

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ВИЯВЛЕННЯ ТА ЗАПОБІГАННЯ РИЗИКАМ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Л.Я. Жовтуля, О.М. Карнаш

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 504708,
e-mail: z.lyubotyr@gmail.com

Лінійні частини магістральних нафто- та газопроводів є найбільш потенційно небезпечними типами трубопровідних мереж. Проведено аналіз причин виникнення аварій при експлуатації магістральних нафто- та газопроводів за даними європейської групи (EGIG), яка досліджує аварії на магістральних трубопроводах. Описано підходи до зменшення аварійності трубопровідних мереж в Україні. Визначено критерії та проведено оцінку ефективності описаних підходів при вирішенні поставленого завдання. За допомогою моделі «швейцарського сиру» показано взаємозв'язок між послідовними відмовами багатоеlementної системи запобігання, попередження та виявлення ризиків виникнення аварій, а також розкрито важливе питання оцінки ризиків трубопровідних мереж. Доведено доцільність подальших досліджень з оцінки ризиків трубопровідних мереж.

Ключові слова: трубопровідні мережі, аварії, причини виникнення, методи, оцінка ризиків, методика.

Линейные части магистральных нефте- и газопроводов являются наиболее потенциально опасными типами трубопроводных сетей. Проведен анализ причин возникновения аварий при эксплуатации магистральных нефте- и газопроводов по данным европейской группы (EGIG), проводящей исследования аварий на магистральных трубопроводах. Описаны подходы к уменьшению аварийности трубопроводных сетей в Украине. Определены критерии и проведена оценка эффективности описанных подходов при решении поставленной задачи. При помощи модели «швейцарского сыра» показана взаимосвязь между последовательными отказами многоэлементной системы предотвращения, предупреждения и выявления рисков возникновения аварий, и раскрыт важный вопрос оценки рисков трубопроводных сетей. Доказана целесообразность дальнейших исследований по оценке рисков трубопроводных сетей.

Ключевые слова: трубопроводные сети, аварии, причины возникновения, методы, оценка рисков, методика.

The linear portions of main oil-and-gas pipelines are considered to be potentially the most dangerous type of pipeline networks. The accident causes during operation of the main oil-and-gas pipelines were analyzed in accordance with the European Gas Pipeline Incident Data Group (EGIG). The approaches for reduction of the Ukrainian pipeline network accident proneness were described. The criteria for evaluation of the effectiveness of this problem solution approach were determined. The relationship between successive failures of multi-element system for detection and prevention of accident risks was shown using the "Swiss Cheese" model and an important pipeline network risk evaluation problem was solved. The expediency of further studies of the pipeline network risk evaluation was proved.

Keywords: pipeline networks, accidents, causes, methods, risk evaluation, methodology.

Вступ

Нещодавно ухвалена Стратегія сталого розвитку України на період до 2020 року передбачає вектор безпеки, в рамках якого особливу увагу приділяється безпеці життя і здоров'я людини та безпечного стану довкілля. Найбільшу небезпеку довкіллю несуть великі об'єми вибухонебезпечних речовин, які транспортуються трубопровідними мережами України. Вирішення проблеми безпеки та надійності експлуатації трубопровідних систем є одним з пріоритетних напрямків будь-якої держави. Завдання полягає у забезпеченні довготривалої механічної стійкості, надійності та безпеки експлуатації трубопровідних мереж.

Загалом, до трубопровідних мереж можна віднести наступний перелік комунікацій [1]:

1. Газопроводи металеві:
 - а) магістральні;
 - б) промислові газопроводи підземних сховищ газу;
 - в) промислові газопроводи високого тиску (до ГРС);

- г) газопроводи низького тиску (після ГРС);
2. Нафто- та продуктопроводи металеві:
 - а) нафтопроводи магістральні;
 - б) промислові продуктопроводи (дизельне паливо, мазут);
3. Аміакопроводи та інші продуктопроводи хімічних виробництв.
4. Нафтогазопроводи пластмасові.
5. Трубопроводи міської каналізації:
 - а) металеві;
 - б) неметалеві;
6. Трубопроводи мереж тепlopостачання.

Основну увагу слід звернути на магістральні нафто- та газопроводи, які є найбільш вибухонебезпечні та становлять серйозну екологічну загрозу довкіллю та здоров'ю людей.

Газотранспортна та нафтотранспортна системи України є досить потужними та розвинутими і відіграють важливу роль у транспортуванні нафти та газу до країн Європи. Однак, термін експлуатації близько 60% магістральних трубопроводів перевищує нормативний термін і складає від 20 до 50-ти років [2].

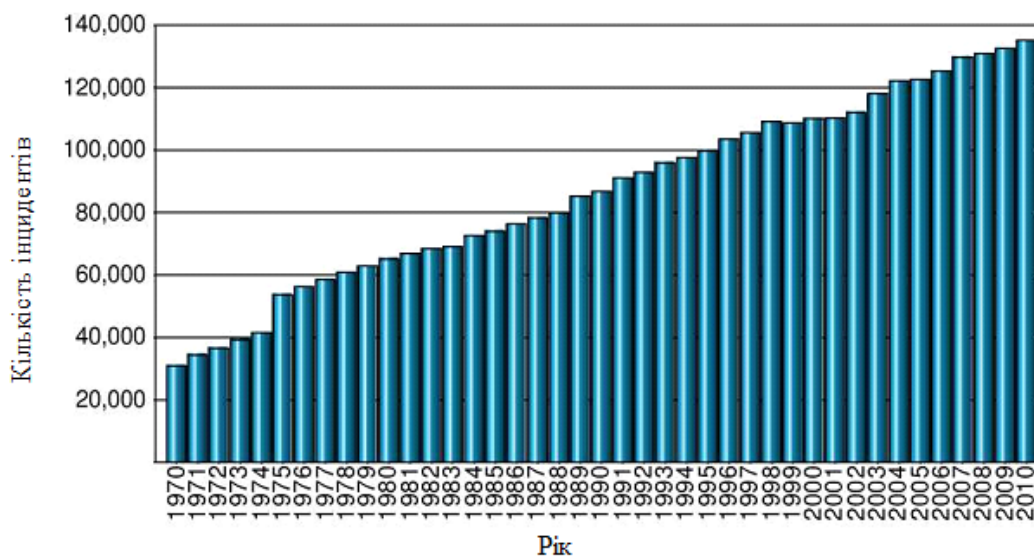


Рисунок 1 – Загальна довжина газотранспортної мережі EGIG [3]

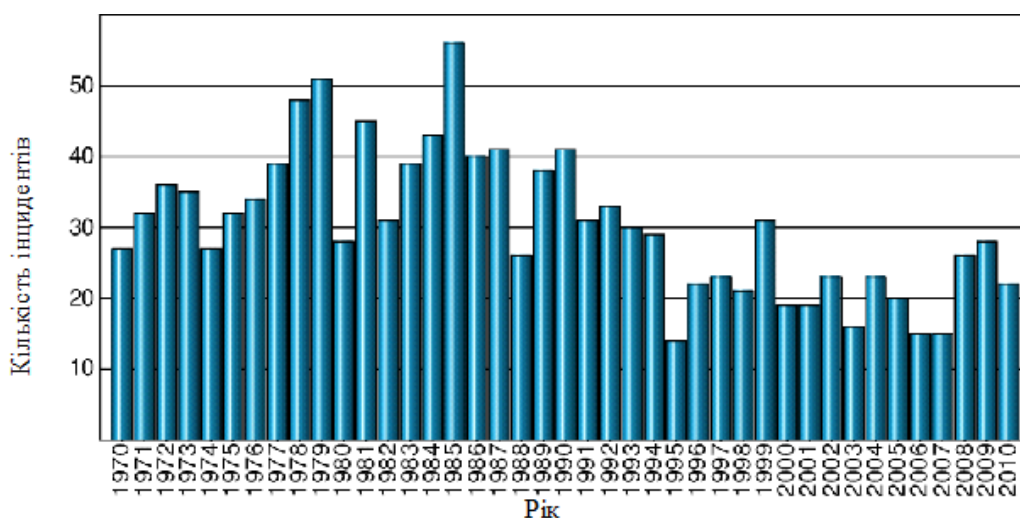


Рисунок 2 – Динаміка кількості аварій газотранспортної мережі EGIG [3]

В останні роки проблема забезпечення надійності і довготривалої механічної стійкості протяжних інженерних споруд все частіше розглядається в напрямку оцінки та прогнозування ризиків. Вирішення поставленої задачі можливе тільки при проведенні необхідного аналізу щодо оцінки тих чинників, які здійснюють безпосередній негативний вплив на досліджувані об'єкти контролю та можуть призводити до виникнення аварійних ситуацій.

Стан проблеми

Розглянемо статистичні дані щодо аварійних випадків на трубопроводах, щоб побачити чітку характеристику причин виникнення аварій. Для даного аналізу використані дані 8-го звіту європейської групи (EGIG), яка проводить дослідження аварій на трубопроводах, щодо загальних показників аварійності на магістральних трубопроводах деяких європейських країн [3].

В багатьох європейських державах ведеться офіційна статистика щодо кількості змін як із загальною довжиною трубопроводів, так і щодо кількості аварійних випадків за той, чи інший проміжок часу. Однак, в Україні більша частина такої інформації є конфіденційною і, відповідно, закритою для всезагального огляду чи зафіксована тільки локально на підприємстві.

Як бачимо на графіку (рис.1) існує тенденція збільшення протяжності магістральних трубопроводів EGIG. Станом на 2010 рік довжина газопроводів становить 135,211 км. Насправді ця статистика охоплює близько 50% всіх газопроводів Європи. Довжина магістральних газопроводів України становить більше 38 тис. км, нафтопроводів – близько 5 тис. км [3].

На рисунку 2 наведено графік кількості випадків виникнення аварій при експлуатації магістральних трубопроводів впродовж 40 років, на якому помітна тенденція зменшення.

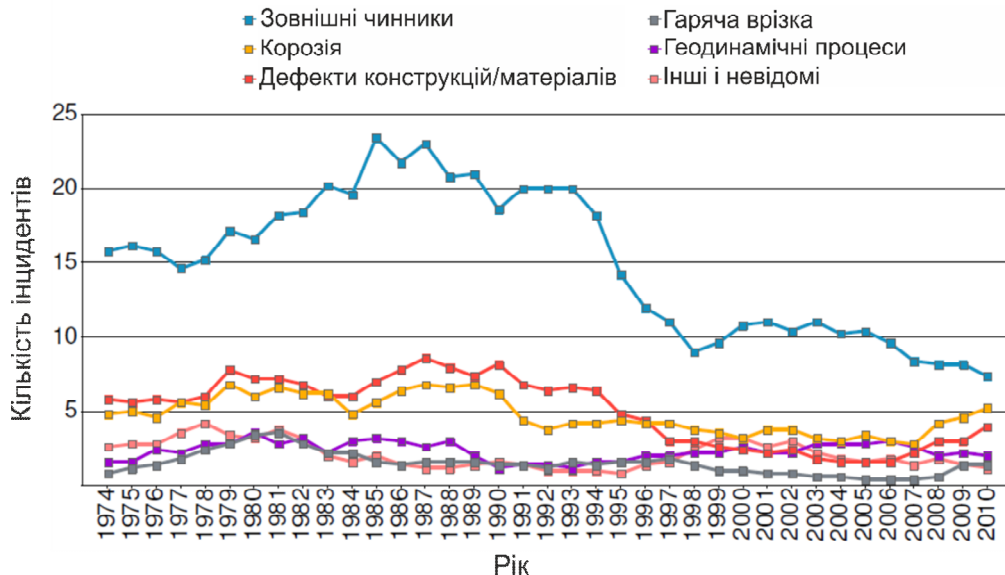


Рисунок 3 – Динаміка кількості аварій газотранспортної мережі EGIG [3] за причинами виникнення

Статистичні дані аварійності трубопроводів розподілені за причинами їх виникнення та наглядно відображені на рисунку 3.

Проаналізувавши статистичні дані про аварії та їх причини (рисунки 2, 3), проведено загальний розподіл за причинами їх виникнення:

48,4% - зовнішні (механічні) чинники (пошкодження внаслідок діяльності третіх сторін);

16,7% - дефекти конструкцій/матеріалів (насамперед, заводські дефекти);

16,1% - корозія (факторами впливу даної категорії слід вважати фактори, що посилюють чи послаблюють корозійні процеси, такі як: внутрішня корозія, атмосферна корозія, корозія металу в ґрунті. Вони включають: корозійну активність транспортуючого продукту, наявність ізоляції, застосування інгібіторів корозії, корозійні властивості ґрунтів та ін.);

7,4% - геодинамічні процеси (пошкодження трубопроводів в результаті активності земної поверхні: зсуви, сел тощо);

4,8% - гаряча врізка (виникнення аварій внаслідок проведення "гарячої врізки" до працюючого трубопроводу чи неправильна його експлуатація);

6,6% - інші і невідомі.

Як бачимо, головною причиною виникнення аварій на магістральних трубопроводах є зовнішні (механічні) чинники. Вважається, що фактори даної категорії безпосередньо підвищують чи знижують вразливість трубопроводу відносно третіх сторін. Такими потенційно небезпечними видами діяльності можуть бути: проведення поблизу трубопроводу земляних чи інших будівельних робіт, сільськогосподарська діяльність, автомобільні аварії та інші. До факторів, що визначають ступінь ризику пошкодження трубопроводу діяльністю третіх сторін, відноситься глибина залягання трубопроводу, наявність зовнішнього захисту, активності будь-якої діяльності поблизу трубопроводу,

частота і ефективність огляду, стан охоронної зони.

Сьогодні в світі за рік виникає декілька тисяч надзвичайних ситуацій, на ліквідацію наслідків яких витрачається значна частка валового доходу держав. При збереженні динаміки їхнього росту світова економіка найближчим часом не буде справлятися з ліквідацією їх наслідків. У світі постійно вивчаються та удосконалюються методи діагностики і контролю стану трубопроводів, що, як свідчать дані, знижують число аварій.

Шляхи вирішення

Для забезпечення цілісності та надійності магістральних трубопроводів, виявлення витоків та попередження загроз чи виникнення аварій широко застосовують різні методи:

1. Технічна діагностика і неруйнівний контроль трубопроводів. Діагностику наземної частини здійснюють контактними методами, які дозволяють оцінити їх технічний стан та виявити дефекти. Недоліком методу є труднощі при діагностиці підземної частини трубопроводу без прямого контакту з поверхнею трубопроводу. Безконтактні методи дозволяють виявити виток чи пошкодження ізоляції, але не можуть дати повної оцінки стану трубопроводу. Норми проведення робіт та періодичність встановлюється відповідно до стандартів.

2. Внутрішньотрубна діагностика виділяється серед методів неруйнівного контролю високою чутливістю, точністю та високою продуктивністю. При внутрішньотрубній діагностиці застосовують снаряди-дефектоскопи на основі різновидів магнітного або ультразвукового методів, і є ефективними при:

- регулярному проведенні внутрішньотрубної діагностики;
- оцінці небезпеки виявлених дефектів та моніторингу їх розвитку;



Рисунок 4 – Вигляд зсувної ділянки та поста тензометричного контролю напружено-деформованого стану трубопроводу (на ділянці газопроводу «Пасічна-Долина» Ду 500, поблизу с. Битків)

- своєчасному виконанні ремонтно-відновлювальних робіт на дефектах, що загрожують цілісності трубопроводу.

Новітні діагностичні пристрої здатні виявити деформації трубопроводу, його профіль та просторове положення. Розробками цього методу займаються всесвітньо відомі компанії: Enduro, BJB Company, Pipeline Inspection Company, GE Oil&Gas PII, ROSEN, Inline Services and Pipeline Cleaners. Дані діагностики обробляються програмами адміністрування, які підтримують побудову 3D-моделей трубопроводу та картографічне відображення. Новітні діагностичні пристрої для внутрішньотрубної діагностики дають велику кількість необхідної інформації для оцінки стану трубопроводу.

Найважливішими з переваг даного методу є: висока продуктивність, висока чутливість, можливість вибіркового ремонту дефектних ділянок, визначення не тільки критичних, але і незначних дефектів. Серед недоліків – велика вартість та зупинка роботи трубопроводу на час діагностики. Цей метод застосовують на довгих прямолінійних ділянках трубопроводів.

3. Моніторинг технологічних параметрів таких, як перепади тиску, різниці витрат на певних ділянках трубопроводів; метод гідравлічної локації витоків; аерокосмічний моніторинг, мережі різного типу давачів вздовж трубопроводу. Такого типу системи, як правило, розробляються індивідуально для окремого об'єкту чи підприємства.

4. Візуальний моніторинг, що здійснює спеціально підготовлений персонал (обхідники), завданням якого є огляд самого трубопроводу та місцевості для виявлення поблизу трубопроводу (в охоронній зоні), різного роду чинників, що можуть вплинути на експлуатацію трубопроводу, наприклад вібрації, загазованість, порушення щодо обтяжень територій охоронної зони тощо. При цьому використовують технічні засоби, такі як газоаналізатор, тепловізор.

5. Моніторинг зсувонебезпечних зон. На зсувонебезпечних ділянках застосовують засоби моніторингу для виявлення чи попередження геодинамічних подій, що можуть пошкодити

трубопровід. Прикладом дослідження зсувних процесів є моніторинг постів тензометричного контролю. Тензометричні пости (рис. 4) встановлюють у зсувонебезпечних зонах та через певні проміжки часу фіксують їх відхилення від вертикалі що спричиняє розвиток рухів земної поверхні.

6. Охоронні зони. Щоб уникнути пошкодження трубопроводів внаслідок людської діяльності та забезпечити безпеку населення, у законодавчому порядку встановлені охоронні зони магістральних трубопроводів визначених розмірів в залежності від типу та характеристик трубопроводу. Стандарти та закони встановлюють розміри охоронних зон, які залежать від діаметру трубопроводу та транспортуючої речовини, але не включають поправок за дію різного роду чинників, від яких може залежати масштаб аварії та радіус зони враження.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень та публікацій

Проаналізувавши описані підходи, можна сказати, що усі методи мають свої переваги та недоліки. Для їх порівняння було визначено основні критерії, які суттєво впливають на ефективність вирішення поставленої задачі:

- можливість виявити малі витоків;
- завчасне виявлення небезпеки;
- визначення просторового розташування пошкодження;
- необхідність зупинки експлуатації трубопроводу на час огляду;
- можливість постійного моніторингу;
- спрацювання тривоги при виявленні загрози, для вчасного прийняття запобіжних заходів;
- трудові затрати на обслуговування;
- економічна доступність методу.

В таблиці 1 проведено оцінку методів за обраними параметрами, де чітко виділено їх переваги та недоліки.

Ефективність кожного описаного методу варіюється залежно від завдання та умов виконання. Аналіз таблиці 1 свідчить, що немає методу, який би задовольняв усі вимоги. Через ці

Таблиця 1 - Порівняння підходів до попередження та виявлення ризиків виникнення аварій

Метод	Виявлення витоків	Попередження	Розташування	Зупинка роботи	Постійний контроль	Миттєва тривога	Трудовитрати	Вартість
ТД і НК	ТАК	ТАК	ТАК	НІ	НІ	НІ	ВЕЛИКІ	ВИСОКА
Моніторинг технологічних параметрів	НІ	НІ	НІ	НІ	ТАК	ТАК	МАЛІ	НИЗЬКА
Внутрішньотрубна діагностика	ТАК	ТАК	ТАК	ТАК	НІ	НІ	СЕРЕДНІ	ВИСОКА
Обхідники	ТАК	НІ	ТАК	НІ	НІ	НІ	ВЕЛИКІ	СЕРЕДНЯ
Моніторинг зсувонебезпечних зон	НІ	ТАК	ТАК	НІ	ТАК	НІ	СЕРЕДНІ	НИЗЬКА
Охоронні зони	НІ	ТАК	НІ	НІ	ТАК	ТАК	МАЛІ	НИЗЬКА

недоліки виникає ймовірність не виявити причину, що може призвести до виникнення аварії.

В результаті виникає важливе питання оцінки ризиків трубопровідних мереж, що включає в себе оцінку впливу чинників на трубопровідні мережі (визначення найбільш вразливих ділянок, оцінка ризику виникнення аварій та прогнозування таких ситуацій), а також впливу на навколишнє середовище і здоров'я людей, які в безпосередній близькості до трубопроводу (розрахунок зони враження, прогнозування наслідків). В зв'язку з цим вирішення проблеми безпеки та надійності трубопровідних систем є одним з пріоритетних напрямків будь-якої держави.

Видатним спеціалістом у цій сфері є W. Kent Muhlbauer, який почав свої дослідження у 90-ті рр.. З тих пір він видав серію книг, присвячених оцінці ризиків трубопроводів. Остання з них – «Pipeline Risk Management Manual, Third Edition: Ideas, Techniques, and Resources» [4]. У кожному виданні удосконалюються засоби та алгоритми для оцінки ризиків, оскільки вони повинні відповідати сучасним технологіям. Цей підхід полягає у визначенні індексу безпечності окремих ділянок трубопроводу та їх порівняння, і потребує збору детальних входних даних про трубопровід, транспортуючий продукт та інші, фактори впливу, визначені методом.

Однією із передових організацій у сфері оцінки ризику є Det Norske Veritas (DNV, EU), яка спеціалізується на промисловій безпеці хімічної та нафтогазової промисловості. Ними розроблено програмні продукти PHAST і SAFETI. Методики та програмне забезпечення DNV розроблені на основі передового світового досвіду в сфері моделювання та оцінки наслідків різних аварійних ситуацій.

В Україні існують стандарти [5], які регламентують методику ідентифікації небезпек та

оцінювання ризиків. Така методика базується на експертній оцінці ймовірності виникнення аварійної ситуації та важкості наслідків за визначеною номенклатурою. Цей метод є досить простим і швидким, але він не може кількісно оцінити ризик, детально його обґрунтувати, розраховувати важкість наслідків чи надати достатньо інформації для прийняття важливих рішень.

Як свідчить багаторічна практика, серйозні аварії на трубопроводах зрідка мають одну причину, а здебільшого є наслідком одночасних відмов декількох елементів, які разом створюють виняткову подію з важкими наслідками. Цей взаємозв'язок між послідовними відмовами багатоеlementної системи зображено на рисунку 5, де використано модель «швейцарського сиру».

Небезпечні елементи або речовини утримуються багатократними захисними «бар'єрами» (методами виявлення та запобігання ризиків аварії). Бар'єри, що зображені на рисунку 5 окремими «шматками сиру», є методами та системами, призначеними для запобігання аварійних ситуацій. Бар'єри можуть мати слабкі місця, що зображені як «дірки» у шматках сиру. Вирівнювання «дірок» в один ряд у моделі відображає відмову декількох «захисних бар'єрів», що призводить до несприятливих подій.

У нафтогазовій промисловості використовують складні засоби контролю для виявлення несприятливої події та зменшення її наслідків, проте «дірки» в цих «розширених бар'єрах» можуть також накладатись та призводити до значної шкоди від пожежі, вибуху або інших руйнівних наслідків.

Вирішенням цієї проблеми може стати оцінка ризиків, яка за останні роки широко вивчається у різних сферах людської діяльності. Це стає невід'ємною частиною організації будь-яких робіт, те, що впливає на прийняття

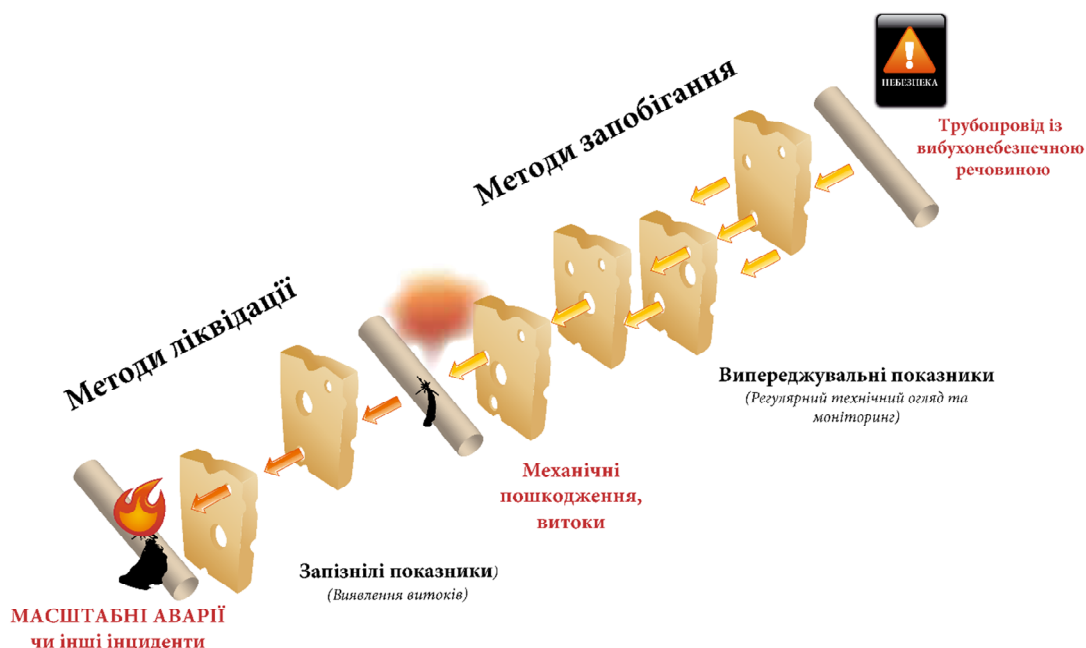


Рисунок 5 – Аналіз методів виявлення та запобігання виникнення аварій з використанням моделі «швейцарського сиру»

важливих рішень та на ефективність роботи. Оцінка ризиків перетворює це поняття у вимірювану величину, яку можна порівняти та спрогнозувати. Управління ризиками повинно призводити до поліпшення як в цілому, так і безпеки людського здоров'я, екологічної безпеки, попереджувати та запобігати виникненню нещасних випадків, пожеж, вибухів, чи інших аварій.

Актуальність досліджень у цій сфері полягає у зменшенні ризиків трубопроводних мереж шляхом оцінки рівнів впливу різних чинників на окремі ділянки трубопроводу, визначенні потенційно небезпечних зон, а також оцінці ризиків населенню і навколишньому середовищу, при мінімальних витратах на діагностику та ремонт трубопроводів.

Висновки

Статистичні дані аварій на газопроводах показують основні причини їх виникнення, слабкі місця та напрям для розвитку методів і засобів виявлення загроз трубопроводів. Аналіз літературних джерел і вивчення сучасних методів запобігання аварій на трубопроводах свідчить, що жоден із методів не є універсальним, і не здатен виявити усі типи чинників, підтверджує, що для вирішення даного завдання актуальним є розроблення методики, яка б базувалась на комплексному підході до оцінки ризиків виникнення аварій при експлуатації магістральних трубопроводів.

Зокрема планується продовжити дослідження та розробити методику оцінки ризиків трубопроводів, яка буде враховувати всі можливі чинники та їх параметри для прийняття правильних рішень, які знижуватимуть їх загрози.

Література

- 1 Ващишак С.П. Аналіз ризиків безпечної експлуатації інженерних споруд значної довжини та підходи до їх оцінки / С.П. Ващишак, П.М. Райтер, А.В. Яворський // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2011. – №2. – С. 54-58.
- 2 Лисанов М.В. Анализ Российских и зарубежных данных по аварийности на объектах трубопроводного транспорта / М.В. Лисанов, А.В. Савина, Д.В. Дегтярев и др. // Безопасность труда в промышленности. – 2010. – №7. – С. 16-22.
- 3 Gas pipeline incidents. 8-th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (1970-2010). Режим доступу: http://www.egig.nl/downloads/8th_report_EGIG.pdf.
- 4 Muhlbauer W. K. Pipeline Risk Management Manual, Third Edition: Ideas, Techniques, and Resources / Walter Kent Muhlbauer. – Texas, 2004. – 395 с.
- 5 СОУ 60.3-30019801-081:2010 Система управління промисловою безпекою. Ідентифікація небезпек та оцінювання ризиків. Методика. – 2010
- 6 Muhlbauer W. Rips identifies pipeline risks // Pipe Line Industry. – 1990р. – №3 – с.35-38
- 7 Башкин В.Н. Аварийные выбросы природного газа: проблемы и пути их решения / В.Н. Башкин, Р.В. Галиулин, Р.А. Галиулина // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2010. – №8. – С. 4-11.
- 8 Ревазов А.М. Анализ чрезвычайных и аварийных ситуаций на объектах магистрального газопроводного транспорта и меры по предупреждению их возникновения и снижению последствий / А.М. Ревазов // Управление

качеством в нефтегазовом комплексе. – 2010. – №1. – С. 68-70.

9 Кутуков С. Е. Проблема повышения чувствительности, надежности и быстродействия систем обнаружения утечек в трубопроводах / С. Е. Кутуков // Нефтегазовое дело. – 2004. – Т.2. – С. 29–45.

10 Грудз В.Я. Сучасні програмні продукти як засіб діагностування неізотермічних нафтопроводів / В.Я. Грудз, Л.І. Мельник, В.Т. Болонний, А.Я. Ждек // Актуальні питання нафтогазової галузі. – 2012. – № 1.

11 Zhang J. Designing a cost effective and reliable pipeline leak detection system. In: Pipeline reliability conference, Houston, USA; 1996.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
20.05.15*

*Рекомендована до друку
професором **Райтером П.М.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором **Банахевичем Ю.В.**
(відділ експлуатації ЛЧ МГ
ПАТ «Укртрансгаз», м. Київ)*