

УДК 004.942:504.05

ОСОБЛИВОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ПРОГНОЗУВАННЯ ЗОНИ ЗАБРУДНЕННЯ ТА СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ХІМІЧНИХ АВАРІЯХ

ЗЕМЛЯНСЬКИЙ О. М.¹, к.т.н.,
МИРОШНИК О. М.^{2*}, к.т.н., доц.,
МАЛАДИКА І. Г.³, к.т.н., доц.,
КАПЛЕНКО Г. Г.⁴, к.т.н., доц.,
УСТИМОВИЧ Л. Д.⁵, доц.

¹ Кафедра автоматичних систем безпеки та електроустановок Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, вул. Онопрієнка, 8, 18034, Черкаси, Україна, тел. +38 (097) 938 25 04, e-mail: omzem1@gmail.com, ORSID ID: 0000-0002-2728-6972

^{2*} Кафедра пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, вул. Онопрієнка, 8, 18034, Черкаси, Україна, тел. +38 (097) 755 66 38, e-mail: omiroshnik@ukr.net, ORSID ID: 0000-0001-8951-9498

³ Кафедра пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, вул. Онопрієнка, 8, 18034, Черкаси, Україна, тел. +38 (097) 435 10 51, e-mail: maladyka@gmail.com, ORSID ID: 0000-0001-8784-2814

⁴ Кафедра безпеки життєдіяльності, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. Ворошилова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000, тел. +38 (056) 713-51-42, e-mail: kaplenko.galina@yandex.ru, ORCID ID: [0000-0002-9545-8414](https://orcid.org/0000-0002-9545-8414)

⁵ Кафедра безпеки життєдіяльності, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. Ворошилова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000, тел. +38 (056) 713-51-42

Анотація. *Актуальним* є мінімізація негативних наслідків хімічних аварій шляхом доаварійного прогнозування і розробки можливих сценаріїв дій у випадку аварії. **Мета.** Дослідження проведено з метою визначення ефективності застосування інформаційних систем прогнозування зони забруднення і систем підтримки прийняття рішень в умовах техногенних аварій, які супроводжуються викидом небезпечних хімічних речовин. **Методика.** Аналіз принципів і конструктивних особливостей проєктованих систем підтримки прийняття рішень. **Результати.** Доведено, що існуючі моделі прогнозування можуть бути використані лише для попередньої, грубої оцінки, зони зараження, а розроблені на їх основі системи підтримки прийняття рішень мають високу похибку отриманих результатів. Такий факт зумовлений тим, що в моделях прогнозування не враховуються дані післяаварійного прогнозу. **Наукова новизна.** Виявлені проблеми інтеграції сучасних обчислювальних засобів, програмного забезпечення, інтелектуальних методів та існуючих методик визначення концентрації небезпечних хімічних речовин у післяаварійний період. **Практична значимість.** Результати дослідження можуть бути використані при створенні інформаційно-аналітичних систем підтримки прийняття рішень рятувальних підрозділів цивільного захисту України.

Ключові слова: небезпечна хімічна речовина, зона забруднення, прогнозування, система підтримки прийняття рішень

ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ЗОНЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ХИМИЧЕСКИХ АВАРИЯХ

ЗЕМЛЯНСЬКИЙ О. Н.¹, к.т.н.,
МИРОШНИК О. Н.^{2*}, к.т.н., доц.,
МАЛАДЫКА И. Г.³, к.т.н., доц.,
КАПЛЕНКО Г. Г.⁴, к.т.н., доц.,
УСТИМОВИЧ Л. Д.⁵, доц.

¹ Кафедра автоматических систем безопасности и электроустановок Черкасского института пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины, ул. Оноприенко, 8, 18034, Черкасы, Украина, тел. +38 (097) 938 25 04, e-mail: omzem1@gmail.com, ORSID ID: 0000-0002-2728-6972

^{2*} Кафедра пожарной тактики и аварийно-спасательных работ Черкасского института пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины, ул. Оноприенко, 8, 18034, Черкасы, Украина, тел. +38 (097) 755 66 38, e-mail: omiroshnik@ukr.net, ORSID ID: 0000-0001-8951-9498

³Кафедра пожарной тактики и аварийно-спасательных работ Черкасского института пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины, ул. Оноприенко, 8, 18034, Черкассы, Украина, тел. +38 (097) 435 10 51, e-mail: maladyka@gmail.com, ORSID ID: 0000-0001-8784-2814

⁴ Кафедра безопасности жизнедеятельности, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Ворошилова, 25, г. Днепр, Украина, 49000, тел. +38 (056) 713-51-42, e-mail: kaplenko.galina@yandex.ru, ORCID ID: [0000-0002-9545-8414](https://orcid.org/0000-0002-9545-8414)

⁵ Кафедра безопасности жизнедеятельности, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Ворошилова, 25, г. Днепр, Украина, 49000, тел. +38 (056) 713-51-42

Аннотация. *Актуальным* является минимизация негативных последствий химических аварий путем доаварийного прогнозирования и разработки возможных сценариев действий в случае аварии. *Цель.* Исследование проведено с целью определения эффективности применения информационных систем прогнозирования зоны загрязнения и систем поддержки принятия решений в условиях техногенных аварий, сопровождающихся выбросом опасных химических веществ. *Методика.* Анализ принципов и конструктивных особенностей проектируемых систем поддержки принятия решений. *Результаты.* Доказано, что существующие модели прогнозирования могут быть использованы только для предварительной, грубой оценки, зоны заражения, а разработанные на их основе системы поддержки принятия решений имеют высокую погрешность полученных результатов. Такой факт обусловлен тем, что в моделях прогнозирования не учитываются данные послеаварийного прогноза. *Научная новизна.* Выявленные проблемы интеграции современных вычислительных средств, программного обеспечения, интеллектуальных методов и существующих методик определения концентрации опасных химических веществ в послеаварийный период. *Практическая значимость.* Результаты исследования могут быть использованы при создании информационно-аналитических систем поддержки принятия решений спасательных подразделений гражданской защиты Украины.

Ключевые слова: опасное химическое вещество, зона загрязнения, прогнозирование, система поддержки принятия решений

FEATURES OF INFORMATION SYSTEMS FOR PREDICTING THE CONTAMINATION ZONE AND SYSTEMS OF SUPPORT OF DECISION-MAKING DURING CHEMICAL ACCIDENTS

ZEMLYANSKY O. N.¹, *Cand. Sc. (Tech)*,

MIROSHNIK O. N.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech), Assoc.*,

MALADYCA I. G.³, *Cand. Sc. (Tech), Assoc.*,

KAPLENKO G. G.⁴, *Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.*,

USTIMOVYCH L. D.⁵, *Assoc. Prof.*

¹Department of automatic security systems and electrical installations Cherkasy Institute of fire safety named Heroes of Chernobyl National University of civil protection of Ukraine, Onoprienko str., 8, 18034, Cherkasy, Ukraine, tel.+38 (097) 938 25 04, e-mail: omzem1@gmail.com, ORSID ID: 0000-0002-2728-6972

^{2*} Department of fire tactics and rescue operations Cherkasy Institute of fire safety named Heroes of Chernobyl National University of civil protection of Ukraine, Onoprienko str., 8, 18034, Cherkasy, Ukraine, tel.+38 (097) 755 66 38, e-mail: omiroshnik@ukr.net, ORSID ID: 0000-0001-8951-9498

³ Department of fire tactics and rescue operations Cherkasy Institute of fire safety named Heroes of Chernobyl National University of civil protection of Ukraine, Onoprienko str., 8, 18034, Cherkasy, Ukraine, tel.+38 (097) 435 10 51, e-mail: maladyka@gmail.com, ORSID ID: 0000-0001-8784-2814

⁴ Department of Life Safety, Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University, 25, Voroshilova st., Dnipro 49000, Ukraine, phone +38 (056) 713-51-42, e-mail: kaplenko.galina@yandex.ru, ORCID ID: [0000-0002-9545-8414](https://orcid.org/0000-0002-9545-8414)

⁵ Department of Life Safety, Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University, 25, Voroshilova st., Dnipro 49000, Ukraine, phone +38 (056) 713-51-42

Abstract. *Purpose* is to minimize the negative consequences of chemical accidents by pre-accident forecasting and developing possible scenarios to deal with accidents. *Goal.* The study was conducted to determine the effectiveness of information systems polluted area of forecasting and decision support systems in the conditions of technogenic accidents involving the release of hazardous chemicals. *Methods.* Analysis of the principles and design features designed decision support systems. *Results.* It is proved that the existing prediction models can only be used for preliminary, rough estimate, the infection zone, and decision support systems developed on their basis have a high accuracy of the results. This fact is due to the fact that the data disaster forecast are not captured in the models predict. *Scientific novelty.* Issues of integration of modern computing, software, intellectual methods and existing methods for determining the concentration of hazardous chemicals in the post-accident period. *Practical meaningfulness.* Results of the study can be used in the creation of information-analytical systems of decision support rescue units of Civil Protection of Ukraine.

Keywords: hazardous chemical, contamination, prediction, system of support of decision-making

Вступ

Поряд із пожежами та автомобільними аваріями хімічні аварії призводять до найбільших людських жертв. Їх наслідком також є зараження навколишнього середовища і тому задача мінімізації негативних наслідків хімічних аварій є важливою і актуальною. Традиційно її намагаються розв'язувати у післяаварійний період в умовах, коли особа, що приймає рішення, відчуваючи відповідальність, робить помилки, які мають фатальні наслідки. Зменшити негативний психологічний вплив могло б доаварійне прогнозування і розробка можливих сценаріїв дій у випадку аварії.

Мета

Дослідження проведено з метою визначення ефективності застосування інформаційних систем прогнозування зони забруднення і систем підтримки прийняття рішень в умовах техногенних аварій, які супроводжується викидом небезпечних хімічних речовин.

Основна частина

Виробництво небезпечних хімічних речовин (НХР) як необхідних елементів у різних областях промисловості й сільського господарства має тенденцію до збільшення рік за роком. Зношеність устаткування й прагнення до збільшення норми прибутку, а також людський фактор і випадковий збіг обставин є причинами численних хімічних аварій.

Аварії на хімічних підприємствах несуть велику небезпеку, оскільки вражаюча дія проявляється при малих концентраціях НХР, а швидкість поширення є порівняно високою. Адекватність і своєчасне прийняття рішень у таких умовах буде сприяти зменшенню кількості жертв і потерпілих, проведенню відповідних заходів. Їхньою основою є своєчасне прогнозування динаміки концентрації НХР на місцевості. Відомо, що поширення НХР характеризується розміром зони ураження й швидкістю переміщення небезпечної хмари. У середньому, така хмара переміщується зі швидкістю вітру, що трохи спрощує розрахунки.

Типовими характеристиками аварії на виробництві є:

- швидкоплинність, що пов'язано з обмеженим часом дії джерела аварії;
- велика небезпека для персоналу підприємства та населення;
- можливість переростання аварії при неправильних діях по її ліквідації в значну екологічну проблему;
- необхідність прийняття рішень в умовах неповної інформації.

Вищевказані особливості хімічних аварій вказують на актуальність розв'язання задач, які на макрорівні можна розділити на три класи. До першого класу відносяться задачі прогнозування розвитку різного роду процесів, що через певний збіг обставин можуть

призвести до аварій. Задачі другого класу розв'язуються або мають безпосереднє відношення до моменту виникнення аварії і припускають визначення масштабів аварії, динаміки наслідків і прийняття рішень щодо їх подолання. Визначення зони ураження, концентрації шкідливих речовин у всій зараженій зоні, здійснення прогнозу подальших дій складають основний зміст задач третього класу. Традиційно таке прогнозування здійснюється шляхом аналітичних розрахунків з використанням даних про час та місце аварії, значень погодно-кліматичних факторів. Основні напрямки наукових досліджень та короткий аналіз релевантних робіт наведено нижче.

Яким чином на сьогоднішній день здійснюється розв'язання зазначених задач? В першу чергу застосовуються таблиці, в яких вказані нормативні значення параметрів речовин, що становлять небезпеку для навколишнього середовища взагалі і людини, зокрема. Далі на підставі розроблених методик і формул розраховуються площі зараження і концентрації шкідливих речовин [1, 2]. Важливо розуміти, що розповсюдження небезпечних речовин у воді, в повітрі та на ґрунті має абсолютно різну природу і для опису відповідних процесів раціонально застосувати різний математичний апарат.

Таким чином, до недоліків сучасних технологій оцінки наслідків техногенних і екологічних катастроф можна віднести наступні:

1. Відсутній єдиний підхід до розробки методології і практичного впровадження технологій, що враховують як неперервну динаміку навколишнього середовища, так і певний «дискретний волонтаризм» особи, що приймає рішення.

2. Відсутні методики запобігання аваріям і катастрофам та прогнозування надзвичайних подій.

3. Мала увага надається розробці технологій визначення зараженості ґрунту і водного басейну, а також їх взаємозабрудненню і взаємовпливу.

4. Відсутні елементи сценарного аналізу і, як наслідок, рішення приймаються за фактом аварії в критичних умовах, коли особа, що приймає рішення, відчуває всю глибину відповідальності та під її впливом помиляється.

5. Якщо рішення приймається колективом експертів, то воно, безумовно, більш об'єктивізоване, але необхідно враховувати різнорівневу компетентність осіб, що беруть участь у цьому процесі, що не завжди вдається.

6. Хоча процеси поширення НХР мають неперервний характер, і через це їх, найчастіше описують диференціальними рівняннями, необхідно враховувати умови зовнішнього середовища. Результатом такого врахування буде представлення відповідних процесів логіко-динамічними рівняннями або, через складність розв'язання перших і слабку структурованість самих процесів, з використанням технологій штучного інтелекту [3].

У таких умовах розв'язання задач прогнозування аварій та їх наслідків відіграють важливу роль при прийнятті рішень. Відзначимо, що в сучасній науко-

вій літературі такі задачі слабо представлені. Їхній спектр носить загальний теоретичний характер при повній відсутності прив'язки до реальних об'єктів і ситуацій. Ілюстрацією такого підходу з однієї сторони є робота [4], де описане макропрогнозування інформаційних індексів екологічної безпеки з використанням нейромережної моделі, і дисертація [5], у якій запропоновані моделі для здійснення моніторингу потенційно-небезпечних об'єктів на основі логікоімовірнісного моделювання – з іншої сторони. Результати першої статті створюють інформаційний привід для висновків про рівень небезпеки проживання в регіоні, моделі, запропоновані в [5], дозволяють оцінити ризики аварійної ситуації й можливі сценарії дій осіб, що приймають рішення.

Значна частина релевантних робіт присвячена дослідженню граничних рівнів концентрації вибухонебезпечних речовин. Зокрема, в [6] встановлено нижню концентраційну межу займання, тобто мінімальний вміст пального у суміші «горюча речовина-окислювальне середовище». Вважають, що якщо концентрація менша такої межі, то умови ведення технологічного процесу мають бути безпечними. У [7] запропоновано розв'язання такої ж задачі для відкритих територій. Автори [8, 9] пропонують для розв'язання задач планування запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій використовувати технології обчислювального інтелекту. При цьому як основу відповідної гібридної системи вважають за доцільне використовувати штучні нейронні мережі, а як її компоненти – експертні та нечіткі системи, генетичні алгоритми, фрактали, елементи когнітивної комп'ютерної графіки. Не сумніваючись в раціональності такої пропозиції, зауважимо, що автори не вказують на конкретні моделі та технології, в яких реалізуються відповідні ідеї. Ці та інші роботи акцентують увагу на прогнозуванні майбутніх подій, точність та коригування прогнозів залишається поза увагою дослідників.

Прогнозування концентрації НХР супроводжується значною невизначеністю. Для кількісного опису процесу поширення НХР сьогодні відомі три підходи, що базуються на використанні:

- гаусівських або дисперсійних моделей;
- моделей розсіювання, у яких використовуються інтегральні закони збереження маси в хмарі при залповому викиді, сюди ж включаються моделі «важкого газу»;
- моделей прямого чисельного моделювання.

У гаусівських моделях вводять евристики, які полягають в емпіричному визначенні коефіцієнтів, що описують атмосферну турбулентність. Самі моделі описують два процеси в атмосфері – переміщення в полі вітру й розсіювання за рахунок атмосферної турбулентності. Недоліком таких моделей є недостатня точність поблизу місця викиду при сильному викиді.

Поведінка НХР при викиді є набагато складнішою, ніж це представляється в гаусівських моделях, оскільки не враховуються наведені течії й висока

густина речовини. Тому, за кордоном були розроблені спеціальні моделі, у яких враховувались відповідні особливості НХР ("важкий газ") і які названі моделями розсіювання "важкого газу". Відомі реалізації таких моделей: методика Всесвітнього банку [10], HGGYSTEM [11], запропоновані в ГОСТ Р12.3.047-98 [12], методика РД 52.04.253-90 [13]. Загальним недоліком таких методів є завищені реальні наслідки аварій.

Газодинамічні моделі є складними при реалізації. Трудомісткість їх реалізації вступає в протиріччя з доцільністю й позитивним ефектом [14, 15]. Деякі переваги в порівнянні із зазначеними моделями має методика "ТОКСІ-3", описана в [16, 17]. Реалізовані в ній моделі базуються на описі розсіювання "важкого газу" і використанні інтегральних представлень. Така композиція дозволяє ненабагато перевищити час розрахунків у порівнянні з гаусівськими моделями, але значно підвищити їхню точність.

Аналіз моделей зазначених трьох класів, дозволяє зробити висновок про теоретичну доцільність їх побудови й раціональність використання для попередньої, грубої оцінки.

Кожне хімічне підприємство або маршрут транспортування НХР має особливості, які в досліджених моделях не можуть бути враховані. До них відносяться: рельєф місцевості, споруди, насадження, транспортні потоки тощо. Невизначеність, яку вносять такі об'єкти й системи у процес визначення концентрації НХР у післяаварійний період, не дозволяє здійснювати адекватне прогнозування й, відповідно, вживати адекватних заходів щодо порятунку населення й мінімізації екологічних збитків.

Як уже було зазначено раніше, найпоширенішими на сьогодні підходами до визначення концентрації НХР є наступні два: відповідно першому домінантне положення займають стохастичні моделі [18], для другого підходу характерна розробка й дослідження дисперсійних і газодинамічних моделей [19]. У першому випадку відбувається усереднення значень деяких параметрів аварії й, як наслідок, відбувається згладжування розраховуваних концентрацій НХР. Для математичних моделей у формі диференціальних рівнянь у частинних похідних процес моделювання ускладнюється внаслідок великої кількості перетворень при алгоритмізації й обчисленнях. Як у першому, так і у другому випадках моделювання аварій та їх наслідків носить більше дослідницький, науковоспоглядальний характер, оскільки передбачається лінійне переміщення первинної та вторинної хмари, а також відсутні можливості врахування особливостей конкретної аварії, рельєфу місцевості забудови.

Ще однією особливістю розглянутих підходів є неможливість проведення фізичних експериментів, тому їх автори орієнтуються на результати досліджень, проведених у 1982-1983 роках на відкритому просторі в містечку Торней-Айленд в Англії [20, 21]. Порівняльний аналіз результатів випробувань і результатів, отриманих за методикою ТОКСІ-3, наведений в [22]. Незважаючи на прийнятну якість ре-

зультатів, не можна не відзначити, що використання будь-якого методу, в основі якого лежить аналітичний вираз, раніше або пізніше приводить до зміщеності результату. Тому різною є точність результатів, отриманих за різними методиками для концентрації НХР поблизу джерела викиду й на відстані від нього.

У роботі [23] встановлено нижню концентраційну межу займання, тобто мінімальний вміст пального у суміші «горюча речовина-окислювальне середовище». Вважають, що якщо концентрація менша такої межі, то умови ведення технологічного процесу мають бути безпечними. Встановлено, що умовою пожежовибухобезпеки процесів виробництва, перероблення, зберігання і транспортування речовин і матеріалів є виконання нерівності:

$$C_{\text{безп}} \leq 0,9(C_{\text{НМЗ}} - 0,7R); C_{\text{безп}} \geq 0,9(C_{\text{ВМЗ}} + 0,7R),$$

де $C_{\text{безп}}$ – безпечна концентрація горючої речовини, % (об), г/м³; $C_{\text{НМЗ}}$, $C_{\text{ВМЗ}}$ – нижня і верхня концентраційні межі поширення полум'я; R – відтворюваність методу визначення показника пожежної небезпеки за довірчої ймовірності 95% (для нижньої межі він становить 0,3, для верхньої – 0,7). В [24] запропоновано розв'язання такої ж задачі для відкритих територій.

Автори [25] пропонують для розв'язання задач планування запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій використовувати технології обчислювального інтелекту. При цьому як основу відповідної гібридної системи вважають за доцільне використовувати штучні нейронні мережі, а компонентами – експертні та нечіткі системи, генетичні алгоритми, елементи когнітивної комп'ютерної графіки. Не сумніваючись в раціональності такої пропозиції зауважимо, що автори не вказують на конкретні моделі та технології, в яких реалізуються відповідні ідеї.

У роботі [26] описано макропрогнозування інформаційних індексів екологічної безпеки з використанням нейромережної моделі. В дисертації [27] запропоновані моделі, за допомогою яких здійснюється моніторинг потенційно небезпечних об'єктів на основі логіко-ймовірнісного моделювання, що дозволяє оцінювати ризики аварійної ситуації та можливі сценарії дій особи, що приймає рішення.

Проблеми побудови ефективних систем підтримки прийняття рішень (СППР) досить повно відображені в сучасній науковій літературі. Множина підходів і пропозицій по конструктивній реалізації таких систем приводить до закономірного питання про їхню систематизацію й доцільності використання в практиці роботи відповідних підприємств і служб.

Однією з нових і перспективних ідей при побудові СППР при хімічних аваріях є інтеграція елементів експертних систем і геоінформаційних систем (ГІС). Автор [28] пропонує покласти в основу такої інтеграції продукційно-фреймові моделі знань і використовувати об'єктно-орієнтований підхід. Але, як і в інших роботах, не відображено яким чином буде здійснена взаємодія з компонентами ГІС і яка інформація буде використовуватись для підтримки прийняття розв'язків.

Новий підхід до розв'язання проблеми оцінювання ризику складних надзвичайних ситуацій, що базується на динамічних структурних моделях знань із автоматичною побудовою можливих сценаріїв виникнення надзвичайних ситуацій (НС) і розрахунками масштабів наслідків розвитку НС, запропонований в [27]. Такий підхід дозволяє враховувати логічний взаємозв'язок подій НС складного характеру, що включає в себе пожежі, вибухи й витік небезпечних речовин. Така комплексність розгляду є перевагою, але, винятково при попередньому моделюванні НС, її результати мають низьку точність при визначенні конкретних параметрів конкретної аварії.

Комплексність є провідною ідеєю й роботи [29], однак у її основу покладений принцип системності при проектуванні СППР при НС. Зокрема, розглянуті проблеми територіального розміщення, формування сукупності функціональних задач, інтелектуалізації процесів прийняття рішень з використанням автоматизованих систем, облік картографічної й семантичної інформації. Безумовною її перевагою є пропозиція розробки й використання сценарного аналізу.

Інтелектуалізації процесів прийняття рішень при аваріях на хімічних підприємствах присвячена робота [30]. Її автор класифікував СППР за типом використаного в них інструментарію, що базується на елементах штучного інтелекту, чим, на наш погляд, змістив акценти із предметної області розв'язуваної проблеми в область прикладних засобів.

Інтелектуальна СППР, складається з моделюючої підсистем, що включає у себе ситуаційно-рекомендуючий модуль на основі нечітких мереж Петрі та алгоритмів нечітких логічних висновків, а також управляючої підсистем, яка функціонує на основі використання продукційних правил. Зважаючи на те, що СППР орієнтована на використання персоналом підприємства й базується на експертних висновках, було б раціонально використовувати її основні елементи для прогнозування наслідків аварії.

У роботі [31] наведена типова структура комплексу інформаційного й програмного забезпечення для аналізу ризику й наслідків аварій на хімічно небезпечних об'єктах, що включає в себе інформаційну підсистему, підсистему для аналізу виробничої безпеки, оцінки ризику й наслідків аварій, а також підсистему для керування безпекою. Комплексний характер розробки є її безсумнівною перевагою, але без можливості використання в режимі реального часу й обліку особливостей аварії система втрачає актуальність.

Інший підхід запропонований у роботах Л.Ф. Ноженкової. Вона пропонує зосереджувати зусилля на створенні трьох типів СППР: для стратегічного прогнозування надзвичайних ситуацій, оперативного прогнозування виникнення й наслідків НС, підтримки прийняття оперативних розв'язків по ліквідації вогнища й наслідків НС. Відзначимо, що така класифікація СППР є раціональною, застосовуваною й в інших галузях, але значний науковий інтерес представляє конструктивне насичення її складових.

Висновки

Таким чином, аналіз принципів і конструктивних особливостей проєктованих СППР дозволяє зробити висновок про різноманітність прийомів і способів їх створення. Присутність елементів штучного інтелекту є умовою здійснення об'єктивізації прийнятих розв'язків, спрощення їх інтерпретації, інтелектуалізації процесів прийняття рішень. Разом з тим, залишаються проблеми інтеграції сучасних обчислювальних

засобів, програмного забезпечення, інтелектуальних методів та існуючих методик визначення концентрації НХР у післяаварійний період. Критичність умов, при яких приймаються рішення, нечіткість при оцінці ситуації, неповнота вихідних даних вимагають застосування нових підходів як до моделювання аварій та їх наслідків, так і до інформаційно-аналітичного забезпечення процесів прийняття рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Makhviladze G.M. Large-scale unconfined fires and explosions / G.M. Makhviladze, S.E. Yakush. // Proc. of the Combustion Institute. – 2002. – Vol. 29. – P. 195-210.
2. Замышляев Б.В. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций / Б.В. Замышляев. – 2004. – № 4. – С. 35-72.
3. Волошин О.Ф. Теорія прийняття рішень / О.Ф. Волошин, С.О. Машенко. – К.: “Київський університет”, 2006. – 304 с.
4. Рак Ю.П. Моделирование информационных индексов экологической безопасности средствами нейронных сетей в управленнии проектами модернизации системы безопасности жизнедеятельности / Ю.П. Рак, О.Б. Зачко // Научный вестник УкрНДДПБ. – 2008. – № 2(18). – С. 22-29.
5. Мосягин А.А. Мониторинг потенциально опасных объектов на основе логико-вероятностного моделирования: автореф. дисс... канд. техн. наук: 05.13.10 «Управление в социальных и экономических системах» / Мосягин Александр Александрович; АУ МВС России. – М., 2009. – 28 с.
6. Тюменев Т.Р. Прогнозирование распространения облаков лёгких и нейтральных газов при авариях на объектах химической промышленности : дисс. ... канд. техн. наук : 05.26.03 / Тюменев Тимур Равильевич ; КГТУ. – Тюмень. – 149 с.
7. Басманов А.Е. Математическая модель диффузии опасных химических веществ в воздухе / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2008. – № 8. – С.29-39
8. Иванов А. В. Достоверности использования вычислительного комплекса PHOENICS в расчетах рассеяния вещества в возмущенном потоке / А. В. Иванов, Б. С. Майстрюков // Известия ВУЗов: Черная металлургия. – 1999. – № 11. – С.64-68.
9. Интеллектуальные вычисления в задачах обработки данных наблюдения Земли / Н.Н. Кукуль, А.Ю. Шелестов, С.В. Скакун [и др.] – К.: Наук. думка, 2007. – 196 с.
10. Руководство по оценке промышленных опасностей (Techniques for Assessing Industrial Hazards: a Manual). – World Bank Tech. – 1988. – Paper 55.
11. The HGSYSTEM version 3.0 technical reference manual. – Shell Internationale Research Maatschappij BV. Hague, 1994. – 321 p.
12. ГОСТ Р12.3.047-98 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
13. Руководящий документ. «Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте» (РД 52.04.253-90). Штаб Гражданской обороны СССР, Комитет гидрометеорологии при кабинете министров СССР. – М.: Гидрометеоздат, 1991. – 64 с.
14. Едигаров А.С. Математическое моделирование аварийного истечения и рассеивания природного газа при разрыве газопровода / А.С. Едигаров, В.А. Сулейманов // Математическое моделирование. – 2005. – № 7:4. – С. 37-52.
15. Иванов А.В. Разработка методических основ оценки последствий химических промышленных аварий (на примере металлургического комбината) : дисс...канд. техн. наук : 05.26.04. / Иванов Андрей Валерьевич ; МИСиС. – М., 1999. – 283 с.
16. Верификация методик оценки последствий аварийных выбросов газа от источников продолжительного действия // Сумской С.И., Пчельников А.В., Лисанов М.В. и др. / Безопасность труда в промышленности. – 2005. – № 8. – С. 28-35.
17. Методика оценки последствий аварийных выбросов опасных веществ (Методика «ТОКСИ», редакция 3.1). – Проект. М.:ФГУП НТЦ «Промышленная безопасность», 2005. – 67 с.
18. Говаленков С.С. Оценка интенсивности истечения химических опасных веществ из источника выброса / С.С. Говаленков, А.Е. Басманов // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2010. – № 11. – С. 39-44.
19. Басманов А.Е. Математическая модель диффузии опасных химических веществ в воздухе / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2008. – № 8. – С.29-39.
20. Mercer A. The Thorney Island Continuous Release Trials: mass and flux balances / A. Mercer, C. Nussey // Journal of Hazardous Materials. – Vol. 16. – 1987. – P. 9-20.
21. Quaid J. Design of the Thorney Island Continuous Release Trials / J. Quaid // Journal of Hazardous Materials. – Vol. 16. – 1987. – P. 1-8.
22. Лисанов, М.В. Моделирование рассеяния выбросов опасных веществ в атмосфере / М.В. Лисанов, А.В. Пчельников, С.И. Сумской // Рос. хим. журнал. (Журнал Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2005. – Т. XLIX. – № 4. – С. 18-28.
23. Білощицький М.В. Розбіжність у визначенні пожежної небезпеки виробничих процесів та приміщень за показниками нижньої концентраційної межі займання і розрахунковим значенням надлишкового тиску вибуху / М.В. Білощицький // Научный вестник УкрНДДПБ. – 2009. – № 2(20). – С. 91-98.
24. Басманов А.Е. Определение зон взрывоопасных концентраций опасного химического вещества в воздухе / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков // Матеріали III міжн. наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми технічних та природничих наук у забезпеченні цивільного захисту». – Черкаси, АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2010. – С. 66-69.

25. Терехов В.И. Проблемы применения вычислительного интеллекта при планировании задач по предотвращению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций / В.И. Терехов, И.М. Тетерин, Н.Г. Топольский // Материалы XV межд. научн.-практ. конф. «Системы безопасности». – М.: Академия МЧС России, 2006. – С. 49-52.
26. Байдык Т.Н. Нейронные сети и задачи искусственного интеллекта / Т. Н. Байдык. – К.: Наук. думка, 2001. – 260 с.
27. Шатровская Е.В. Динамические структурные модели знаний в задачах оценивания риска сложных аварий на промышленных объектах: автореф. дисс. ... канд. техн. наук : спец. 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации» / Шатровская Елена Викторовна ; КГТУ. – Красноярск, 2001. – 23 с.
28. Исаев С.В. Инструментальные средства проектирования интегрированных систем поддержки принятия решений по ликвидации химических аварий: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.13.06 «Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях (по отраслям наук)» / Исаев Сергей Владиславович; ИВМ СО РАН. – Красноярск, 1999. – 22 с.
29. Ноженкова Л.Ф. Технология построения экспертных геоинформационных систем поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций : автореф. дисс.. докт. техн. наук: спец. 05.13.14 «Системы обработки информации и управления» / Ноженкова Людмила Федоровна; ИВО РАН, Сибирское отделение. – Красноярск, 2000. – 34 с.
30. Михайлова П.Г. Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению безопасностью химических производств : дисс. ... канд. техн. наук : 05.13.01 / Михайлова Павла Геннадьевна ; РХТУ им. Д. Менделеева. – М., 2006. – 194 с.
31. Егоров А.Ф. Комплекс программных средств для анализа риска и последствий аварий на химически опасных объектах // А.Ф. Егоров, Т.В. Савицкая, П.Г. Михайлова / Программные продукты и системы. – 2008. – № 4. – С. 138-140.

REFERENCES

1. Makhviladze G.M. Large-scale unconfined fires and explosions / G.M. Makhviladze, S.E. Yakush. // Proc. of the Compustion Institute. – 2002. – Vol. 29. – P. 195-210.
2. Zamyshlyayev B.V. Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij [Problems of safety and of emergencies]/ B.V. Zamyshlyayev. – 2004. – № 4. – S. 35-72.
3. Voloshyn O.F. Teoriya pryunyattya rishen' [Theory of adoption decisions]/ O.F. Voloshyn, S.O. Mashchenko. – K.: "Kyyivs'kyy universytet", 2006. – 304 s.
4. Rak Yu.P. Modelyuvannya informatsiynykh indeksiv ekolohichnoyi bezpeky zasobamy neyronnykh merezh v upravlinni proektamy modernizatsiyi systemy bezpeky zhyttyedyal'nosti [Information Modeling indices of environmental safety means of neural networks in project management life safety system modernization] / Yu.P. Rak, O.B. Zachko // Naukovyy visnyk UkrNDIPB. – 2008. – № 2(18). – S. 22-29.
5. Mosyagin A.A. Monitoring potencial'no opasnyh ob'ektov na osnove logiko-veroyatnostnogo modelirovaniya [Monitoring Potentially hazardous objects based on logical and probabilistic modeling]: avtoref. diss... kand. tekhn. nauk: 05.13.10 «Upravlenie v social'nyh i ehkonomicheskikh sistemah» / Mosyagin Aleksandr Aleksandrovich; AU MVS Rossii. – M., 2009. – 28 s.
6. Tyumenev T.R. Prognozirovanie rasprostraneniya oblakov lyogkih i nejtral'nyh gazov pri avariayah na ob'ektah himicheskoy promyshlennosti [Predicting the spread of clouds of light and neutral gases in case of accidents at chemical facilities] : diss. ... kand. tekhn. nauk : 05.26.03 / Tyumenev Timur Ravil'evich ; KGTU. – Tyumen'. – 149 s.
7. Basmanov A.E. Matematicheskaya model' diffuzii opasnyh himicheskikh veshchestv v vozduhe [A mathematical model of diffusion of dangerous chemicals in the air]/ A.E. Besmanov, S.S. Govalenkov // Problemi nadzvichajnyh situacij. – 2008. – № 8. – S.29-39
8. Ivanov A. V. O dostovernosti ispol'zovaniya vychislitel'nogo kompleksa PHOENICS v raschetah rassevaniya veshchestva v vozmushchennom potoke [About the reliability of using PHOENICS computing complex in the calculation of the scattering material in the flow disturbances]/ A. V. Ivanov, B. S. Majstryukov // Izvestiya VUZov: Chernaya metallurgiya. – 1999. – № 11. – S.64-68.
9. Intel'kual'nye vychisleniya v zadachah obrabotki dannyh nablyudeniya Zemli [Intelligent computations in problems of Earth observation data] / N.N. Kussul', A.YU. SHElestov, S.V. Skakun [i dr.] – K.: Nauk. dumka, 2007. – 196 s.
10. Rukovodstvo po ocnke industrial'nyh opasnostej (Techniques for Assessing Industrial Hazards: a Manual). – World Bank Tech. – 1988. – Paper 55.
11. The HGSYSTEM version 3.0 technical reference manual. – Shell Internationale Research Maatschappij BV. Hague, 1994. – 321 p.
12. GOST P12.3.047-98 SSBT. Pozharnaya bezopasnost' tekhnologicheskikh processov. Obshchie trebovaniya. Metody kontrolya [Fire safety of technological processes. General requirements. Control methods].
13. Rukovodyashchij dokument. «Metodika prognozirovaniya masshtabov zarazheniya sil'nodejstvuyushchimi yadovitymi veshchestvami pri avariayah (razrusheniyah) na himicheskii opasnyh ob'ektah i transporte» [Guidance document. "Methods of predicting the extent of the infection potent toxic substances in case of accidents (destruction) on chemically hazardous objects and transport"] (RD 52.04.253-90). SHtab Grazhdanskoj oborony SSSR, Komitet gidrometeorologii pri kabinete ministrov SSSR. – M.: Gidrometeoizdat, 1991. – 64 s.
14. Edigarov A.S. Matematicheskoe modelirovanie avariynogo istecheniya i rassevaniya prirodno go gaza pri razryve gazoprovoda [Mathematical modeling of the expiry of the emergency and dispersion of natural gas the ruptured pipeline]/ A.S. Edigarov, V.A. Sulejmanov // Matematicheskoe modelirovanie. – 2005. – № 7:4. – S. 37-52.
15. Ivanov A.V. Razrabotka metodicheskikh osnov ocenki posledstvij himicheskikh promyshlennyh avariij (na primere metallurgicheskogo kombinata) [Development of methodological framework for assessing the effects of chemical industrial accidents (on the example of metallurgical plant)]: diss...kand. tekhn. nauk : 05.26.04. / Ivanov Andrej Valer'evich ; MISiS. – M., 1999. – 283 s.

16. Verifikaciya metodik ocenki posledstvij avarijnyh vybrosov gaza ot istochnikov prodolzhitel'nogo dejstviya [Verification of methods of assessing the effects of the emergency gas emissions from long-acting sources]// Sumskoj S.I., Pchel'nikov A.V., Lisanov M.V. i dr. / *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. – 2005. – № 8. – S. 28-35.
17. Metodika ocenki posledstvij avarijnyh vybrosov opasnyh veshchestv [Methods of assessing the consequences of accidental releases of hazardous substances] (Metodika «ТОКСИ», redakciya 3.1). – Proekt. M.:FGUP NTC «Promyshlennaya bezopasnost'», 2005. – 67 s.
18. Govalenkov S.S. Ocenka intensivnosti istecheniya himicheskikh opasnyh veshchestv iz istochnika vybrosa [Evaluation of the intensity of the expiry of chemical hazardous substances from the source of emission] / S.S. Govalenkov, A.E. Basmanov // *Problemi nadzvichajnih situacij*. – 2010. – № 11. – S. 39-44.
19. Basmanov A.E. Matematicheskaya model' diffuzii opasnyh himiche-skih veshchestv v vozduhe [A mathematical model of diffusion of dangerous chemicals in the air] / A.E. Basmanov, S.S. Govalenkov // *Problemi nadzvichajnih situacij*. – 2008. – № 8. – S.29-39.
20. Mercer A. The Thorney Island Continuous Release Trials: mass and flux balances / A. Mercer, C. Nussey // *Journal of Hazardous Materials*. – Vol. 16. – 1987. – P. 9-20.
21. Quaid J. Design of the Thorney Island Continuous Release Trials / J. Quaid // *Journal of Hazardous Materials*. – Vol. 16. – 1987. – P. 1-8.
22. Lisanov, M.V. Modelirovanie rasseyaniya vybrosov opasnyh veshchestv v atmosfere [Modelling of dispersion of hazardous substances into the atmosphere] / M.V. Lisanov, A.V. Pchel'nikov, S.I. Sumskoj // *Ros. him. zhurnal. (ZHurnal Ros. him. ob-va im. D.I. Mendeleeva)*. – 2005. – T. HLLX. – № 4. – S. 18-28.
23. Biloshyts'kyy M.V. Rozbizhnist' u vyznachenni pozhezhnoyi nebezpeky vyrobnychkh protsesiv ta prymishchen' za pokaznykamy nyzhn'oyi kontsentratsiynoyi mezhi zaymannya i rozrakhunkovym znachennyam nadlyshkovoho tysku vybukhu [The difference in determining fire danger production processes and facilities in terms of lower concentration limits of ignition and the calculated value of overpressure blast] / M.V. Biloshchyt's'kyy // *Naukovyy visnyk UkrNDIPB*. – 2009. – № 2(20). – S. 91-98.
24. Basmanov A.E. Opredelenie zon vzryvoopasnyh koncentracij opasnogo himicheskogo veshchestva v vozduhe [Defining zones flammable concentrations of hazardous chemical substances in the air] / A.E. Basmanov, S.S. Govalenkov // *Materialy III mizhn. nauk.-prakt. konf. «Aktual'ni problemy tekhnichnykh ta pryrodnychkh nauk u zabezpechenni tsyvil'noho zakhystu»*. – Cherkasy, APB im. Heroyiv Chornobylya, 2010. – S. 66-69.
25. Terekhov V.I. Problemy primeneniya vychislitel'nogo intellekta pri planirovanii zadach po predotvrashcheniyu i likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij [Problems of application of computational intelligence in planning tasks for the prevention and elimination of consequences of emergencies] / V.I. Terekhov, I.M. Teterin, N.G. Topol'skij // *Materialy XV mezhd. nauchn.-prakt. konf. «Sistemy bezopasnosti»*. – M.: Akademiya MCHS Rossii, 2006. – S. 49-52.
26. Bajdyk T.N. Nejronnye seti i zadachi iskusstvennogo intellekta [Neural network and the problem of artificial intelligence] / T. N. Bajdyk. – K.: Nauk. dumka, 2001. – 260 s.
27. SHatrovskaya E.V. Dinamicheskie strukturnye modeli znanij v zadachah ocenivaniya riska slozhnyh avarij na promyshlennykh ob'ektakh [The dynamic structural model of knowledge in problems of estimating the risk of complicated accidents at industrial sites]: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk : spec. 05.13.01 «Sistemnyj analiz, upravlenie i obrabotka informacii» / SHatrovskaya Elena Viktorovna ; KGTU. – Krasnoyarsk, 2001. – 23 s.
28. Isaev S.V. Instrumental'nye sredstva proektirovaniya integrirovannyh sistem podderzhki prinyatiya reshenij po likvidacii himicheskikh avarij [Tools for integrated decision support systems for the elimination of chemical accidents]: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk : spec. 05.13.06 «Primenenie vychislitel'noj tekhniki, matematicheskogo modelirovaniya i matematicheskikh metodov v nauchnykh issledovaniyah (po otraslyam nauk)» / Isaev Sergej Vladislavovich ; IVM SO RAN. – Krasnoyarsk, 1999. – 22 s.
29. Nozhenkova L.F. Tekhnologiya postroeniya ehkspertnyh geoinformacionnyh sistem podderzhki prinyatiya reshenij po preduprezhdeniyu i likvidacii chrezvychajnyh situacij [The technology of construction of expert intelligence decision support systems for the prevention and liquidation of emergency situations]: avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk: spec. 05.13.14 «Sistemy obrabotki informacii i upravleniya» / Nozhenkova Lyudmila Fedorovna; IVO RAN, Sibirskoe otdelenie. – Krasnoyarsk, 2000. – 34 s.
30. Mihajlova P.G. Razrabotka intellektual'noj sistemy podderzhki prinyatiya reshenij po upravleniyu bezopasnost'yu himicheskikh proizvodstv [Development of intellectual decision support system for managing the security of chemical plants]: diss. ... kand. tekhn. nauk : 05.13.01 / Mihajlova Pavla Gennad'evna ; RHTU im. D. Mendeleeva. – M., 2006. – 194 s.
31. Egorov A.F. Kompleks programmnyh sredstv dlya analiza riska i posledstvij avarij na himicheskii opasnyh ob'ektakh [Complex software for risk analysis and the consequences of accidents on chemically hazardous objects]// A.F. Egorov, T.V. Savickaya, P.G. Mihajlova / *Programmnye produkty i sistemy*. – 2008. – № 4. – S. 138-140.

Статья поступила в редколлегию 19.09.2016