

УДК 656.21

М.Д. Кацман, О.Г. Родкевич

Державний економіко-технологічний університет транспорту, Київ

## ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Для стабільної роботи залізничного транспорту необхідна взаємодія технічно-розвинутого рухомого складу та інфраструктури з ефективною системою швидкого управління процесом ліквідації надзвичайних ситуацій. При створенні інформаційних моделей для визначення та ідентифікації екологічно-небезпечної надзвичайної ситуації було запропоновано враховувати екологічно небезпечні властивості небезпечних вантажів при їх взаємодії з певними зовнішніми факторами впливу, що дасть змогу покращити умови проведення ліквідаційних робіт.

**Ключові слова:** екологічно-небезпечна ситуація, надзвичайна ситуація, легкозаймисті рідини, залізничний транспорт, теорія систем, цистерна, аварійний вантаж.

### Вступ

Прийняття рішення керівником оперативної групи щодо ліквідації наслідків екологічно небезпечної надзвичайної ситуації потребує інформації про поточний стан такої ситуації та найбільш можливий її фінальний стан.

Для створення інформаційних моделей на підставі інформації про зовнішні ознаки надзвичайної ситуації, яка супроводжується пожежею небезпечного вантажу, був запропонований підхід, докладно викладений у роботах [1 – 3].

Однак, при створенні інформаційних моделей на базі такого підходу не були враховані екологічно небезпечні властивості небезпечних вантажів щодо їх взаємодії з повітрям, водою, лугами, кислотами тощо, а також при нагріванні, горінні та вибуху цих вантажів.

Врахування таких особливостей небезпечних вантажів у надзвичайній ситуації дає керівнику оперативної групи змогу більш повно визначити заходи, спрямовані на захист навколишнього природного середовища, умов проведення ліквідаційних робіт та захист працюючих.

### Результати досліджень

На підставі аналізу робіт, в яких розглядаються питання ліквідації екологічно небезпечних надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті, і загальної теорії систем, теоретико-множинну модель, яка відображує причинно-наслідкові зв'язки процесів, що створюють надзвичайну ситуацію, задамо виразом [5]:

$$S = \{CS(t_1), FS(t_2)\}, \quad (1)$$

де  $S$  – множина надзвичайних ситуацій;

$CS(t_1), FS(t_2)$  – множини поточних та фінальних станів цих надзвичайних ситуацій, відповідно;

$t_2 = t_1 + t_{рп}$ ,  $t_{рп}$  – тривалість розвитку надзвичайної ситуації,  $t_1$  – початок розвитку надзвичайної ситуації.

Поточні стани надзвичайних ситуацій визначаємо з урахуванням їх екологічно небезпечних впливів, кортежем [3]:

$$CS(t_1) = \{E, \Gamma, X, Z, \Omega, \Xi, \Delta, T, EH\}. \quad (2)$$

Розглянемо складові кортежу (2). Множина  $E$  визначає сукупність ознак характеру горіння небезпечної речовини, елементами якої є ознаки факельного горіння пари над горловиною цистерни ( $\epsilon_1^{\mu}$ ), факельного горіння з пробоїни або запобіжного клапану ( $\epsilon_2^{\mu}$ ), віялового факельного горіння над дихальною арматурою ( $\epsilon_3^{\mu}$ ), горіння витікання з пробоїни ( $\epsilon_4^{\mu}$ ) і горіння розливу ( $\epsilon_5^{\mu}$ ).

Позначка  $\mu$  визначає тип небезпечної речовини:  $z$  – ЗВГ,  $л$  – ЛЗР і  $г$  – ГР.

Ознаки впливу пожежі небезпечної речовини на аварійну та сусідню цистерну містить у собі множина  $\Gamma$ , яка складається з підмножин  $\Gamma'$ ,  $\Gamma''$  і  $\Gamma'''$ . Підмножина  $\Gamma' \subset \Gamma$  визначає ознаки впливу пожежі небезпечної речовини на аварійну цистерну. До неї належить ознака наявності безпосереднього контакту факелу полум'я з корпусом аварійної цистерни ( $\gamma_1'$ ) та ознака наявності обтікання факелом полум'я корпусу аварійної цистерни ( $\gamma_2'$ ).

Підмножина  $\Gamma'' \subset \Gamma$  визначає аналогічні ознаки стосовно сусідньої цистерни ( $\gamma_1''$  і  $\gamma_2''$ , відповідно).

Підмножина  $\Gamma''' \subset \Gamma$  визначає ознаки впливу пожежі небезпечної речовини на пристрої підйомного механізму.

Наявність контакту факелу полум'я із стропами підйомного механізму –  $\gamma_1'''$ .

Ознаки стану аварійної цистерни стосовно вантажу складають множину  $X$ , яка складається з підмножин  $X'$ ,  $X''$  і  $X'''$ .

Підмножина  $X' \subset X$  визначає наявність пробоїни з витіканням речовини  $\chi_1'$  або розливу небезпечної речовини ( $\chi_2'$ ).

Підмножина  $X'' \subset X$  складається з ознак величин інтенсивності витікання речовини та інтенсивності виходу пари нафтопродуктів скрізь нещільності між кришкою та заправною горловиною цистерни.

Так,  $\chi_1''$  визначає невелику інтенсивність витікання речовини залежно від перерізу площі отвору пробоїни, а  $\chi_2''$  – таку же інтенсивність від довжини струменю витікання речовини;  $\chi_3''$  означає низький розхід речовини у залежності від довжини струменю витікання;  $\chi_4''$  визначає інтенсивний вихід пари нафтопродуктів скрізь нещільності між кришкою та заправною горловиною цистерни.

Підмножина  $X''' \subset X$  складається з ознак ступеню заповнення цистерни небезпечним вантажем:  $\chi_1'''$  – аварійна цистерна заповнена частково ( $e < 0,85$ ),  $\chi_2'''$  – аварійна цистерна не заповнена ( $e \approx 0$ ),  $\chi_3'''$  – цистерна заповнена повністю ( $e = 0,85$ ).

Множина  $Z$  складається з ознак впливу горіння витікання речовини на аварійну і сусідню цистерну і встановлює факт обтікання корпусу аварійної ( $\zeta_1$ ) або сусідньої цистерни ( $\zeta_2$ ) факелом полум'я цього витікання.

Ознаки впливу іншої (сусідньої) пожежі на аварійну цистерну складають множину  $\Omega$ , до якої належать ознаки знаходження цистерни у зоні горіння ( $\omega_1$ ) або теплового впливу ( $\omega_2$ ) цієї пожежі.

Множина  $\Xi$  складається з ознак впливу полум'я іншої (сусідньої) пожежі на корпуси аварійної або сусідньої цистерни і встановлює факт охоплення полум'ям пожежі корпусу аварійної ( $\xi_1$ ) або сусідньої ( $\xi_2$ ) цистерни. Ознака  $\xi_3$  належать наявність контакту полум'я пожежі з корпусом аварійної цистерни.

Ознаки стану довкілля і погодних умов містяться у множині  $\Delta$ . До неї відносяться ознаки наявності в оточуючому просторі будівель, споруд, рухомого складу та ін., тобто ознаки  $\delta_1$  заставленого простору та величин швидкості вітру  $\delta_2 \leq 5 \text{ м/с}$ ,  $5 \text{ м/с} < \delta_3 \leq 10 \text{ м/с}$ ,  $\delta_4 > 10 \text{ м/с}$ , ознака  $\delta_5$  визначає напрямок вітру, який сприяє проведенню робіт з ліквідації пожежі. Ознака  $\delta_6$  визначає, що рівень вибухонебезпечних концентрацій у хмарі ППС вище нижньої межі розповсюдження полум'я,  $\delta_7$  означає, що температура повітря менше температури кипіння речовини.

Множина  $T$  складається з термінів часу.

Ознаки (прикмети, властивості, особливості) екологічної безпеки при взаємодії небезпечних вантажів з повітрям, водою, речовинами довкілля, при нагріванні, горінні та вибуху небезпечних речовин, містяться у множині  $EH$ . Множина  $EH$  складається з підмножин  $EHA$ ,  $EHW$ ,  $EHS$ ,  $EHN$ ,  $EHV$ ,  $EHE$ .

Підмножина  $EHA \subset EH$  містить ознаки екологічної безпеки при взаємодії аварійного вантажу з повітрям. До неї належать ознаки  $eha_1$  – утворює токсичний пил;  $eha_2$  – пара накопичується в низинах, підвалах, тунелях;  $eha_3$  – пара утворює вибухонебезпечні суміші;  $eha_4$  – реагує з виділенням великої кількості тепла;  $eha_5$  – самозаймається;  $eha_6$  – розкладається з виділенням тепла;  $eha_7$  – самозаймається з утворенням вибухонебезпечних сумішей;  $eha_8$  – випромінює  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  промені за умови руйнування пакування;  $eha_9$  – утворює горючу концентрацію пари над поверхнею розлитої речовини при температурі ( $t_0$ ) довкілля;  $eha_{10}$  – горюча;  $eha_{11}$  – летка.

Ознаки взаємодії аварійного небезпечного вантажу з водою знаходяться у підмножині  $EHW \subset EH$ , а саме:  $ehw_1$  – не розчинна (не реагує);  $ehw_2$  – реагує бурхливо;  $ehw_3$  – утворює легкозаймисті гази;  $ehw_4$  – вибухає;  $ehw_5$  – виділяє велику кількість тепла  $ehw_6$  – забруднює водоймища;  $ehw_7$  – розкладається;  $ehw_8$  – утворює горючі гази;  $ehw_{81}$  – утворює корозійні горючі гази;  $ehw_9$  – утворює токсичні гази;  $ehw_{91}$  – утворює токсичні гази з розігріванням;  $ehw_{92}$  – утворює їдкі токсичні гази;  $ehw_{10}$  – розчинна у воді;  $ehw_{11}$  – легше за воду.

У підмножині  $EHS \subset EH$  містяться ознаки взаємодії аварійного вантажу з речовинами довкілля:  $ehs_1$  – утворює вибухонебезпечні суміші при взаємодії з горючими газами;  $ehs_2$  – вибухає при ударі і терті;  $ehs_3$  – займається при взаємодії з лугами;  $ehs_4$  – виділяє велику кількість тепла при взаємодії з кислотами;  $ehs_5$  – вибухає при взаємодії з мастилами (нафтопродуктами);  $ehs_6$  – викликає займання горючих матеріалів;  $ehs_7$  – корозійна;  $ehs_8$  – корозійна та окислююча;  $ehs_9$  – утворює займисті (горючі) гази при взаємодії з металами при зволоженні;  $ehs_{10}$  – сильний окисник;  $ehs_{11}$  – вибухає в суміші з органічними речовинами;  $ehs_{12}$  – самозаймається при контакті з окислювачами;  $ehs_{13}$  – кислотами розкладається з утворенням токсичних і

займистих газів;  $ehs_{14}$  – руйнує метали, скло, кераміку, інші матеріали;  $ehs_{15}$  – утворює горючі гази при взаємодії з металами;  $ehs_{16}$  – утворює токсичні гази при взаємодії з металами;  $ehs_{17}$  – вибухає в контакт з окислювачами і горючими речовинами;  $ehs_{18}$  – тверді залишки після випаровування рідини є сильними окислювачами.

Ознаки екологічної небезпеки при нагріванні небезпечного вантажу знаходиться у підмножині  $E_{HH} \subset E_H$ :  $ehh_1$  – виділяє токсичні гази;  $ehh_2$  – виділяє займистий газ;  $ehh_3$  – утворює з повітрям вибухонебезпечні суміші;  $ehh_4$  – розкладається з утворенням токсичних компонентів;  $ehh_5$  – розкладається з утворенням корозійних газів;  $ehh_6$  – ємкості (балони) вибухають;  $ehh_7$  – утворює токсичний газ (пар, аерозоль);  $ehh_8$  – розкладається з утворенням займистих газів;  $ehh_9$  – розкладається з вибухом;  $ehh_{10}$  – розкладається з утворенням кисню, що прискорює горіння;  $ehh_{11}$  – розкладається із самоприскоренням, яке може закінчитися вибухом;  $ehh_{12}$  – займається;  $ehh_{13}$  – у порожніх ємкостях утворюються вибухонебезпечні суміші;  $ehh_{14}$  – становить вибухонебезпечним;  $ehh_{15}$  – вибухає.

Підмножина  $E_{HV} \subset E_H$  містить екологічно небезпечні ознаки при горінні небезпечного вантажу:  $ehb_1$  – горить без доступу повітря;  $ehb_2$  – виділяє велику кількість тепла;  $ehb_3$  – горіння переходить у вибух;  $ehb_4$  – утворює радіоактивні аерозолі;  $ehb_5$  – виділяє велику кількість тепла з незначним ефектом вибуху;  $ehb_6$  – самозаймається після гасіння;  $ehb_7$  – підтримує горіння;  $ehb_8$  – займається від відкритого полум'я та іскор;  $ehb_9$  – утворює токсичні гази і аерозолі;  $ehb_{10}$  – займається від тертя;  $ehb_{11}$  – горить швидко із спалахом;  $ehb_{12}$  – при детонації можливе розкладання з вибухом.

У підмножині  $E_{HE} \subset E_H$  містяться ознаки екологічної небезпеки при вибуху небезпечного вантажу:  $ehe_1$  – вибухає масою;  $ehe_2$  – утворює токсичні аерозолі;  $ehe_3$  – утворює токсичні гази;  $ehe_4$  – вибухає під дією іншого вибуху;  $ehe_5$  – створює небезпечну зону (радіусом  $R, m$ ).

Властивості (ознаки, прикмети, особливості) небезпечних вантажів різних класів небезпеки докладно розглянуті у роботах [5, 6].

Множина фінальних станів  $FS(t_2)$   $FS(t_2)$  надзвичайних ситуацій містить у собі множини SE, ME, і HE, які визначають результати розвитку

таких ситуацій. Множина SE містить у собі фінальні стани надзвичайних ситуацій, коли загроза вибуху цистерни відсутня, множина ME складається із фінальних станів надзвичайних ситуацій, коли є певна загроза вибуху, а множина HE містить у собі фінальні стани з явною загрозою вибуху цистерни.

$$FS(t_2) = \{HE, ME, SE\}. \quad (3)$$

Наведені вирази (1) – (3) дають можливість запропонувати підхід до створення опису надзвичайних ситуацій на підставі визначених вище множин.

Для розроблення інформаційної моделі розвитку надзвичайної ситуації, яка супроводжується пожежею небезпечного вантажу, застосовується метод продукційних систем, який нині широко застосовується у теорії штучного інтелекту для побудови алгоритмів пошуку і моделювання розв'язання задач людиною. Продукційна система забезпечує управління процесом розв'язання задач за зразком та складається з набору продукційних правил, робочої пам'яті і циклу керування «опізнання – дія» [1].

Узагальнене продукційне правило щодо визначення результату розвитку надзвичайної ситуації визначимо виразом [1]:

$$\{e_i^{fc}\} = [\{cs_i(t)\} = \{e_a\} \wedge \{\gamma_b\} \wedge \{\chi_c\} \wedge \{\xi_d\} \wedge \{\omega_k\} \wedge \{\zeta_m\} \wedge \{\delta_q\} \wedge \{eha_e\} \wedge \{ehw_p\} \wedge \{ehc_n\} \wedge \{ehh_v\} \wedge \{ehb_w\} \wedge \{ehe_r\}] \rightarrow \{fs_1(t_2)\}, \quad (4)$$

де

$$e_i^{fc} \in S, e_a \in E, \gamma_b \in \Gamma, \chi_c \in X, \xi_d \in \Xi, \omega_k \in \Omega, \zeta_m \in Z, \delta_q \in \Delta, eha_e \in EHA, ehw_p \in EHW, ehs_n \in EHS, ehh_v \in EHH, ehb_w \in EHB, ehe_r \in EHE, fs_1(t_2) \in FS.$$

Не важко визначити, що загальна кількість можливих надзвичайних ситуацій  $N = 2^n$ , де  $n$  – загальна кількість ознак, що входять до множин, елементи яких використовуються для опису надзвичайної ситуації (4), складає більше 10000000.

На підставі визначених вище множин ознак і за допомогою узагальненого продукційного правила (4), розглянемо теоретико-множинні моделі екологічно небезпечних надзвичайних ситуацій із зрідженими (скрапленими, розчинними під тиском) вуглеводневими газами.

Розглянемо надзвичайні ситуації, наслідки яких мають явну загрозу вибуху.

Продукційне правило для надзвичайної ситуації з поточним станом, який характеризується факельним горінням ЗВГ з пробіони (запобіжного клапану), коли або існує безпосередній контакт полум'я з корпусом аварійної та сусідньої цистерни, або факел полум'я обтікає корпус однієї з цих цистерн, має вираз:

$$e_1^{HE} = ((cs_1(t_1) = \varepsilon_2^3 \wedge \chi'_1 \wedge ((\gamma'_1 \vee \gamma'_2) \vee (\gamma''_1 \vee \gamma''_2)) \wedge \wedge (ehb_9 \vee 17, 7ehh_1 \vee 11, 5ehh) \wedge 97, 5ehh_6) \rightarrow he_1(t_2), \quad (5)$$

Поточний та фінальний стани надзвичайної ситуації, коли цистерна з витіканням ЗВГ, що горить, знаходиться у зоні горіння іншої пожежі, причому факел полум'я витоку не обтікає корпуси аварійної та сусідньої цистерни, а факел полум'я пожежі обтікає корпус однієї з цих цистерн, визначаються за допомогою продукційного правила:

$$e_2^{HE} = ((cs_2(t_1) = \varepsilon_4^3 \wedge \chi' \wedge (\bar{\zeta}_1 \vee \bar{\zeta}_2) \wedge (\omega_1 \wedge (\xi_1 \vee \zeta_2) \wedge (ehb_9 \vee 17,7ehh_1 \vee 11,5ehh) \vee 97,5ehh_6)) \rightarrow he_2(t_2)). \quad (6)$$

Стани надзвичайної ситуації, коли факел полум'я витоку обтікає корпуси аварійної або сусідньої цистерни, визначаються правилом:

$$e_3^{HE} = ((cs_3(t_1) = \varepsilon_4^3 \wedge \chi' \wedge (\bar{\zeta}_1 \vee \bar{\zeta}_2) \wedge 97,5ehh_6)) \rightarrow he_3(t_2). \quad (7)$$

Продукційні правила для надзвичайної ситуації, коли цистерна з витіканням ЗВГ, що не горить, знаходиться у зоні горіння або теплового впливу іншої пожежі, визначаються виразами:

– з урахуванням взаємодії екологічно небезпечного вантажу з повітрям:

$$e_{41}^{HE} = ((cs_{41}(t_1) = \varepsilon_4^3 \wedge \chi_1^1 \wedge (\omega_1 \vee \omega_2) \wedge (88,5eha_2 \vee 56,8eha_3 \vee (17,7ehh_4 \vee 11,5ehh_5) \vee 97,5ehh_6)) \rightarrow he_{41}(t_2); \quad (8)$$

– з урахуванням взаємодії екологічно небезпечного вантажу з повітрям та водою:

$$e_{42}^{HE} = ((cs_{42}(t_1) = cs_{41}(t_1) \wedge (44ehw_6 \vee 2,5ehw_{81} \vee 0,4ehw_8)) \rightarrow he_{41}(t_2); \quad (9)$$

– з урахуванням взаємодії екологічно небезпечного вантажу з речовинами навколишнього природного середовища:

$$e_{43}^{HE} = ((cs_{43}(t_1) = cs_{41}(t_1) \wedge (2,5ehs_5 \vee 2,5ehs_6 \vee 9,1ehs_9 \vee 11,1ehs_7 \vee 1,2ehs_8)) \rightarrow he_{43}(t_2). \quad (10)$$

Стани надзвичайної ситуації, коли цистерна з високою інтенсивністю витікання ЗВГ, що не горить, знаходиться поза зоною теплового впливу іншої пожежі у оточуючому заставленому просторі при швидкості вітру менше 5м/с, визначаються продукційними правилами:

– з урахуванням взаємодії екологічно небезпечного вантажу з повітрям:

$$e_{51}^{HE} = ((cs_{51}(t_1) = \varepsilon_4^3 \wedge \chi_1^1 \wedge (\chi_1' \vee \chi_2'') \wedge \bar{\omega}_1 \wedge \bar{\omega}_2) \wedge \delta_1 \wedge \delta_2) \wedge (88,5eha_2 \vee 56,8eha_3)) \rightarrow he_{51}(t_2); \quad (11)$$

– з урахуванням взаємодії екологічно небезпечного вантажу з повітрям і водою:

$$e_{52}^{HE} = ((cs_{42}(t_1) = cs_{51}(t_1) \wedge (44ehw_6 \vee 2,5ehw_{81} \vee 0,4ehw_8)) \rightarrow he_{52}(t_2); \quad (12)$$

– з урахуванням взаємодії екологічно небезпечного вантажу з речовинами навколишнього природного середовища:

$$e_{53}^{HE} = ((cs_{53}(t_1) = cs_{52}(t_1) \wedge (2,5ehs_5 \vee 2,5ehs_6 \vee$$

$$9,1ehs_9 \vee 11,1ehs_7 \vee 1,2ehs_8)) \rightarrow he_{53}(t_2). \quad (13)$$

Стани надзвичайної ситуації, коли неушкоджена цистерна із ЗВГ знаходиться у зоні горіння іншої пожежі та існує контакт полум'я цієї пожежі з корпусом аварійної цистерни, визначаються співвідношенням:

$$e_6^{HE} = ((cs_6(t_1) = \varepsilon_6^3 \wedge \chi_1^{-1} \wedge \varepsilon_5^{3BГ} \wedge \omega_1 \wedge \xi_3 \wedge (17,7ehh_4 \vee 11,5ehh_5)) \rightarrow he_6(t_2); \quad (14)$$

$$\varepsilon_6^3 = (\varepsilon_1^{-3} \wedge \varepsilon_2^{-3} \wedge \varepsilon_3^{-3} \wedge \varepsilon_4^{-3}).$$

Продукційні правила для станів надзвичайної ситуації, коли неушкоджена цистерна з ЛЗР знаходиться у зоні горіння або теплового впливу іншої пожежі та існує вихід пари нафтопродукту скрізь нещільності між кришкою і заправочною горловиною цистерни, мають вирази:

– з урахуванням взаємодії ЛЗР з повітрям:

$$e_{71}^{HE} = ((cs_{71}(t_1) = \varepsilon_6^{ЛР} \wedge \chi_1' \wedge \varepsilon_5^{ЛЗР} \wedge \omega_1 \wedge \xi_3 \wedge (100eha_2 \vee 99,9ehh_6)) \rightarrow he_{71}(t_2); \quad (15)$$

– з урахуванням взаємодії ЛЗР з водою і речовинами довкілля:

$$e_{72}^{HE} = ((cs_{72}(t_1) = cs_{71}(t_1) \wedge (0,9ehw_9 \vee 1,4ehw_4 \vee 97,4ehw_6 \vee 40,6ehs_7)) \rightarrow he_{72}(t_2); \quad (16)$$

$$\varepsilon_6^{ЛР} = (\varepsilon_1^{-ЛР} \wedge \varepsilon_2^{-ЛР} \wedge \varepsilon_3^{-ЛР} \wedge \varepsilon_4^{-ЛР}).$$

Стани надзвичайної ситуації, коли неушкоджена порожня або частково заповнена цистерна з ЛЗР (ГР) знаходиться у зоні теплового впливу іншої пожежі та існує вихід пари нафтопродукту скрізь нещільності між кришкою та заправочною горловиною цистерни, визначаються продукційними правилами:

– з урахуванням взаємодії ЛЗР (ГР) з повітрям:

$$e_{81}^{HE} = ((cs_{81}(t_1) = \varepsilon_6^{ЛР} \wedge \bar{\chi}_1' \wedge (\bar{\chi}_1''' \vee \bar{\chi}_2''') \wedge \bar{\chi}_4'' \wedge (\omega_1 \vee \omega_2) \wedge (100eha_2 \vee 99,6eha_{13})) \rightarrow he_{82}(t_2); \quad (17)$$

– з урахуванням взаємодії ЛЗР (ГР) з водою і речовинами довкілля:

$$e_{82}^{HE} = ((cs_{82}(t_1) \wedge (0,9ehw_9 \vee 1,4ehw_4 \vee 97,4ehw_6 \vee 40,6ehs_7)) \rightarrow he_{82}(t_2). \quad (18)$$

Стани надзвичайної ситуації, яка характеризується тим, що неушкоджена цистерна із ЗВГ знаходиться у зоні горіння або теплового впливу іншої пожежі і нема контакту полум'я цієї пожежі з корпусом аварійної цистерни, визначається співвідношенням:

$$e_9^{HE} = ((cs_9(t_1) = \varepsilon_6^3 \wedge \chi_1' \wedge \varepsilon_6^{ЛЗР} \wedge (\omega_1 \vee \omega_2) \wedge \xi_3 \wedge 99,6ehh_6)) \rightarrow he_9(t_2). \quad (19)$$

Стани надзвичайної ситуації, коли цистерна з великою інтенсивністю витікання ЗВГ, що не горить, знаходиться у незаставленому просторі, поза зоною теплового впливу іншої пожежі, при швидкості вітру більше 5 м/с, при умовах, що 56,8 % пари

таких вантажів утворюють вибухонебезпечні суміші з повітрям та 2,5% ЗВГ при взаємодії з мастилами (нафтопродуктами) вибухають, визначаються продукційним правилом:

$$e_{10}^{HE} = ((cs_{10}(t_1) = \bar{\varepsilon}_4^3 \wedge \chi'_1 \wedge (\bar{\chi}''_1 \vee \bar{\chi}''_2)) \wedge \bar{\omega}_1 \wedge \bar{\omega}_2) \wedge \bar{\delta}_1 \wedge \bar{\delta}_3 \wedge (56,8eha_3 \vee 2,5ehs_5) \rightarrow he_{10}(t_2). \quad (20)$$

Продукційне правило для станів надзвичайної ситуації, коли неушкоджена цистерна з ЛЗР (ГР) знаходиться у зоні теплового впливу іншої пожежі та нема виходу пари нафтопродукту скрізь нещільності між кришкою та заправочною горловиною цистерни, має вираз:

$$e_{13}^{HE} = ((cs_{13}(t_1) = \varepsilon_6^{ЛГ} \wedge \bar{\chi}'_1 \wedge \omega_2 \bar{\chi}''_1 \wedge \bar{\chi}''_1 \wedge 99,6ehh_6) \rightarrow he_{13}(t_2). \quad (21)$$

Стани надзвичайної ситуації, коли неушкоджена порожня або частково заповнена цистерна з ЛЗР (ГР) знаходиться у зоні теплового впливу іншої пожежі і не існує виходу пари нафтопродукту, визначаються продукційним правилом вигляду:

$$e_{14}^{HE} = ((cs_{14}(t_1) = \varepsilon_6^{ЛГ} \wedge \bar{\chi}'_1 \wedge (\bar{\chi}''_1 \vee \bar{\chi}''_2) \wedge (\omega_1 \vee \omega_2) \wedge \bar{\chi}''_4 \wedge 99,6ehh_6) \rightarrow he_{14}(t_2). \quad (22)$$

Надзвичайна ситуація, стани якої характеризуються одночасним горінням цистерни з ЛЗР (ГР) і рідини, що розливається, визначається продукційним правилом:

$$e_{15}^{HE} = ((cs_{15}(t_1) = \varepsilon_7^{ЛГ} \wedge (\omega_1 \vee \omega_2) \wedge \varepsilon_5^{ЛЗГ} \wedge (99,6ehh_6 \vee 53,7ehb_9)) \rightarrow he_{15}(t_2); \quad (23)$$

$$\varepsilon_7^{ЛГ} = \varepsilon_1^{ЛГ} \vee \varepsilon_2^{ЛГ} \vee \varepsilon_3^{ЛГ} \vee \varepsilon_4^{ЛГ}.$$

Розглянемо продукційні правила для надзвичайних ситуацій з наслідками з множини ME.

Стани надзвичайної ситуації, коли цистерна з витіканням ЗВГ, що горить, знаходиться у зоні горіння іншої пожежі, полум'я якої контактує з нижньою частиною корпусу аварійної або сусідньої цистерни, а факел полум'я витікання не обтікає корпуси цих цистерн, визначаються продукційними правилами вигляду:

$$e_{11}^{ME} = ((cs_{11}(t_1) = (\varepsilon_4^3 \wedge \chi'_1 \wedge (\bar{\xi}_1 \wedge \bar{\xi}_2) \wedge \varepsilon_3^{ЛЗГ} \wedge \omega_1 \wedge \bar{\xi}_3 \wedge (20,6ehb_9 \vee 17,7ehh_1 \vee 11,5ehh_5)) \rightarrow me_{11}(t_2); \quad (24)$$

– з урахуванням взаємодії ЗВГ з водою та речовинами довкілля:

$$e_{12}^{ME} = ((cs_{12}(t_1) = ((cs_{11}(t_1) \wedge (0,5ehw_9 \vee 0,5ehw_4 \vee 2,5ehs_5 \vee 9,1ehs_{15})) \rightarrow me_{12}(t_2). \quad (25)$$

Надзвичайна ситуація, яка характеризується знаходженням цистерни з витіканням речовини, що горить, у зоні теплового впливу іншої пожежі та факел полум'я витікання не обтікає корпуси аварійної та сусідньої цистерни, визначається співвідношенням:

$$e_{21}^{ME} = ((cs_{21}(t_1) = (\varepsilon_4^3 \wedge \chi'_1 \wedge (\bar{\xi}_1 \wedge \bar{\xi}_2) \wedge \varepsilon_5^{ЛЗГ} \wedge \omega_2 \wedge (20,6ehb_9 \vee 17,7ehh_1 \vee 11,5ehh_5)) \rightarrow me_{21}(t_2); \quad (26)$$

– з урахуванням взаємодії ЗВГ з водою та речовинами довкілля:

$$e_{22}^{ME} = ((cs_{22}(t_1) = ((cs_{21}(t_1) \wedge (0,5ehw_3 \vee 0,5ehw_4 \vee 2,5ehs_5 \vee 9,1ehs_{15})) \rightarrow me_{22}(t_2). \quad (27)$$

Стани надзвичайної ситуації, коли цистерна з великою інтенсивністю витікання ЗВГ, що не горить, знаходиться у незаставленому просторі, поза зоною теплового впливу іншої пожежі, при швидкості вітру більше 5 м/с, визначається виразом:

$$e_{31}^{ME} = ((cs_{31}(t_1) = (\varepsilon_6^3 \wedge \chi'_1 \wedge (\bar{\chi}''_1 \wedge \bar{\chi}''_2)) \wedge (\bar{\omega}_1 \wedge \bar{\omega}_2) \wedge \delta_1 \wedge \delta_3 \wedge 88,5eha_2 \vee 0,4eha_5 \vee 25,5eha_{11}) \rightarrow me_{31}(t_2); \quad (28)$$

– з урахуванням взаємодії ЗВГ з водою та речовинами довкілля:

$$e_{32}^{ME} = ((cs_{32}(t_1) = ((cs_{31}(t_1) \wedge (44ehw_6 \vee 2,5ehw_{81} \vee 0,4ehw_8 \vee 2,5ehs_6 \vee 11,1ehs_7 \vee 1,2ehs_8 \vee 9,1ehs_9)) \rightarrow me_{32}(t_2). \quad (29)$$

Надзвичайна ситуація, стани якої характеризуються знаходженням цистерни з невеликою інтенсивністю витікання ЗВГ, що не горить, у незаставленому просторі поза зоною теплового впливу іншої пожежі, при швидкості вітру більше за 5 м/с, визначається продукційним правилом:

$$e_{41}^{ME} = ((cs_{41}(t_1) = (\varepsilon_4^3 \wedge \chi'_1 \wedge (\bar{\chi}''_1 \wedge \bar{\chi}''_2)) \wedge (\bar{\omega}_1 \wedge \bar{\omega}_2) \wedge \bar{\delta}_1 \wedge \bar{\delta}_3 \wedge (88,5eha_2 \vee 0,4eha_5 \vee 25,5eha_{11}) \rightarrow me_{41}(t_2); \quad (30)$$

– з урахуванням взаємодії з водою та речовинами довкілля:

$$e_{42}^{ME} = ((cs_{42}(t_1) = ((cs_{41}(t_1) \wedge (44ehw_6 \vee 2,5ehw_{81} \vee 0,4ehw_8 \vee 2,5ehs_6 \vee 11,1ehs_7 \vee 1,2ehs_8 \vee 9,1ehs_9)) \rightarrow me_{42}(t_2). \quad (31)$$

Продукційне правило для станів надзвичайної ситуації, коли цистерна з невеликою інтенсивністю витікання ЗВГ, що не горить, знаходиться поза зоною теплового впливу іншої пожежі у заставленому просторі при швидкості вітру менше 5 м/с, визначається виразом:

$$e_{51}^{ME} = ((cs_{51}(t_1) = \varepsilon_4^3 \wedge (\chi'_1 \wedge (\chi''_1 \vee \chi''_2)) \wedge (\bar{\omega}_1 \wedge \bar{\omega}_2) \wedge \delta_1 \wedge \delta_2 \wedge 88,5eha_2 \vee 0,4eha_5 \vee 25,5eha_{11}) \rightarrow me_{51}(t_2); \quad (32)$$

– з урахуванням взаємодії з водою та речовинами довкілля:

$$e_{52}^{ME} = ((cs_{52}(t_1) = ((cs_{51}(t_1) \wedge (44ehw_6 \vee 2,5ehw_{81} \vee 0,4ehw_8 \vee 2,5ehs_6 \vee 11,1ehs_7 \vee 1,2ehs_8 \vee 9,1ehs_9)) \rightarrow me_{52}(t_2). \quad (33)$$

Визначимо продукційні правила для надзвичайних ситуацій з фінальними станами, які належать до множини SE.

Стани надзвичайної ситуації, коли відбувається горіння пари ЗВГ над горловиною цистерни, визначаються виразом:

$$e_1^{SE} = ((cs_1(t_1) = \varepsilon_1^3 \wedge \chi_1' \wedge 20,6ehb_4) \rightarrow se_1(t_2)). \quad (34)$$

Надзвичайна ситуація, коли відбувається факельне горіння ЗВГ з пробоїни або запобіжного клапану і не існує безпосереднього контакту факелу полум'я з корпусом аварійної та сусідньої цистерни, визначається продукційним правилом:

$$e_2^{SE} = ((cs_2(t_2) = \varepsilon_2^3 \wedge \chi_1' \wedge ((\gamma_1' \wedge \gamma_2') \vee (\gamma_1'' \wedge \gamma_2'')) \wedge 20,6ehb_4)) \rightarrow se_2(t_2). \quad (35)$$

Надзвичайна ситуація, стани якої характеризуються наявністю горіння ЛЗР, що витікає кризь нижній зливний прилад (пробоїну у нижній частині казана), і коли факел полум'я не обтікає корпуси аварійної та сусідньої цистерн, визначається продукційним правилом:

$$e_3^{SE} = ((cs_3(t_1) = \varepsilon_3^1 \wedge \chi_1' \wedge (\gamma_1' \wedge \gamma_2'') \wedge (53,7ehb_4 \vee 40,6ehs_7 \vee 44ehw_6)) \rightarrow se_3(t_2)). \quad (36)$$

Стани надзвичайної ситуації, коли відбувається горіння пари ЛЗР (ГР) над горловиною цистерни, визначається:

$$e_4^{SE} = ((cs_4(t_1) = \varepsilon_4^1 \wedge \chi_1' \wedge 5367ehb_4) \rightarrow se_4(t_2)). \quad (37)$$

## Висновок

Таким чином, із загрозою вибуху при горінні небезпечних вантажів пов'язані 15% усіх ситуацій множини NE.

30% усіх ситуацій множини ME та 100% множини SE пов'язані з горінням небезпечних вантажів.

## Список літератури

1. Юхимчук С.В. Продукційні моделі для визначення небезпечних ситуацій в спеціалізованих комп'ютерних системах підтримки і прийняття рішень / С.В. Юхимчук, Л.М. Захарченко, М.Д. Кацман // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2005. – № 4, 4.1, т.2 (68). – С. 16-19.
2. Кацман М.Д. Продукційні моделі для вироблення рекомендацій щодо гасіння пожеж небезпечних вантажів у СППР керівників ліквідації надзвичайних ситуацій / М.Д. Кацман // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2005. – № 3. – С. 58-63.
3. Юхимчук С.В. Використання інтелектуальних технологій для аналізу надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті / С.В. Юхимчук, Т.О. Савчук, М.Д. Кацман // Системні дослідження та інформаційні технології. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – № 4. – С. 53-61.
4. Юхимчук С.В. Моделі автоматизації вироблення рекомендацій керівнику гасіння пожеж на залізничному транспорті: монографія / С.В. Юхимчук, М.Д. Кацман. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. – 144 с.
5. Кацман Михаил. Вероятностная модель определения эффективности действий по локализации экологических последствий транспортных событий / Михаил Кацман, Светлана Мирошниченко // Zbornik vedeckých a odborných prác Medzinárodná vedecko-odborná konferencia RIADENIE BEZPEČNOSTI ZLOŽITÝCH SYSTÉMOV, 24-28.02.2014, Liptovský Mikuláš, Slovakia. – С. 265-272.
6. Кацман М.Д. Аналіз впливу на екологічний стан довкілля основних властивостей небезпечних вантажів, що перевозяться залізничним транспортом / М.Д. Кацман, М.І. Адаменко // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Х.: ХУ ІС, 2012. – Вип. 5(103). – С. 158-164.

Надійшла до редколегії 12.12.2014

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

## ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

М.Д. Кацман, О.Г. Родкевич

Для стабильной работы железнодорожного транспорта необходимо взаимодействие технически-развитого подвижного состава и инфраструктуры с эффективной системой оперативного управления процессом ликвидации чрезвычайных ситуаций. При создании информационных моделей для определения и идентификации экологически-опасной чрезвычайной ситуации было предложено учитывать экологически опасные свойства опасных грузов при их взаимодействии с определенными внешними факторами влияния, что позволит улучшить проведение ликвидационных работ.

**Ключевые слова:** экологически-опасная ситуация, чрезвычайная ситуация, легковоспламеняющееся вещество, железнодорожный транспорт, теория систем, цистерна, аварийный груз.

## INFORMATIVE MODEL OF AUTHENTICATION ECOLOGICALLY OF EXTRAORDINARY NEAR-ACCIDENTS

M.D. Katsman, O.G. Rodkevich

For stable operation of rail transport the interaction of technically-advanced rolling stock and infrastructure with effective operational management of processes dealing with emergencies is necessary. While creating data models for the detection and identification of environmentally-hazardous emergency it was suggested to take into account environmentally hazardous properties of dangerous goods during their interaction with a specific external influences. This proposal will improve the conduction of liquidation.

**Keywords.** environmentally dangerous situation, emergencies, flammable liquids, railway transport, theory of the systems, cistern, emergency load.