

УДК 656.26

В.К. Мироненко¹, М.Д. Кацман², В.І. Мацюк¹¹ Державний економіко-технологічний університет транспорту, Київ² Південно-Західна залізниця, Київ

ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ОСНОВІ МЕРЕЖЕЦЕНТРИЧНИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ

Розглядаються мережецентричні методи комп'ютерної підтримки управління ліквідацією залізничних надзвичайних ситуацій, а також описані новий формальний підхід до прийняття рішень та продукційні правила, застосування яких у залізничних надзвичайних ситуаціях дозволить скоротити час прийняття обґрунтованого управлінського рішення.

Ключові слова: мережецентричні методи, система підтримки прийняття рішень, метод продукцій, продукційні правила, штучний інтелект, залізничні надзвичайні ситуації.

Вступ

Локалізація залізничних транспортних подій та ліквідація їх наслідків, особливо з небезпечними вантажами, за кількістю людських, матеріальних, фінансових та інших ресурсів та можливих втрат, масштабами управління, застосуванням різноманітних сил та засобів, а також за раптовістю виникнення і тривалістю подій у деяких випадках аналогічна воєнним діям. Все це обумовлює те, що система управління реагуванням на залізничні надзвичайні ситуації повинна забезпечувати завчасне планування та корегування планів, уточнених в умовах конкретного виду та рівня надзвичайної ситуації, для координації та підвищення ефективності дій ліквідаційних підрозділів залізничного транспорту та підрозділів інших міністерств і відомств.

Управління такими масштабними процесами, які можуть минати дуже швидко, неможливо без використання комп'ютерних технологій, яке, на наше переконання, буде найбільш ефективним при застосуванні методів мережецентричного управління.

Мережецентрична система народилася завдяки досягненням, отриманим при реалізації концепції інформаційних війн, а також розвинутих систем тилового і технічного постачання військ. Це призвело до народження принципово нових можливостей у керуванні військами за рахунок систематичного спостереження за змінами в обстановці у будь-якому регіоні світу, її динамічному та адекватному оцінюванні, автоматизованій розробці ефективних способів нанесення ударів по виявленим об'єктам і точного наведення ударних засобів у будь-якому районі земної кулі [1, 2].

Основний зміст

Мережецентрична концепція, уперше застосована для ведення бойових дій, полягає у об'єднанні

усіх ударних, логістичних, інформаційних, дипломатичних, соціальних та інших засобів у мережецентричну систему, яка містить у собі усі рівні і напрямки управління, і дозволяє здійснити принцип зосередження на результатах, а не на зосередженні сил [1, 2]. Мережецентрична концепція орієнтована не тільки на ефективне управління наявними технічними та іншими ресурсами, але й на забезпечення здатності системи адаптуватися до швидкозмінної обстановки та переносити функції прийняття рішення різних рівнів управління по горизонталі і вертикалі у відповідності до потреби цієї обстановки. Для цього необхідний мережецентричний моніторинг, який повинен забезпечувати у реальному часі комплексне багаторівневе аналізування окремо малоінформативних, а часто й суперечних первинних даних про розвиток надзвичайної ситуації. Тобто бажано, щоб система мала здатність змінювати порядок аналізування обстановки при зміні джерел інформації і отриманні нових даних про надзвичайну ситуацію.

Формування цілей та їх реалізація є однією з важливіших процедур прийняття управлінських рішень щодо реагування на надзвичайні ситуації.

Мережецентричні методи комп'ютерної технології генерації цілей для проведення заходів реагування на надзвичайну ситуацію застосовуються у три етапи [3]:

- формування можливих цілей паралельної локалізації надзвичайної ситуації та ліквідації її наслідків. Такі цілі формуються на основі аналізування аналогічних надзвичайних ситуацій, які виникали у минулому. Для формування цілей, зокрема, може застосовуватися апарат продукційних систем, який нині широко використовується у теорії штучного інтелекту для створення алгоритмів пошуку і моделювання розв'язування задач людиною. Продукційна система забезпечує управління процесом розв'язання задач за зразком та складається з набору

продукційних правил, робочої пам'яті і циклу керування «розпізнавання-дія» [4];

- комп'ютерне узгодження цілей з урахуванням несуперечливості цілей, синергетичного ефекту результатів аналізу наслідків аналогічних надзвичайних ситуацій та обмежень, що виникають у процесі розвитку надзвичайної ситуації;

- комп'ютерне оцінювання, ранжирування та вибір цілей.

Процес формування цілей, як правило, є ітеративним процесом, що обумовлюється браком сил і засобів, невиконанням завдань по сформованих раніше цілях, суперечливістю цілей тощо. Формування цілей у процесі планування заходів реагування на надзвичайні ситуації повинно забезпечувати:

- вироблення управлінських рішень за поточними та уточненими даними;

- основу для подальшого планування дій керівників різних рівнів та напрямків реагування на надзвичайну ситуацію;

- надання пояснень виконавцям щодо прийнятих керівництвом рішень.

При виборі альтернатив рішень виникає потреба у врахуванні великої кількості суперечливих вимог, тобто виникає необхідність оцінювання варіантів рішень за багатьма критеріями. При формуванні цілей комп'ютерною системою можуть поставати такі проблеми:

- ціль виникає, досягається і «руйнується» іншими цілями;

- на місці зруйнованої цілі виникають нові цілі;

- народжуються нові цілі, які не досягаються;

- система не здатна сформувати нову ціль, що може призвести до блокування діяльності системи. Тому необхідно періодично аналізувати та переглядати список цілей, який є у базі даних системи по кожній типовій ситуації і можливим наслідкам їх розвитку, та вносити необхідні корективи.

Досягненню головної цілі відновлення руху поїздів і маневрових робіт у можливо коротший термін можуть передувати цілі, які обумовлені можливими наслідками надзвичайних ситуацій, рельєфом місцевості, профілем місця транспортної події, наявністю необхідних сил і засобів, напруженістю руху, властивостями небезпечних вантажів тощо. До таких цілей відносяться, зокрема, рятування людей, організація руху поїздів за резервними маршрутами, відбудова колій, пристроїв автоматики, зв'язку та контактної мережі, локалізація забруднень, нейтралізація і дегазація місцевості і вантажів, гасіння пожежі тощо.

Особливістю реагування на надзвичайні ситуації з небезпечними вантажами є необхідність дотримання суворої черговості проведення локалізаційних та ліквідаційних робіт. Наприклад, не можна проводити підймання аварійного рухомого складу

до нейтралізування вилу з нього вантажу, чи відновлення контактної мережі до відбудови аварійної колії, коли або узбіччя не дозволяють розташування відновної техніки, або така техніка відсутня.

Така особливість проведення ліквідаційних робіт формує список з урахуванням часу затримки при проведенні робіт, необхідних для досягнення цілі. З іншого боку, якщо роботи для досягнення деякої цілі потребують значного часу або великої кількості сил і засобів, то така ціль руйнується та замінюється іншою. Наприклад, на одноколійних перегонах відновлення функціонування пристроїв автоматики може бути замінено організацією руху поїздів за письмовими повідомленнями.

Важливим завданням комп'ютерної системи управління є формування списку критеріїв, за якими будуть оцінюватися цілі.

Комп'ютерні технології у цьому випадку повинні використовувати як об'єктивні дані, так й суб'єктивні дані ОПР. Для кожної типової ситуації існує свій набір критеріїв, який може варіюватися у залежності від обстановки, що склалася, та суб'єктивних переваг ОПР. Прикладом такого набору критеріїв може бути: повнота рішень (ступінь його ефективності); достатність сил і засобів; витрати часу на досягнення цілі; досяжний ефект (вилування вантажу припинено, короткочасна відбудова контактної мережі здійснена тощо); ризик збитків, пов'язаних з реалізацією цілі.

Набір критеріїв зберігається у базі даних системи управління реагування на надзвичайну ситуацію по кожній типовій ситуації. З множини критеріїв ОПР, у інтерактивному режимі роботи з системою управління, вибирає деяку множину критеріїв, за якими у подальшому будуть ранжируватися цілі.

Мережецентрична система за рахунок використання функціональних можливостей мережі дозволяє розширити методи дистанційного узгодження рішень. Система управління видає на дисплей кожного представника служб і організацій, які беруть участь у реагуванні на надзвичайну ситуацію, список критеріїв і пропонує їм викреслити ті з них, з якими вони не згодні, або додати нові, якщо у цьому є потреба. У результаті цього система управління дає можливість керівнику оперативного штабу узгодити список критеріїв за якими будуть оцінюватися цілі реагування на надзвичайну ситуацію.

Повнота набору критеріїв, у свою чергу, пов'язана з проблемою невизначеності, бо із збільшенням числа критеріїв можна підвищити точність розв'язування завдання та у свою чергу, врахувати більшу кількість факторів. Але, якщо ці фактори враховуються невірною, то зростає кількість похибок та їх значущість.

Зараз існує певна кількість різноманітних комп'ютерних процедур узгодження думок фахівців

(експертів) для комп'ютерного ранжирування цілей реагування на надзвичайні ситуації, наприклад, принцип очікуваної корисності Неймана і Моргенштерна [5].

Особливостями ранжирування цілей реагування на залізничні транспортні ситуації є необхідність врахування можливості доступу до місць проведення ліквідаційних заходів. Наприклад, при сходженні з рейок поодинокого рухомого складу на одноколіїній залізничній колії, коли колія ушкоджена та узбіччя не дозволяють розташування відновної техніки, постановка рухомого складу на рейки за допомогою залізничного вантажопідйомного крану можлива тільки після відбудови залізничної колії.

Усі ці заходи здійснюються відповідними спеціалізованими підрозділами різних служб залізниці, які розташовані у встановлених місцях постійної дислокації на мережі залізниці. Тобто для використання таких підрозділів необхідний певний час на зосередження та розгортання сил і засобів у готовність до визначених дій.

Окремої уваги заслуговує проблема визначення обсягів ресурсів, необхідних для проведення заходів реагування, встановлення цілей забезпечення людськими і матеріальними ресурсами, їх накопичення на місцях проведення робіт, у тому числі й паралельно з проведенням ліквідаційних заходів.

Виходячи з наведеного вище, комп'ютерна система для планування складу черг паралельного досягнення цілей повинна враховувати наявність необхідних для цього ресурсів, можливість доступу до місць проведення заходів, умови місцевості, тривалість виконання операцій з досягнення цілі, що передусє даній, резерв часу виконання усього комплексу робіт тощо.

Вибір сценарію досягнення цілі є важливим етапом мережецентричних методів управління реагуванням на надзвичайні ситуації.

Сценарії реалізації цілей відносяться до класу так званих неповних математичних моделей, що містять лише суттєві фактори, й які можуть бути формалізовані з певним ступенем точності. Ці моделі, у своїй більшості, застосовуються в задачах оцінювання різних варіантів управлінських рішень з розв'язування визначених завдань і враховують як об'єктивні дані, так й суб'єктивні дані ОПР [6].

Списки можливих сценаріїв для реалізації у мережецентричних методах локалізації надзвичайних ситуацій та ліквідації їх наслідків доцільно складати на підставі розглянутих вище алгоритмів дій оперативних штабів. Такі списки можуть бути доповнені або скорочені ОПР, а відповідні зміни внесені до пам'яті комп'ютерної системи.

Досвід реалізації сценаріїв ліквідації наслідків залізничних транспортних подій свідчить про те, що вони здійснюються поетапно, з використанням на

кожному етапі певних ресурсів протягом часу тривалості етапу. При нестачі ресурсів для кожного з таких етапів, реалізується більш пріоритетний етап. Очевидно, що кількість (обсяг) ресурсів (C_k), які необхідні для реалізації k -го сценарію, залежить від кількості ресурсів (C_{ki}), необхідних для кожного з n_k етапів. Тобто

$$C_k = \bigcup_{i=1}^{n_k} c_{ki}, \quad k = \overline{1, k}. \quad (1)$$

Якщо оцінка ефективності виконання i -того етапу k -го сценарію з урахуванням кількості наданого ресурсу ($d_{k,i}(c_{k,i})$), то сумарна ефективність досягнення цілі реалізації k стратегії може залежати від метода формування етапів їх виконання. Тобто виникає оптимізаційна задача формування етапів реалізації сценаріїв.

$$M = \sum_{i=1}^k \sum_{k=1}^{n_k} d_{k,i}(c_{k,i}) \rightarrow \max, c_k \leq \text{const}, \quad k = \overline{1, k}. \quad (2)$$

Враховуючи те, що термін часу ліквідації наслідків надзвичайної ситуації має обмеження, то

$$T \leq \sum_{i=1}^k \sum_{k=1}^{n_k} t_{k,i}(c_{k,i}). \quad (3)$$

Звідки виникає переборна задача знаходження етапів виконання сценаріїв у залежності від необхідних ресурсів для кожного етапу та наслідків надзвичайних ситуацій. Тобто задача зводиться до відомих методів сіткового планування виконання робіт.

Як вже відмічалось вище, ліквідація сходів рухомого складу з рейок, відбудова колії, контактної мережі, пристроїв СЦБ і зв'язку здійснюється спеціалізованими підрозділами, що входять до функціональної підсистеми [7]. Крім того, для ліквідації наслідків залізничних надзвичайних ситуацій залучаються також сили і засоби ЗСУ, МВС, ДСНС, які можуть бути розподілені на окремі підрозділи, навіть на окремі засоби (екскаватори, автомашини, бульдозери тощо).

Сценарії та їх етапи можуть мати різні пріоритети доступу, наприклад, раніше ніж проводити відбудову колії, необхідно ліквідувати наслідки розливу вантажу. Тобто до ресурсів, що поділяються для виконання різноманітних заходів (операцій, робіт) можна віднести територію з небезпечними зонами надзвичайної ситуації, технічні засоби, особовий склад ліквідаційних підрозділів, матеріальні та фінансові ресурси тощо.

Наявність таких ресурсів викликає необхідність синхронізації щодо забезпечення заданої дисципліни доступу до розподіленого ресурсу, а також для виконання робіт (операцій) у порядку суворої черговості. Множина робіт (операцій, процесів) створюють чергу з пріоритетом сценарію, якому вони

належать. При рівності пріоритетів, вони займають чергу у порядку їх надходження на обслуговування. У базі даних системи управління зберігається список робіт (операцій, процесів) із зазначенням їх пріоритетів та можливістю паралельного виконання, які можуть корегуватися у динаміці управління.

Синхронізація здійснюється за факторами виконання робіт або використання ресурсів або за тим та іншим. За двома факторами синхронізація здійснюється коли за технічними умовами можливе виконання певних робіт, але ресурсів для їх реалізації не вистачає, або вони використовуються для іншої роботи.

Комп'ютерна система управління для синхронізації сценаріїв може використовувати добре відомі у паралельному програмуванні змінні типу «подія» - s , оператори «заявити подію типу» (має вид $POSTs$) та «очікувати подію» (має вид $WAITs$). Оператор типу $WAITs$, якщо подія s не відбулася, затримує виконання процесу до моменту виникнення події s , після чого або продовжує, або ініціює виконання процесу. Оператор типу $POSTs$ відмічає, що подія s відбулася, й за заданою дисципліною дозволяє виконання затриманим процесам.

Наприклад, коли стає необхідність нейтралізації залізничної колії від пролитого небезпечного вантажу, операція $WAITs$ комп'ютерної системи управління забороняє проведення інших операцій, крім операції нейтралізації.

Ще однією особливістю ліквідації залізничних надзвичайних ситуацій є те, що черга сценаріїв на їх реалізацію будується з принципу їх значущості або технологічної необхідності. При цьому враховується гранично допустимий час реалізації i -го етапу k -го сценарію ($T_k(i)$), який порівнюється з фактичним часом $t_k(i)$. Коли $t_k(i) > T_k(i)$, це означає, що необхідно переглянути сценарій ліквідації надзвичайної ситуації.

Процес синхронізації може бути реалізований у комп'ютерній системі управління на основі загальної черги до всіх ресурсів або окремої черги до кожного ресурсу. Підсистема управління реалізацією сценаріїв містить у своєму складі засоби їх синхронізації та засоби розподілу загальних ресурсів між такими сценаріями.

Одним з напрямків оптимізації проведення аварійно-рятувальних та аварійно-відновних робіт є підвищення ефективності керування різноманітними ліквідаційними підрозділами на базі чітко побудованої системи управління цими силами і засобами в екстремальній ситуації з широким використанням сучасних інформаційних технологій, в тому числі, й систем підтримки прийняття рішень (СППР).

Система підтримки прийняття рішень керівника ліквідації аварії дозволить здійснювати інформаційне, аналітичне, організаційне й технічне забезпе-

чення ітеративного процесу аналізу надзвичайних ситуацій, які склалися внаслідок залізничних транспортних подій, підготовку й оцінювання варіантів рішень, вибір остаточного рішення для локалізації надзвичайної ситуації і ліквідації її наслідків. При цьому СППР повинна враховувати людський досвід дій в аналогічних ситуаціях в минулому, але не сліпо його копіювати в ситуації, що відбулася, виконувати вимоги чинних директивних документів щодо організації робіт, передбачати можливість зміни рішення при зміні ситуації. Тобто СППР повинна мати можливості сприймання та опрацювання оперативної вербальної та графічної інформації, а також мати бази даних та знань. Найбільш поширеним та практично опрацьованим апаратом для представлення знань, необхідних для прийняття рішень, є метод продукцій штучного інтелекту [8].

Розглянемо на прикладі умовної залізничної надзвичайної ситуації процес вироблення продукційних правил бази даних комп'ютерної системи управління щодо формування цілей та їх реалізації в ситуації (S_1), коли на перегоні (його позначенням згідно з прийнятими символами є « pee'_2 » [9]) одноколіїної (pee''_6) електрифікованої ділянки (pee''_8) залізничної колії стався схід поодинокого рухомого складу ($sers'_1$). Інформація про характер сходу і ушкодження елементів інфраструктури залізниці відсутня (si'_3).

Продукційне правило, яке описує ситуацію s_1 , має вигляд:

$$s_1 : [(((pee'_2 \wedge pee''_6 \wedge pee''_8) \wedge sers'_1) \wedge si'_3)] \quad (4)$$

Досвід організації ліквідації подібних транспортних подій, який обумовлений вимогами чинних документів з організації аварійно-відновних робіт і руху поїздів, дозволяє комп'ютерній системі управління сформулювати рекомендацію (Re_1), продукційне правило якої визначається виразом:

$$Re_1 : (s_1 \rightarrow Om'' \wedge CR \wedge gw_3^{IV}). \quad (5)$$

Рекомендація (Re_1) визначає паралельне проведення заходів щодо організації руху поїздів за резервними маршрутами (Om''), розвідки місця транспортної події (CR) і організації зв'язку за резервною схемою (gw_3^{IV}).

Нехай результатами розвідки (ER) буде: на перегоні (pee'_2) з насипом прямої ділянки колії без ухилу (pee''_2) сталося сходження з рейок поодинокого рухомого складу ($sers'_1$) із сходженням з рейок одного візка, який вийшов з конструктивного шкворневого з'єднання з рамою вагона і перебуває під кузовом вагона ($sers''_5$). Пошкоджені проміжні опори контактної мережі (\bar{cus}'_1), пристрої СЦБ і зв'язку (\bar{cus}'_2) і колія з аварійним рухомим складом

($\overline{cus'_3}$). Вантаж не ушкоджений (sdg'_6), узбіччя дозволяє розташування відновної техніки (sus'_5).

Продукційне правило результату розвідки (ER_1) має вигляд:

$$ER_1 : \left[\begin{array}{c} (pee'_2 \wedge pee'_1) \wedge \\ \wedge (sers'_1 \wedge sers'_5) \wedge \bigwedge_{i=1}^3 \overline{cus'_i} \wedge cus'_5 \wedge sdg'_6 \end{array} \right]. \quad (6)$$

Документи, які регламентують проведення аварійно відновних робіт (RW), визначається, що до складу таких робіт входять операції з постановки рухомого складу на рейки (RW') відбудови залізничної колії (RW'''), контактної мережі (RW''), пристроїв СЦБ і зв'язку (RW^{IV}), тобто:

$$ER_1 \rightarrow \rightarrow \left[RW : (RW' \wedge RW''' \wedge RW'' \wedge RW^{IV}) \right]. \quad (7)$$

Чинні документи з організації відновних робіт визначають можливість звільнення залізничної колії від аварійного рухомого складу двома способами: постановкою аварійного рухомого складу на рейки з подальшою евакуацією ($gw'_2 (T'_2)$), за умови, що аварійна залізнична ділянка колії не має напруженого руху, або скиданням аварійного рухомого складу під укіс ($gw'_3 (T'_3)$), якщо ділянка має напружений графік руху поїздів (T).

Продукційне правило, яке визначає способи звільнення залізничної колії від аварійного рухомого складу має вираз:

$$RW' \leftarrow \leftarrow [gw'_2(T'_2 \leq T) \vee gw'_3((T'_3 \ll T_2) \wedge (T_2 > T))]. \quad (8)$$

Умова постановки аварійного рухомого складу на рейки визначається за допомогою продукційного правила:

$$gw'_2(T'_2) : [((sers'_1 \wedge sers'_5) \wedge cus'_5 \wedge sdg'_6) \rightarrow \rightarrow ((gw'_{24}(T'_{24}) \vee gw'_{25}(T'_{25}))], \quad (9)$$

де $gw'_{24}(T'_{24})$ – постановка аварійного рухомого складу на рейки за допомогою залізничного вантажопідйомного крану за час T'_{24} ;

$gw'_{25}(T'_{25})$ – проведення аналогічної операції за допомогою автокрану, розташованого на узбіччі залізничної колії, за час T'_{25} .

Умова скидання аварійного рухомого складу під укіс визначається продукційним правилом:

$$gw'_3(T'_3) : \left[\begin{array}{c} ((sers'_1 \wedge sers'_5) \wedge cus'_5 \wedge sdg'_6 \wedge \\ \wedge ((T'_2 \geq T) \wedge (T'_3 < T)) \end{array} \right]. \quad (10)$$

Виходячи з того, що залізнична колія з аварійним рухомим складом ушкоджена ($\overline{cus'_3}$), а ділянка не напружена, комп'ютерна система формує продукційні правила можливих способів прибирання аварійного рухомого складу:

$$gw'_2(T'_2) :$$

$$: [((sers'_2 \wedge sers'_5) \wedge \overline{cus'_3} \wedge cus'_5 \wedge sdg'_6) \rightarrow \rightarrow (gw'_{25}(T'_{25}) \vee RW''(T'')) \wedge gw'_{24})]. \quad (11)$$

Продукційне правило (11) визначає можливість виконання таких робіт за допомогою автокрану з узбіччя, або при попередньому виправленні ушкодженої колії та встановлення на ній залізничного вантажопідйомного крану.

Виправлення залізничної колії може здійснюватися за допомогою електричних шпалопідійок ($gw''(T''_1)$), підбиранням шпал ручними торцевими відбійниками ($gw''_2(T''_2)$), чи за допомогою виправно-підбивально-рятувальної машини циклічної дії типу ВІП ($gw''_3(T''_3)$) за своїми технологіями виконання робіт з урахуванням складу технологічних бригад комплекту механізмів. Тобто:

$$RW'' \leftarrow \leftarrow \left(\bigvee_{i=3}^3 gw''_i(T''_i) \right). \quad (12)$$

З метою визначення необхідної кількості сил і засобів для прибирання рухомого складу і визначення необхідного часу для зосередження цих сил на місці транспортної події комп'ютерна система управління здійснює відповідні розрахунки ($Det\{con_1(k'_i, x'_i, t'_{30ci})\}$) де con_1 необхідна кількість (k'_i) підрозділів різного призначення (x'_i) та часу їх зосередження на місці транспортної події (t'_{30ci}).

Результатами проведених розрахунків можуть бути такі дані:

$$\begin{aligned} & (t'_{30c25} + T'_{25}) < \\ 1) & < [(t'_{30ci} + \min gw'_i(T'_i) + (t'_{30c24} + T'_{24}))]; \\ & (t'_{30c25} + T'_{25}) \approx \\ 2) & \approx [(t'_{30ci} + \min gw'_i(T'_i) + (t'_{30c24} + T'_{24}))]; \\ & (t'_{30c25} + T'_{25}) > \\ 3) & > [(t'_{30ci} + \min gw'_i(T'_i) + (t'_{30c24} + T'_{24}))]. \end{aligned} \quad (13)$$

У першому випадку система формує рекомендацію для проведення другого етапу відновних робіт у вигляді правила:

$$Re_{21} : \left[\begin{array}{c} ((sers'_1 \wedge sers'_5) \wedge cus'_5 \wedge \overline{cus'_3} \wedge \\ \wedge sdg'_6) \rightarrow gw'_{25}(T'_{25} + t'_{30c}) \end{array} \right], \quad (14)$$

У третьому випадку система формує продукційне правило для Re_2 у вигляді:

$$Re_{22} : \left[\begin{array}{c} \left(\begin{array}{c} (sers'_1 \wedge sers'_5) \wedge \\ \wedge \overline{cus'_3} \wedge cus'_5 \wedge sdg'_6 \end{array} \right) \rightarrow \\ \rightarrow \left(\begin{array}{c} (\min gw'_i(T'_i) + \\ + (t'_{30ci}) \wedge gw'_{24} + T'_{24}) \end{array} \right) \end{array} \right], \quad (15)$$

де процесу прибирання аварійного рухомого складу із застосуванням залізничного вантажопідйомного крану передують процес відбудови залізничної колії.

У другому випадку комп'ютерна система управління враховує, наприклад, вартість проведення відновних робіт за умови, що ця вартість зростає при збільшенні тривалості проведення таких робіт.

Досвід ліквідації ушкоджень контактної мережі свідчить про те, що відновні роботи можуть проводитися аварійними бригадами автомотрис (автодрезин), які розташовуються на залізничній колії або аналогічними бригадами автопідйомників, які розташовуються на узбіччі залізничної колії. Такі роботи здійснюються, як правило, у два етапи: на першому етапі використовуються методи короткочасної чи тимчасової відбудови, а на другому – методи повної відбудови. Кожен з етапів здійснюється за певними технологіями [10].

Застосування автомотрис (автодрезин) для проведення робіт можливе за умови, що аварійний рухомий склад з колії прибраний і колія справна (відновні роботи на ній завершені), застосування автопідйомників можливе при вільному узбіччі залізничної колії.

Продукційне правило проведення відновних робіт контактної мережі має вид:

$$RW'' \leftarrow \left\{ \left[\left((rw''_{11}(T''_{11}) \wedge \text{cus}'_3(T_2)) \wedge ((T''_{11} > T_2) \wedge (T''_{11} < T_{\text{доп}})) \right) \vee \left((rw''_{12}(T''_{12}) \wedge \overline{\text{cus}}'_3(T_2) \wedge (T''_{12} > T_2)) \right) \vee \left((rw''_{21}(T''_{21}) \wedge \text{cus}'_5(T_2) \wedge ((T''_{21} > T_2) \wedge (T''_{21} < T_{\text{доп}})) \right) \vee \left((rw''_{22}(T''_{22}) \wedge \overline{\text{cus}}'_5(T_2) \wedge (T''_{22} < T_2)) \right) \right] \right\} \quad (16)$$

де $rw''_{11}(T''_{11})$ – здійснення короткочасної відбудови контактної мережі бригадами автомотрис (автодрезин);

$rw''_{21}(T''_{21})$ – здійснення повної відбудови контактної мережі бригадами автомотрис (автодрезин);

$rw''_{12}(T''_{12})$ – здійснення короткочасної відбудови контактної мережі бригадами автопідйомників;

$rw''_{22}(T''_{22})$ – здійснення повної відбудови контактної мережі бригадами автопідйомників;

$T_{\text{доп}}$ – час, який відведений для здійснення усього комплексу робіт, тобто для відновлення руху поїздів.

Визначенню допустимого часу проведення усього комплексу робіт та визначення імовірності його успішного завершення присвячено багато робіт, зокрема роботи [5].

Терміни часу T''_{11} , T''_{12} , T''_{21} , T''_{22} враховують час, необхідний для зосередження відновних аварійних бригад.

За умови, що роботи другого етапу завершені, залізнична колія відновлена, рекомендації для тре-

тього етапу визначаються за допомогою продукційного правила:

$$Re_{31} : \left[\begin{array}{l} (\text{Re}_2(T_2) \wedge \text{cus}'_3(T_2)) \wedge \\ ((T''_{11} > T_2) \wedge (T''_{11} < T_{\text{доп}})) \rightarrow \\ \rightarrow rw''_{11}(T''_{11}) \end{array} \right] \quad (17)$$

За умови, що роботи другого етапу не завершені, але узбіччя вільне, продукційне правило для третього етапу має вигляд:

$$Re_{32} : \left[\begin{array}{l} (\overline{\text{Re}}_2(T_2) \wedge \text{cus}'_5(T_2) \wedge \\ \wedge (T''_{12} < T_2)) \rightarrow rw''_{12}(T''_{12}) \end{array} \right] \quad (18)$$

Тобто роботи можна здійснювати паралельно з відповідними роботами другого етапу.

Якщо роботи другого етапу завершені успішно та є можливість проведення робіт з повного відновлення контактної мережі, тоді комп'ютерна система управління формує рекомендацію, яка визначається продукційним правилом:

$$Re_{33} : \left[\left[\left((\text{Re}_2(T_2) \wedge \text{cus}'_3(T_2) \wedge ((T''_{21} > T_2) \wedge (T''_{21} < T_{\text{доп}})) \right) \right) \rightarrow rw''_{21}(T''_{21}) \right] \right] \quad (19)$$

За умови, що роботи другого етапу не завершені та є можливість повного відновлення контактної мережі паралельно з роботами другого етапу, то система управління формує продукційне правило виду:

$$Re_{34} : \left[\left[\left((\overline{\text{Re}}_2(T_2) \wedge \text{cus}'_5(T_2) \wedge (T''_{22} < T_2)) \right) \rightarrow rw''_{22}(T''_{22}) \right] \right] \quad (20)$$

Із закінченням відбудовних робіт залізничної колії та контактної мережі, при відновленому на першому етапі телефонному зв'язку за резервною схемою, з'являється можливість відновлення руху поїздів при телефонних засобах зв'язку згідно з правилами, які встановлені відповідною інструкцією [2].

При прийнятті для виконання рекомендацій Re_{11} , Re_{22} , Re_{32} комп'ютерна система здійснює їх синхронізацію за схемою (рис. 1).

Висновки

Наведений приклад формального опису надзвичайної ситуації при залізничному перевезенні, опрацювання в середовищі СППР рекомендації щодо її локалізації та ліквідації наслідків такої ситуації за допомогою системи продукційних правил є першим науково-практичним досвідом такого роду в даній предметній області.

Наведений приклад є алгоритмом формування бази знань експертної системи, що є складовою СППР, яка може використовуватися як для опрацювання рішень в надзвичайних ситуаціях, так і для навчання персоналу процедурам прийняття рішень при взаємодії з СППР.

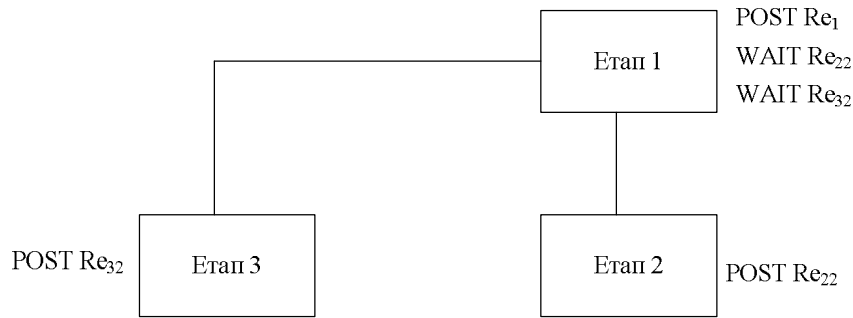


Рис. 1. Схема синхронізації виконання рекомендацій

Застосування описаного підходу до прийняття рішень у залізничних надзвичайних ситуаціях дозволить скоротити час прийняття обґрунтованого управлінського рішення.

Список літератури

1. Паришин Н.С. Концепции сетецентрического управления ВС США, Великобритании и ОВС НАТО. Общее и различия (2010) / Н.С. Паришин, Ю. Кожанов // *Зарубежное военное обозрение* / – 2010. – № 4. – С. 7-18.
2. Концепция сетецентрического управления сложной организационно-технической системой / [Тихонов А.И., Иванников А.Д., Соловьев И.В. и др.] – М.: МаксПресс, 2010. – 196 с.
3. Трахтенгерц Э.А. Сетецентрические методы компьютерного противодействия катастрофами рискам / Э.А. Трахтенгерц // *М. Управление большими системами*. – Вып. 41. – 2013. – С. 162-248.
4. Джордж Ф. Люггер. Искусственный интеллект : стратегии и методы решения сложных проблем. 4-е изд. / Джордж Ф. Люггер. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 864 с.
5. Нейман Д. Теория игр и экономическое поведение / Д. Нейман, О. Моргенштейн; пер. с англ.; под ред. Н.Н. Воробьева. – М.: Наука, 1970 – 708 с.
6. Малинецкий Г.Г. Сценарии, стратегические рис-ки, информационные технологии / Г.Г. Малинецкий //

Информационные технологии и вычислительные системы. – 2002. – № 4. – С. 83-108.

7. Положення про функціональну підсистему «Сили і засоби реагування на надзвичайні ситуації на залізничному транспорті» Міністерства транспорту та зв'язку України щодо запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру. Наказ МТЗУ від 08.12.2008 № 1436. К.: МТЗУ, 2008. – 32 с.

8. Хант Э. Искусственный интеллект / Э. Хант. Пер. с англ. Д.А. Белова и Ю.М. Крюкова под ред. В.Л. Стефанюка. – М.: Мир, 1978. – 558 с.

9. Юхимчук С.В. Моделі автоматизації вироблення рекомендацій керівнику гасіння пожежі на залізничному транспорті. Монографія / С.В. Юхимчук, М.Д. Кацман. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 144 с.

10. Методичні рекомендації щодо визначення нормативів часу на проведення аварійно-відновлювальних робіт із використанням основних технічних засобів відбудовних поїздів залізниць України / [Пузир В.Г., Крот В.С., Панасенко О.І., Ребриков С.Я.]. – К.: Укрзалізниця, 2009. – 148 с.

Надійшла до редколегії 17.02.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.І. Адаменко, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків.

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОСНОВЕ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ

В.К. Мироненко, М.Д. Кацман, В.И. Мацюк

Рассматриваются сетецентрические методы компьютерной поддержки управления ликвидацией железнодорожных чрезвычайных ситуаций, а также описаны новый формальный подход к принятию решений и производственные правила, применение которых в железнодорожных чрезвычайных ситуациях позволит сократить время принятия обоснованного управленческого решения.

Ключевые слова: сетецентрические методы, система поддержки принятия решений, метод продукций, производственные правила, искусственный интеллект, железнодорожные чрезвычайные ситуации.

CREATION PRE-CONDITIONS OF DECISION SUPPORT SYSTEM ON OF CONSEQUENCES LIQUIDATION OF RAILWAY EMERGENCY ON THE BASIS OF NETWORK-CENTRIC CONTROL METHODS

V.K. Mironenko, M.D. Kacman, V.I. Masyuk

We consider network-centric methods of computing decision-making support control of liquidation of rail emergency situations and we describe a new formal approach to decision-making and production rules, which being applied in rail way emergencies will reduce the decision making time reasonably.

Keywords: network-centric techniques, decision support system, production techniques, production rules, artificial intelligence, rail emergencies.