течією. Проведено огляд історичних підходів до вирішення задач цієї області гідродинаміки, а також деяких сучасних методів дослідження океанічних течій, зокрема розглянуто питання щодо вихрових рухів в океанічних та морських зонах.

2. Сформульована актуальність даної роботи, визначені мета та передумови, що спричинили необхідність створення програмної системи для вирішення поставленої задачі. Визначено вхідну інформацію, що необхідна для досягнення поставленої мети, а також вихідну інформацію, що отримана після процесу моделювання та може бути використана у подальших дослідженнях.

3. Визначено математичну постановку задачі моделювання процесів переносу скалярних полів у системі токових вихорів та зведено її до задачі Коші першого порядку з граничними умовами. Обґрунтовано та детально розглянуто використання системи точкових вихорів для моделювання меандрових океанічних течій, сформульовано наукову новизну даної роботи. Детально описані удосконалення та новітні підходи у розробленій програмній системі.

4. Розроблено програмну систему з функціоналом, що повністю задовольняє поставлену мету, а саме моделювання процесів переносу поверхневими меандровими океанічними течіями. Також реалізовано анімаційне відтворення процесу переносу в різних режимах. Забезпечено можливість обробки та збереження отриманих результатів. По результатами виконання тестових завдань підтверджена точність та коректність отриманих результатів.

5. Показано, що процеси переносу виділеної рідини більш інтенсивно відбувається у меандрі океанічної течії а також, що процеси перемішування, в областях, прилеглих до вихрових структур протікають в регулярному режимі. Встановлено області з циркуляційним перенесенням виділених маркерів океанічними течіями.