

Ю.П. Кондратенко, В.Л. Тимченко, І.В. Тимченко

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ФОРМУВАННЯ
ЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ
ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ПРОЦЕСІВ
ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ НАФТИ**

Вступ

Збільшення завантаження чорноморських шляхів судами танкерного флоту, реалізація проектів трансбасейнового транспортування, розвідка та добування на північно-західному шельфі вуглеводної сировини наряду з моральним та фізичним старінням технічного обладнання в портах, низьким рівнем автоматизації окремих технологічних процесів перевантаження рідинних вантажів підвищує ймовірність виникнення аварійних ситуацій з розливами нафти, які можуть супроводжуватися суттєвими негативними екологічними та економічними наслідками для цілих регіонів. За прогнозними оцінками в морських територіальних водах України можливі аварії, з розливами до 30 тис. т нафти [10]. Слід при цьому врахувати, що нафта є однією з найбільш небезпечних забруднюючих речовин, суттєві розливи якої, значно перевищуючи асиміляційну здатність, порушують екологічну рівновагу морських екосистем на багато років [6].

Всі ці фактори обумовлюють необхідність та актуальність розробки нових та удосконалення існуючих методів управління [2,5,9,11,12] технологічними процесами перевезення рідких вантажів морськими шляхами, зокрема, процесами перевантаження нафти в морських портах, де її фонові концентрації значно перевищують гранично допустимі значення, з урахуванням такої важливої складової як екологічний контроль нафтових забруднень.

Постановка задачі

Сучасні підходи до процесів контролю нафтових забруднень та збору нафти в морських портах внаслідок аварійних розливів мають низку недоліків, головною причиною яких є недостатній рівень автоматизації окремих етапів процесів прийняття рішень та, в наслідку, суттєвий вплив „людського фактору” [3] на ефективність

© Кондратенко Ю.П., Тимченко В.Л., Тимченко І.В., 2006

прийняття рішень.

Портовий комплекс, як сукупність взаємозв'язаних економічних, технологічних, екологічних та соціальних факторів відноситься до складних локальних систем [11], складність якого визначається наступними властивостями:

- великою кількістю взаємозв'язків між її елементами (технологічних, еколого-економічних та інших);
- невизначеністю інформації, що призводить до ускладнення прогнозування розвитку ситуації;
- динамічністю та непередбаченістю. Невизначеність обумовлюється насамперед, часто неможливістю отримання повної інформації про параметри розливу нафти, внаслідок недостатніх можливостей інформаційно-вимірювального комплексу, складними гідрометеорологічними умовами, особливостями району розливу та призводить до ускладнення прогнозування розвитку ситуації. Наявність „людського фактору”, особливості процесу розповсюдження нафти на водній поверхні та наявність у складі системи екологічного, тобто „живого” елемента є причинами динамічності та непередбаченості поведінки системи в критичних ситуаціях.

Вищезазначені особливості портового комплексу дозволяють сформулювати до системи екологічного моніторингу процесів перевантаження нафти наступні вимоги:

- достатній (необхідний) рівень автоматизації інформаційного етапу управління безпекою процесів перевантаження нафти в портах;
- використання математичної моделі для визначення динаміки нафтових забруднень на водній поверхні, яка б ефективно функціонувала в умовах неповної інформації про поточну ситуацію;
- використання, наряду з математичними методами, системи експертного оцінювання;
- мобільність системи управління, тобто реагування на будь-які зміни в розвитку аварійної ситуації (зміна гідрометеорологічних умов, психологічного стану людини-оператора, форс-мажорні обставини тощо).

Мета роботи

Метою даної роботи є розв'язання задачі автоматизації екологічного моніторингу процесів перевантаження нафти в морських портах на основі розробки системи підтримки прийняття рішень (СППР) та формування математичної моделі поширення нафтових забруднень на водній поверхні.

Вирішення задачі

Розглядання процесу прийняття рішень (ПР) з логіко-психологічної точки зору дозволяє наглядно відображати всю послідовність ПР, тобто збір та обробку інформації, висунання гіпотез розв'язку аварійної ситуації, програвання різних варіантів ПР і в результаті затвердження рішень та їх реалізація. [1,4]. Логіко-психологічну структуру ПР для проведення екологічного моніторингу процесів перевантаження нафти в морських портах можна представити у вигляді узагальненого графа $G(S,q)$,

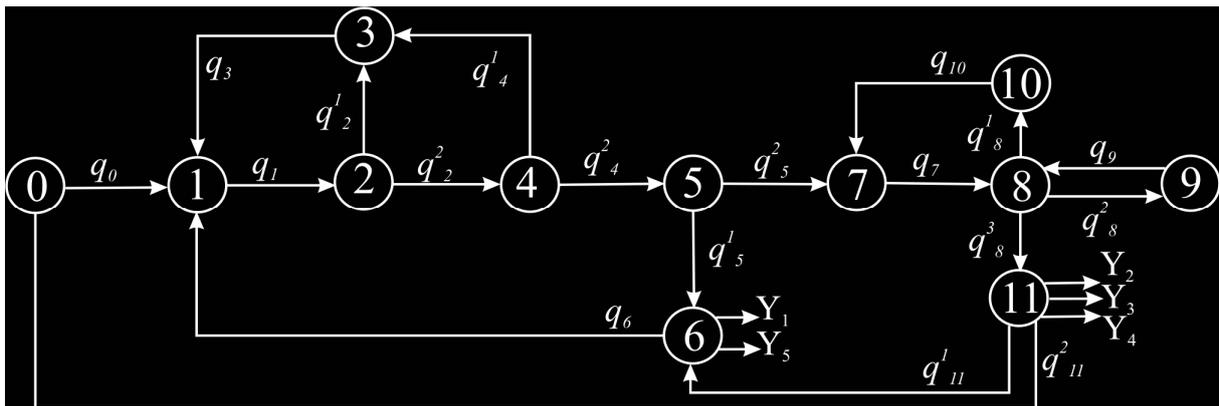


Рисунок 1 – Логіко-психологічна структура ПР для ліквідації аварійних ситуацій

де S_k , $k=1,11$ – вершини (вузли) графа;

q_k^m , – дуги графа, зокрема:

q_0 – збір інформації за допомогою технічних засобів дистанційного моніторингу; q_1 – сприйняття, обробка, уніфікація інформації та формування інформаційної моделі (ІМ) людиною-оператором, що приймає рішення; q^l_2 – управління ІМ та формування бази даних; q^2_2 – розпізнавання аварійних ситуацій; q_3 – управління процесами відображення ситуації на ІМ; q^l_4 – ідентифікація джерел аварійних розливів та корекція ІМ для деталізації інформації в режимі “on-line”; q^2_4 – створення імітаційної моделі динаміки нафтових забруднень; q^l_5 – розробка природоохоронних заходів для

покращення стану водного середовища при відсутності аварійності; q^2_5 – формування критеріїв ПР та перехід до ПР; q_6 – контроль екологічного стану порту при відсутності аварійності; q_7 – розробка рішень пов’язаних з ліквідацією аварійної ситуації; q^1_8 – накопичення досвіду по реалізації процесів ліквідації аварійних розливів в базі знань; q_9 – генерування альтернативних рішень, оцінка результатів; q^2_8 – повторне прийняття рішень при незадовільних попередніх результатах; q^3_8 – затвердження рішення та перехід до операцій з ліквідації аварійної ситуації; q_{10} – корегування процесу вибору рішень з урахуванням накопиченого досвіду; q^1_{11} – корегування природоохоронних заходів з урахуванням рішень щодо відновлення якості морських екосистем; q^2_{11} – перехід до аналізу обстановки; $Y \{ Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 \}$ – вектор остаточних рішень.

Наведена на рис.1. логіко-психологічна схема процесів прийняття рішень може бути реалізована на основі запропонованої структури СППР (рис. 2) для автоматизованого контролю нафтових забруднень в морських портах, до складу якої введенні:

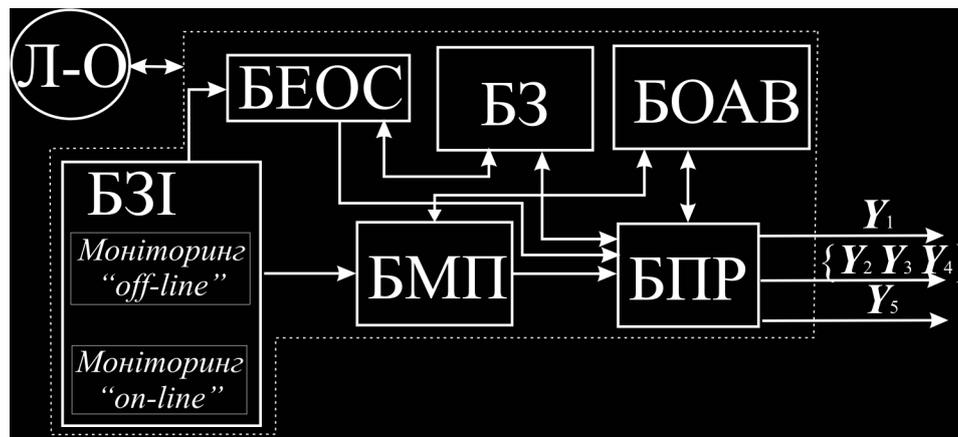


Рисунок 2 – Структура СППР для автоматизованого контролю нафтових забруднень

БЗІ – блок збору інформації, що функціонує в двох режимах: “off-line” – попередній збір та обробка апріорної інформації, що передбачає проведення довгострокового моніторингу, необхідного для оцінювання та прогнозування наслідків розливу; режим експертного моніторингу „on-line” – поточний збір та обробка інформації за допомогою фото спостережень, відео зйомок, візуальних спостережень та інших засобів дистанційного моніторингу, що включає дані про гідрометеорологічні умови, параметри розливу нафти та інші

додаткові відомості, що необхідні для оцінювання ситуації (наприклад, знаходження поблизу аварії інших суден тощо);

БЗ – база знань, що містить експертні знання, зокрема, інформацію про характеристики і ознаки конфліктних ситуацій, в т.ч. їх небезпечність і причини виникнення. В БЗ також зберігається інформація про фізико-географічні, кліматичні та екологічні характеристики всіх районів морського порту, основні схеми ліквідації аварійних ситуацій, альтернативні послідовності етапів збору нафти, критерії оцінки рівня небезпечності ситуацій, накопичений досвід по ліквідації аварійних розливів тощо, яку СППР використовує для пошуку оптимальних рішень при взаємодії з людиною-оператором (Л-О) в інтерактивних режимах;

БОУВ – блок оцінки альтернативних варіантів рішень, який забезпечує при використанні відповідних математичних моделей можливість попереднього „програвання” (шляхом імітаційного моделювання) різних варіантів розвитку аварійних ситуацій при зміні збурюючих та керуючих впливів;

БЕОС – блок експертного оцінювання ситуації, який дозволяє попередньо формувати відповідну апріорну інформацію, а також в режимі „on-line” отримувати від зовнішніх експертів інформацію стосовно оцінки рівня небезпечності ситуації, оцінки екологічних та економічних збитків тощо. Необхідність включення підсистеми експертної оцінки до складу СППР на ряду з математичним моделюванням, обумовлюється присутністю різного роду невизначеностей, коли представлення інформації в строгих математичних формах не можливо. Суб’єктивна семантична інформація, що отримується від експертів у вигляді балів, представляється в лінгвістичній формі, тобто, наприклад, оцінюється рівень безпеки ситуації, що виникла, як: {безпечна (Б), погіршена (П), небезпечна (НБ), дуже небезпечна (ДНБ), критична (К), надзвичайна (Н)}, ранжується за визначеними критеріями, обробляється математичними методами, наприклад за Байєсовою схемою та уніфікується для всіх видів інформації у вигляді категорій безпеки. БЕОС працює в режимі постійної взаємодії з БЗ;

БМП – блок моделювання та прогнозування розповсюдження нафтової плями, функціонування якого базується на використанні імітаційної моделі динаміки поведінки НЗ на водній поверхні з

урахуванням різних видів збурюючих впливів. В якості вхідної інформації для БМП використовуються дані дистанційного моніторингу. На основі результатів моделювання блоком БМП формуються значення концентрації нафтових забруднень за відповідними координатами та визначається (прогнозується) оцінювальне значення узагальненого радіусу забрудненої поверхні в будь-які моменти часу;

БПР – блок прийняття рішень, що забезпечує прийняття людиною-оператором, що взаємодіє в інтерактивному режимі з СППР, остаточного оптимального рішення при виникненні конкретної аварійної (конфліктної) ситуації.

Множину $Y = \{ Y_1, \{ Y_2, Y_3, Y_4 \}, Y_5 \}$ можливих рішень можна характеризувати наступним чином:

- при відсутності аварійної ситуації рішення $Y = \{ Y_1 \}$ включає розробку природоохоронних заходів та екологічної політики відтворення рівноваги та стабілізації морської екосистеми;
- при виникненні аварійної ситуації рішення $Y = \{ Y_2, Y_3, Y_4 \}$ забезпечує визначення оптимальних параметрів збору нафти судном-нафтозбирачем, Y_2 розробку раціонального плану ліквідації аварійної ситуації, Y_3 ; оцінка розміру екологічних збитків, Y_4 ;
- при ліквідації аварійної ситуації рішення $Y = \{ Y_5 \}$ в умовах динаміки аварійної ситуації з подальшою розробкою заходів, щодо відтворення екологічної рівноваги.

Одним з найважливіших елементів БМП даної СППР є математичне моделювання трансформації забруднюючих речовин в водному середовищі.

Більш детально розглянемо імітаційну модель розповсюдження нафтових забруднень яка базується на відомому рівнянні турбулентної дифузії [7]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -V_x \frac{\partial C}{\partial x} - V_y \frac{\partial C}{\partial y} + A_l \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + \lambda(x, y, t) \cdot C + F(x, y, t), \quad (1)$$

де C – об'ємна концентрація нафти у воді, $\text{кг}/\text{м}^3$; $V = (V_x, V_y)$ – вектор горизонтальних компонент по осям швидкості течії в поверхневому шарі; A_l – коефіцієнт горизонтальної дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$; $\lambda(x, y, t)$ –

коефіцієнт самоочищення, що є характерним для даного водоймища; $F(x, y, t)$ – функція потужності надходження забруднюючих речовин.

При виникненні аварійної ситуації з розливами нафти модель (1) для визначення основних параметрів динаміки нафтового поля приймає вигляд:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -V_x \frac{\partial C}{\partial x} - V_y \frac{\partial C}{\partial y} + A_l \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 y}{\partial y^2} \right) + F(x, y, t). \quad (2)$$

Нехтування процесами самоочищення пояснюється незначним їх впливом за період часу, необхідного для ліквідації аварійної ситуації.

При аварійному розливі нафти, коли надходження нафтових забруднень після розливу призупинено, тобто ($F(x, y, t) = 0$), (2) має вигляд:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -V_x \frac{\partial C}{\partial x} - V_y \frac{\partial C}{\partial y} + A_l \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 y}{\partial y^2} \right). \quad (3)$$

За методом різницевої апроксимації отримано рекурентну форму математичної моделі (3), що дозволяє здійснювати імітаційне моделювання процесів ліквідації розливів нафти з урахуванням напрямку та сили течії та вітру:

$$C_{ij}^{t+\Delta t} = C_{ij}^t \left(1 + A_l \Delta t \left(\frac{\Delta y^2 + \Delta x^2}{\Delta y^2 \Delta x^2} \right) - \Delta t \left(\frac{V_x \Delta y + V_y \Delta x}{\Delta y \Delta x} \right) \right) - C_{i+1,j}^t \left(\frac{\Delta t}{\Delta x^2} - (V_x \Delta x - 2A_l) \right) + \\ + C_{i,j+1}^t \left(\frac{\Delta t}{\Delta y^2} - (V_y \Delta y - 2A_l) \right) - C_{i+2,j}^t \left(\frac{A_l}{\Delta x^2} \Delta t \right) - C_{i,j+2}^t \left(\frac{A_l}{\Delta y^2} \Delta t \right), \quad (4)$$

де Δx , Δy , Δt – відповідні кроки по координатах x , y та часу t ; i , j – параметри решітки різницевої схеми.

Основні результати та висновки

Отримати концентрації нафти по координатах x , y в будь-які моменти часу від початку аварійного викиду та визначити радіус забрудненої водної поверхні. В якості вхідної інформації використовується данні дистанційного моніторингу.

Результати проведеного авторами імітаційного моделювання розповсюдження нафтової плями після бункеровочного розливу 10 т дизельного палива в умовах морського торговельного порту „Миколаїв” (рис.3) підтверджують адекватність запропонованої

математичної моделі (4) для умов незначного хвилювання поверхні моря.

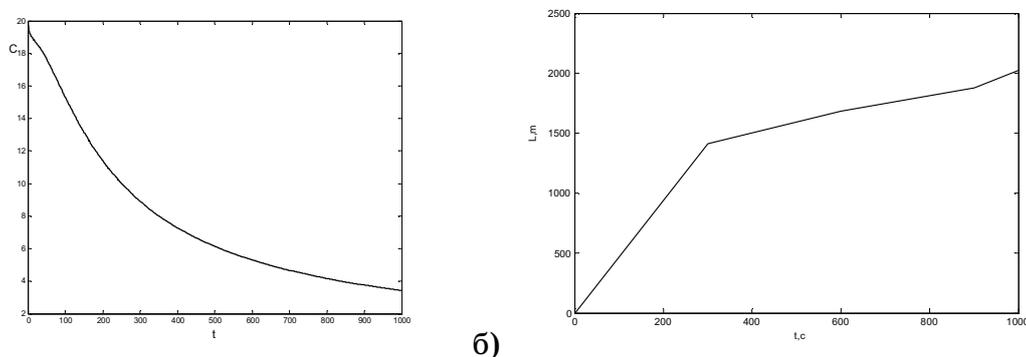


Рисунок 3 – Результати імітаційного моделювання нафтових забруднень:
а) зміна концентрації $C(t)$; б) зміна довжини нафтової плями $L(t)$

Введення СППР для автоматизації екологічного моніторингу нафтових забруднень, як підсистему в комплексі управління процесами перевантаження нафти в морських портах дозволить оптимізувати процедури прийняття рішень стосовно ліквідації аварійних розливів, визначення природоохоронних заходів та розмірів екологічних збитків, що значно зменшить обсяг можливих негативних наслідків для навколишнього середовища при виникненні аварійних ситуацій та підвищить загальну екологічну безпеку портів.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов Б.М., Грабовский Г.Г., Рюмшин Н.А. Нечёткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации. – К.: Техника, 2002. – 140 с.
2. Герасимов Б.М., Тарасов В.А., Токарев И.В. Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта. – К.: Наукова думка, 1993. – 184 с.
3. Кондратенко Ю.П. Проблемы разработки людинно-машинных систем (ЛМС) управління суднами в екстремальних умовах // Технічні вісті, Львів. – 1994. – №1 (2, 3). – С. 49-53.
4. Кондратенко Ю.П., Подопригора Д.Н., Тимченко И.В. Структура системы поддержки принятия решений для оптимизации процессов ликвидации разливов нефти // Труды 6-й Межд. научно-

- практической конференции „Современные информационные и электронные технологии”, Одесса. – 2005. –С. 381.
5. Кондратенко Ю.П., Тимченко В.Л. Система поддержки принятия решений при управлении безопасным движением судна в судоходных каналах // Збірник наукових праць ”Проблеми автоматизації та електрообладнання транспортних засобів”, Миколаїв, 2005, Ч.1, СС. 65-69.
 6. Кормак Д. Борьба с загрязнением моря нефтью и химическими веществами: Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1989. – 365 с.
 7. Ковальчук П.І. Моделювання і прогнозування стану навколишнього середовища: Навч.посібник. – К. Либидь, 2003. – 208с.
 8. Мацокин Л. ИПС – Система идентификации источников загрязнения моря // Судходство. – 1999. – № 5. – С. 31 – 32.
 9. Овезгельдиев А.О., Петров Э.Г., Петров К.Э. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации. – К.: Наукова думка, 2002. – 164 с.
 10. Павленко Н. Экологические проблемы Чёрного моря // Судходство. – 1999. – № 6-7. – С. 52 – 53.
 11. Саяпин В.В., Эдельштейн Ю.Д., Вент Д.П. Информационная подсистема автоматизированного мониторинга экологических объектов // Автоматизация и современные технологии. – 2000. – №11. – С. 6 - 11.
 12. Токарев В.Л. Интегрированная система поддержки принятия решений по управлению, прогнозированию и диагностике // Автоматизация и современные технологии. – 2000. – №4. – С. 21 - 28.