

АНОТАЦІЯ

Малахова Д. О. Моделі та методи комп'ютерної підтримки рішень в інформаційних системах підготовки вантажних операцій на танкерах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки. – Одеський національний політехнічний університет, МОН України, Одеса, 2020.

У **вступі** обґрунтовано актуальність комп'ютерної підтримки рішень в інформаційних системах підготовки операцій на танкерах шляхом створення та впровадження моделей та методів обчислення та візуалізації аеродинамічних поточних даних при інертизації вантажних трюмів танкерів з метою скорочення часу процесу підготовки вантажних операцій.

У **першому розділі** дисертаційної роботи проаналізовано існуючі системи підготовки вантажних операцій і особливості прийняття рішень при інертизації вантажних трюмів.

Проведений аналіз особливостей процесу інертизації вантажних трюмів та існуючого інформаційного забезпечення. Сформульовано висновок, що всі відомі інформаційні системи, які використовуються для підготовки вантажних операцій на танкерах не задовольняють вимогам щодо контролю за якістю поточних технологічних параметрів. Такий недолік призводить до невиправдано високих значень часу отримання інформації щодо безпечної концентрації кисню на основі аналізу аеродинамічних поточних даних (АПД) всередині трюму, що призводить, як наслідок, до невиправданого високого часу простоїв танкерів. Тобто проблема створення комп'ютерної підтримки рішень в інформаційних системах підготовки вантажних операцій на танкерах є дуже актуальною для дуже широкого спектру технічних процесів і технологічних об'єктів.

Проаналізовано існуюче інформаційне забезпечення підтримки рішень та його основні складові – методи моделювання та візуалізації стану АПД

всередині трюму довільної конфігурації при його інертизації. Показано, що існуючі методи моделювання та візуалізації АПД не в повній мірі забезпечують вимоги щодо релевантності інформації в суднових системах інертизації вантажних трюмів, що призводить до високих часових витрат на здійснення процесу інертизації вантажних трюмів.

Доведено, що вирішення важливої науково-практичної задачі скорочення часових витрат на здійснення процесу інертизації вантажних трюмів танкерів може бути досягнуто шляхом розробки моделей та методів комп'ютерної підтримки рішень на основі моделювання та візуалізації АПД при інертизації.

У **другому розділі** розроблені моделі кількісного та якісного аналізу АПД при інертизації вантажних трюмів.

Оскільки одержання релевантної інформації можливо тільки на основі кількісного та якісного аналізу АПД в трюмі вантажного танкеру, то проведено аналіз математичних моделей руху крапельних і газоподібних рідин. Запропоновано провести класифікацію існуючих моделей АПД для отримання інтегральних та локальних характеристик процесу інертизації трюмів танкерів за рівнями обчислювальної складності відповідних рівнянь, які дозволяють моделювати АПД в просторово обмежених умовах трюмів.

Запропонована класифікація будується з урахуванням критеріїв стійкості розрахунку та ресурсів комп'ютерних засобів, які необхідно використовувати для отримання інформації для прийняття рішень (вимог до процесору, об'єму оперативної пам'яті, часу та якості моделювання, тощо).

Показано, що рівень обчислювальної складності відповідних моделей залежить від кількості доданків, що входять до складу диференціальних рівнянь та безпосередньо впливають на якість відтворення фізичних особливостей переміщення та стану АПД, а також від ступеня урахування значення в'язкості в локально виділеній і/або всієї області течії та градієнтів змін всіх кінематичних характеристик АПД в часі.

Запропоновано проводити класифікацію математичних гідродинамічних моделей за чотирма рівнями складності:

Перший (простий) рівень – використовує диференціальні рівняння, що не відтворюють в'язкісні ефекти. Моделі цього рівня потребують невеликого часу розрахунку але дають змогу будувати образи візуалізації АПД тільки на початковому рівні, що не забезпечує релевантну інформацію для комп'ютерної підтримки особи, що приймає рішення (ОПР).

Другий (незначно складний) рівень – відповідає спільному використанню двох видів моделей руху потоку рідини або газу. Перша модель обчислює прикордонний шар в тонкій області потоку, що межує з твердими поверхнями. Друга модель обчислює потенційну течію в якій вся рідина або газ вважаються ідеальними. Їх сумісне використання потребує збільшення в два–три рази розрахункового часу та дозволяє отримувати кількісні характеристики АПД та на їх підставі візуалізовувати лінії току та поля течії у вигляді ізоліній (ізобар, ізохор, ізотерм і т.п.). Цей факт підвищує релевантність інформації для комп'ютерної підтримки ОПР.

Третій (середньо складний) рівень – моделі використовують стаціонарні багатовимірні рівняння руху потоку, що за час свого руху став повністю усталеним. На цьому рівні запропоновано використовувати стаціонарні рівняння Нав'є–Стокса. Моделі такого рівня обчислюють реальні течії, де рух потоку визначається ефектами в'язкості. Використання таких моделей потребує великих затрат розрахункового часу, але дозволяє отримувати всі кількісні характеристики АПД і на їх підставі повністю візуалізовувати всі специфічні особливості робочого процесу інертизації і надавати найбільш релевантну інформацію для ОПР, що забезпечує якісну підтримку рішення.

Четвертий (високо складний) рівень – передбачає спільне використання нестационарних багатовимірних рівнянь руху Нав'є–Стокса або нестационарних багатовимірних рівнянь руху Рейнольдса. Такі рівняння завжди доповнюють моделями турбулентності у вигляді додаткових систем диференціальних рівнянь з емпіричними коефіцієнтами, що дозволяє отримувати всі без винятку характеристики АПД та використовувати їх для розробки або під час наукових

досліджень нового обладнання. Цей рівень є найбільш ресурсозатратним і потребує використання потужних серверів для моделювання.

Таким чином, отримано *перший пункт наукової новизни*, а саме: вперше розроблено багаторівневу класифікацію моделей за рівнями обчислювальної складності систем диференціальних гідродинамічних рівнянь для моделювання аеродинамічних поточкових даних в обмежених умовах, що дозволило проводити кількісний та якісний аналіз процесу інертизації трюмів танкеру з різними часовими витратами та різними рівнями якості прийняття рішення ОПР.

З урахуванням запропонованої класифікації було удосконалено модель обчислення АПД. Ця модель на відміну від існуючих основана на розробленій багаторівневій класифікації моделей руху потоку рідини або газу на основі гідродинамічних рівнянь для визначення концентрації інертних газів в трюмі під час інертизації. Це дозволило отримати інтегральні та локальні характеристики процесу інертизації трюмів танкеру для кількісного і якісного аналізу АПД.

Запропоновану чотиривимірну модель обчислення АПД при інертизації трюмів (рис. 1) з загальною структурою масивів виду:

$$V_{i,j,k} \sim V[i=0..N, j=0..M, k=0..F, t=1..3],$$

де N , M , F – розмірність просторової сітки, яка визначається кількістю розрахункових вузлів в напрямку X (номер останнього вузла дорівнює N), Y (номер останнього вузла дорівнює M), Z (номер останнього вузла дорівнює F); t – тимчасовий рівень (максимальне значення $t = 3$).

Модель передбачає трьохвимірне відтворення розрахункових АПД в часі (четвертому вимірюванню) з подальшим представленням у вигляді одновимірних масивів. Модель також передбачає запропановану траєкторію обчислень одновимірних масивів з подальшою переадресацією, що дозволяє враховувати результати попередніх кроків обчислень та тим самим знижує час обчислень при незначному збільшенні ресурсів оперативної пам'яті комп'ютера.

при незначному збільшенні ресурсів оперативної пам'яті комп'ютера.

У **третьому розділі** дисертаційної роботи розроблено методи обчислення АПД та підтримки рішення ОПР в інформаційних системах підготовки вантажних операцій на танкерах.

При практичному використанні розробленої чотирьохвимірної моделі обчислення АПД встановлено, що проведення такого моделювання потребує значних затрат ресурсів оперативної пам'яті та процесора комп'ютера. З метою скорочення цих ресурсів розроблено метод моделювання процесу інертизації вантажних трюмів танкера з використанням методу розщеплення на підставі принципу Гюйгенса–Адамара.

Метод передбачає виконання наступних кроків:

- множина всіх точок, що відображають елементи масивів кінцевих даних процесу піддається сегментації. В цьому випадку область трюму поділялася на три частини: гранична область (простір, що прилягає до стінок трюму) поблизу вертикальних стінок трюму і його дна; внутрішня область (весь внутрішній простір трюму); верхня область (простір, що прилягає до верхньої стінці трюму з областю виходу повітря в навколишній простір);

- відбувається розщеплення розрахункового простору з визначенням всіх необхідних параметрів АПД з подальшою кластеризацією результатів. Перехід від кластера до кластеру проводиться за рахунок використання операції усереднення оброблюваного параметра на даному часовому рівні або в конкретно взятому розщепленому перетині;

- характеристики АПД візуалізуються в якості локального або інтегрального параметра, що відображає просторовий характер розподілу.

- для нового часового рівня отримують новий масив поточкових даних.

Використання таких кроків моделювання на підставі чотирьохвимірної моделі обчислення АПД дозволяє отримувати вірогідні остаточні результати при зменшенні часу розрахунку до 30 % в порівнянні з обчисленням АПД за стандартними алгоритмами.

Таким чином, отримано *третій пункт наукової новизни*, а саме отримав подальший розвиток метод обчислення потокових даних на основі запропонованої їх чотирьохвимірної моделі, який полягає в розщепленні багатовимірного процесу на послідовність одновимірних, на підставі узагальненого принципу Гюйгенса–Адамара, що дозволило значно скоротити час моделювання процесу інертизації судна та забезпечити візуалізацію релевантної інформації для прийняття рішень щодо підготовки вантажних операцій на танкерах.

Сукупність розроблених багаторівневої класифікації гідродинамічних рівнянь, чотирьовимірної моделі відтворення АПД та методу їх розщеплення за принципом Гюйгенса–Адамара при моделюванні дозволило розробити метод підтримки прийняття рішень при інертизації вантажних трюмів танкерів (рис. 2).

Метод передбачає виконання наступних кроків:

- формулювання завдань процесу інертизації;
- визначення рівня складності моделі відтворення АПД згідно з запропонованою багаторівневою класифікацією;
- завдання початкових і граничних умов для моделювання відтворення АПД;
- проведення моделювання для обчислення АПД та при необхідності збереження результатів моделювання в СУБД;
- одержання даних від засобів вимірювання;
- порівняння інформації, яка одержана шляхом моделювання та вимірювання;
- прийняття рішення щодо процесу інертизації.

Під час реалізації методу підтримки прийняття рішень при інертизації вантажних трюмів танкерів основними джерелами отримання інформації в комплексі є дані від суднових засобів вимірювання, дані зі сховища основних модулів процесу моніторингу та моделювання попередніх аналогічних технологічних процесів із СУБД, дані з сформованих користувачем масивів

вихідних величин, які необхідно використовувати в інформаційній технології для комп'ютерної підтримки рішень (ІТ КПР) при моніторингу технологічних процесів в трюмах танкера. Також передбачається використання стандартних бібліотек і баз даних, побудованих на принципі модульної системи.



Рисунок 2 Схема реалізації методу підтримки прийняття рішень при інертизації вантажних трюмів танкерів

У момент формування початкових АПД ІТ КПР одночасно з початком реального процесу інертизації трюмів здійснює процесінг візуалізованої інформації. Цей процес є ітераційним. При необхідності в будь-який момент часу він передбачає проведення коригування процесу моделювання з боку користувача.

В якості інформації для прийняття рішень можуть бути використані як результати моделювання процесу, так і результати вимірювання засобів вимірювання за рахунок передачі по HART протоколу. У загальному випадку ІТ КПР враховує наступні характеристики технологічного процесу: поточне значення концентрації кисню всередині трюму; поточне значення температури усередині трюму, гідростатичний тиск всередині трюму.

Таким чином отримано **четвертий пункти наукової новизни**, а саме вперше запропонований метод підтримки прийняття рішень при інертизації вантажних трюмів танкерів, який базується на використанні розробленої класифікації рівнів обчислювальної складності, удосконаленої моделі обчислення аеродинамічних потокових даних та методі їх обчислення, що дозволяє розробити інформаційну технологію для комп'ютерної підтримки рішень та дає можливість значно скоротити технологічний час процесу інертизації.

Четвертий розділ присвячений створенню ІТ КПП в інформаційних системах підготовки вантажних операцій на танкерах на основі розроблених моделей та методів. ІТ КПП дозволяє отримати відображення чотирьох індикаторів процесу: часу інертизації танкера; ступеня виконання процесу інертизації; рівня зміни концентрації кисню в трюмі при його вентиляції; поточного значення розподілу концентрації кисню всередині трюму.

Апробація ІТ КПП при здійсненні вантажних операцій на танкерах показала скорочення часових витрат на здійснення процесу інертизації вантажних трюмів танкерів в середньому на 10%.

Використання ІТ КПП для потокової інформаційної обробки поточних результатів процесу заповнення вантажного трюму танкера інертними газами дозволило встановити, що отримані під час моделювання прогнозовані чисельні значення залишкової концентрації кисню, збігаються з показниками газоаналізатора з похибкою, менш 1,7 %.

В умовах роботи судна розроблена ІТ КПП дала змогу ОПР приймати рішення щодо перебігу процесу та відсутності аварійних режимів на протязі всього технологічного процесу інертизації. Розроблена ІТ КПП може бути використана сумісно з існуючими стандартними газоаналізаторами, термометрами і датчиками тиску, що працюють на базі HART протоколу.

Ключові слова: інформаційна технологія, комп'ютерна підтримка рішень, візуалізація аеродинамічних потокових даних.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

1. Malakhov O., Kolegaev M., Malakhova D., Maslov I., Brazhnik I., Gudilko R. Improvement of working parameters of ships with the use of water-fuel emulsions. Technology audit and production reserves. Vol 6, N 3(44), 2018. Pp. 14-20. *Видання входить до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus Journals Master List, Ifindr, EBSCO, OpenAIRE, Ulrich's Periodicals Directory, BASE, DOAJ, WorldCat, CrossRef, WorldWideScience.org, SAJI, CNKI Scholar, Microsoft Academic SearchZeitschriftendatenbank (ZDB), EconBiz, MIAR (Information Matrix for the Analysis of Journals), Scilit, EconPapers, IDEAS. ERIH PLUS (The European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences), Dimensions, FSTA, JournalTOCs, ResearchBib, ROAD, DRJI, Genamics JournalSeek, PBN, SHERPA RoMEO, CORE (COnnecting REpositories), Neliti, Lens, Paperity, Root Society, Wizdom.ai.*

http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Tatrv_2018_6%283%29_5.pdf

2. Малахова Д.О. Інформаційні технології для контролю процесу вентиляції вантажних трюмів танкеру. Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія – Технічні науки. Т. 30 (69). № 5, 2019. С. 122-126. *Видання входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International.*

http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2019/5_2019/part_1/21.pdf

3. Малахова Д. О. Классификация уравнений гидродинамики для использования в информационных технологиях при визуализации течений. Науковий вісник Херсонської державної морської академії. No 2 (21), 2019. С. 121-129. *Видання входить до міжнародних наукометричних баз Наукова електронна бібліотека E-Library.Ru, Google Scholar, Researchbib, Crossref.*

<http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/492/428>

4. Савельєва О. С. Малахова Д. О. Застосування інформаційних технологій у суднових технологічних процесах. Суднові енергетичні установки. Науковий-технічний збірник. № 39, 2019. С. 78-88. *Видання входить до міжнародної наукометричної бази Google Scholar.*

http://seu.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2020/09/2019_39.pdf

5. Oleksiy V. Malakhov, Mikhail O. Kolegaev, Igor D. Brazhnik, Oksana S. Saveleva, Diana O. Malakhova. New Forced Ventilation Technology for Inert Gas System on Tankers. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), Volume-9 Issue-4, February 2020. pp. 2549-2555. *Видання входить до міжнародних наукометричних баз Web of Science, SJCR-Q4, Lattice Science, Mendeley, Kudos, Crossref, Index Copernicus International, Google Scholar, J-Gate, WorldCat, Informatics, The Directory of Research Journal Indexing, Blue Eyes Intelligence Engineering & Sciences Publication, The Global Impact Factor, Research Gate, ROAD, Digg.*

<http://www.ijitee.org/wp-content/uploads/papers/v9i4/D1933029420.pdf>

6. Савельєва О.С., Малахова Д.О. Методологія візуалізації гідродинамічних потоків. *Матеріали V Українсько-німецької конференції «Інформатика. Культура. Техніка».* – Одеса, 22 – 26 травня, 2017. – С. 117 – 118.

7. Малахов А. В., Палагин А.Н., Гудилко Р.Г., Малахова Д.О. Изучение процесса разрушения движущихся воздушных каверн внутри заполненных балластных танков судов погружного типа SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT. *Матеріали науково технічної конференції «Річковий та морський флот експлуатація і ремонт».* – Одеса, 23 – 24 березня, 2017. С. 41 – 45.

8. Савельєва О.С., Становська І.І., Гур'єв І.М., Малахова Д.О., Саух І.А. Інформаційні технології управління проектною логістикою за допомогою віртуальних моделей. *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Summer InfoCom Advanced Solutions».* – Київ, 2017. – С. 43 – 44.

9. Савельєва О.С., Малахова Д.О. Методи побудови графічних образів поля швидкості і тиску при проведенні гідродинамічних розрахунків. *Матеріали VI Українсько-німецької конференції «Інформатика. Культура. Техніка»*. – Одеса, 2018.
10. Малахов А.В., Колегаєв М.А., Бражник І.Д., Гудилко Р.Г., Малахова Д.О. Управление процессом вентиляции трюмов танкера. *Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи і технології»*. 25-25 вересня 2019, Одеса, С. 232-234.
11. Малахов О.В., Маслов І.З., Гуділко Р.Г., Малахова Д.О. Особенности ruchu багатofазного газового струменя в змінному температурному полі. *Матеріали IX Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту»*. м. Ізмаїл Одеської обл. 2018.
12. Савельєва О.В., Герганов М.Л., Малахова Д.О. Інформаційна технологія моделювання псевдовільних потоків крізь порувате середовище. *Моделювання в прикладних наукових дослідженнях* – 2019. С. 15-17.
13. Малахова Д. О., Савельєва О. С. Програмний комплекс для застосування інформаційної технології на танкері. *Матеріали Науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт»*. – Березень. 2020.