

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
імені адмірала Макарова**

**ТИМЧЕНКО ІННА ВІКТОРІВНА**

**УДК 504.064**

**ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ  
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО  
МОНІТОРИНГУ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ШКІДЛИВИХ  
РІДИН В АКВАТОРІЯХ МОРСЬКИХ ПОРТІВ**

**Спеціальність 21.06.01 - екологічна безпека**

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

**Миколаїв-2010**

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України (м. Миколаїв).

**Науковий керівник:** д-р техн. наук, професор,  
Заслужений винахідник України **Кондратенко Юрій Пантелійович**  
Чорноморський державний університет імені Петра Могили Міністерства освіти і науки України, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем

**Офіційні опоненти:** д-р технічних наук, професор  
**Шмандій Володимир Михайлович**,  
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського Міністерства освіти і науки України, декан факультету природничих наук, завідувач кафедри екології

д-р технічних наук, професор  
**Мальований Мирослав Степанович**  
Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри екології та навколишнього середовища

Захист відбудеться 20.10.2010 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д38.060.01 Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, пр. Героїв Сталінграду, 9.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, пр. Героїв Сталінграду, 9.

Автореферат розіслано « 16 » 09 2010р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради  
д-р техн. наук, професор



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** На даний час портова інфраструктура є ключовим фактором комерційного та економічного розвитку півдня України. При цьому функціонування портових комплексів пов'язано з постійною техногенною небезпекою для довкілля, зокрема для Чорноморського басейну, регіональна належність якого до екологічно уразливих районів обумовлює важливість та необхідність вирішення задач екологічної безпеки. Значний рівень концентрацій багатьох забруднюючих речовин в акваторіях морських портів зменшує здатність до самоочищення природних морських екосистем, а наслідки непередбачених аварійних ситуацій з забрудненням водного середовища шкідливими рідинами, зокрема нафтою та нафтопродуктами (ННП), можуть привести до незворотних наслідків для довкілля.

Одним із шляхів підвищення рівня екологічної безпеки функціонування портових комплексів є створення високоефективних систем комп'ютеризованого екологічного моніторингу, зокрема при перевантаженні шкідливих рідинних вантажів.

На теперішній час розроблено вітчизняні та закордонні системи екологічного моніторингу, які дозволяють: візуалізувати розвиток аварійних подій в реальному часі, оцінити можливі ризики аварійної ситуації, розробляти відповідні заходи з забезпечення екологічної безпеки (наприклад, гео-інформаційна система «MAOSIS», УкрНЦЕМ, м.Одеса; національна програма боротьби з розливами нафти «OSRA», Австралія та ін.). Однак, більшість існуючих систем призначені для локального використання в межах конкретних промислових об'єктів, потребують точної початкової інформації, отримання якої не завжди є можливим, а також не повністю враховують вплив низки важливих факторів, пов'язаних з необхідністю формалізації невизначеностей або моделей поведінки людей при прийнятті рішень. Тому, актуальним залишається створення системи, яка дозволяє розв'язувати комплексні задачі забезпечення екологічної безпеки на локальному рівні. Все це обумовлює необхідність вдосконалення існуючих та розробки альтернативних інтелектуальних комп'ютеризованих засобів екологічного моніторингу для підвищення рівня екологічної безпеки в морських портах з врахуванням формування заходів з забезпечення екологічної безпеки на етапі запобігання аварійних ситуацій та ефективного прийняття рішень з ліквідації аварійних розливів нафти та нафтопродуктів (ЛАРН) в реальному часі.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалася у відповідності до пріоритетних напрямків науково-дослідних робіт Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова згідно з координаційними планами Міністерства освіти і науки України, зокрема, в рамках фундаментальних наукових досліджень за держбюджетними темами: «Методи і засоби синтезу інтелектуальних систем для оптимізації вантажопотоків та процесів керування морськими транспортними комплексами», №0105U001767 (розділ «Розробка

програмно-технічних засобів інтелектуальних систем моніторингу, інформаційного забезпечення та синтезу систем підтримки прийняття рішень в конфліктних та аварійних ситуаціях для підвищення екологічної безпеки морських транспортних комплексів») та «Теорія і методи синтезу автоматизованих інтерактивних систем керування гарантобезпечним рухом суден в обмежених акваторіях» (№0108U001166), де автор є відповідальним виконавцем.

**Мета та задачі дослідження.** Метою дослідження є підвищення рівня екологічної безпеки функціонування морських портів шляхом впровадження вдосконаленої системи комп'ютеризованого екологічного моніторингу перевантаження шкідливих рідин в акваторіях морських портів. Досягнення мети забезпечується розв'язанням наступних задач:

— проведення комплексної оцінки негативного впливу процесу перевантаження на екологічний стан акваторій портів у штатних та аварійних ситуаціях;

— побудова ієрархічної структури комп'ютеризованої системи екологічного моніторингу, що забезпечувала б підвищення ефективності процесів прийняття рішень з забезпечення екологічної безпеки і формування плану ліквідації аварійних розливів нафти;

— визначення рівня екологічної небезпеки процесів перевантаження шкідливих рідин шляхом урахування імовірнісної функції екологічних збитків від аварійних розливів;

— розробка моделей оптимізації процесів завантаження/розвантаження нафтопродуктів в акваторіях морських портів з урахуванням екологічних наслідків та формуванням оптимальних заходів із забезпечення екологічної безпеки процесів перевантаження шкідливих рідин;

— розробка процедури формування ефективних схемо-технічних рішень з ЛАРН з урахуванням умов невизначеності окремих параметрів аварій та корекція моделей ідентифікації параметрів нафтових забруднень водного середовища при різноманітності джерел розливу нафтопродуктів.

*Об'єктом досліджень* є процеси здійснення комп'ютеризованого екологічного моніторингу перевантаження шкідливих рідин в акваторіях морських портів у штатних умовах та аварійних ситуаціях.

*Предметом досліджень* є параметри функціонування ієрархічної системи комп'ютеризованого екологічного моніторингу перевантаження шкідливих рідин в акваторіях морських портів.

**Методи дослідження.** Проведені в дисертаційній роботі дослідження впливу процесів перевантаження на екологічний стан водного середовища портів ґрунтуються на даних натурних спостережень і застосуванні методів теорії систем і системного аналізу; оптимізація діяльності з забезпечення екологічної безпеки в портах ґрунтується на ймовірносно-статистичних методах і методі динамічного програмування; імітаційні моделі динаміки забруднень розроблено на основі методів математичного аналізу та чисельних методів; вирішення задачі ЛАРН в

умовах невизначеності здійснюється на основі ймовірно-статистичних, експертних методах, зокрема на основі Байєсового підходу.

**Найсуттєвіші наукові результати, отримані особисто здобувачем,** полягають у наступному:

—**уточнено** міжкомпонентні взаємозв'язки та структурування комп'ютеризованої системи екологічного моніторингу шляхом врахування етапу управління процесами відображення аварійної ситуації та введення блоку експертного оцінювання альтернативних варіантів рішень з ліквідації наслідків аварії, що на 16-25 % зменшує час на ліквідацію в порівнянні з традиційною схемою, тим самим на 2 — 5 % зменшує рівень екологічних збитків завдяки забезпеченню інтерактивної людино-машинної взаємодії в реальному часі;

—**отримав подальший розвиток** системний підхід до формування комплексного критерію екологічної небезпеки перевантаження шкідливих рідин, який, на відміну від існуючих, ураховує його прямий та опосередкований вплив на навколишнє середовище, а також імовірнісну функцію екологічної небезпеки від аварійних розливів (середнє квадратичне відхилення якої - в межах 12 %);

—**уточнено** особливості формування оптимальних рішень з забезпечення екологічної безпеки перевантаження рідин за рахунок мінімізації величини залишкових екологічних збитків з визначенням прогнозних наслідків на кожному етапі оптимізації, екологічно ефективного плану поповнення, зберігання та розвантаження партій рідинних вантажів й розподілу ресурсів на запобіжні заходи;

—**удосконалено** процедуру визначення колективних оцінок при формуванні схемних рішень з ЛАРН у реальному часі, яка базується на скорегованих моделях розповсюдження нафтових забруднень на водній поверхні і Байєсовому підході при аналізі множини альтернативних рішень з ЛАРН та дозволяє враховувати умови невизначеності окремих характеристик аварій з забезпеченням мінімальної середньої похибки колективних рішень в межах 0,01.

#### **Достовірність та обґрунтованість наукових результатів**

підтверджується коректністю фізичних припущень, закономірностей у вигляді вихідних рівнянь та залежностей, прийнятих для дослідження процесів розповсюдження нафтових забруднень у водному середовищі, а також застосуванням відповідного математичного апарату при побудові математичних моделей, високим рівнем адекватності результатів моделювання та результатів експериментальних досліджень, апробацією отриманих результатів на реальних об'єктах.

**Наукове значення мають наступні результати дослідження:** - ієрархічна система комп'ютеризованого екологічного моніторингу з врахуванням етапу управління процесами відображення екологічних станів безпеки та експертного оцінювання альтернативних варіантів рішень з ліквідації наслідків розливів нафти та нафтопродуктів;

- методологія формування оптимальних рішень з забезпечення екологічної безпеки перевантаження рідин із визначенням прогнозних

- наслідків на кожному етапі оптимізації, екологічно ефективного плану перевантаження й розподілу ресурсів на заходи;
- комплексний критерій екологічної небезпеки перевантаження шкідливих рідин з урахуванням прямого та опосередкованого впливу на навколишнє середовище, а також імовірнісної функції екологічної небезпеки від аварійних розливів;
- процедура визначення колективних оцінок при формуванні схемних рішень з ЛАРН в умовах невизначеностей окремих параметрів аварій у реальному часі.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що результати дисертаційних досліджень використанні та впровадженні у вигляді програмно-алгоритмічного забезпечення систем екологічного моніторингу, зокрема при розробці:

— заходів з забезпечення екологічної безпеки для здійснення контролю вантажно-розвантажувальних процесів в акваторіях морських портів та моніторингу забрудненості в районах несанкціонованого скиду чи аварійного забруднення (*впроваджено в державній інспекції охорони Чорного та Азовського морів, державній екологічній інспекції Миколаївської області*);

— рекомендацій та технічних рішень з ліквідації аварійних розливів нафти в обмежених акваторіях портів у реальному часі (*впроваджено в головному управлінні МНС у Миколаївській області*).

Основні результати дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова в лекційному матеріалі, лабораторних роботах і при підготовці дипломних проектів студентів за спеціальністю «Екологія та охорона навколишнього середовища».

В подальшому передбачається використання отриманих результатів для розробки методів та засобів ліквідації різнотипних надзвичайних ситуацій іншого характеру.

**Особистий внесок здобувача.** Всі основні результати, що виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно. Роботи [1;6;8;9;12;13] опубліковані здобувачем одноосібно. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать: [2] - скорегована модель розповсюдження нафтової плями та алгоритм програми розрахунку зміни параметрів нафтової плями; [3] - структура та логіко-психологічний граф системи прийняття рішень з підвищення екологічної безпеки; [4] - параметрична база даних системи екологічного моніторингу; [5] - процедура формування альтернативного рішення за Байєсовою схемою; [7,11] - модель задачі формування екологічно ефективного плану перевантаження нафти; [10] - рекурентна форма моделі розповсюдження нафтової плями на водній поверхні.

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали дисертації доповідалися та обговорювалися на: Міжн. наук.-техн. конф. «Проблеми екологічної безпеки», Кременчук, КДПУ, 2009; 8-й Всеукраїнській наук.-техн. конф. «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів»,

Кременчук, КДПУ, 2009; Міжн. конф. «Humbolt Cosmos: Science and Society» (HCS<sup>2</sup>), Київ, КНУ, 2009; Міжн. наук, конф, «Современные проблемы гидробиологии. Перспективы, пути и методы исследований - 2», Херсон, Херсонська гідробіолог, станція НАН України, 2008; 2-й Міжн. наук.-техн. конф. «Навколишнє природне середовище - 2007: Актуальні проблеми екології та гідрометеорології; інтеграція освіти і науки», Одеса, ОДЕУ, 2007; 4-й Міжн. конф. з автоматичного управління (Автоматика-2007), Севастополь, СНУЯЕтаП, 2007; 1-й наук.-практ. конф. з міжн. участю „Математичне та імітаційне моделювання систем, Жуків, 2006; Міжн. наук. конф. «Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій», Євпаторія, 2006, 2007; Міжн. наук.-техн. конф. «Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні», Миколаїв, НУК, 2005; Міжн. наук.-техн. конф. «Безпека мореплавання та її забезпечення при проектуванні та побудові суден», Миколаїв, НУК, 2004, 2007; Міжн. наук.-техн. конф. «Modeling and stability»), Київ, КНУ, 2007; 7-й Всеукраїнській наук. конф. студентів, магістрантів і аспірантів „Екологічні проблеми регіонів України", Одеса, ОДЕУ, 2005.

**Публікації.** Результати дисертаційного дослідження в повному обсязі висвітлено в 18 друкованих працях. Основні результати роботи опубліковано в 13 статтях, в тому числі, в 6 наукових працях (2 - без співавторів) в спеціалізованих науково-технічних виданнях, які входять до переліку, затвердженого ВАК України [1-6], 7 тезах і доповідях (4- без співавторів) конференцій [7-13]. Додатково зміст дисертації викладено в 5 публікаціях (в т.ч. 4 - без співавторів).

**Структура дисертації.** Дисертація складається із вступу, 6 розділів і 6 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 215 сторінок, обсяг тексту -150 сторінок, додатків - 23 сторінок. Дисертація містить 44 рисунка, 38 таблиць та посилання на 157 літературних джерел.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

*У вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета і задачі досліджень, зазначений зв'язок із науковими програмами, планами і темами. Сформульовані наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, наведена інформація про публікації, апробацію і впровадження результатів досліджень.

*В першому розділі* проаналізовано можливості сучасних систем екологічного моніторингу забруднень водного середовища в портових комплексах та на водних об'єктах. Підвищення ефективності функціонування таких систем можливе шляхом створення спеціалізованих комп'ютеризованих систем екологічного моніторингу забруднень - інформаційно-дорадчих для персоналу підрозділів, що відповідають за здійснення процесів перевантаження шкідливих рідин (ПШР), відділів екології, служб ЛАРН та інспекції охорони моря. Визначено, що комп'ютеризована система такого призначення повинна функціонувати в двох режимах: екологічного контролю технологічного процесу із забезпеченням екологічно ефективного планування ПШР і при виникненні

аварійних ситуацій режимі прийняття ефективних рішень з ЛАРН у реальному часі. Встановлено, що вирішення задачі оптимізації діяльності з управління екологічною безпекою в режимі контролю ПШР потребує вдосконалення методики оцінки антропогенного навантаження ПШР на водне середовище для формування оптимальних заходів з забезпечення екологічної безпеки. Встановлено, що прийняття ефективних рішень з ЛАРН потребує використання математичних моделей розповсюдження забруднень на водній поверхні. При аналізі існуючих моделей з урахуванням особливостей обмежених акваторій портів визначено розповсюдження розливу на поверхні води як нестационарний процес конвективної дифузії неконсервативних речовин та скоректовано модель для визначення ефективних параметрів і схем ЛАРН у реальному часі, яка враховує розтікання плями під дією сил течії і вітру, турбулентної дифузії та функцію зміни об'єму нафтової плями внаслідок випаровування.

В **другому розділі** наведено комплексну оцінку негативного впливу процесів ПШР на екологічний стан водного середовища акваторій портів та обґрунтування методів дослідження.

Результати дослідження основних взаємозв'язків технологічних процесів системи «судно - порт - навколишнє середовище», а також основних джерел негативного впливу на морські екосистеми порту обумовлюють розглядання питань підвищення екологічної безпеки процесів ПШР з урахуванням взаємовпливу інших об'єктів порту, зокрема, очисних споруд та станції очистки лояльних вод, а також антропогенного навантаження на всі компоненти навколишнього середовища.

На основі відомих статистичних даних проведено аналіз аварійності танкерів з розливами нафти.

Статистичний аналіз включає визначення рівня екологічної небезпеки аварійних розливів ННП, виходячи з відомого рівняння екологічного ризику:

$$\tilde{R} = Y \cdot P(E^*), \quad (1)$$

де  $P(E^*)$  - ймовірність виникнення екологічно небезпечної ситуації;  $Y$  - відносний розмір екологічних збитків від розливу, у.о/т. Встановлено, що розподіл випадкових технологічних розливів найбільше відповідає розподілу

Пуассона, тому:  $P(E^*) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$ , де  $\lambda$  - очікуваний об'єм забруднень на 1 т перевантаженої нафти в рік (статистичні данні);  $x$  - очікувана кількість розливів.

Досліджено ймовірність виникнення експлуатаційних (при перевантаженні ННП як вантажу), змішаних та бункерних розливів у морському порту Бузько-Дніпровського лиманного каналу (БДЛК) (рис. 1а). На рис. 1б наведені результати порівняльних розрахунків характеристики екологічної небезпеки експлуатаційних і бункерних розливів у морському порту БДЛК і порту Південний (Одеська область) в залежності від об'ємів перевантаження. Значення середньо-квадратичної

відносної похибки прогнозної ймовірності виникнення розливу при перевантаженні (статистичні дані за 2001-2007 рр.) дорівнює 11,8 %; при бункеровці 8,5%.

Розрахунки ймовірності виникнення розливів нафти дозволяють: кількісно та якісно оцінити внесок випадкових аварійних розливів ННП в загальний рівень екологічних збитків від нафтових забруднень; змоделювати сценарії розвитку типових аварійних ситуацій в акваторіях портів та ін.

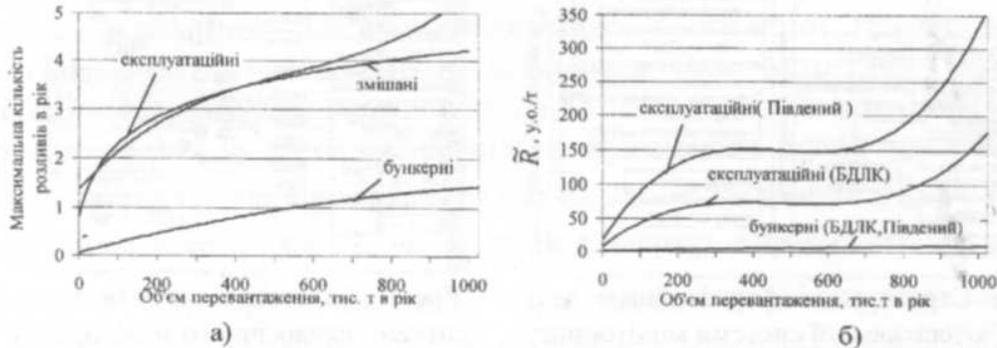


Рис. 1. Результати оцінки екологічної небезпеки розливів ННП: а – ймовірна кількість різнотипних розливів в БДЛК; б – рівень максимальної екологічної небезпеки перевантаження для БДЛК та порту Південний

Здійснені аналіз ефективності сучасних систем екологічного моніторингу забруднень (в першому розділі) та оцінка факторів екологічної небезпеки дозволили визначити основні напрями та методи дисертаційних досліджень, а саме: удосконалення механізму вибору оптимальних рішень з забезпечення екологічної безпеки при ПРШ на основі методу динамічного програмування, що обумовлено нелінійним характером критерію оптимізації через включення функції екологічного ризику; корекція імітаційних моделей розповсюдження ННП на водній поверхні на основі апробованих методів математичного аналізу і чисельних методів. Розробка механізму вибору альтернативного рішення з ЛАРН проводиться на основі методу аналізу ієрархій Сааті та Байєсового підходу, що забезпечує мінімальну середню ймовірність помилки колективного рішення.

**Третій розділ** присвячено розробці ієрархічної структури, алгоритму функціонування та параметричної бази даних комп'ютеризованої системи екологічного моніторингу.

На основі аналізу екологічно небезпечних факторів ПШР та їх впливу на навколишнє середовище розроблено логіко-психологічний граф та ієрархічну структуру комп'ютеризованої системи екологічного моніторингу, узагальнена функціональна схема якої наведена на рис. 2.

Важливим елементом такої системи є параметрична база даних, яка містить наступні підпрограми: *HYDROMETEOROLOGY* (оцінка гідрометеорологічних даних); *PORT* (поточні дані та параметри технологічних процесів у порту, в т.ч. оцінка ступеня небезпеки); *PETROLEUM STORAGE*, рис. 3 (техніко-технологічні параметри процесу

перевантаження нафти); картографічні дані районів перевантаження і можливих аварійних ситуацій та схеми збору нафти, які розроблені згідно районування території ймовірної екологічної небезпеки і документальних даних щодо схемореалізації ЛАРН; альтернативні послідовності збору нафти; критерії оцінки рівня небезпечності ситуацій.



Рис. 2. Структурно-інформаційна модель комп'ютеризованої системи моніторингу

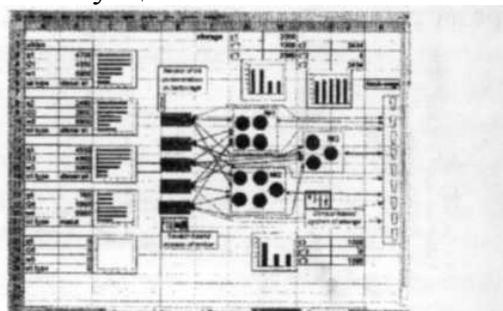


Рис. 3. Діалогові вікна бази даних системи екологічного моніторингу

Ієрархічна організація комп'ютеризованої системи екологічного моніторингу дозволяє в режимі екологічного контролю формувати оптимальні заходи щодо екологічно ефективної схеми вантажопотоків, екологічно безпечної технології перевантаження, додаткових засобів очистки забруднених вод та ін. (*блок оптимізації рішень*). Разом з тим при виникненні аварійної ситуації завдяки реалізації інтерактивних режимів взаємодії з людиною, що приймає рішення (*ЛПР*) та кваліфікованими експертами (*блок експертної оцінки*) у реальному часі формуються ефективні параметри та схеми збору нафти, ймовірне джерело аварії, а також рішення з ЛАРН в умовах динаміки аварійної ситуації з подальшою розробкою заходів щодо відтворення екологічної рівноваги.

Включення *блоку оцінки альтернативних варіантів* забезпечує, при використанні відповідних математичних моделей, можливість попереднього „програвання” (шляхом імітаційного моделювання в *блоці моделювання та прогнозування*) різних варіантів розвитку аварійних ситуацій.

Важливою задачею функціонування *блоку оптимізації* є формування екологічно ефективної схеми вантажопотоків та комплексу оптимальних заходів з забезпечення екологічної безпеки в морських портах.

**Четвертий розділ** присвячено вдосконаленню методики оптимізації рішень з забезпечення екологічної безпеки при ПШР в акваторіях морських портів, яка, на відміну від існуючих, включає кількісно-якісну оцінку ефективності поточної діяльності порту з урахуванням впливу опосередкованих негативних факторів при ПШР і характеристики екологічної небезпеки розливів (згідно рівняння (1)), а також забезпечує вибір екологічно-ефективного плану ПШР та оптимального розподілу ресурсів на заходи, на основі методів динамічного програмування.

Оцінка ефективності поточної екологічної діяльності порту та запропонованого комплексу заходів здійснюється за вдосконалим комплексним критерієм екологічної небезпеки  $R$ :

$$R = P(E^*) \cdot \sum_{k=1}^n \sum_{t=0}^{t_k} \eta_j^k (Y_{fi}(\zeta) + Y_{opos})^k, \quad (2)$$

де  $Y_{fi}(\zeta)$ ,  $Y_{opos}$  – екологічні збитки навколишньому середовищі в результаті діяльності порту, що пов'язані, відповідно, з втратами гідрологічних й біологічних ресурсів водного середовища та витратами внаслідок опосередкованого впливу нераціонального ПШР (втрат вантажу, додаткового технічного обслуговування, зменшення продуктивності праці) при здійсненні  $k$ -го технологічного процесу,  $k = \overline{1, 2, \dots, n}$  та застосуванні  $j$ -ї екологічно безпечної технології  $j = \overline{1, 2, \dots, m}$  за період впливу виробничих негативних факторів,  $t_k$ , у.о.;  $\eta_j^k$  – коефіцієнт ефективності впровадження заходів з забезпечення екологічної безпеки;  $P(E)$  – ймовірність виникнення екологічно небезпечної ситуації.

Особливу увагу приділено визначенню функції  $Y_{fi}(\zeta)$ . Оцінювання очікуваного розміру екологічних збитків при впровадженні відповідних заходів здійснюється на основі затверджених законодавством України методик з урахуванням втрат кормових організмів водного середовища (для фітопланктону, зоопланктону та бентосу) і гідрологічних ресурсів внаслідок забруднення речовинами у складі сировини. За уточненою методикою значення очікуваного об'єму забрудненого водного середовища  $V_j^k$  та маси забруднень  $M(\zeta)$  визначається як:

$$V_j^k = \pi [r(Q_j^k, M(\zeta))]^2 K_0 K_1 H, \quad (3)$$

$$M(\zeta) = M_j^k \cdot (\chi(E_1^*) + \chi(E_2^*)), \quad (4)$$

де  $r(Q_j^k, M(\zeta))$  – радіус забрудненої поверхні в залежності від середньої

кількості постійних втрат шкідливих рідин  $Q_j^k$ ,  $\tau$  та ймовірної маси аварійного забруднення  $M(\zeta)$ ;  $K_0$  – коефіцієнт ефективності комплексу профілактичних заходів;  $K_1$  – коефіцієнт ефективності комплексу ліквідаційних заходів;  $H$  – глибина водоймища, м;  $M_j^k$  – очікувана максимальна маса скиду шкідливої рідини в залежності від інтенсивності перевантаження;  $\chi$  – очікувана кількість аварійних розливів, розраховується виходячи з рівняння (1);  $E_1^*, E_2^*$  – події що характеризують відповідно бункерні та експлуатаційні розливи.

Залежність множини значень  $\{Y\}$  від періоду дії негативних факторів і ефективності заходів з забезпечення екологічної безпеки, тобто від величин, точне визначення яких є складною задачею, обумовлює знаходження квазіоптимального рішення при оптимізації екологічних заходів.

Визначення поточного рівня екологічної безпеки в порту здійснюється згідно уточненої методики за розробленим алгоритмом, в основу якого покладено метод динамічного програмування:

*Крок 1.* Оцінка рівнів екологічної небезпеки при ПШР (процесах поповнення та зберігання ННП) за рівнянням (2), а також попереджених екологічних збитків при ПШР  $\lambda(R)_j^k$  та впровадженні відповідних заходів з забезпе-

чення екологічної безпеки  $\bar{K}$  як:  $\lambda(R)_j^k = \frac{R_{\max} - (R + S_j^k)}{R_{\max}} \cdot 100\%$ , де  $R_{\max}$

характеризує максимальний рівень екологічної небезпеки, (без впровадження заходів),  $S_j^k$  – орієнтовна вартість  $j$ -го заходу.

*Крок 2.* Формування попереднього комплексу ефективних заходів з забезпечення екологічної безпеки  $\bar{K}_{\text{ефект}}$  при заданому параметру відносної попередженої шкоди (наприклад,  $\lambda(R)_{j \text{ зад}}^k \geq 50\%$ ).

*Крок 3.* Розв'язання задачі вибору оптимальних поставок ННП з урахуванням еколого-економічних наслідків у технологічній системі типу „танкер ↔ склад ↔ залізничні цистерни”. При розв'язанні задачі оптимізації мінімізується цільова функція:

$$Z_i(\bar{E}_i) = \min \left\{ r(x_i) + Y_j(x_i) + f(\bar{E}_i) + Y_j(\bar{E}_i) + Z_{i-1}(E_{i-1}) \right\}, \quad (5)$$

де  $x_i$  – регульовані змінні, які відповідають обсягу поставок нафти в  $i$ -й період часу;  $\bar{E}_i$  – параметри, що характеризують поточний рівень нафти в ємностях складів на відповідний момент часу  $i$ -го періоду, ( $i=1 \dots n$ );  $r(x_i)$ ,  $Y_j(x_i)$ ,  $f(\bar{E}_i)$ ,  $Y_j(\bar{E}_i)$  – функції витрат та екологічних збитків при поповненні та зберіганні ННП на складах, відповідно. Наведено результати розрахунків об'ємів

поповнення та зберігання ННП (рис.4б, заштрихована область визначає об'єм зберігання ННП в перший тиждень) з урахуванням очікуваних екологічних збитків  $Y_j(x_i)$  та  $Y_j(\bar{E}_i)$  (рис.4а) для портів з об'ємом перевантаження більше 1 млн. т в рік.

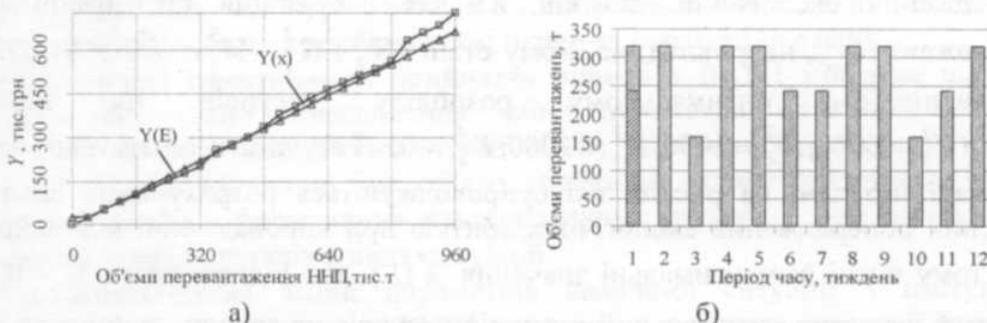


Рис. 4. Оптимальний план перевантаження ННП: а – зміна функції екологічних збитків; б – оптимальні об'єми поповнення ННП

*Крок 4.* Наступним етапом є вибір оптимального варіанту розподілу ресурсів на заходи  $\bar{K}_{\text{opt}}$  для підвищення екологічної безпеки ПШР при здійсненні  $k$ -го технологічного процесу. Вибір здійснюється за критерієм відносної функції попереджених екологічних збитків  $\lambda(R)_j^k$ , %. Керуючою змінною виступає кількість ресурсів, які можна задіяти,  $S_i^{k*}$ ,  $i = \overline{1, 2, \dots, p}$ . Функціональне рівняння задачі оптимізації запишеться у вигляді:

$$Z_i(\Phi_i^{k-1}) = \max \sum_{k=1}^n (\lambda(R)_j^k + Z_{k+1}(\Phi_i^k)), \quad (6)$$

де  $\Phi_i^{k-1}$  – загальна кількість ресурсів на початку  $k$ -го етапу вкладення  $i$ -го ресурсу, за умови:  $\sum_{k=1}^n S_i^{k*} \in [0; \Phi_i^{k-1}]$  та цілочисельності параметрів  $S_i^{k*}$ . При заданих параметрах ефективності природоохоронної діяльності  $\lambda(R)_j^k$  квазіоптимальні заходи визначаються з урахуванням попереднього комплексу  $\bar{K}_{\text{ефект}}$ , визначеному на кроці 2 даного алгоритму.

На рис. 5, 6 наведені результати застосування методики для визначення оптимального розподілу ресурсів на заходи (застосування бонових загороджень аварійних або постійної плавучості, додаткових фільтрів очищення стічних вод, сигналізаторів зупинки скиду неочищених нафтовмісних вод, сорбентів і ін.) при: перевантаженні наливом ННП ( $K_j^1$ ); експлуатації очисних споруд ( $K_j^2$ ); ліквідації аварійних ситуацій ( $K_j^3$ ); перевантаженні наливом метанолу та оцтової кислоти ( $K_j^4$ ) в умовах

морського порту БДЛК. Зокрема, розраховано: значення відносних попереджених екологічних збитків на різних етапах оптимізації (рис.5а) і для  $\lambda(R) = f(S_i^{k*})$  при  $\bar{K} = K_{opt}$  (рис.6а); максимальне значення відносних попереджених екологічних збитків  $\lambda^*$  для 3-х етапів оптимізації при впровадженні  $\bar{K}_{opt}$ , наприклад, на 2-ому етапі ( $K_j^1 + K_j^2 + K_j^3$ ):  $\lambda_2^* = 81,855\%$ , що відповідає оптимальному розподілу ресурсів на заходи,  $\bar{K}_{opt} = (K_4^1 = 6000; K_4^2 = 1000; K_4^3 = 3000; K_4^4 = 0)$ . Результати оптимізації на 3-ому етапі наведені на рис.5б, які супроводжуються розрахунками значень відносних попереджених екологічних збитків при впровадженні відповідних  $\bar{K}$ , в тому числі їх максимальні значення  $\lambda^*(S)$ , що відповідають  $\bar{K} = K_{opt}$ . На рис. 6 наведено оптимальний розподіл ресурсів на заходи, наприклад при  $S_i^{k*} = 10000$  отримано  $\lambda_3^* = 85,257\%$  (3618,3 у.о.) що відповідає оптимальному розподілу матеріальних ресурсів на відповідні заходи як:  $\bar{K}_{opt} = (K_2^1 = 4000; K_2^2 = 1000; K_2^3 = 4000; K_2^4 = 1000)$ .

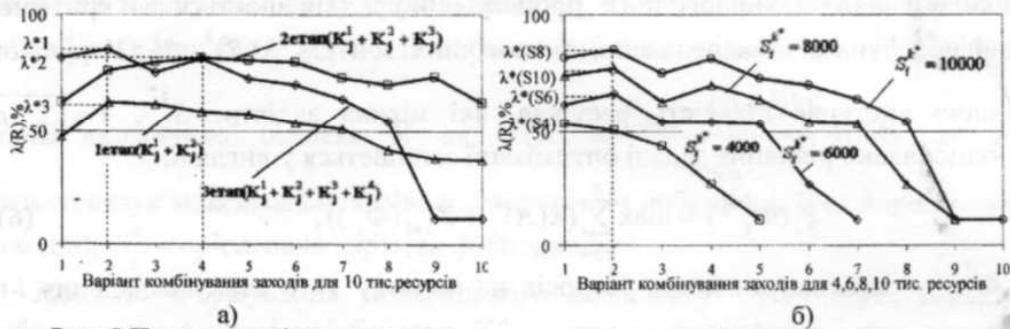


Рис. 5 Показник зміни відносних попереджених екологічних збитків: а - для  $\lambda(R) = f(\bar{K})$  при  $S_i^{k*} = 10000$ ; б - для  $S_i^{k*} = 4000, 6000, 8000, 10000$

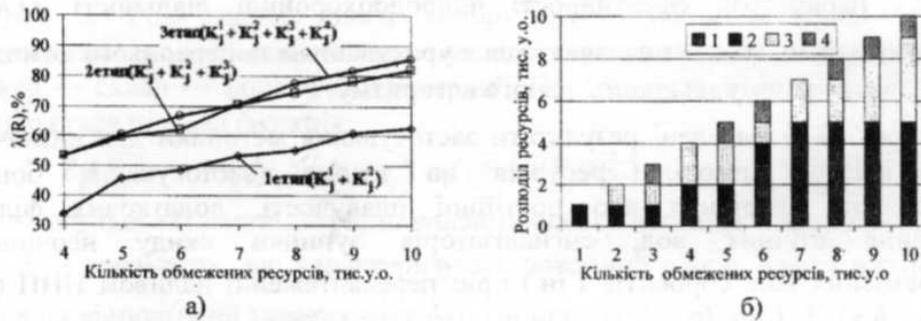


Рис. 6 Оптимальний розподіл ресурсів на заходи: а - для  $\lambda(R) = f(S_i^{k*})$  при  $\bar{K} = K_{opt}$ ; б - для  $S_i^{k*} = 1000, 2000 \dots 10000$

Для забезпечення комплексної екологічної безпеки портів розроблена комп'ютеризована система екологічного моніторингу реагує на виникнення аварійних ситуацій, яких уникнути не вдалось та формувати рішення щодо ліквідації їх наслідків з мінімальною шкодою для навколишнього середовища.

П'ятий розділ присвячено підвищенню ефективності формування плану ЛАРН у реальному часі з урахуванням змінної інтенсивності

розповсюдження нафтових забруднень та невизначеності окремих параметрів аварії.

Забезпечення ефективності прийняття рішень з ЛАРН можливе шляхом розробки механізмів: моделювання зміни параметрів аварійної ситуації (координат, площі розливу, концентрації ННП); визначення ефективних схем і параметрів ЛАРН (довжини бон, об'єму сорбентів, складу та кількості інших технічних засобів); формування альтернативних рішень у разі виникнення невизначеностей та суперечливих ситуацій.

Для моделювання зміни параметрів аварійної ситуації з наступним визначенням ефективних схем ЛАРН розроблено методику корекції моделей розповсюдження нафтових забруднень у водному середовищі з урахуванням різнотипних джерел розливу нафти та особливостей обмежених акваторій морських портів. В основу методики покладено рівняння нестационарного процесу конвективної дифузії неконсервативних речовин. Прийнято наступні припущення: нафтові забруднення переносяться в поверхневому шарі води; ураховується домінуючий вплив вітрових течій. Крім того при натурних спостереженнях визначено, що переважним процесом дисипації в умовах обмежених акваторій портів є випаровування.

З урахуванням вищезазначеного отримано скореговану двомірну модель, яка враховує зміну об'єму плями під дією сил течії і вітру, турбулентної дифузії та випаровування. Аналітичний розв'язок даного рівняння є складною задачею. За методом різницевої апроксимації, отримано рекурентну форму моделі та реалізовано її за допомогою розробленого програмного середовища на мові Perl:

$$C_{ij}^{t+1} = C_{ij}^t \left( E + A_t \Delta t \left( \frac{h^2 + p^2}{h^2 p^2} \right) - \Delta t \left( \frac{V_x h + V_y p}{ph} \right) \right) - C_{i+1,j}^t \left( \frac{\Delta t}{p^2} - (V_x p - 2A_t) \right) + \\ + C_{i,j+1}^t \left( \frac{\Delta t}{h^2} - (V_y h - 2A_t) \right) - C_{i+2,j}^t \left( \frac{A_t}{p^2} \Delta t \right) - C_{i,j+2}^t \left( \frac{A_t}{h^2} \Delta t \right), \quad (7)$$

де  $C$  – концентрація нафти у поверхневому шарі води,  $\text{кг/м}^3$ ;  $x, y, z$  – координати водоймища, на якій розглядається розповсюдження нафтових забруднень, м;  $p, h, \Delta t$  – відповідні кроки по координатам  $x, y$  та часу;  $t, i, j$  – параметри решітки різницевої схеми;  $V = (V_x, V_y)$  – двомірне поле швидкостей вітрових течій;  $A_{xy}$  – коефіцієнт горизонтальної турбулентної дифузії;  $E$  – коефіцієнт, що характеризує масоперенос парів нафти в атмосфері та залежить від швидкості вітру, об'єму розливу та типу розлитої нафти.

На основі аналізу умов та характеру розповсюдження нафтових забруднень в обмежених акваторіях портів сформовані наступні початкові і граничні

умови: початкове значення концентрації відповідає максимальному в точці викиду  $(x(0), y(0))$  у момент часу  $t = 0$  та дорівнює  $C[x(0), y(0), 0] = C_1$ ; градієнт інтенсивності зменшення концентрації в початкових координатах:

$$\left. \frac{\partial C}{\partial x} \right|_{x=x(0)} = -C_{1grad}, \quad \left. \frac{\partial C}{\partial y} \right|_{y=y(0)} = -C_{2grad};$$

гранична концентрація задається у вигляді умови:  $C[x(T), y(T), T] \leq \Gamma ДК$  (значення  $x(T), y(T)$  відповідають

граничним координатам розповсюдження нафтового розливу в момент  $T$  досягнення концентрації ННП гранично допустимого значення, ГДК).

На рис. 7 наведені результати проведеного імітаційного моделювання розповсюдження нафтової плями за розробленими сценаріями типових аварійних ситуацій в портах Бузько-Дніпровського лиманного каналу. На рис. 7 г наведено результати верифікації моделі (7) на основі результатів моделювання розливу 100 кг нафтопродуктів та натурних даних про розлив, а саме зміну концентрації впродовж 4-х діб. Найбільше середнє квадратичне відхилення, в, не перевищує 11 % та враховується введенням коефіцієнту запасу при визначенні параметрів ЛАРН.

Розроблене програмно-алгоритмічне забезпечення на основі моделі (7) дозволяє визначити: координати нафтової плями в будь-який момент часу та ефективні параметри ЛАРН: довжину бонових загороджень, траєкторію руху нафтозбирача, кількість нафтозбирачів, об'єм сорбентів і ін.

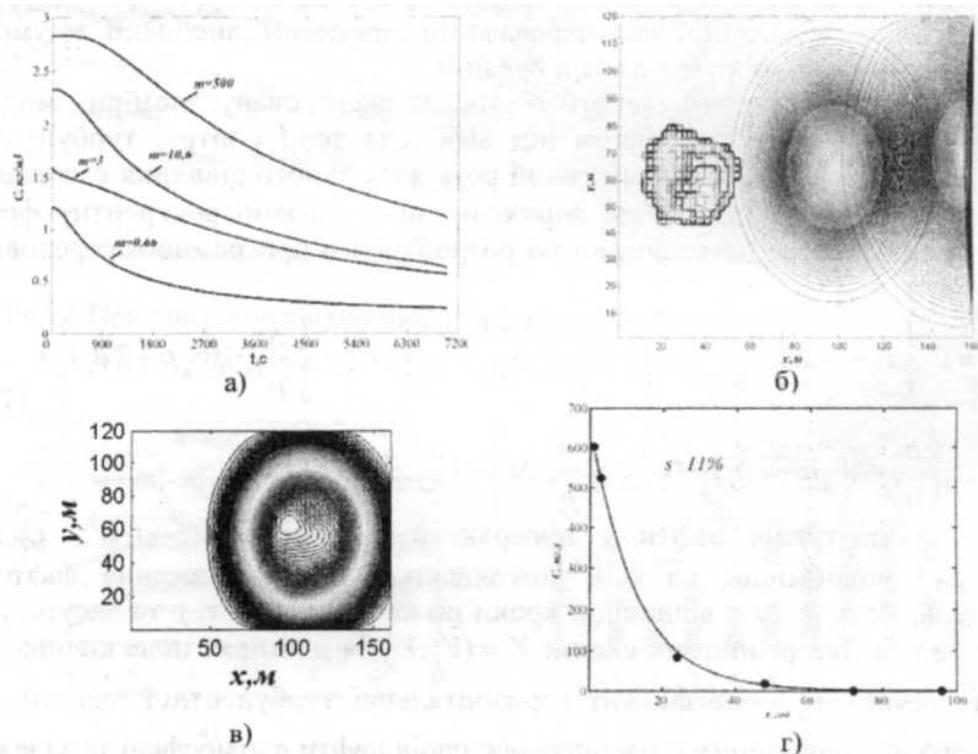


Рис. 7. Динаміка параметрів нафтової плями: а – зміна концентрації при розливах 0,66, 3 та 500 т нафтопродуктів; б – розтікання плями при розливі 10,6 т ( $t=125$ , 500, 625с); в – розтікання плями при розливі 3 т ( $t=900$ с); г - зміна концентрації нафти з часом у центрі плями.

Наприклад, при розливі 3 т (рис.7в), швидкості вітру 5 м/с ефективна довжина бонових загороджень для часу  $t=900$ с складає 390 м. Крім того площа та координати нафтових плям виступають важливими критеріями вибору схеми збору ННП, а концентрація ННП - критерієм вибору після ліквідаційних профілактичних заходів.

Прийняття рішень з ліквідації аварійних розливів крім вищезазначеного включає формування альтернативного рішення при: визначенні послідовності збору нафтових плям (якщо спостерігається розділенні суцільного нафтового поля на окремі плями), а також визначення можливих джерел забруднення в умовах невідомості джерела аварії. Дані задачі вирішуються при включенні людиною, що приймає рішення інтерактивного каналу з  $m$  експертами. Професійна кваліфікація експертів  $P(V_1), \dots, P(V_m)$  визначається заздалегідь та виступає апіорною ймовірністю. Колективне рішення приймається на користь  $V$  — оцінки  $k$ -го експерту згідно Байєсовій формулі, яку можна записати у вигляді:

$$P(V_k|A) = \max_{k=1, \dots, m} \frac{P(V_k) \cdot P(A|V_k)}{\sum_{k=1}^m P(V_k) \cdot P(A|V_k)}, \quad (8)$$

де  $A$  – комбінації приватних рішень  $m$  експертів;  $P(A|V_k)$  – апостеріорна ймовірність відношення ситуації до однієї з  $m$ -оцінок,

$$P(A|V_k) = \frac{P(F_k) \cdot P(U_k)}{\sum_{k=1}^m P(F_k) \cdot P(U_k)}$$

оцінок;  $F_k = \frac{F}{m}$ ;  $F$  – кількість повторних оцінок;  $P(U_k)$  - відношення оцінки  $V_k$  до розрахункової оцінки,  $U_k$ , яка знаходиться в базі даних. При цьому приймається допущення, що отриманні ймовірності розподіляються за нормальним законом.

Перевірка вірогідності алгоритму в порівнянні з іншими й документальними даними проведена наступним чином: визначено результуючої оцінки через середнє значення,  $V = 1/n \sum_{k=1}^n V_k$ ; середнє квадратичне відхилення може досягати 41%; визначено результуючої оцінки через вагові коефіцієнти (кваліфікація експертів): середнє квадратичне відхилення може досягати 37%,  $V = \sum_{k=1}^n V_k P(V_k)$ . Запропонований алгоритм забезпечує відхилення в межах 1% (до 10%) за рахунок відкидання некоректних оцінок.

**В шостому розділі** проведено дослідження функціонування розробленої комп'ютеризованої системи екологічного моніторингу морського порту БДЛК (рис.9,10) та перспектив використання результатів дисертаційних досліджень.

На основі аналізу потенційних джерел і причин забруднення акваторії порту БДЛК розроблено сценарії розвитку типових аварійних ситуацій з розливами ННП, що дозволяє визначити найбільш уразливі райони порту (рис.9), оцінити рівні екологічної небезпеки аварійних

розливів нафти в умовах обмеженої акваторії лиманного судноплавного каналу, а також віртуально дослідити зменшення часу на прийняття рішень з ЛАРН на 16-25 %, тим самим зменшити екологічні збитки від забруднення на 2 - 5 % (визначено за залежністю зменшення збитків від часу знаходження нафтової плівки на водній поверхні) порівняно зі шкодою при здійсненні операцій з ліквідації аварійних ситуацій за традиційною ефективною схемою.

У перспективі дослідження можуть бути спрямовані на розробку алгоритмів формування рішень з ліквідації пожеж при розливах нафти та інших надзвичайних ситуацій різного масштабу в умовах обмежених акваторій і відкритого моря.

**В додатках** наведені характеристики порту БДЛК та його екологічної діяльності; результати розрахунку екологічних збитків при перевантаженні шкідливих рідин; текст та діалогові вікна програми розрахунку зміни параметрів нафтової плями на водній поверхні на мові PERL; схеми ліквідації розливів нафти і ін.



Рис.9 – Карта-схема ймовірних районів розливів в акваторії порту БДЛК

Рис.10 – Діалогове вікно схемних рішень з ЛАРН

## ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень розв'язане наукове завдання: вдосконалення та впровадження системи комп'ютеризованого екологічного моніторингу процесів перевантаження шкідливих рідин для підвищення рівня екологічної безпеки функціонування морських портів. Удосконалена система дозволяє в умовах невизначеностей апріорної інформації на етапах накопичування досвіду та імітаційно-тренажерного навчання персоналу програвати можливі сценарії аварійних ситуацій, оцінювати їх ризик та наслідки для довкілля, і на етапі попередження небезпеки формувати рішення, а також аналізувати сформовані варіанти рішень. Розроблені програмні засоби на етапі прийняття рішень з ЛАРН в реальному часі при виникненні аварійної ситуації дозволять підвищити рівень автоматизації формування альтернативних рішень, що зменшить час на ЛАРН та значно зменшить негативні наслідки аварій для довкілля. Отримано наступні результати:

1.Визначено основні кількісно-якісні параметри негативного впливу транспортування та технологічного процесу перевантаження на екологічний стан водного середовища акваторій портів у штатних й

аварійних ситуаціях шляхом аналізу основних режимів функціонування морських портів і статистичних даних аварійності на танкерному флоті. Проведено статистичний аналіз виникнення аварійних розливів, який включає дослідження та розрахунки очікуваних рівнів екологічної небезпеки, частот й об'ємів розливів.

2. Вдосконалено ієрархічну компонентно-організаційну структуру комп'ютеризованої системи екологічного моніторингу, шляхом врахування етапу розпізнавання аварійних розливів нафти та накопичення досвіду в базі знань й уточнення експертного вибору альтернативних рішень з ЛАРН, що на 16 — 25 % зменшує час на ліквідацію в порівнянні з традиційною схемою, тим самим на 2 - 5 % зменшує рівень екологічних збитків завдяки реалізації інтерактивних режимів взаємодії з людиною, що приймає рішення та кваліфікованими експертами у реальному часі.

3. Сформовано комплексний критерій екологічної небезпеки процесів перевантаження в акваторіях морських портів на основі системного підходу, що дозволило урахувати прямі та опосередковані фактори антропогенного навантаження на водне середовище та здоров'я людини, імовірнісний вплив аварійних забруднень (середнє квадратичне відхилення імовірнісної функції в межах 12 %).

4. Розроблено критерій оптимізації процесів поповнення, зберігання і розвантаження ННП в технологічних комплексах типу „танкер - склад залізничні цистерни" з урахуванням екологічних наслідків та вдосконалено механізм оптимального розподілу ресурсів при виборі заходів із забезпечення екологічної безпеки, який базується на методі динамічного програмування та мінімізує величину залишкових екологічних збитків з урахуванням прогнозних наслідків на кожному з етапів оптимізації.

5. Удосконалено процедуру визначення колективних експертних оцінок при формуванні ефективних схемних рішень з ЛАРН у реальному часі, що базується на Байєсовій схемі, ураховує змінну інтенсивність розповсюдження нафтових забруднень на водній поверхні, умови невизначеності джерела та окремих характеристик аварії та дозволяє визначити послідовності збору нафтових плям і ймовірне джерело аварії з забезпеченням мінімальної середньої похибки колективних рішень (в межах 0,01).

6. Скориговано імітаційні моделі розповсюдження нафтових забруднень у водному середовищі, які дозволяють: оцінювати негативний вплив забруднень на екологічний стан водних систем через значення концентрацій нафти в поверхневому шарі води; визначити основні параметри нафтового розливу, а саме координати, радіус нафтової плями та площу розливу, які необхідні для прийняття ефективних рішень з ЛАРН у реальному часі при урахуванні особливостей обмежених акваторій морських портів. Рівень адекватності модельних та експериментальних результатів складає близько 90 %.

7. Розроблене алгоритмічно-програмне забезпечення для здійснення екологічного контролю дозволяє суттєво підвищити рівень екологічної

безпеки портів БДЛК та інших портів. Результати дисертаційних досліджень впроваджено в головному управлінні Міністерства надзвичайних ситуацій в Миколаївській області, Державній екологічній інспекції з охорони довкілля Південно-Західного регіону Чорного моря, Державній екологічній інспекції Миколаївської області та в навчальному процесі Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:**

1. Тимченко І.В. Синтез альтернативних рішень при ліквідації розливів нафти в умовах невизначеності / І. Тимченко // Збірник наукових праць НУК. - 2008. - №4 (421). - С. 109-112.

2. Підпригора Д.М. Алгоритми управління процесами збору нафти в акваторіях морських терміналів / Підпригора Д.М., Тимченко І.В., Лвішева І.В. // Збірник наукових праць НУК. - 2008. - №3 (408). - С. 167 - 172.

3. Кондратенко Ю.П. Система автоматизованого формування ефективних рішень для проведення екологічного моніторингу процесів перевантаження нафти / Кондратенко Ю.П., Тимченко В.Л., Тимченко І.В. // Системні технології. - 2006. - В 6(47). - С. 149 - 157.

4. Кондратенко Ю.П. Система автоматизованого контролю параметрів рідинних вантажів в морських портах / Кондратенко Ю.П., Тимченко В.Л., Тимченко І.В. // Вісник ЧДТУ. - 2007. - спецвипуск. - С. 46 - 49.

5. Кондратенко Ю.П. Автоматизированное управление гарантобезопасным движением судна в морских каналах / Кондратенко Ю.П., Тимченко В.Л., Тимченко И.В. // Вестник ХНТУ. - 2006. - №1(24). - С. 296 - 300.

6. Тимченко І.В. Дослідження моделей розповсюдження нафтових забруднень в умовах обмежених акваторій / І. Тимченко // Електронне видання "Вісник Національного університету кораблебудування". — 2010. - №1. - С.134-138.

7. Кондратенко Ю.П., Тимченко В.Л., Тимченко І. В. Інформаційні технології для оптимізації вантажних операцій в морських портах: тези доповіді Міжн. наук.-техн. конф. [«Навколишнє природне середовище - 2007: Актуальні проблеми екології та гідрометеорології; інтеграція освіти і науки»], (Одеса, 26-28 верес. 2007 р.) / М-во освіти і науки України, Одеський державний екологічний університет. — Одеса: ОДЕУ, 2007. - С. 307.

8. Тимченко І.В. Оцінка техногенного впливу на водне середовище процесів перевантаження рідинних вантажів: матеріали Міжн. наук. конф. [«Современные проблемы гидробиологии. Перспективы, пути и методы исследований - 2»], (Херсон, 26-29 серп. 2008 р.) / НАН України, Херсонська гідробіологічна станція НАН України. - Херсон: Херсонська гідробіологічна станція НАН України, 2008. - С. 463 - 468.

9. Тимченко І.В. Формування оптимальних заходів із забезпечення екологічної безпеки перевантаження шкідливих рідин у портах / І. Тимченко // Екологічна безпека. - 2009. - №3 (7). - С. 27 - 30.

10. Підпригора Д.М. Тимченко І.В. Рекурентна модель динаміки нафтового поля: матеріали Міжн. наук.-техн. конф. наук. конф. [«Проблеми екології и енергосбереження в судостроєнніи»], (Миколаїв, 21-23 грудня 2005 р.) / М-во освіти і науки України, Національний університет кораблебудування. — Миколаїв: НУК, 2005. - С. 229.

11. Кондратенко Ю.П. Інформаційні технології для оптимізації екологічного моніторингу вантажних операцій в морських портах / Кондратенко Ю.П., Тимченко В.Л., Тимченко І.В. // Міжвід. наук, збірник України: Метеорологія, кліматологія та гідробіологія. - 2008. - В 50, 4.2. - С. 305 - 310.

12. Тимченко І.В. Підвищення екологічної безпеки морських перевезень нафти у Чорному морі: матеріали Міжн. наук.-техн. конф. [«Безопасность мореплавания и её обеспечение при проектировании и постройке судов»], (Миколаїв, 25-26 жовт. 2007 р.) / М-во освіти і науки України, НУК. - Миколаїв: НУК, 2007. - С. 82-83.

13. Тимченко І.В. Моделювання динаміки нафтової плями для здійснення екологічного контролю в портах: thesis of conference reports [«Modeling and stability»], (Kiev, 22-25 May 2007) / National committee of Ukraine by Theoretical and Applied Mechanics, Taras Shevchenko Kyiv University. - Kyiv: Taras Shevchenko Kyiv University, 2007. - С.238.

**Додатково зміст дисертації викладено в 5 публікаціях.**

#### **АНОТАЦІЯ**

Тимченко І.В. Вдосконалення системи комп'ютеризованого екологічного моніторингу перевантаження шкідливих рідин в акваторіях морських портів. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 - екологічна безпека. - Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, 2010.

Дисертація присвячена питанням підвищення екологічної безпеки функціонування морських портів шляхом вдосконалення та впровадження системи комп'ютеризованого екологічного моніторингу перевантаження шкідливих рідин, яка функціонує в режимі екологічного контролю процесів перевантаження та дозволяє формувати заходи з забезпечення екологічної безпеки на етапі запобігання аварійної ситуації та приймати рішення з ліквідації аварійних розливів нафти у реальному часі. Сформовано комплексний критерій екологічної небезпеки процесів ІШР на основі системного підходу та удосконалено механізм оптимального розподілу ресурсів при виборі заходів із забезпечення екологічної безпеки на основі даного критерію; розроблено критерій оптимізації процесів поповнення, зберігання та розвантаження нафти та нафтопродуктів в акваторіях морських портів з урахуванням екологічних наслідків; удосконалено процедуру визначення колективних оцінок при формуванні

ефективних схемних рішень з ЛАРН у реальному часі, яка дозволяє ураховувати умови невизначеності окремих характеристик аварії та забезпечує мінімальну похибку колективних рішень.

Ключові слова: екологічна безпека, система комп'ютеризованого моніторингу, екологічні збитки, шкідливі рідини, нафта, аварійна ситуація, акваторія порту.

### АНОТАЦІЯ

Тимченко І.В. Усовершенствования системы компьютеризированного экологического мониторинга процессов перегрузки вредных жидкостей в акваториях морских портов. - Рукопись.

Диссертация на соискания учёной степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 - экологическая безопасность. - Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев, 2010.

В диссертации решена задача усовершенствования компьютеризированной системы экологического мониторинга процессов перегрузки вредных жидкостей с целью повышения уровня экологической безопасности функционирования морских портов. Усовершенствованная система учитывает негативные воздействия прямых и косвенных факторов перегрузки и особенностей принятия решений по ликвидации аварийных ситуаций в реальном времени в условиях неопределенности.

Для решения научной задачи проведена комплексная оценка негативного воздействия процессов перегрузки на экологическое состояние акваторий порта в штатных и аварийных ситуациях, углубленны теоретические и методологические основы разработки подходов и механизмов осуществления экологического мониторинга технологических процессов.

Научными результатами являются: сформулированные принципы построения компьютеризированной системы экологического мониторинга, которая обеспечивает большую эффективность принятия решений, благодаря реализации интерактивных режимов взаимодействия с человеком, принимающим решения и квалифицированными экспертами; дальнейшее развитие получил системный подход к формированию комплексного критерия экологической безопасности процессов перегрузки вредных жидкостей; усовершенствован механизм оптимального распределения ресурсов при выборе мероприятий по обеспечению экологической безопасности на основе данного критерия; разработан критерий оптимизации процессов пополнения, хранения и разгрузки нефтепродуктов в акваториях морских портов, который учитывает экологические последствия; усовершенствована процедура определения коллективных оценок при формировании эффективных схемных решений по ликвидации аварий в реальном времени, учитывающая условия неопределенности отдельных характеристик аварии и обеспечивающая минимальную среднюю вероятность ошибки коллективного решения.

Достоверность и обоснование научных результатов подтверждается высоким уровнем адекватности результатов моделирования и результатов экспериментальных исследований, апробацией полученных результатов на реальных объектах.

Результаты диссертационных исследований использованы и внедрены (в виде программно-алгоритмического обеспечения систем экологического мониторинга) при разработке мероприятий по обеспечению экологической безопасности и ликвидации последствий аварий в государственной инспекции охраны Чёрного и Азовского морей, экологической инспекции, главном управлении МЧС Николаевской области. Кроме того результаты исследований используются в учебном процессе Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова.

Ключевые слова: экологическая безопасность, система компьютеризированного мониторинга, экологический ущерб, вредные жидкости, нефть, аварийная ситуация, акватория порта.

### SUMMARY

Timchenko I.V. Improvements of the system of computerized ecological monitoring of hazardous fluids transshipment in seaport water areas. - Manuscript.

The dissertation work is devoted to the development of highly effective ecological monitoring systems, taking into account the negative effects of direct and indirect factors of transshipment and the details of decision-making of oil spill elimination in real time for the purpose of increasing the ecological safety of port complexes.

There have been formulated the principles of constructing the computerized system for environmental monitoring, using the implementation of interactive modes of cooperation with operator-man and qualified experts is.

The systemic approach to the forming of a complex criterion of ecological safety transshipment and the mechanism of optimal resource allocation when choosing the ecological efficiency measures has been improved.

The criterion for optimization of petroleum products transshipment in seaport water areas, with the levels of ecological impacts has been further developed.

The procedure of oil spill elimination in real time, using the simulation model of the dynamic oil spill dynamics considering the conditions of ambiguity of individual characteristics of the accident has been improved. This algorithm provides the minimum average error probability of collective decisions.

The dissertation work results have been implemented and are being used in the way of ecological monitoring system software in a practical use in specialized institutions.

Keywords: ecological safety, computerized monitoring system, ecological harm, hazardous liquids, oil, emergency, seaport water areas.

**Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до  
державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів  
видавничої продукції ДК № 2506 від 25.05.2006**

**Підписано до друку 13.08.2010 р. папір офсетний. Формат  
60x84/16 Гарнітура Тайме. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 0,8. Обл.  
вид. арк. 0,9. Тираж 110 прим. Зам. № 272.**

**Друкарня видавництва Національного університету  
кораблебудування, 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5.**