

УДК 656.022:656.081

**ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ НАСЛІДКІВ ВИНИКНЕННЯ
НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ
НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ**

Канд. техн. наук С.І. Музикіна

**ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ ПРИ
ПЕРЕВОЗКЕ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ**

Канд. техн. наук С.И. Музыкина

**FORMING PREDICTION MODELS CONSEQUENCES OF APPEARANCE OF EMERGENCIES
AT RAILWAY TRANSPORT IN CARRIAGE OF DANGEROUS GOODS**

Cand. of techn. sciences S.I. Muzykina

У даній статті сформована модель прогнозування наслідків виникнення надзвичайних ситуацій з небезпечними вантажами на залізничному транспорті. В дослідженні використано підхід до побудови моделі прогнозування на основі логіко-лінгвістичних висловлювань, які описують складний процес розвитку аварійної ситуації у вигляді експертних правил з використанням нечіткої логіки. Для формалізації логіко-лінгвістичного опису розвитку та наслідків аварії в дослідженні запропоновано використати спосіб подання знань на основі ієрархічного нечіткого логічного висновку.

Ключові слова: небезпечні вантажі, аварійна ситуація, прогнозування, модель, нечітка логіка.

В данній статтє сформирована модель прогнозування последствий возникновения чрезвычайных ситуаций с опасными грузами на железнодорожном транспорте. В исследовании использован подход к построению модели прогнозирования на основе логико-лингвистических высказываний, которые описывают сложный процесс развития аварийной ситуации в виде экспертных правил с использованием нечеткой логики. Для формализации логико-лингвистического описания развития и последствий аварии в исследовании предложено использовать способ представления знаний на основе иерархического нечеткого логического вывода.

Ключевые слова: опасные грузы, аварийная ситуация, прогнозирование, модель, нечеткая логика.

In this article formed the model predict the consequences of appearance of emergencies with dangerous goods on the railway transport. The study used an approach to building a prediction model based on logical and linguistic expressions that describe the complex process of development of emergency in the form of expert rules using fuzzy logic. To formalize logical-linguistic description of the development and consequences of emergencies in the study proposed use knowledge representation method based on hierarchical fuzzy logical inference, represented as a tree, which consists of five interrelated knowledge bases. The proposed model can be the basis for the formation of the system of operational management transportation of dangerous goods and will allow expand a set of tasks of information-control system of planning and management transportation of dangerous goods on the railways of Ukraine. The result of forecasting is to determine parameters that allow to evaluate the spatial characteristics of emergency, and as a result, execute modeling cascade of emergencies. For spatial bindings of prediction results in the study assumed availability of coordinates of location all wagons on station and district.

Keywords: dangerous goods, emergency situation, predicting, model, fuzzy logic.

Вступ. Ефективна реалізація плану перевезень небезпечних вантажів (НВ) на тактичному рівні залежить від організації та контролю процесів виконання поставлених завдань на рівні оперативного управління [3]. Прийнятий варіант перевезення вагонів з небезпечними вантажами на рівні плану формування вантажних поїздів не виключає організаційних помилок при оперативному управлінні, що можуть привести до транспортної події. Залежно від правильності прийнятих оперативних рішень диспетчерським персоналом при виникненні нестандартної ситуації можливим є зменшення наслідків або навіть уникнення аварії, що дозволить лише затримати вагони в процесі перевезення.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Під аварійною ситуацією слід розуміти умови, які відмінні від умов нормального перевезення вантажів, пов'язані із загорянням, витіканням, розсипанням небезпечного вантажу, пошкодженням тари або рухомого складу з небезпечним вантажем і можуть призвести чи

призвели до вибуху, пожежі, отруєння, опромінення, захворювань, опіків, обморожень, загибелі людей і тварин, небезпечних для природного середовища наслідків, а також випадки, коли в зоні аварії на залізниці виявилися вагони, контейнери або вантажні місця з небезпечними вантажами [8]. Проведення моделювання розвитку аварії дає можливість отримати більше інформації про аварію, що дозволить диспетчерському персоналу приймати правильні рішення в початковій стадії організації відновлення руху та ліквідації наслідків аварії з небезпечними вантажами, визначити, скільки необхідно відправити до місця робіт відновних поїздів, інших технічних засобів і матеріалів, яку вибрати послідовність ведення робіт.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У розвиток досліджень щодо розробки систем планування та оперативного управління на залізничному транспорті зробили великий внесок такі вчені та практики: А.Ж. Bourne, R.E. Barlow, H.C. Green, H. Kumamoto, F.N. Proschan, R. Batta, В.М. Акулінічев, В.Н. Андросюк, А.Г. Базазьян, Т.В. Бутько,

П.С. Грунтов, В.М. Самсонкін, І.В. Мартинюк, А.М. Островський та інші.

Питанням забезпечення безпеки перевезень небезпечних вантажів на основі зниження ризиків та уникнення тяжких наслідків від виникнення транспортних подій на маршрутах прямування составів присвячені роботи І.В. Мартинюка [5,6]. Автором розроблена методологія оцінки ризиків виникнення транспортних подій та економічних збитків від них для залізничного транспорту та конкретних маршрутів перевезення небезпечних вантажів. Дані дослідження підтверджують, що система безпеки на залізничному транспорті повинна ґрунтуватися на концепції “прийнятного” ризику. Автором запропонована статистична модель безпеки руху поїздів, але недоліком такого підходу визначення ймовірності виникнення подій для розрахунку ризиків є неповнота та недостовірність статистичних даних. За таких умов необхідним є пошук нових методів визначення ймовірностей на основі аналізу причинно-наслідкових зв’язків різних подій при перевезенні вантажів з НВ.

В роботі [2] наводиться модель оперативного управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами в підсистемі «технічна станція – прилегла дільниця» на базі нечіткої ситуаційної мережі. Запропонована модель дозволяє зменшити ризики виникнення можливої транспортної події під час поїзної та маневрової роботи, використовуючи інтелектуальну підтримку планування на оперативному рівні.

Для вирішення актуального науково-прикладного завдання вибору найменш безаварійного маршруту прямування вагонів з НВ в роботі [1] запропонована двоетапна математична модель, ідея якої полягає у послідовному використанні процедури Йена-Флойда. Для вибору множини можливих маршрутів прямування вагонів з НВ та пошуку оптимального маршруту на основі мінімізації ризиків в даній моделі була використана теорія ігор.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою статті є формування моделі прогнозування наслідків виникнення надзвичайних ситуацій з небезпечними вантажами на залізничному транспорті. Завдання прогнозування наслідків виникнення аварійних ситуацій є дуже

складним та слабкоструктурованим, інформацію про процес розвитку аварійної ситуації можливо отримати лише у лінгвістичній формі на основі теоретичних знань про взаємозв’язок факторів і наслідків події та практичного досвіду розвитку аварійної ситуації (АС). За таких умов у дослідженні використано підхід до побудови моделі прогнозування на основі логіко-лінгвістичних висловлювань, які описують складний процес розвитку АС у вигляді експертних правил з використанням нечіткої логіки.

Основна частина дослідження. Для формалізації логіко-лінгвістичного описання розвитку та наслідків аварії в дослідженні запропоновано використати спосіб подання знань на основі ієрархічного нечіткого логічного висновку у вигляді дерева (рис. 1), яке складається з п’яти взаємопов’язаних баз знань.

Ієрархічна база знань описує причинно-наслідкові зв’язки між вхідною інформацією про надзвичайну ситуацію, що виникла з небезпечними вантажами, параметрами розвитку події та інформацією про наслідки цієї події.

Перевагою такого подання є можливість описати складні багатовимірні залежності розвитку надзвичайної ситуації на основі бази знань з невеликою кількістю нечітких правил. Відповідно до досліджень [9] такий підхід дозволяє подолати “прокляття розмірності” завдання. Використання для баз знань нечіткого висновку типу Мамдані дозволяє реалізувати машину нечіткого логічного висновку за ієрархічною базою знань без операцій дефазифікації і фазифікації для проміжних змінних [10].

Ієрархічна база знань нечіткої моделі прогнозування наслідків виникнення надзвичайних ситуацій складається із п’яти баз знань (f_1, f_2, \dots, f_5), які є згортками факторів, що впливають на розвиток АС. Перша модель бази знань (f_1) складається з п’яти входів та одного виходу, що описує можливість вибуху при аварії. Вихідний параметр описується лінгвістичними змінними (ЛЗ) $\lambda_1 = \text{“вибух”}$ з відповідною терм-множиною $H_{\lambda_1} = \{\text{низька, середня, висока}\}$, що характеризує потужність потенціального вибуху.

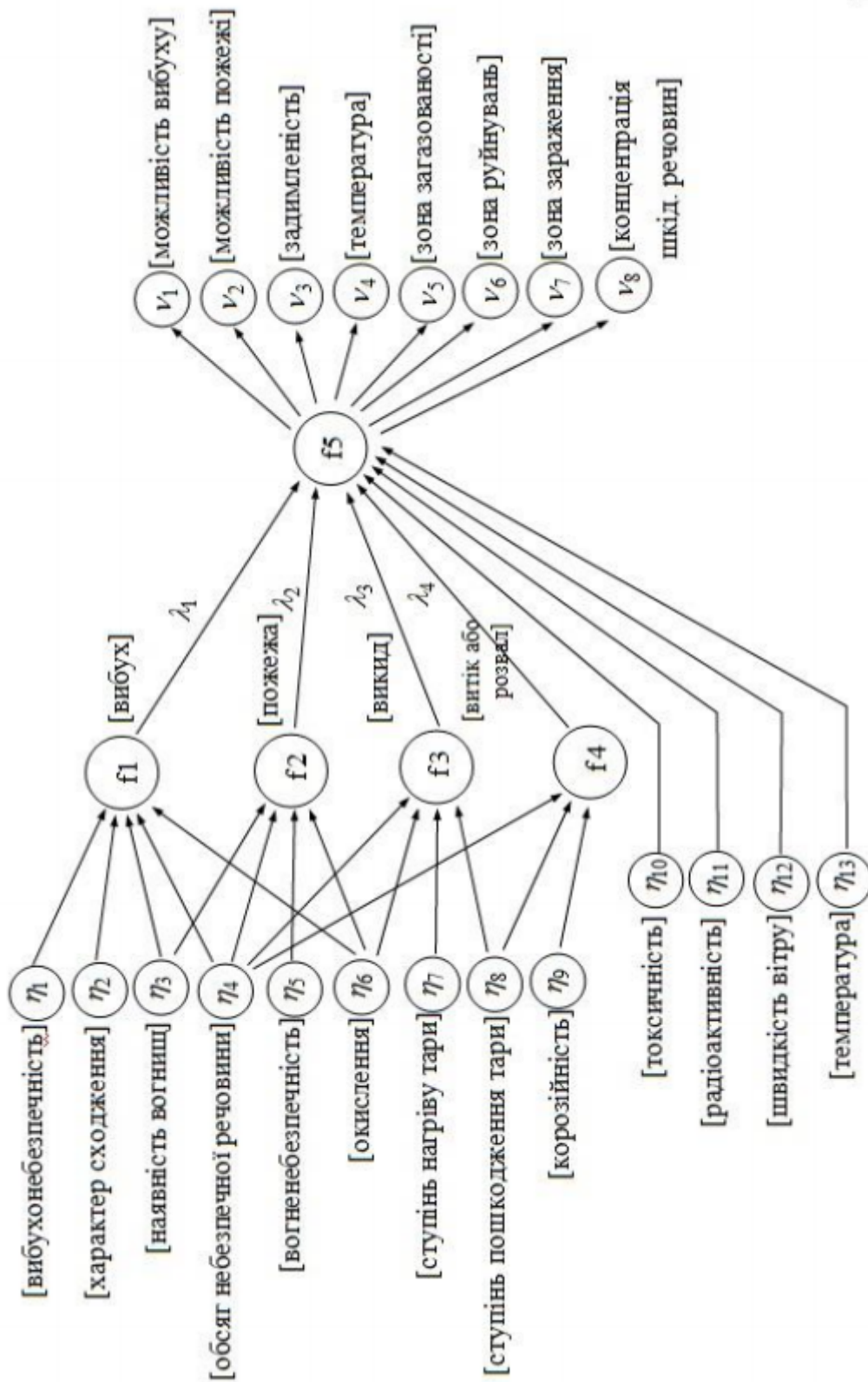


Рис. 1. Ієрархічна база знань нечіткої моделі прогнозування наслідків виникнення аварійних ситуацій

Тоді як вхідними ЛЗ моделі прогнозування $f1$ є η_1 = “вибухонебезпечність” [7], що характеризує основну властивість небезпечної речовини, яка впливає на потужність вибуху; η_6 = “окиснення” дана властивість на відміну від вогненебезпечних матеріалів не вимагає наявності додаткового кисню для горіння, а має його надлишок, який вони можуть віддавати іншим речовинам, тим самим підтримуючи або викликаючи пожежу або вибух. Кожна з цих ЛЗ має терм-множину $H_{\eta_{1,6}} = \{\text{низький, середній, високий}\}$, що характеризує рівень властивості, яку описує.

Однією із причин вибуху є саме механічні пошкодження тари вагона, які з’являються в момент виникнення події сходження або зіткнення. Залежно від тяжкості сходів імовірність вибуху збільшується в декілька разів. Кожну з цих подій можна описати ЛЗ η_2 = “характер сходження”, що характеризується терм-множиною $H_{\eta_2} = \{\text{одним візком, всіма візками, перекиданням, складним завалом}\}$ за умовами визначення складності ситуації, що оцінюється експертно.

На можливість виникнення вибуху також впливають обсяги небезпечної речовини, що знаходяться у вагонах з НВ. Кількісно оцінити небезпечну речовину можна за допомогою ЛЗ η_4 = “обсяг небезпечної речовини”, що характеризується терм-множиною $H_{\eta_4} = \{\text{незначна, середня, велика}\}$ в тритиловому еквіваленті. Окрім вищенаведеної інформації, важливо знати, чи існують джерела займання на об’єкті управління під час виникнення аварійної ситуації. Отже ЛЗ η_3 = “наявність вогнищ” з терм-множиною $H_{\eta_3} = \{\text{існує, не існує}\}$.

Вихідною змінною другої моделі ($f2$) є ЛЗ λ_2 = “пожежа” з терм-множиною, що описує складність можливої пожежі на об’єкті управління пожежі $H_{\lambda_1} = \{\text{низька, середня, висока}\}$. Входами даної нечіткої моделі є ЛЗ η_5 = “вогненебезпечність”, що характеризує властивість займання речовини, а також ЛЗ з відповідними терм-множинами, які

використовувались у попередній моделі, зокрема: η_6 = “окиснення”, η_4 = “обсяг небезпечної речовини”, η_3 = “наявність вогнищ”.

Третя база знань ($f3$) складається з чотирьох входів та одного виходу з ЛЗ λ_3 = “викид”, з терм-множиною $H_{\lambda_3} = \{\text{низька, середня, висока}\}$, що описує можливість виникнення на об’єкті управління викиду в атмосферу небезпечної речовини. Найчастіше речовини, які здатні до різкого об’ємного розширення, є стисненими або зрідженими газами. Однією з причин розгерметизації ємності, що призводить до викиду, є підвищення надлишкового тиску під впливом нагріву тари. Для обліку даної інформації в моделі використана ЛЗ η_7 = “ступінь нагріву тари” з терм-множиною $H_{\eta_7} = \{\text{низька, середня, висока}\}$. Важливо також мати інформацію про стан тари, в якій знаходиться НВ. Для формалізації цієї інформації використано ЛЗ η_8 = “ступінь пошкодження тари” з терм-множиною $H_{\eta_8} = \{\text{незначна, середня, велика}\}$. Окрім вищевказаних змінних, використані як входи також ЛЗ η_4 = “обсяг небезпечної речовини” та η_6 = “окиснення” з відповідними терм-множинами.

Четверта база знань ($f4$) складається з трьох входів та одного виходу з ЛЗ λ_3 = “витік або розвал” з терм-множиною, яка описує масштаб виникнення витоку або розвалу небезпечної речовини, $H_{\lambda_3} = \{\text{низька, середня, висока}\}$, що визначається відповідним обсягом. Причиною витоку або розвалу вантажу може бути здатність речовини до корозії, що призводить до руйнувань упаковки вантажів, рухомого складу або верхньої будови колії. Для описання цієї властивості використано ЛЗ η_9 = “корозійність” з терм-множиною $H_{\eta_9} = \{\text{низька, середня, висока}\}$, що визначається ступенем корозійності H_B в інтервалі $[0;1]$. Наступними двома входами є η_4 = “обсяг небезпечної речовини” та

η_8 = “ступінь пошкодження тари” з відповідними терм-множинами.

П'ята база знань (f_5) складається з восьми входів та шести виходів, що моделюють наслідки надзвичайної ситуації. Перші чотири входи є виходами попередніх баз знань, крім того, до моделі надходить інформація про такі характеристики речовини, як токсичність та радіоактивність, що подані однойменними ЛЗ η_{10} = “токсичність” та η_{11} = “радіоактивність” з відповідними терм-множинами $H_{\eta_{10,11}} = \{низька, середня, висока\}$. Наслідки АС знаходяться в тісному взаємозв'язку із зовнішніми факторами, до яких слід віднести швидкість вітру та температуру з однойменними вхідними ЛЗ та терм-множинами $H_{\eta_{12,13}} = \{низька, середня, висока\}$.

Виходами моделі є прогнозні параметри v_1 = “можливість вибуху”, v_2 = “можливість пожежі”, v_3 = “задимленість”, v_4 = “температура”, v_5 = “зона руйнувань”, v_6 = “зона загазованості”, v_7 = “зона зараження”. Для характеристики вхідних параметрів v_{1-4} запропоновано використати терм-множину $H_{v_{1-4}} = \{низька, середня, висока\}$. Для вхідних параметрів v_{5-7} для спрощеної оцінки в роботі передбачено, що зони ураження наведені у вигляді кола, а вихідним прогнозним параметром є його площа, вимірювана в квадратних метрах.

Відповідно до роботи [7] зону руйнувань, загазованості та зараження можна описати за допомогою терм-множини $H_{v_{5,6,7}} = \{незначна, середня, велика\}$,

область визначення якої наведена у вигляді величини площі зони, що вимірюється в квадратних метрах.

Для опису ступеня токсичності аварійно хімічно небезпечної речовини при дії на людей використано вихідну ЛЗ v_8 = “концентрація шкідливих речовин” з терм-множиною $H_{v_8} = \{порогова, вражаюча, смертельна\}$.

Згідно з роботою [4] порогова концентрація викликає початкові симптоми ураження у 50 % людей, що знаходяться в зоні загазованості; вражаюча – тяжкі ураження (отруєння) у 50 % людей; смертельна (летальна) – смертельний

результат у 50 % уражених. Концентрацію шкідливих речовин у повітрі зони загазованості запропоновано вимірювати в міліграмах на кубічний метр.

Результатом прогнозування є визначення параметрів, які дозволяють оцінити просторові характеристики АС, і, як наслідок, виконати моделювання каскаду надзвичайних ситуацій (рис. 2). Для просторової прив'язки результатів прогнозування в роботі передбачається наявність координат знаходження всіх вагонів на станції та дільниці. Це дозволить оцінити наслідки впливу факторів ураження на сусідні об'єкти з урахуванням їх взаємного розташування.

Співставляючи координати вагона з НВ, де виникла надзвичайна подія, з координатами інших вагонів з НВ в межах станції (дільниці), формалізовано ланцюгову реакцію розповсюдження аварії. Вихідні параметри моделювання наслідків АС є входом до ієрархічного нечіткого логічного висновку, що описує наслідки АС вагонів, які опинились в зоні руйнування. За такою ж схемою моделювання вихід попередньої моделі є входом для наступної. На кожному кроці моделювання розвитку каскаду аварійних ситуацій використовується одна й та сама модель ієрархічного нечіткого логічного висновку.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. В межах структури функціонування нечіткої ситуаційної мережі запропоновано використовувати для прогнозування наслідків виникнення надзвичайних ситуацій математичну модель на основі логіко-лінгвістичних висловлювань, яка описує складний процес розвитку аварійної ситуації у вигляді експертних правил за допомогою нечіткої логіки. Розроблений за таким підходом ієрархічний нечіткий логічний висновок, що подається у вигляді дерева, яке складається з п'яти взаємопов'язаних баз знань, дозволяє оцінити можливість виникнення вибуху, пожежі, викиду, витоку або розвалу та основні параметри, що характеризують наслідки надзвичайної ситуації.

Запропонована модель може бути основою для формування системи оперативного управління перевезеннями небезпечних вантажів і дозволить розширити

комплекс завдань інформаційно-керуючої перевезеннями небезпечних вантажів на системи планування та управління залізницях України.

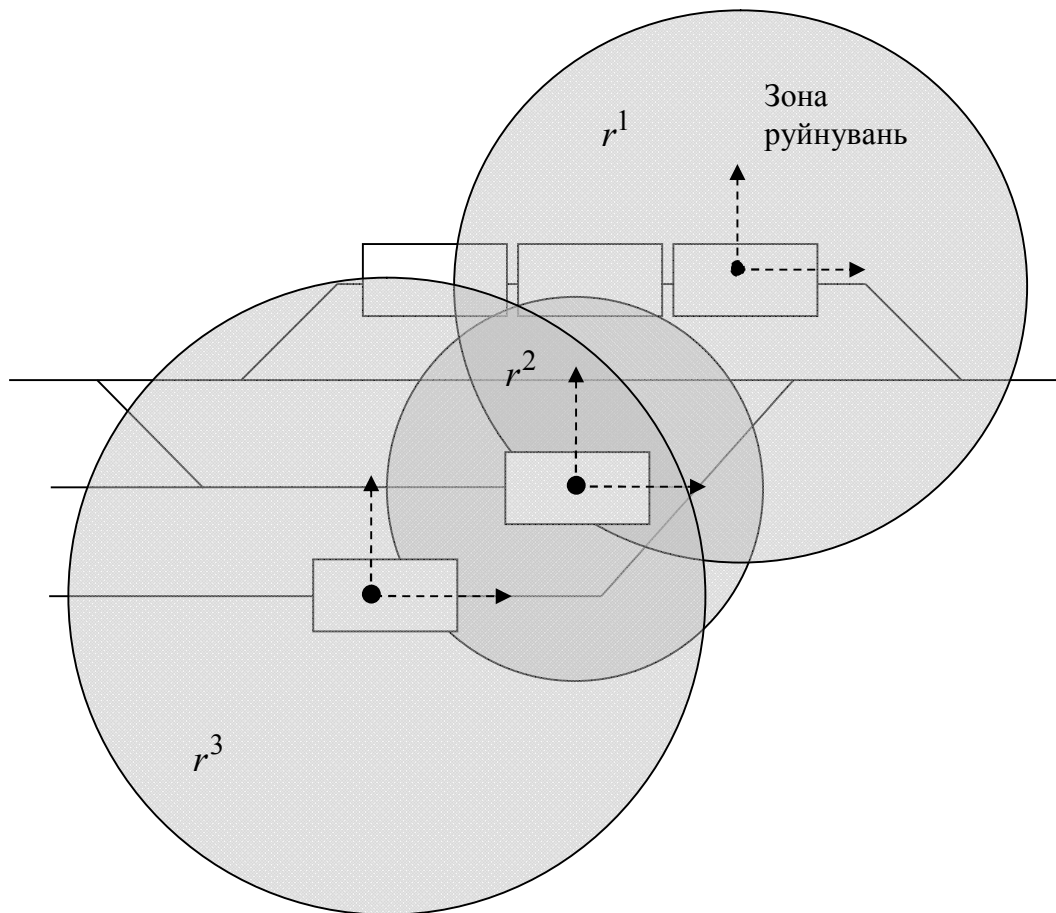


Рис. 2. Схема розвитку наслідків виникнення аварійної ситуації

Список використаних джерел

1. Бутько, Т.В. Формування математичної моделі планування маршрутів слідування вагонів з небезпечними вантажами в умовах ризику [Текст] / Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко, С. І. Музикіна // Вісник Східно-українського національного університету ім. Володимира Даля. – 2012. – №3(174). – С.18–23.
2. Бутько, Т.В. Формування моделі оперативного управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами в підсистемі “технічна станція – прилегла дільниця” на базі нечіткої ситуаційної мережі [Текст] / Т.В. Бутько, А.В. Прохорченко, С.І. Музикіна // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Науково-технічний журнал. – 2012. – Вип. 3. – С. 3-8.
3. Енглезі, І.П. Щодо визначення найбезпечнішого маршруту руху при перевезенні небезпечних вантажів [Текст] / І.П. Енглезі // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – Донецьк, 2012. – Вип. 1. – С. 14-19.
4. Желібо, Є.П. Безпека життєдіяльності [Текст]: навч. посібник для студентів вищих закладів освіти України I-IV рівнів акредитації / Є.П. Желібо, Н.М. Заверуха, В.В. Зацарний. – К.: «Каравела», 2003.
5. Мартынюк, И.В. Выбор критериев сравнения оценок риска по различным маршрутам перевозки опасных грузов [Текст] / И.В. Мартынюк // Актуальные проблемы развития железно-

дорожного транспорту: сб. науч. тр. молодых учёных, аспирантов и докторантов. – Ростов-н/Д: РГУПС, 2005. – С. 64-66.

6. Мартынюк, И.В. Выбор оптимальных маршрутов перевозок опасных грузов по результатам оценки рисков возникновения нарушений безопасности движения и ущербов от них [Текст] / И. В. Мартынюк // Вестник РГУПС. – 2006. – № 3. – С. 103-106.

7. Обеспечение безопасности перевозок опасных грузов железнодорожным транспортом [Текст] / под ред. А.В. Кириченко. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 160 с.

8. Правила безпеки та порядку ліквідації наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами при перевезенні їх залізничним транспортом [Текст]: затв. наказом Міністерства транспорту та зв'язку № 567 від 16.10.2000 р. (із змінами, внесеними згідно з Наказами Міністерства транспорту та зв'язку № 1431 від 25.11.2008 р., № 1135 від 05.11.2009 р., Наказом Міністерства інфраструктури № 177 від 21.03.2012 р.) // Офіційний Вісник України. – 2000. – №49. – 22 груд.

9. Ротштейн, О.П. Проектування нечітких баз знань. Лабораторний практикум та курсове проектування [Текст]: навч. посібник / О.П. Ротштейн, С.Д. Штовба. – Вінниця: ВДТУ, 1999. – 65 с.

10. Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide. Versions. The MathWorks, Inc, 1999. – 235 p.

Рецензент д-р техн. наук, професор В.Л. Горобець

Музикіна Світлана Ігорівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри безпеки життєдіяльності Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел. 8-056-373-15-12. E-mail: fufei@rambler.ru.

Muzykina Svitlana Igorivna, cand. of techn. sciences, associate professor of life safety department Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan. Tel. 8-056-373-15-12. E-mail: fufei@rambler.ru.

Стаття прийнята 09.09.2015 р.