УДК 004:001

ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ

Т.Д. Панченко, В.І. Стародуб, І.А. Тузова, В.В. Челабчі, В.М.Челабчі

Анотація. *У статті описаний універсальний алгоритм проведення обчислювального експерименту. Використовуються комплексні інформаційні моделі. Комплексна інформаційна модель розглядається як сукупність математичної моделі об'єкта (з умовами однозначності), алгоритму та програм розрахунків і баз даних що містять необхідну інформацію про властивості робочих речовин і основні характеристики об'єкта. Проведено тестування запропонованих алгоритмів і методів. При тестуванні проводилося порівняння результатів натурного і обчислювального експериментів для ряду реальних об'єктів.*

Ключові слова*: обчислювальний експеримент, алгоритм, інформаційна модель.*

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Т.Д. Панченко, В.И. Стародуб, И.А. Тузова, В.В. Челабчи, В.Н.Челабчи

Аннотация. *В статье описан универсальный алгоритм проведения вычислительного эксперимента. Используются комплексные информационные модели.*

Комплексная информационная модель рассматривается как совокупность математической модели объекта (с условиями однозначности), алгоритма и программ расчетов и базы, данных содержащих необходимую информацию о свойствах рабочих веществ и основные характеристики объекта. Проведено для ряда реальных объектов тестирование предлагаемых алгоритмов и методов. При тестировании проводилось сравнение результатов натурного и вычислительного экспериментов.

Ключевые слова*: вычислительный эксперимент, алгоритм, информационная модель.*

EXCEPTIONAL EXPERIMENT TO VICERANS COMPREHENSIVE INFORMATIVE MODELS

T.D. Panchenko, V.I. Starodub, I.A. Tuzova, V.V. Chelabchi, V.N. Chelabchi

The article describes a universal algorithm for carrying out a computational experiment. Complex information models are used. The complex information model is considered as the aggregate of the mathematical model of the object (with the uniqueness conditions), the algorithm and the calculation programs and the database. The database containing the necessary information on the properties of the working substances and the main characteristics of the object.

© Панченко Т.Д., Стародуб В.І, Тузова І.А., Челабчі В.В., Челабчі В.М., 2018

The proposed algorithms and methods are tested. During testing, the results of field and computational experiments were compared for a number of real objects. The estimation of the reliability of the information obtained from the results of the computational experiment is carried out.

***Keywords**: computational experiment, algorithm, information model.*

Вступ. Світове співтовариство прагне до неухильного підвищення ефективності й мінімізації витрат енергії й ресурсів у діючих і проектованих установках і системах. Для досягнення застережених цілей потрібні надійні методи й засоби прогнозування функціонування систем в різних умовах. Як правило, натурний експеримент вимагає значних матеріальних і фінансових витрат, а часто практично неможливий. Фізичне моделювання не завжди дозволяє одержати достовірну інформацію про процеси в достатньому обсязі.

Обчислювальний (комп'ютерний) експеримент дозволяє провести дослідження швидше й дешевше [1]-[5]. Особливо важливо забезпечити достатню вірогідність одержуваних в експерименті результатів при мінімізації витрат.

Вірогідність інформації, яку отримано в обчислювальному експерименті, в першу чергу залежить від того наскільки докладно й адекватно використовувані математичні моделі описують процеси в системі. Моделі найчастіше формуються на основі феноменологічного підходу. Однак коли дослідженню підлягають уже існуючі системи, що перебувають в експлуатації, використовуються методи ідентифікації на основі обробки експериментальних даних.

В багатьох об'єктах протікають взаємозв'язані процеси різної фізичної природи, що призводить до складної і громіздкої математичної моделі (система рівнянь різного типу). Для вирішення окремих рівнянь успішно використовуються сучасні методи чисельного рішення. Проте спільне рішення усієї системи рівнянь математичної моделі об'єкту представляє певні труднощі.

Тому перспективним видається шлях використання комбінованого підходу. В цьому випадку результати моделювання процесів в окремих елементах об'єкту узагальнюються з використанням сучасних інформаційних технологій. По суті справи створюється, тим або іншим способом, комплексна інформаційна модель кожного елементу об'єкту. Згідно до [6] інформаційна модель – модель об'єкту, представлена у вигляді інформації, що описує істотні для цього розгляду параметри і змінні величини об'єкту, зв'язки між ними, входи і виходи об'єкту і що дозволяє шляхом подання на модель інформації про зміни вхідних величин моделювати можливі стани об'єкту.

У статті комплексна інформаційна модель розглядається як сукупність математичної моделі об'єкту (з умовами однозначності), алгоритму та програм розрахунків і бази даних, що містить необхідну інформацію про властивості робочих речовин і основні характеристики об'єкту.

Моделювання процесів в системі проводиться чисельними методами з використанням отриманих раніше комплексних інформаційних моделей елементів.

Постановка задачі. Актуальність роботи у цьому напрямі обумовлена необхідністю розробки універсального підходу до методичного та інформаційного забезпечення і алгоритму проведення обчислювального експерименту.

Особливо важливий подібний універсальний підхід для прогнозування режимів роботи складних систем при оптимізації конструкції і режимів їх роботи. В багатьох об'єктах протікають взаємозв'язані процеси різної фізичної природи, що призводить до складної і громіздкої математичної моделі (система рівнянь різного типу). Для вирішення окремих рівнянь успішно використовуються сучасні методи чисельного рішення. Проте спільне рішення усієї системи рівнянь математичної моделі об'єкту представляє певні труднощі. Виникає необхідність в ефективному управлінні обчислювальним експериментом [7].

Тому перспективним видається шлях використання комбінованого підходу. В цьому випадку результати моделювання процесів в окремих елементах об'єкту узагальнюються з використанням сучасних інформаційних технологій. При проектуванні нових і вдосконаленні діючих систем створюється комплексна інформаційна модель системи, що включає комплексні інформаційні моделі її елементів.

Аналіз основних публікацій з проблеми. Складність існуючих і проектованих систем вимагає їх декомпозиції при моделюванні їх функціонування. Декомпозиція дозволяє розглядати будь-яку досліджувану систему як складну, що складається з окремих взаємопов'язаних підсистем (об'єктів), які, в свою чергу, також можуть бути розчленовані на частини [8]-[10]. Декомпозиція досліджуваних об'єктів здійснюється індивідуально відповідно до конструктивної особливості об'єкта та задач дос-лідження.

При розробці комплексних інформаційних моделей необхідно вирішити два важливих завдання:

- вибір математичної моделі об'єкта;
- розробка ефективних чисельних методів.

Звичайно математичні моделі найчастіше формуються на основі феноменологічного підходу [11]-[13].

Однак, коли дослідженню підлягають уже існуючі системи, що перебувають в експлуатації, використовуються методи ідентифікації на основі обробки експериментальних даних. Найчастіше вид рівняння моделі заздалегідь відомий і потрібно провести параметричну ідентифікацію з метою визначення значень коефіцієнтів рівняння [14]-[15]. У роботах [16]-[18] розглядалася ідентифікація моделей динаміки систем. Використовувався метод найменших квадратів з апроксимацією на ковзних відрізках. Для підвищення достовірності результатів ідентифікації застосовується згладжування експериментальних даних, які пред-

ставлені часовими рядами [19]-[20]. В [21] описаний метод ідентифікації транспортних властивостей капілярно-пористих матеріалів.

Не менш важливою представляється розробка ефективних чисельних методів для імітації процесів у системах. Використовувані чисельні методи повинні мати абсолютну стійкість або, у всякому разі, стійкістю в максимально широкому діапазоні параметрів моделі. Необхідно також забезпечувати максимально низьку методичну погрішність чисельного методу.

Різницеві методи вирішення подібних рівнянь і їх систем [22]-[23] мають ряд недоліків. Часто використовувані різницеві методи мають нестійкість при деяких значеннях коефіцієнтів рівнянь і кроків по осі незалежної змінної. Серед різницевих найбільш ефективним є аналітико-сітковий метод [23]. Універсальним і орієнтованим на рішення лінійних та нелінійних звичайних диференціальних рівнянь будь-якого порядку є метод проекційно-сіткового рішення [24]-[25].

Формування комплексної інформаційної моделі елементу системи. Декомпозиція досліджуваних об'єктів здійснюється індивідуально відповідно до конструктивної особливості об'єкта та задач дослідження. Алгоритм формування комплексної інформаційної моделі елементу системи представлено на рис. 1.

Вибір типу математичної моделі проводиться з урахуванням основних процесів, тих, що протікають в елементі об'єкту, і базується на феноменологічному підході. Вплив супутніх (не основних) процесів враховується залежністю коефіцієнтів рівнянь, що описують основні процеси від величин тих, що характеризують стан об'єкту.

При цьому проводиться оцінка необхідної достатності при виборі рівнянь математичної моделі і розщеплювання задачі на підзадачі [26]. У ряді випадків використовуються обґрунтовані прийоми пониження розмірності задачі (течія в каналах складного профілю та вузьких каналах) [27]. При моделюванні теплообмінного обладнання для ідентифікації математичних моделей окремих каналів складного профілю проводилося чисельне моделювання процесів переносу тепла і маси методом, що описаний в [28]-[31]. Задача розщеплювалася на дві підзадачі: визначення полів швидкостей, температури і концентрації, а також визначення поля тиску. Рішення підзадач проводилося ітераційно при узгодженні рішень підзадач.

Для моделювання розроблено оригінальний метод, що заснований на спільному рішенні рівнянь нерозривності Нав'є-Стокса.

За результатами моделювання означеним методом формувалася модель течії середовища (1)

$$\Delta P = f(G), \tag{1}$$

де $P\Delta$ − перепад тиску (вхід-вихід);

G − масова (розрахункова) витрата середовища.

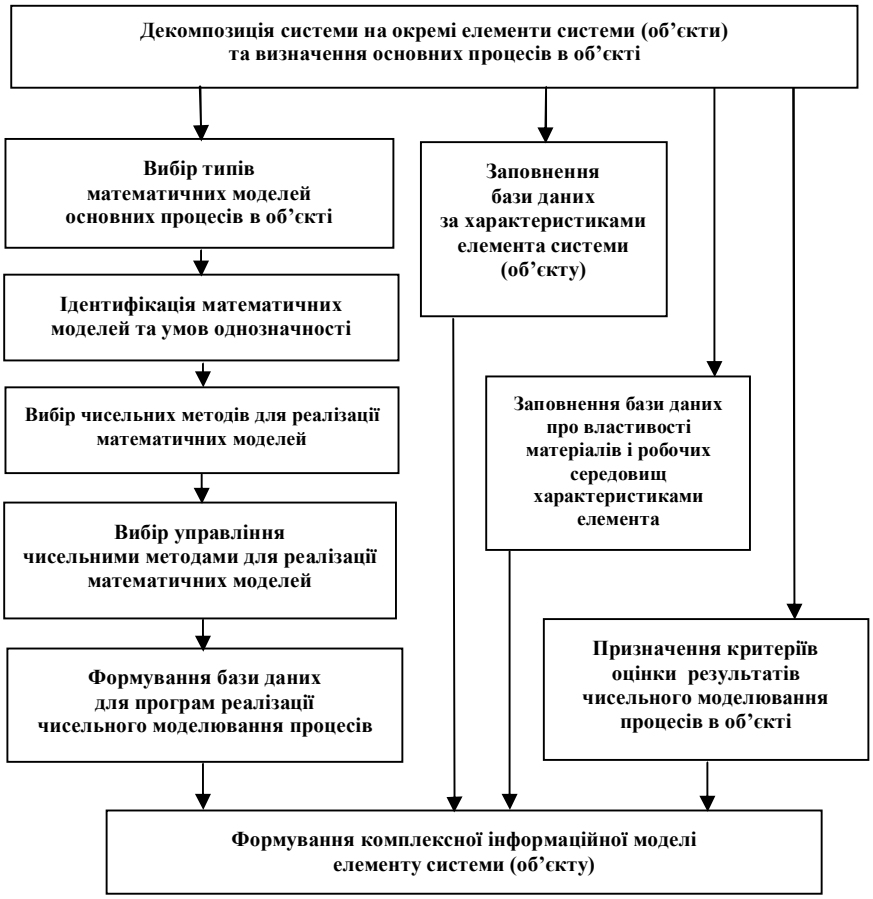

Рис. 1. Формування комплексної інформаційної моделі

Крім того, визначався розподіл значень коефіцієнтів теплообміну по осі каналу в залежності від G.

Аналогічним шляхом проводиться докладне чисельне моделювання взаємопов'язаних процесів в будь-яких складних елементах об'єкта. За результатами чисельного моделювання створюються математичні моделі (у вигляді рівнянь), які потім використовуються при формуванні комплексної інформаційної моделі подібних складних елементів.

Алгоритм проведення обчислювального експерименту. Перед проведенням обчислювального експерименту проводиться декомпозиція об'єкта і підготовка комплексних інформаційних моделей.

Обчислювальний експеримент проводиться ітераційним методом. Локальні ітерації застосовуються для уточнення результатів моделювання процесів в кожному елементі об'єкту дослідження.

Глобальні ітерації використовуються для узгодження (зшивання) результатів моделювання процесів в окремих елементах об'єкту.

У ряді випадків у процесі проведення обчислювального експерименту виникає необхідність в коригуванні комплексних інформаційних моделей елементів об'єкта дослідження.

Наприклад, уточнення математичної моделі або алгоритму (а, отже, і програми розрахунків).

Узагальнена схема алгоритму проведення обчислювального експерименту представлена на рис. 2.

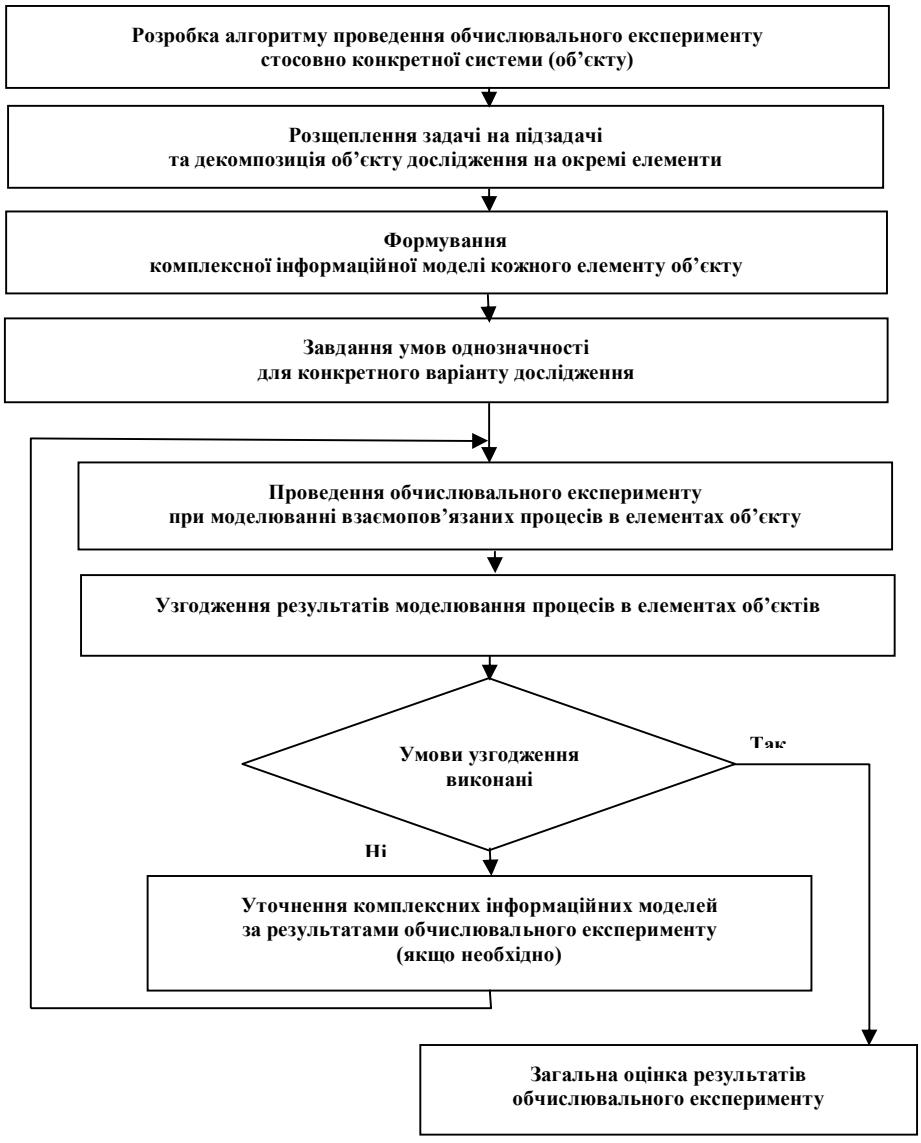

Рис. 2. Алгоритм проведення обчислювального експерименту

Природно, що необхідно проводити оцінку ефективності пропонованих методик і алгоритмів, використовуваних при виконанні обчислювального експерименту.

Для ілюстрації методик проведення обчислювального експерименту та для оцінки його ефективності вибрані два об'єкти, для яких існують надійні результати натурних експериментів:

- охолоджувач повітря побічно-випарного типу;
- коливання корпусу корабля в нерухомій рідині.

У лабораторії кафедри «Технічна кібернетика ім. професора Р.В. Меркта» ОНМУ при пошукових дослідженнях і при виконанні госпдоговірної НДР [32] проводилися натурні і обчислювальні експерименти для варіантів охолоджувача повітря побічно-випарного типу, що дозволило оцінити спроможність обчислювальних експериментів.

Для оцінки ефективності обчислювального експерименту при моделюванні хвилевих процесів в важкій рідині використано результати фізичного експерименту, що представлені в [33].

Прикладом теплотехнічного устаткування, в якому протікають взаємозв'язані процеси перенесення тепла і маси, можуть служити охолоджувачі повітря випарного типу.

Функціонування охолоджувачів повітря побічно-випарного типу засновано на використанні ефекту непрямого випарного охолоджування у розвиненій системі каналів змінного профілю [34]-[35]. У охолоджувача подібного типу реалізуються процеси тепло-масопереносу в системі плоских каналів складного профілю при величині відношення ширини каналу до проміжку 10-20. Режим течії переважно ламінарний.

При дослідженні процесів в теплотехнічному устаткуванні, як правило, проводиться розщеплювання загальної задачі на ряд підзадач [69]:

- дослідження розподілу потоків робочих середовищ по каналах елементів устаткування (гідравлічна задача);
- дослідження процесів перенесення тепла в елементах устаткування (задача теплопереносу).

Складність моделювання процесів в охолоджувачах повітря побічно-випарного типу полягає в тому, що теплообмінні матриці містять велике число каналів. Слід зазначити, що канали матриць охолоджувача повітря (як сухі так і вологі) відрізняються малими конструктивними розмірами по зазору (1,5-2,5 мм) і ширині (10-20 мм). Окрім того, значення параметрів (температура і вологість повітря) мало відрізняються в паралельних каналах, розташованих поруч. Аналогічна картина спостерігається у багатьох пластинчатих теплообмінниках.

Тому, представляється можливим групувати канали з осередненням параметрів потоків у напрямку перпендикулярному вектору швидкості і проводити моделювання для центрального (з групи) каналу див. рис. 3.

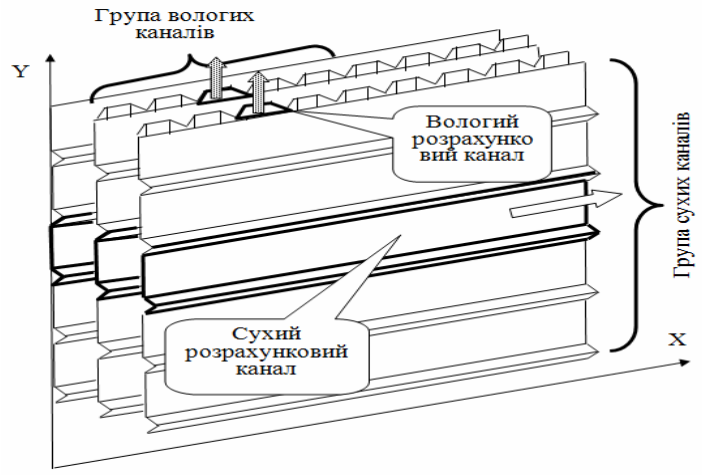

Рис. 3. Схема розрахункових каналів

Розрахунок розподілу потоків повітря виконувався у відповідності до схем охолоджувача з урахуванням угрупування каналів (рис. 3).

При дослідженні процесів перенесення тепла і вологи в системі розрахункових каналів використовувалися математичні моделі в одновимірній постановці. При моделюванні використовувався аналітико-сітковий чисельний метод.

На рис. 4 наведені результати обчислювального та натурного експериментів.

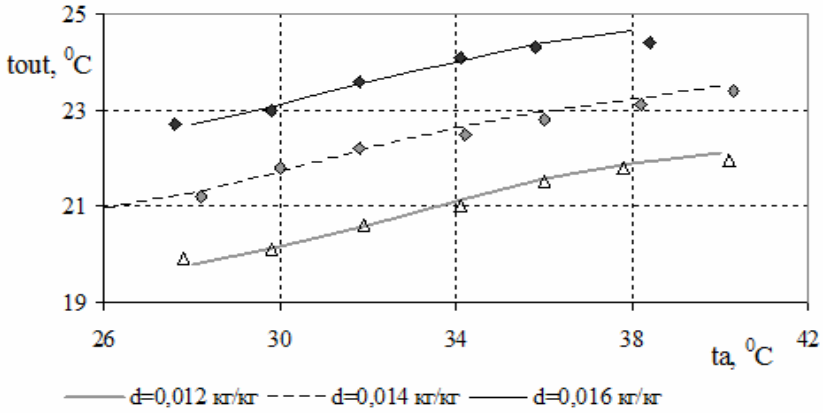

Рис. 4. Результати дослідження охолоджувача повітря:
ta, d – відповідно температура і вологість атмосферного повітря;
tout – температура охолодженого повітря

Актуальним є дослідження процесів качки мілкосидячих суден на глибокій воді.

Інтегральні параметри хитавиці визначаються гідродинамічними коефіцієнтами: приєднаних мас і демпфування. Визначення названих коефіцієнтів можливе на основі фізмодельного [33] чи натурного експерименту. Альтернативою експериментальним методам є використання обчислювального експерименту [36] .

Розглядається задача генерації хвиль у важкій ідеальній рідині, що викликані гармонійними коливаннями корпусу судна будь-якої конфігурації. Обумовлюється, що амплітуда генерованих хвиль і переміщення корпусу щодо незбуреної поверхні порівняно з осадкою. Хвилі поширюються в нескінченному напівпросторі без відображення і поглинання.

Рішення в області рідини поблизу корпусу судна і в зоні можливих переміщень вільної поверхні відносно її незбуреного стану знаходиться з використанням проекційних методів, а в іншій області використовуються різницеві методи. В області різницевого рішення використовується центральна триточкова різницева апроксимація. Декомпозиція досліджуваної області показана на рис. 5.

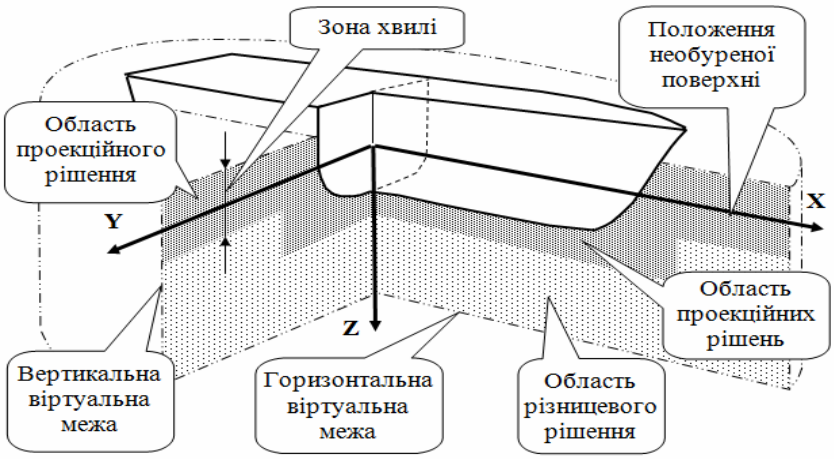

Рис. 5. Декомпозиція досліджуваної області

У розглянутому випадку при декомпозиції досліджуваної області використовується одна і та ж математична модель, але в виділених областях застосовуються різні чисельні методи. Для зшивання рішень (у виділених областях), що отримані проекційними і різницевими методами, розроблені спеціальні прийоми [37].

На рис. 6 та рис. 7 наведені результати експериментів (обчислювального та фізмодельного).

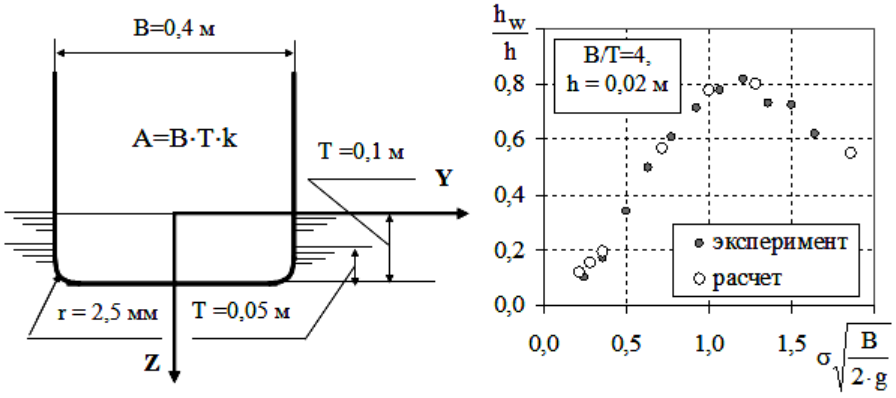

Рис. 6. Характеристики контуру, що коливається, і залежність амплітуди хвилі від частоти коливань корпусу

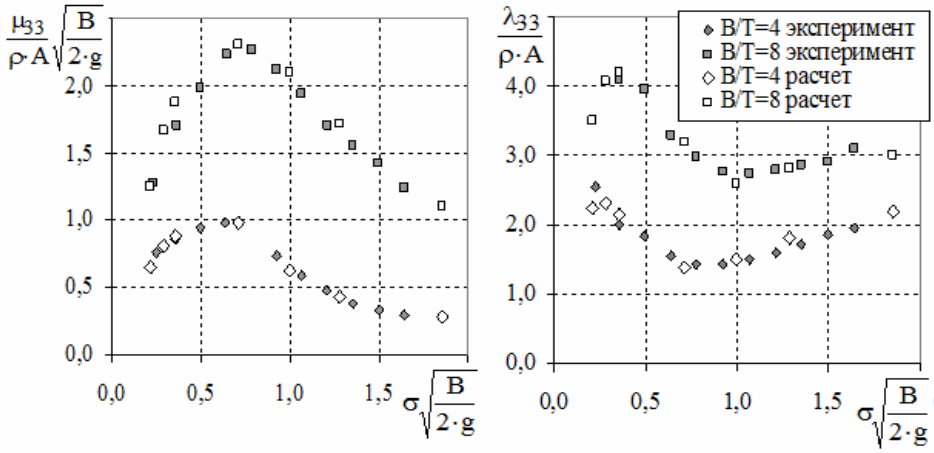

Рис. 7. Порівняння значень гідродинамічних коефіцієнтів хитавиці

На рисунках використовуються наступні позначення:

B, T – відповідно ширина і осадка корпусу;

λ_{33}, μ_{33} – коефіцієнти приєднаної маси і демпфування;

σ – задана частота коливань корпусу;

h_w, h – відповідно амплітуди виникаючої хвилі і коливання корпусу.

Висновки. Використання в обчислювальному експерименті комплексних інформаційних моделей має ряд переваг. У подібних моделях в одному місці зосереджені: математичні моделі, алгоритми, розрахункові програми і необхідні бази даних. Це дозволяє при необхідності оперативно модифікувати окремі частини комплексної інформаційної моделі.

Крім того, такий підхід полегшує підготовку обчислювального експерименту при дослідженні процесів в об'єктах подібних типів.

Використання декомпозиції і групування схожих елементів конструкції дозволяє знизити вимоги до обчислювальних ресурсів без зниження достовірності одержуваних результатів.

Розроблений авторами алгоритм проведення обчислювального експерименту показав свою придатність для дослідження взаємопов'язаних процесів в різних об'єктах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Самарский А.А. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент / А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич. – М.: ИММ РАН, 2000. – 409 с.*
2. *Храмушин В.Н. Трехмерная тензорная математика вычислительных экспериментов в гидромеханике / В.Н. Храмушин. –Владивосток: ДВО РАН, 2005. – 212 с.*
3. *Берковский Б.М. Вычислительный эксперимент в конвекции / Б.М. Берковский, В.К. Полевиков. – Мн.: Университетское изд-во, 1988. – 167 с.*
4. *Шамин Р.В. Вычислительные эксперименты в моделировании поверхностных волн в океане / Р.В. Шамин. – М.: Наука, 2008. – 133 с.*
5. *Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): Матеріали 1-ї Міжнародної науково-технічної конференції (10-13 травня 2011 р., Черкаси). – Черкаси: Маклаут, 2011. – 512 с.*
6. *Великий російсько-український політехнічний словник / Під ред. А.С. Благовещенского. – К.: Чумацький Шлях, 2002. – 749 с.*
7. *Веселовський В.Б. Математичне моделювання та методи розрахунку теплотехнологічних процесів: Навч. посібник / В.Б. Веселовський, А.Ю. Дреус, А.В. Сясєв. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004. – 248 с.*
8. *Романов В.Н. Системный анализ для инженеров / В.Н. Романов. − СПб.: СЗГЗТУ, 2006. − 186 с.*
9. *Царегородцев А.В. Математическое моделирование управляющих систем / А.В. Царегородцев: Учебн. пособие. − М.: Изд-во РУДН, 2003. − 80 с.*
10. *Хорошев А.Н. Введение в управление проектированием механических систем / А.Н Хорошев: Учебн. пособие. − Белгород, 1999. − 372 с.*
11. *Лебедев А.Н. Моделирование в научно-технических исследованиях / А.Н. Лебедев. − М.: Радио и связь, 1989. – 224 с.*

12. *Советов Б.Я. Моделирование систем: Учебник для вузов / Б.Я. Советов, С.Я.Яковлев. – М.: Высшая школа, 1998. – 320 с.*
13. *Кубланов М.С. Математическое моделирование. Методология и методы разработки математических моделей механических систем и процессов / М.С. Кубланов: Учебн. пособие. − Ч. І. − 3-е изд. – М.: МГТУ ГА, 2004. – 108 с.*
14. *Дьяконов В.П. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем: Специальный справочник / В.П. Дьяконов, В. Круглов // СПб.: Питер, 2002. − 448 с.*
15. *Безручко Б.П. Реконструкция обыкновенных дифференциальных уравнений по временным рядам / Б.П. Безручко, Д.А. Смирнов // Учебно-методическое пособие. – Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2000. – 46 с.*
16. *Челабчи В.Н. К вопросу идентификации динамических объектов / В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // Вторая Международная научно-практическая конференция «Спецпроект: анализ науч-ных исследований»: Сб. научн. работ. – Днепропетровск: НАЦ «ЕРА», 2005. – Т. 3. – С. 52-55.*
17. *Челабчи В.В. Управляемая идентификация моделей динамических систем / В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // Materialy IX Megdynarodowej naukovowi-praktycznej konferencij. «Perspekty-wiczne opracowania sa nauka I technikami-2013». Matematyka. – Przemysl: Nauka i studia, 2013. – Vol. 33. – C. 47-51.*
18. *Челабчи В.В. К вопросу параметрической идентификации элементов динамических систем с запаздыванием / В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // Матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції «Передові наукові розробки – 2006». – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2006. – Т. 5. – С. 71-73.*
19. *Челабчі В.В. Згладжування зашумленной інформації / В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи та технології». – Одеса: ВидавІнформ НУ «ОМА», 2016. – С. 86-88.*
20. *Chelabchi V.N. Smoothing out of experimental dependences / V.N. Chelabchi, V.V. Chelabchi // Сб. научн. трудов Sword. – Иваново: МАРКОВА АД, 2013. – Вып. 4. − Т. 5. – С. 47-51.*
21. *Меркт Р.В. Оперативная идентификация транспортных свойств капілярно-пористых материалов / Н.Ф. Латий, Р.В. Меркт, В.Н. Челабчи // Сб. Современные направления теоретических и прикладных исследований 2007. − Т. 3. – Одесса: НИИМФ-ОНМУ, 2007. − С.60-62.*

22. *Меркт Р.В., Челабчи В.В., Челабчи В.Н. О выборе численных методов для исследования динамических систем // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2007: Сб. − Т. 1. – Одесса: НИИМФ-ОНМУ, 2007. − С.81-84.*
23. *Челабчі В.М. Чисельні методи: Навч. посібник / І.А. Тузова, В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи. – Одеса: ОНМУ, 2012. – 39 с.*
24. *Меркт Р.В. Организация управления решением обыкновенных дифференциальных уравнений проекционно-сеточным методом / Р.В. Меркт, В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // Наука в ін-формаційному просторі: Матеріали IX міжнар. наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: Біла К.О., 2013. – Т. 7. – С. 86-90.*
25. *Челабчі В.М. Вибір чисельних методів при моделюванні динаміки систем / Т.Д. Панченко, І.А. Тузова, В.В. Челабчі, В.М. Челабчі // Информационные технологии и средства обучения [Електронний ресурс], 2016. – Режим доступу: http:// journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/author/submission/1387. – Дата доступу 01.07.2016.*
26. *Меркт Р.В. Комп'ютерне моделювання процесів переносу / Р.В. Меркт, В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // Тези доповідей науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи та технології». – Суми: Друкарський дім «Папірус», 2012. – С. 145-148.*
27. *Меркт Р.В. Развитие эффективных методов компьютерного моделирования / Р.В. Меркт, В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2005. – Вип. 17. – С. 257-270.*
28. *Челабчи В.В. Численное моделирование течений в каналах / В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // Materialy VI Megdynarodowej naukovowi-praktycznej konferencij «Stosowane naukowe opraco-wania-2010». – Przenysil: Nauka i studia, 2010. – V. 8. – C. 17-22.*
29. *Меркт Р.В. Особенности моделирования переходных режимов течения в каналах / Р.В. Меркт, В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // Сб. научн. трудов международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2010». – Одесса: Черноморье, 2010. – Т. 34. – С. 16-20.*
30. *Merkt R.V. Computer simulation of associated transfer processes / R.V. Merk, V.V. Chelabchy / Зб. наук. праць: Тематичний випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні техноло-гії». − Харків: НТУ «ХПІ», 2004. − № 2. − С. 37-47.*

31. *Патанкар С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С.В. Патанкар. – М.: Энергоатом-издат, 1984. –152 с.*
32. *Вдосконалення систем кондиціювання повітря на основі енергозберігаючих технологій: Звіт з НДР / ОНМУ, НДІ фунда-ментальних та прикладних досліджень: № держреєстрації 0107U001163. – Одесса: ОНМУ, 2008. – 42 с.*
33. *Vugts J.H. The hydrodynamic coefficients for swaying, heaving and rolling cylinders in a free surface / J.H. Vugts // International Shipbuilding Progress. – July 1968. – V.15. − № 167. − P. 251-276.*
34. *Merkt R.V. Ecologically clean cool-production on ships / R.V. Merkt, V.N. Chelabchi // Proceedings of the 6-th Congress of the IMAM. – Varna, Bulgaria, 1993. – Vol. 3. – P. 173-179.*
35. *Дорошенко А.В. Новое поколение систем кондиционирования воздуха на основе комбинированных испарительных охладителей / А.В. Дорошенко, В.Х. Кириллов, О.В. Ефимова, А.А. Клим-чук // Холодильная техника и технология. – 2000. – № 67. – С. 57-68.*
36. *Челабчі В.В. Моделювання процесів хвильової гідромеханіки / В.В. Челабчі // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2016. – № 1(47). – С. 41-57.*
37. *Челабчи В.В. Сшивка проекционных решений при моделировании фильтрационных течений / С.И. Новак, В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // Материали за 7-а международна научна практична конференция «Achievement of high school». − 2011. − Т. 27. Математика. Физика. −София: «БялГРАД-БГ»ООД. –С. 20-26.*

Стаття надійшла до редакції 10.01.2018

Рецензенти:

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету **Л.С. Вітюк**

доктор технічних наук, професор, віце-президент Асоціації українського сейсмостійкого будівництва **К.В. Єгупов**