

Завгородня Г.А.

Державний університет інфраструктури та технологій

Корнага Я.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Мухін В.Є.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Завгородній В.В.

Державний університет інфраструктури та технологій

Базака Ю.А.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДЕЛЮВАННЯ СЦЕНАРІЇВ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ГАЗОЗАПРАВНИХ СТАНЦІЯХ

У роботі розглянуто набір сценаріїв потенційних наслідків важких техногенних аварій на АГЗС. Для аналізу і оцінки ризиків пропонується використання універсального методу дослідження дерев відмов, який може бути реалізованим у системі управління техногенними ризиками, що давала б змогу автоматизовано приймати ефективні рішення щодо безпечного функціонування АГЗС.

Запропоновано використання моделі розвитку аварійних ситуацій на АГЗС для оцінки ризику і наслідків аварій, на об'єктах зберігання, переробки і транспортування зріджених вуглеводневих газів із метою оцінки наслідків аварійних вибухів паливно-повітряних сумішей. Також було наведено рекомендований алгоритм розрахунку параметрів вибуху паливно-повітряних сумішей.

Запропоновано загальну схему ймовірнісної моделі виникнення і розвитку аварії для визначення характерних факторів небезпеки на потенційно небезпечних об'єктах.

Були досліджені реальні аварійні ситуації, спричинені руйнуванням автоцистерни, трубопроводу, резервуару, газороздавальної колонки та насосного агрегату, дані яких використовувались як вхідна інформація для побудови дерев відмов. Декомпозиція цих небезпек дала змогу побудувати моделі причинно-наслідкових зв'язків розвитку сценаріїв прогнозованих небезпек.

Застосовано метод дерев відмов для виявлення всіх шляхів, які призводять до аварійної ситуації на АГЗС, та визначення мінімального числа комбінацій подій, які можуть до неї призвести. Побудоване дерево відмов дасть змогу надалі здійснювати якісне визначення основних причин аварійних подій і виконувати кількісну оцінку ймовірності їх виникнення.

Застосування дерева відмов дасть змогу здійснювати систематичну логічно обґрунтовану побудову безлічі відмов елементів системи, які можуть призводити до аварії на АГЗС, проводити аналіз таких ситуацій для подальшого прийняття рішення щодо їх запобігання та ліквідації наслідків.

Ключові слова: автомобільна газозаправна станція, аварійна ситуація, дерево відмов, сценарій аварії, ризик.

Постановка проблеми. Відмінною особливістю підприємств нафтогазового комплексу є висока їхня небезпека для населення і навколишнього середовища. Автомобільні газозаправні станції (далі – АГЗС) призначені для прийому і зберігання зрідженого вуглеводневого газу (далі – ЗВГ) – пропану, бутану та їхніх сумішей, а також

заправки ним газобалонного обладнання автомобілів. Висока потенційна небезпека ЗВГ пояснюється легким його переходом у газову фазу, що під час змішання з повітрям утворює вибухонебезпечні суміші. У зв'язку з цим АГЗС відносять до небезпечних об'єктів, які можуть становити небезпеку не тільки для персоналу, але й для населення.

Сьогодні розвинені країни широко застосовують методологію ризику для комплексного вирішення питань безпеки, яка ґрунтується на визначенні наслідків та ймовірності небажаних подій. Ця методологія використовує такі кількісні показники ризику, як індивідуальний або соціальний ризик загибелі людей, що дають змогу не тільки оцінити потенційну небезпеку, але й порівняти небезпеки різної природи. Такі оцінки ризику використовують для здійснення висновків про прийнятність небезпеки або необхідність вживання заходів щодо зниження ризику [1].

Досить вдалим засобом для забезпечення повного і зваженого функціонального опису ризиків на АГЗС є використання представлення знань про досліджувані об'єкти і системи у вигляді графічних логічних побудов. Оскільки технологія функціонування АГЗС є досить складною, то для аналізу і оцінки ризиків пропонується використання універсального методу дослідження дерев відмов. Цей метод може бути реалізованим у системі управління техногенними ризиками, яка давала б змогу автоматизовано приймати ефективні рішення щодо безпечного функціонування АГЗС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основним завданням ідентифікації та оцінки потенційно небезпечних технологічних об'єктів є виявлення і експертний опис усіх притаманних певному об'єкту небезпек. Водночас механізми виникнення і розвитку небезпечних ситуацій мають складні сценарії, що включають різні типи аварій. За даними попередніх досліджень виявлено, що найбільш частими типами аварій на АГЗС є пожежі (протоки і вогненні кулі) та вибухи [2].

За даними проведеного моніторингу методології аналізу ризиків [3], слід підкреслити, що проблема обліку технологічних процесів під час вирішення завдань управління мінімізацією ризиків у нафтогазовому комплексі раніше майже не розглядалася. Застосовувані технології моніторингу управління ризиками не враховують випадковий характер і системні взаємозв'язки технологічних процесів експлуатації АГЗС.

Дослідження і аналіз результатів обстеження умов виникнення і розвитку аварійних ситуацій проведено з урахуванням аналізу випадковості умов виникнення і розвитку аварійних ситуацій в основних технологічних операціях на АГЗС [4].

Ключовим етапом аналізу ризику є його оцінка, яка передбачає ідентифікацію ризиків, визначення тяжкості наслідків і вірогідності їх виникнення, розроблення заходів зі зменшення негативних наслідків, визначення рівня прийнятності ризику

і, за необхідності, розроблення заходів з метою зниження його рівня. Аналіз підходів і методики для оцінки та аналізу ризику показує, що для вирішення таких завдань найбільш раціонально скористатися аналізом характеру та наслідків відмов із використанням аналізу дерева відмов, оскільки ним зручно можуть бути описані основні функціональні операції на АГЗС [5].

Постановка завдання. Мета дослідження – виявити всі шляхи, які призводять до аварійної ситуації на АГЗС, застосовуючи метод дерев відмов.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для оцінки ризику і наслідків аварій на об'єктах зберігання, переробки і транспортування ЗВГ використовується модель розвитку аварійних ситуацій на АГЗС з метою оцінки наслідків аварійних вибухів паливно-повітряних сумішей (далі – ППС).

Під час моделювання аварійних ситуацій передбачаються часткова розгерметизація або повне руйнування устаткування, що містить горючі речовини в газоподібній або рідкій фазі, викид цієї речовини в навколишнє середовище, утворення хмари ППС, ініціювання ППС, вибухове перетворення (горіння або детонація) у хмарі ППС. На основі представленої моделі визначаються ймовірні ступені ураження людей і ступені ушкодження будинків від вибухового навантаження під час аварій із вибухами ППС.

Модель враховує шість режимів вибухових перетворень хмар ППС: від детонації до дефлагації зі швидкістю видимого фронту полум'я 100 м/с. Відповідно до обраного режиму вибухового перетворення, а також залежно від маси палива, що утримується в хмарі, і відстані визначаються межі зон повних, сильних, середніх і слабких ступенів руйнування будинків і споруджень жилої та промислової забудови. Розрахунки виконуються з використанням моделі оцінки інтенсивності теплових потоків для вогненної кулі.

Для розрахунку параметрів ударних хвиль у разі вибуху хмари ППС використовуються такі вихідні дані [6]:

- характеристики горючої речовини, що утримується в хмарі;
- агрегатний стан ППС (газова або гетерогенна суміш);
- середня концентрація горючої речовини в суміші;
- стехіометрична концентрація горючого газу з повітрям;
- маса горючої речовини, що утримується в хмарі;

– питома теплота згоряння горючої речовини.

Тож для розрахунку параметрів вибуху ППС нами рекомендується алгоритм, що містить такі структурні елементи:

1. визначення маси горючої речовини, що утримується в хмарі;
2. визначення ефективного енергозапасу ППС;
3. визначення режиму вибухового перетворення ППС;
4. розрахунок максимального надлишкового тиску та імпульсу фази стиску повітряних ударних хвиль для різних режимів;
5. визначення додаткових характеристик вибухового навантаження;
6. оцінка вражаючого впливу вибуху ППС.

Процес виявлення можливих аварійних ситуацій і побудова сценаріїв їхнього розвитку, перш за все, полягає у визначенні їхніх можливих причин. Для визначення характерних факторів небезпеки на потенційно небезпечних об'єктах пропонується загальна схема ймовірнісної моделі виникнення і розвитку аварії.

В аварійній ситуації на АГЗС виділено три фази:

Фаза 1. Період виникнення аварійної ситуації в межах одного технологічного блоку.

Фаза 2. Розвиток аварії в межах ділянки технологічного блоку і загроза ланцюгового розвитку аварії з виходом за межі локальної ділянки технологічного блоку і залученням в аварійний процес усього технологічного об'єкта (АГЗС).

Фаза 3. Ланцюговий розвиток аварії на рівні АГЗС з можливим руйнуванням будинків і споруд; істотні руйнування і загибель людей можуть відбутися на всій території АГЗС і за її межами.

Під час роботи з ЗВГ можливі різні аварійні ситуації: з витоком газу або без, із запаленням газу чи без, з виникненням вогню від газу або від зовнішнього джерела, з руйнуванням ємності або без.

Більша частина зареєстрованих аварій під час роботи із ЗВГ пов'язана з витоком і запаленням газу та руйнуванням ємності. Такі аварії найбільш драматичні як за результатами вчинених руйнувань, так і щодо смертельного результату [7].

Аналіз аварій, що відбулися, на аналогічних об'єктах дає змогу виділити три взаємозалежні групи причин, що сприяють виникненню і розвитку аварій:

1. *Відмови устаткування* (корозія, фізичне зношування та механічні uszkodження; помилки під час проєктування і виготовлення; старіння металу, не виявлене під час огляду; порушення режимів експлуатації).

2. *Помилки персоналу* (під час прийому ЗВГ із автоцистерн; під час відпуску ЗВГ споживачам, заправ-

лення газобалонних автомобілів; під час відбору проб ЗВГ з резервуарів; під час підготовки устаткування до ремонту, під час проведення ремонтних і профілактичних робіт; під час пуску і зупинки устаткування; під час локалізації аварійних ситуацій).

3. *Нерозраховані зовнішні впливи природного і техногенного характеру* (штормові вітри і урагани, сніжні замети, зливові дощі, грозові розряди, механічні uszkodження, диверсії).

Для прогнозу оцінки частоти аварійних ситуацій через відмови технологічного обладнання було використано досвід експлуатації типових вибухопожежонебезпечних модулів і статистичні дані обстеження аналогічних об'єктів [8].

За даними обстеження були побудовані формалізовані моделі дерев відмов з урахуванням складників небезпек, які використовуються під час розрахунків кількісної оцінки аварійних ситуацій [8].

Аналіз складників АГЗС показує, що на об'єкті можуть виникати аварійні ситуації, спричинені руйнуванням автоцистерни, трубопроводу, резервуару, газороздавальної колонки та насосного агрегату (рис. 1). Були досліджені реальні аварійні ситуації перелічених сценаріїв, дані яких використовувались як вхідна інформація для побудови дерев відмов. Декомпозиція цих небезпек дала змогу побудувати моделі причинно-наслідкових зв'язків розвитку сценаріїв прогнозованих небезпек.

На дереві відмов функціонування АГЗС прямокутниками позначено головні події, кожна з яких складається з базових (складників). Причинно-наслідкові відношення визначаються логічними операторами, які відображені відповідними символами.

Для визначення прогнозованого технічного ризику використані величини ймовірності вихідних ситуацій, що входять до моделі дерев відмов, включно з обліком відмов обладнання та даними експертних оцінок [5].

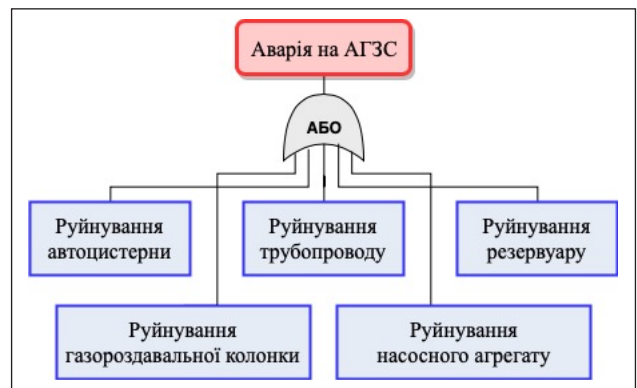


Рис. 1. Дерево відмов функціонування АГЗС

Основні аварійні ситуації на АГЗС пов'язані з руйнуванням (повним або частковим) автоцистерни,

емнісного устаткування, трубопроводів або насосів. Ці руйнування можуть призвести до таких видів аварійних ситуацій: пожежі проливу, вогненної кулі, вибуху, спалаху. Найбільшу небезпеку для людей і матеріальних цінностей становлять вражаючі фактори вибуху і вогнених куль: загоряння автомобіля біля паливної колонки, вибух автомобіля, загоряння паливної колонки, загоряння та вибух автоцистерни і резервуарів зі ЗВГ [9].

Можливі сценарії аварійних ситуацій на АГЗС та аналіз умов їх виникнення і розвитку наведено далі у вигляді окремих дерев відмов.

Для кожного із можливих сценаріїв аварійних ситуацій на АГЗС є декілька подій, які є спільними для всіх сценаріїв, вони були об'єднані в один блок. Цей блок складається з чотирьох подій: природні явища, дефекти конструкцій, зношення устаткування, пожежа на об'єктах АГЗС.

На рис. 2 наведено реалізацію сценарію руйнування автоцистерни, який може призвести до проливу ЗВГ у піддон унаслідок розгерметизації автоцистерни, фланцевих з'єднань, штуцерів видачі ЗВГ з автоцистерни, трубопроводів, запірної арматури. Також можливе утворення пароповітряної хмари або загоряння парів ЗВГ усередині автоцистерни, унаслідок чого виникне пожежа проливу або вибух.

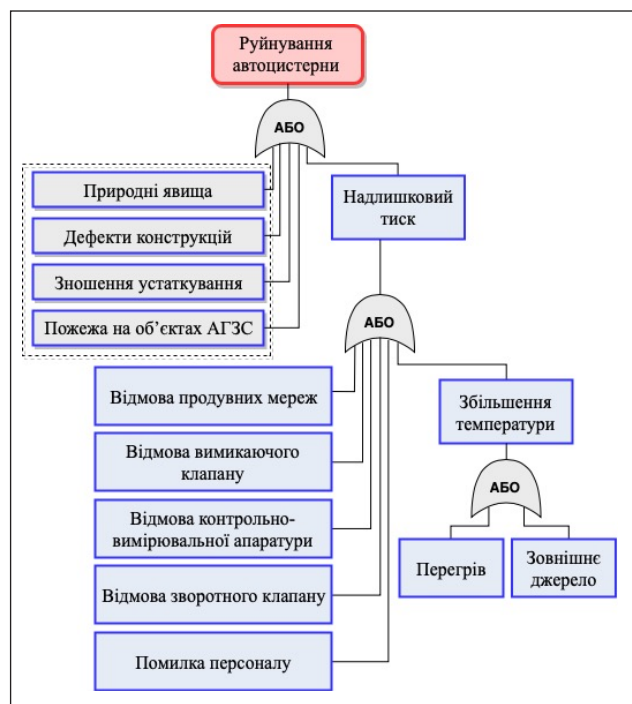


Рис. 2. Дерево відмов під час руйнування автоцистерни

Трубопровідні системи є джерелом підвищеної небезпеки через велику кількість зварних і фланцевих з'єднань, запірної і регулюючої арматури,

жорстких умов роботи і значних обсягів речовин, що перекачуються ними. Розгерметизація та руйнування трубопроводу (рис. 3) найчастіше має локальний характер і не призводить до серйозних наслідків. Однак у разі несвоєчасної локалізації може статися подальший розвиток аварії [10].

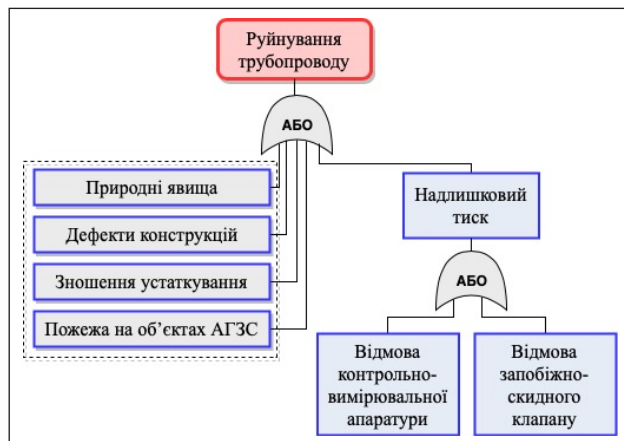


Рис. 3. Дерево відмов під час руйнування трубопроводу

Ємнісне устаткування (резервуари) є джерелом підвищеної небезпеки. Це пов'язано з великою кількістю ЗВГ, який у них зберігається. Руйнування резервуара (рис. 4) може призвести до проливу ЗВГ у його піддон, внаслідок чого виникне пожежа проливу. Також можливі сценарії, пов'язані з утворенням вибухонебезпечних концентрацій ЗВГ всередині резервуара, внаслідок чого виникає їх загоряння з подальшим вибухом і утворенням вогненної кулі.

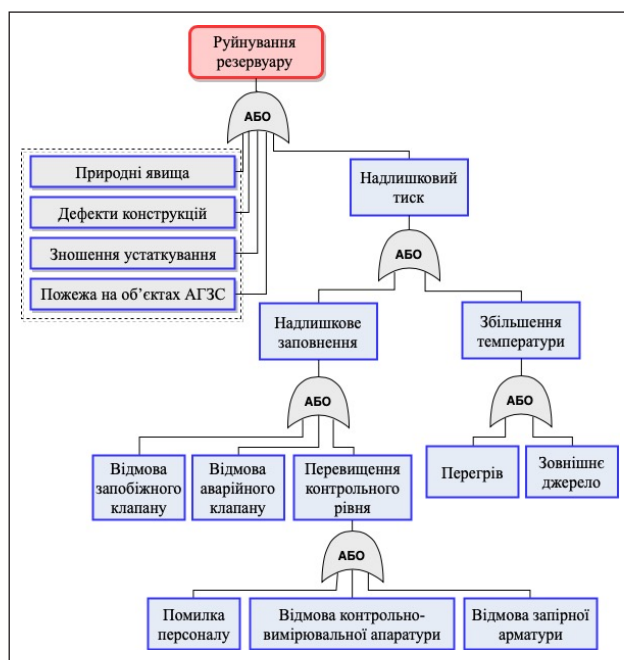


Рис. 4. Дерево відмов під час руйнування резервуара

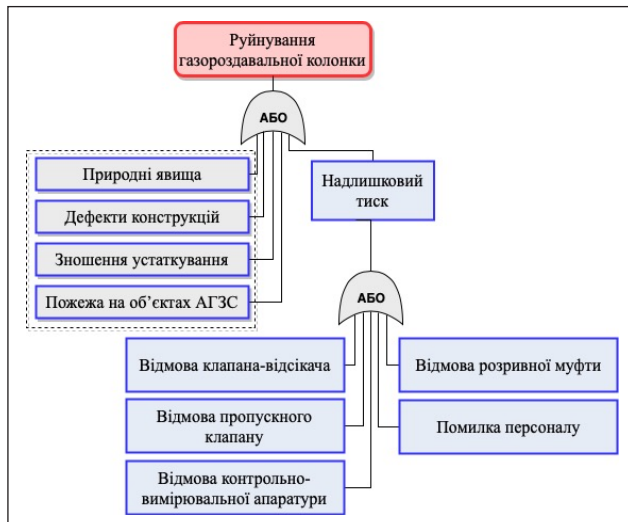


Рис. 5. Дерево відмов під час руйнування газороздавальної колонки

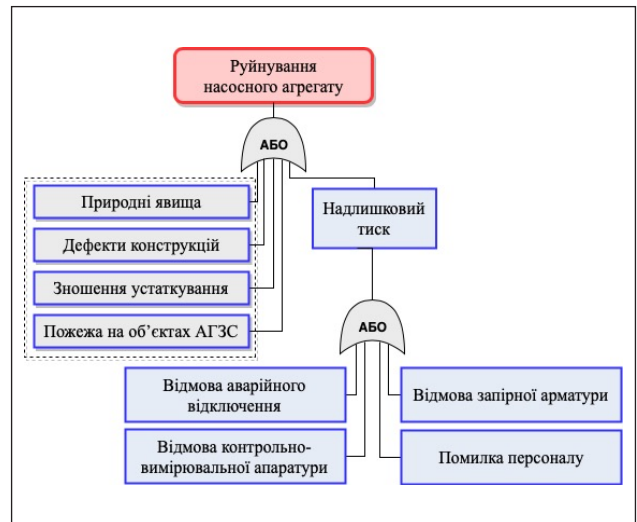


Рис. 6. Дерево відмов під час руйнування насосного агрегату

У разі руйнування елементів газороздавальної колонки (рис. 5) може виникати утворення пароповітряної хмари з подальшим її загорянням і можливим вибухом. Також може виникнути загоряння парів ЗВГ або пожежа проливу.

Аварійна зупинка насосів може призвести до порушення гідравлічного і теплового режиму системи та руйнування обладнання (рис. 6). Досвід експлуатації АГЗС показує, що деякі елементи конструкції насосів, наприклад такі, як торцеві ущільнення, володіють низьким рівнем надійності.

Під час оцінки ризику аварії методом дерев відмов виявляються комбінації відмов устаткування, помилок персоналу і зовнішніх (техногенних, природних) впливів, що призводять до основної події – аварійної ситуації. Отримані ймовірності реалізації сценаріїв аварії слугують основою для розрахунку показників індивідуального та соціального ризиків. Розрахунок цих ризиків передбачає виконання низки дій:

- визначення ймовірності виникнення ініціюючих подій для можливих основних сценаріїв аварії;

- побудова логічних дерев відмов під час виникнення основних ініціюючих аварійних ситуацій;

- визначення статистичних ймовірностей переходу аварії на різні гілки дерева відмов;

- визначення умовних ймовірностей ураження під час реалізації різних гілок дерева відмов.

Висновки. Застосовано метод дерев відмов для виявлення всіх шляхів, які призводять до аварійної ситуації на АГЗС, та визначення мінімального числа комбінацій подій, які можуть до неї призвести. Побудоване дерево відмов дасть змогу надалі здійснювати якісне визначення основних причин аварійних подій і виконувати кількісну оцінку ймовірності їх виникнення. Отже, застосування дерева відмов дає змогу здійснювати систематичну логічно обґрунтовану побудову безлічі відмов елементів системи, які можуть призводити до аварії на АГЗС, проводити аналіз таких ситуацій для подальшого прийняття рішення щодо їх запобігання та ліквідації наслідків.

Список літератури:

1. Алымов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск. Анализ и оценка. Москва : Академкнига, 2004. 311 с.
2. Черноморец В.А., Горбунов С.К. Концептуальные основы информационных технологий предсказания потенциальных угроз техногенным объектам. *УСiМ*. 2004. № 6. С. 68–76.
3. Грановский Э.А., Лыфарь В.А. Анализ риска возникновения аварий, пожаров и взрывов. *Бюллетень пожарной безопасности. (Научно-технические проблемы и решения)*. 2001. № 2. С. 13–15.
4. Щебеко Ю.Н., Гордиенко Д.М., Малкин В.Л., Смолен И.М. и др. Оценка индивидуального и социального риска пожаров и взрывов для многотопливной автозаправочной станции. *Пожаровзрывобезопасность*. 1999. № 6. С. 42–47.
5. Проурзин В.А. Алгоритмы численного анализа надежности и риска для сложной системы на основе деревьев отказов. *Труды Международной научной школы «Моделирование и анализ безопасности, риска и качества в сложных системах» (МА БРК – 2001)*. Санкт-Петербург : Издательство ООО «НПО «Омега», 2001. С. 263–268.

6. Завгородня Г.А., Завгородній В.В. Метод кількісної оцінки ризику технічних систем. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України : Серія «Транспортні системи і технології»*. Вип. 32–33. Київ : ДУІТ, 2018. С. 87–95.
7. Панкратова Н.Д., Курилин Б.Н. Концептуальні основи системного аналізу ризиків в динаміці управління безпекою складних систем. *Проблеми управління і інформатики*. 2000. № 6. С. 110–130.
8. Махутов Н.А. і др. Особливості сценарного аналізу виникнення і розвитку техногенних катастроф. *Проблеми безпеки і ЧС*. 2007. Вип. 3.
9. Соложенцев Е.Д. Сценарне логико-вероятностне управління ризиком в бізнесі і техніці. Санкт-Петербург, 2004. 416 с.
10. Малинецкий Г.Г. Сценарії, стратегічні ризики, інформаційні технології. *Інформаційні технології і висвітлювальні системи*. 2002. № 4. С. 62–70.

Zavgorodnya A.A., Mukhin V.Ye., Kornaga Ya.I., Zavgorodnii V.V., Bazaka Yu.A.

MODELING OF EMERGENCY SITUATIONS AT CAR GAS STATION

The paper deals with a set of scenarios of potential consequences of severe man-made accidents at the CGS. For the analysis and assessment of risks, it is proposed to use a universal method of investigation of failure trees, which can be implemented in the system of man-made risk management, which would allow making automated effective decisions on safe functioning of the CGS.

It is proposed to use the model of emergency development at the CGS to assess the risk and consequences of accidents, at the facilities for storage, processing and transportation of liquefied hydrocarbon gases, in order to assess the consequences of accidental explosions of fuel-air mixtures. The recommended algorithm for calculating the parameters of the explosion of fuel-air mixtures was also given. A general scheme of a probabilistic model for the occurrence and development of an accident is proposed to identify the characteristic hazard factors at potentially hazardous sites. The actual emergencies caused by the destruction of the tanker, pipeline, tank, gas dispenser and pump unit were investigated, the data of which was used as input for the construction of fault trees. Decomposition of these hazards allowed us to build models of cause and effect relationships for the development of projected hazard scenarios.

The bounce tree method is used to identify all paths that cause an emergency at a gas station and to determine the minimum number of event combinations that can lead to it. The built-in failure tree will allow to further qualitatively identify the main causes of the accident and to quantify the probability of their occurrence.

The use of a failure tree will allow systematically logically justified construction of many failures of system elements that could lead to an accident at the CGS, to analyze such situations for further decision-making regarding their prevention and elimination of consequences.

Key words: car gas station, emergency situation, fault tree, crash scenario, risk.