

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ЗОН ДІ НЕБЕЗПЕКОВИХ ФАКТОРІВ АВАРІЇ НА МІСЬКІЙ АВТОЗАПРАВНІЙ СТАНЦІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Васютинська К. А., Арсірій О. О., Іванов О. В.

1. Вступ

Науково-технічна революція (НТР) протягом XX–XXI ст. спричинила бурхливий розвиток промисловості, появу нових галузей виробництва, що призвело до перерозподілу трудових ресурсів і інтенсифікації процесів урбанізації в усьому світі. Загальне ж зростання чисельності населення призвело до концентрування техногенних об'єктів, в тому числі потенційно небезпечних, у містах-мегаполісах.

Процес формування систем безпеки значно ускладнився через 2 важливі обставини, які одночасно призвели до розширення зон ураження населення:

- 1) зростання чисельності та щільності населення, посилення його мобільності, а також збільшення розмірів урбанізованих територій призводить до постійного зменшення відстані від потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) до зони житлової забудови;
- 2) на ПНО накопичені високотоксичні та пожаровибухонебезпечні речовини у таких кількостях, що наслідки аварійних ситуацій на цих об'єктах можна порівнювати із наслідками потужних природних катастроф (землетруси, цунамі чи урагани).

Підтримання стану техногенної безпеки країни на пріоритетах безпечної життєдіяльності людини, здорового і безпечного довкілля – одне з найважливіших завдань держави. Важливою ланкою процесу забезпечення техногенної безпеки є процедура оцінювання ризиків надзвичайних ситуацій на ПНО, що закріплено у Законі України «Про об'єкти підвищеної небезпеки», Постанові Кабінету Міністрів України «Про ідентифікацію та декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки». Ці документи є основою для прийняття зважених управлінських рішень.

Внаслідок збільшення числа автомобілів в Україні, насамперед, у великих містах, зросла чисельність автозаправних станцій (АЗС), кількість яких складає близько 7000 та постійно збільшується. Значні обороти нафтопродуктів на АЗС, які є легкозаймистими рідинами (ЛЗР), зумовлюють посилення уваги до цих об'єктів як джерел підвищеної пожежовибухової небезпеки. Нормативні акти, які регулюють проектування і будівництво АЗС із забезпеченням протипожежних і противибухових норм, швидко стають застарілими і не встигають за ринком нафтопродуктів, який динамічно розвивається. Особливе занепокоєння викликає тенденція розміщення нових АЗС у межах міської забудови, у історичних центрах міст із визначними архітектурними пам'ятками, а також поблизу місць масового скупчення людей (дитячі майданчики, садово-паркові насадження, пішохідні зони із значним потоком людей). Іншим негативним фактом стало загострення конкуренції між мережами АЗС, які економлять на заходах техногенної безпеки, застосовують бензин низької якості, скорочують посади інженера з безпеки та використовують некваліфікований персонал.

Отже, АЗС є джерелом небезпек, які притаманні всім підприємствам з високими ризиками пожеж та вибухів. Бізнесові інтереси вимагають розміщення таких потенційно небезпечних об'єктів в щільно заселених районах урбогенного середовища. Це значно ускладнює наслідки можливих надзвичайних ситуацій в процесах експлуатації станцій і підвищує рівень небезпеки населення. Зонування території розміщення АЗС за принципом наслідків дії уражаючих факторів можливої аварії є актуальним та своєчасним завданням забезпечення екологічної безпеки міста. Визначення межі зон небезпеки з конкретними об'єктами, суспільними і житловими будівлями тощо, є необхідним кроком в розробці систем диверсифікації та управління ризиками.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є автозаправна станція традиційного типу [1], яка розміщена на території щільно заселеного житлового району м. Одеса, Україна. Автозаправна станція забезпечує транспортні засоби моторним паливом і маслом. АЗС складається з операторної, підземних резервуарів з паливом, аварійного резервуару, резервуару для збирання атмосферних осадів і технологічних люків, паливно-роздавальних колонок (ПРК). На території АЗС в будівлі операторної розміщені магазин, експрес-кафе та туалет. АЗС також включає мийку і станцію технічного обслуговування (СТО). Принципова схема АЗС представлена на рис. 1.

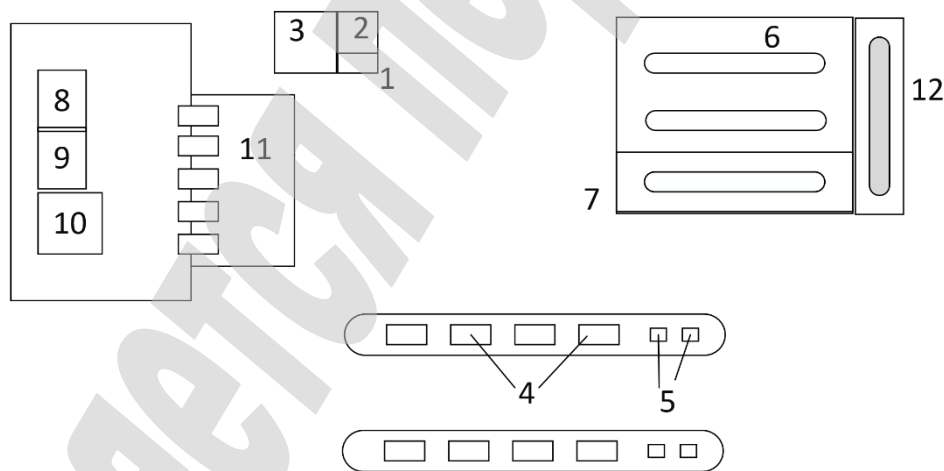


Рис. 1. Принципова схема автозаправної станції традиційного типу:

- 1 – будівля операторної; 2 – туалет; 3 – магазин та експрес-кафе;
- 4 – паливороздавальні колонки; 5 – колонки для заправки маслом;
- 6 – підземні резервуари з паливом; 7 – майданчик для автомобільної цистерни; 8 – станція технічного обслуговування; 9 – мийка;
- 10 – локальні очисні споруди для очищення нафтовмісних стоків;
- 11 – майданчик для зливу палива з технологічними люками та колодязями зливових стоків; 12 – аварійний резервуар

Одним з найбільш проблемних місць та специфічною особливістю АЗС є розміщення технологічного обладнання на відкритих майданчиках в середині

«спального» району міста. При такому розміщенні горючі та токсичні пари, які виділяються, розсіюються повітряними потоками та їх концентрації у подальшому знижуються до безпечного рівня. Вибухи та пожежі на зовнішніх установках можливі при аварійних ситуаціях, пов'язаних з утворенням вибухонебезпечних концентрацій парів нафтопродуктів у повітряному середовищі [2].

Аварійні ситуації на АЗС можуть виникнути при:

- переповненні резервуарів при зливу нафтопродуктів з автоцистерн;
- роз'єднанні з'єднувальних трубопроводів між резервуаром та автоцистерною;
- переповненні паливних баків автомобілів;
- пошкодженні паливно-роздавальної колонки (ПРК);
- корозійному зносі трубопроводів та резервуарів.

Потенційна небезпека АЗС також обумовлена технологічним обладнанням, що відпрацювало свій нормативний термін експлуатації. Підвищена пожежна небезпека притаманна як автоцистернам, так й автомобілям, які можуть одночасно заправлятися, що залежить від кількості працюючих заправних паливом і маслом постів (4 – для масла, до 8 – для палива).

Наявність великої кількості дизельного пального та бензину у ємнісному обладнанні АЗС створює небезпеку виникнення пожежі у випадку витоку палива та джерел спалахування. При витоку палива у технологічному колодязі створюється небезпека утворення вибухонебезпечних концентрацій паливно-повітряної суміші (ППС), що при наявності джерела ініціювання може обумовити вибух цієї суміші у технологічних колодязях і створити умови для подальшого розвитку аварії у підземних сховищах.

Таким чином, причинами пожеж та вибухів на АЗС можуть бути: відкритий вогонь, іскри, розряди статичної електрики, грозові розряди, самоспалахування, самозаймання і пірофорні відкладення. Початковою подією аварії на АЗС є витік пожежовибухонебезпечного продукту.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – розробити метод оцінювання зон дії факторів ураження із застосуванням геоінформаційної технології на основі аналізу сценаріїв розвитку аварійної ситуації на автозаправній станції (АЗС).

Для досягнення поставленої мети визначені наступні завдання:

1. Проаналізувати пожежовибухонебезпечні фактори на АЗС та можливі сценарії розвитку НС при виникненні аварійної ситуації на об'єкті, і відповідно до обраного сценарію провести обробку первинних даних, необхідних для подальших розрахунків.

2. За обраним сценарієм розвитку НС на основі оброблених первинних даних провести розрахунок зон ураження небезпечним фактором, які виникають внаслідок розвитку аварії.

3. Обґрунтувати структурні компоненти геоінформаційної системи, яка буде використана для нанесення відповідних зон ураження небезпечним фактором на карту міської забудови.

4. Здійснити класифікацію об'єктів «турботи», що потрапили у відповідну зону ураження небезпечним фактором.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Характерною рисою всіх технічних систем є ризик втрати статичної надійності, внаслідок чого можуть виникати НС із значними матеріальними втратами. Вже з кінця 70-х років ХХ століття у всьому світі існує політика «прийняттого» ризику технологій, яка є підґрунтям техногенно-екологічної безпеки, та спрямована на розв'язання екологічних проблем, що пов'язані з господарською діяльністю людини та функціонуванням техносфери.

За останні роки проведені вагомі дослідження в галузі методології визначення техногенних ризиків для ПНО. Так, у роботі [3] представлені основні алгоритми визначення техногенного ризику промислового об'єкту із порівнянням методів індексного та імітаційного моделювання. Досліджені методи побудови «Дерева відмов» на прикладі водонагрівачів ТЕЦ дозволяють використовувати їх для технологічного обладнання навіть в режимі нормальної експлуатації. Застосування індексів екологічних ризиків поширене авторами [4] на оцінювання екологічної безпеки територіальних утворень через встановлення кореляцій між об'єктними джерелами небезпек та екосистемами територій.

За останні роки створено значну кількість географічних інформаційних систем (ГІС) екологічного спрямування для візуалізації кризових ситуацій та сценаріїв їх розвитку. Втілення ГІС-орієнтованого системного підходу до відображення та аналізу стану забруднення урбанізованих територій під час побудови тематичних карт висвітлено у роботі [5]. Там же наведені результати використання сучасних ГІС-технологій для створення картографічних моделей зон атмосферного, акустичного та ґрунтового забруднень територій з метою визначення їх екологічної якості на прикладі м. Хмельницького, Україна.

Вивчення проблеми формування небезпек і ризиків при експлуатації автозаправних станцій, бензоколонок, нафтогазових мереж та інших підприємств нафтогазового комплексу проводиться як в Україні, так і у всьому світі. Аналіз показує, що переважна більшість досліджень пов'язує небезпеку експлуатації автозаправної станції з впливами токсичних складових палива на всі компоненти довкілля [6–8].

Автором роботи [6] на основі оцінювання впливів поллютантів на повітря, ґрунтові води і ґрунти розроблені системи контролю та управління якістю довкілля. Використаний метод оцінок співвідношення вмісту аліфатичних та ароматичних вуглеводнів в повітрі міста та в зоні впливу бензоколонок дозволяє виділяти на території міста смуги небезпеки для населення, шкіл, лікарень, інших громадських об'єктів. Особливості бензину як рідкого палива сприяють витоку легколетючих органічних сполук (ЛОС). Їх розподілу в повітряному просторі в районі АЗС присвячена робота [7]. Проведені дослідження також визначають атмосферні умови займання утворених внаслідок витоку хмар бензинових компонентів з урахуванням нижніх і вищих вогнестійких меж кожного з'єднання.

В роботі [8] не тільки розглядаються емісії забруднюючих речовин в атмосферне повітря як джерело вторинного забруднення ґрунтових вод та ґрунтів, але й пропонуються заходи з управління якістю навколишнього середовища. Контроль екологічних наслідків експлуатації заправочних станцій запропонований на прикладі штату Сан-Паулу, Бразилія.

Токсичні компоненти палива мають несприятливі наслідки для здоров'я людей. Автори [9] досліджували фізичні, хімічні, біологічні та фізіологічні фактори ризику в робочому середовищі працівників АЗС. Були визначені високі значення ризиків, нещасні випадки на виробництві охоплювали 94,1 % працівників АЗС, а 74,2 % від загальної кількості персоналу постраждали від контакту палива з очима.

В роботах [10, 11] оцінені ризики для здоров'я обслуговуючого персоналу заправних станцій на основі токсикологічних параметрів половинної та 95 % смертності. Показане, що очищення аерозольних витоків зменшує ризики для здоров'я, але не впливає на загальний ризик раку та ризик зниження тривалості життя внаслідок раку. В роботі [11] проведено моделювання ризиків для здоров'я методом Монте-Карло у порівнянні із загальною ймовірністю ризику. Це дозволило визначити ризик несприятливих наслідків для здоров'я від впливу токсичних ароматичних сполук в умовах станції технічного обслуговування в межах до 3 % від загальної кількості населення, що є прийнятним. Вагомі результати проведення ризик-аналізу безпеки складних об'єктів представлені в роботі [12]. Автори справедливо акцентують увагу на суб'єктивності існуючих вимірювань оцінки безпеки нафтогазових підприємств. Розроблена інтегрована система, в якій розглядаються визначені на основі дерева відмов найважливіші фактори ризику, серед яких надійність статичного і динамічного обладнання, проблеми управління. З метою втілення практичної стратегії безпеки складної технологічної системи застосовується комплексна оцінка.

В Україні питання забезпечення екологічної безпеки об'єктів транспортування, перекачування та зберігання нафти та нафтопродуктів досліджені недостатньо. Методологія моделювання НС на об'єктах нафто- та газотранспортної галузей досліджена в роботах [13, 14], в яких наведені окремі приклади використання ГІС-технологій для визначення зон ризиків при аваріях на магістральних трубопроводах. Авторами роботи [2, 15] на якісному рівні охарактеризовані наслідки аварій на АЗС, окреслені проблеми забезпечення їх пожежовибухонебезпеки, зроблений висновок про необхідність детальної оцінки ступеня ризику від даних техногенних об'єктів.

Можна констатувати широке коло нерозглянутих питань щодо мінімізації ризиків технологічних процесів зберігання нафтопродуктів та паливних матеріалів на таких ПНО, як автозаправні станції (АЗС), в межах міських агломерацій.

5. Методи дослідження

В роботі використані методи ризик-аналізу, метод візуалізації та геоінформаційного моделювання.

Аналіз подій, що можуть призвести до виникнення аварії (порушення герметичності технологічної системи), дозволяє розділити їх на 2 основні групи: події 1-ої групи і події 2-ої групи.

Події 1-ої групи – події, які можуть призвести до порушення нормального технологічного режиму АЗС, наприклад:

- хворобливий наркотичний стан працівника АЗС;
- знос матеріалів, деталей обладнання, кріплень, прокладок, сальників і т. д.;

– вихід з ладу засобів захисту від статичної електрики і вторинних проявів блискавок;

– несправність дихального клапану.

Події 2-ої групи – аварійні ситуації порушення нормального технологічного режиму АЗС чи стану обладнання, які призводять до того, що герметичність технологічної системи може бути порушена, наприклад:

– переповнення резервуарів, баків автотранспорту;

– експлуатація негерметичного насосу ПРК;

– включення у роботу негерметичних ділянок трубопроводу;

– роботи з інструментом, що іскрить і т. д.

Аварійні ситуації можуть мати декілька стадій розвитку, при поєднанні певних умов можуть біти призупинені, перейти у наступну стадію чи перейти на більш високий рівень:

– рівень «А» – аварія, розвиток якої не виходить за межі розглядуваного технологічного блоку;

– рівень «Б» – аварія, розвиток якої виходить за межі розглядуваного технологічного блоку, але обмежена територією АЗС;

– рівень «В» – аварія, розвиток якої виходить за межі, обмежені територією АЗС.

Локалізація ряду аварій можлива лише на перших стадіях розвитку. При неможливості локалізації аварії відбувається ланцюговий розвиток – розгерметизація основного обладнання та викид з нього інших продуктів і т. д., що призводить до ефекту «доміно», особливо небезпечному при великих кількостях пожежовибухонебезпечних речовин на АЗС [15].

В якості об'єкта моделювання було обрано конкретну АЗС у межах великого міста, в якості якої обрана АЗС, яка знаходиться у м. Одеса (Україна) на вул. Гастелло. Основні види робіт, які виконуються на АЗС: прийом нафтопродуктів (бензин А-80, АІ-93; дизельне паливо); зберігання нафтопродуктів; заправка автомобілів. Приймаємо, що до складу ПНО входять резервуар місткість 40 м^3 (згідно з [16] місткість максимально можлива для міста із чисельністю мешканців більше 200 тис.) та 1 цистерна місткістю 15 м^3 . Характеристика розміщення ПНО: на схід від АЗС на відстані 40 м розміщена автомагістраль; на захід від АЗС на відстані 20 м розміщена автомийка, а на відстані 40 м – гаражний кооператив. На південь від АЗС на відстані 53 м розміщений заклад громадського харчування – кафе-бар. На північ від АЗС на відстані 55 м розташований багатоповерховий будинок. На схід від АЗС за автомагістраллю на відстані 70 м розміщена газорозподільча станція. В якості аварійної ситуації розглядаємо локальне руйнування резервуару із наступним спалахом витоку, що може призвести до виникнення ударної хвилі.

Ударна хвиля – це ділянка сильного стиснення повітря, розігрітого до декількох мільйонів градусів, що поширюється з надзвуковою швидкістю (335 м/с) в усі сторони від центру вибуху [17].

Кількість нафтопродуктів, яка може вилитись на вільну поверхню, приймається згідно із наступних припущень [18]:

– при розрахунку значень критеріїв вибухопожежної безпеки, як розрахунковий, слід вибрати найбільш несприятливий варіант аварії або період

нормальної роботи апаратів, при якому у вибуху бере участь найбільша кількість речовин і матеріалів, найбільш небезпечних щодо наслідків вибуху;

- весь вміст апарата надходить до навколишнього простору (відповідно 40 і 15 м³);
- відбувається випаровування з поверхні рідини, що розлилася. Площу випаровування при розливі на горизонтальну поверхню визначаємо, виходячи з розрахунку, що 1 л сумішей і розчинів, які містять 70 % і менше (по масі) розчинників, розливається на площі 0,1 м², а інших рідин – на 0,15 м² (1 л на 0,15 м²);
- тривалість випаровування рідини приймаємо рівною 3600 с.

Метеодані приймаємо для м. Одеси (Україна) за місяць липень (найбільш несприятливий період): $t=29$ °С; швидкість вітру 3,0 м/с [19].

6. Результати дослідження

6.1. Розрахунок розмірів зон ураження ударною хвилею при вибуху ємності з нафтопродуктами на АЗС

Розрахунки проведені за методикою, визначеною нормативним документом [18]. Маса парів рідини m , кг, які надійшли до навколишнього простору при наявності декількох джерел випаровування (поверхня розлитої рідини, відкриті ємності тощо), визначається за формулою:

$$m = m_p + m_{\epsilon_{mn}} + m_{пер}, \quad (1)$$

де m_p – маса рідини, що випарувалася з поверхні розливу, кг; $m_{\epsilon_{mn}}$ – маса рідини, що випарувалася з поверхонь відкритих ємностей, кг; $m_{пер}$ – маса рідини, що випарувалася у навколишній простір у випадку її перегрівання, кг.

При цьому, кожен із складових ($m_p, m_{\epsilon_{mn}}$) у формулі (1) визначають з рівняння:

$$m = W \cdot F_B \cdot \tau, \quad (2)$$

де W – інтенсивність випаровування, кг/(с·м²); F_B – площа випаровування, м²; τ – тривалість надходження парів ЛЗР до навколишнього простору, с.

Інтенсивність випаровування W визначають за довідниковими та експериментальними даними. Для ЛЗР, не нагрітих вище температури оточуючого середовища, у разі відсутності даних, допускається розраховувати W за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M} \cdot P_H, \quad (3)$$

де M – молярна маса, г/моль; P_H – тиск насиченої пари при розрахунковій температурі рідини, яка розрахована за довідниковими даними, кПа, або за формулою:

$$P_H = 0,133 \cdot 10^{A - \frac{B}{C+t}}, \quad (4)$$

де A, B, C – константи Антуана (довідникові дані); t – розрахункова температура рідини, °С.

Виходячи з розглянутого варіанту аварії, визначається маса m , кг, горючих газів і (або) парів, що потрапили до атмосфери з технологічного апарата.

Величину надлишкового тиску ΔP , кПа, що розвивається у разі згоряння газопароповітряних сумішей, визначають за формулою:

$$\Delta P = P_0 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{np}}{r^3} \right), \quad (5)$$

де P_0 – атмосферний тиск, кПа (допускається приймати таким, що дорівнює 101 кПа); r – відстань від геометричного центра газопароповітряної хмари, м; m_{np} – приведена маса газу або пари, кг, обчислюється за формулою:

$$m_{np} = \left(\frac{Q_{sz}}{Q_0} \cdot m \cdot Z \right), \quad (6)$$

де Q_{sz} – питома теплота згоряння газу або пари, Дж/кг;

Z – коефіцієнт участі горючих газів і парів у горінні, який допускається приймати рівним 0,1;

Q_0 – константа, що дорівнює $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг;

m – маса горючих газів і (або) парів, які надійшли в результаті аварії до навколишнього простору, кг.

Виходячи із вищенаведених даних, розраховано кількість ЛЗР, яка потрапила до атмосфери, а також площу розливу, на яку потрапляють дані нафтопродукти. Розрахунок проведено для 3 видів палива відповідно для резервуару (40 м^3) та цистерни (15 м^3) (табл. 1).

Також розраховані інтенсивність випаровування та кількість парів рідини, яка бере участь у вибуху. Оскільки в нормативах використовують дані для бензину А-72, який вже не використовують для заправок сучасного транспорту, та близькість показників складу та властивостей з бензином А-80, приймаємо параметри бензину А-72 для А-80. Визначено величину надлишкового тиску у радіусі 30 м від осередку аварії, яка складає 68,591 кПа для бензину А-80, 67,796 кПа – бензину АИ-93 та 5,466 кПа – для дизельного палива (для резервуарів місткістю 40 м^3). При руйнуванні цистерн ці величин відповідно складають 38,551 кПа; 38,148 кПа та 3,740 кПа. Як видно, найбільш безпечним при вибуху є дизельне паливо.

Таблиця 1

Результати розрахунків зон ураження ударною хвилею від руйнування резервуарів (40 м^3) та цистерн (15 м^3), що містять легкозаймісті речовини

Розрахунковий параметр	Бензин А-80		Бензин АИ-93		Дизельне паливо	
	Резервуар	Цистерна	Резервуар	Цистерна	Резервуар	Цистерна
Згорання ППС з утворенням ударної хвилі						
Маса ЛЗР, яка потрапила до навколишнього середовища m , кг	28880,0	10830,0	30100,0	11287,5	34160,0	12810,0
Площа проливу ЛЗР F , м^2	6000	2250	6000	2250	6000	2250
Тиск насиченої пари ЛЗР P_n , кПа	3,9714	3,9714	3,9304	3,9304	0,0156	0,0156
Інтенсивність випаровування ЛЗР W , $\text{кг/с}\cdot\text{м}^2$	$3,915 \cdot 10^{-5}$	$3,915 \cdot 10^{-5}$	$3,895 \cdot 10^{-5}$	$3,895 \cdot 10^{-5}$	$2,219 \cdot 10^{-7}$	$2,219 \cdot 10^{-7}$
Маса парів рідини, яка бере участь у вибуху $m_{\text{парів}}$, кг	845,73	317,15	841,28	315,48	4,79	1,80
Питома теплота згорання парів ЛЗР $Q_{\text{зг}}$, кДж/кг	44239	42239	43641	43641	43419	43419
Приведена маса парів рідини $m_{\text{пр}}$, кг	827,75	310,41	812,26	304,60	4,60	1,73
Величина надлишкового тиску ΔP , кПа (радіус 30 м)	68,591	38,551	67,796	38,148	5,466	3,740
Радіус зони руйнувань r , м:						
повних (100 кПа)	24,65	17,81	24,50	17,70	4,41	3,18
сильних (50 кПа)	35,70	25,80	35,48	25,64	6,40	4,62
середніх (30 кПа)	48,31	34,93	48,01	34,71	8,67	6,27
слабких (10 кПа)	102,94	74,45	102,30	73,99	18,53	13,40

6.2. Застосування геоінформаційних технологій для визначення рівня техногенної безпеки ПНО у межах міської території

Для візуалізації зон ураження небезпечними факторами внаслідок аварійної ситуації на АЗС в межах міської території застосовані методи геоінформаційного моделювання. ГІС-технології мають певні переваги – наочність і доступність інформації, які дозволяють адекватно оцінювати ситуацію та швидко приймати відповідні управлінські рішення з мінімізації наслідків аварій. Відмітимо, що межі застосування ГІС методу залежать від точності розрахункових моделей, які використовуються для визначення сценаріїв розвитку аварійних ситуацій. Також відмітимо важливу рису ГІС – багат шаровість тематичних карт, що дозволяє в межах однієї карти комбінувати різні показники для отримання поглибленої інформації.

Наприклад, накладати ізолінії значень ризику (індивідуального, колективного, соціального) на карту щільності населення.

Тож, вважаємо доцільним створення комплексної ГІС, яка дозволяє на певній території міського простору оперувати з усіма видами ПНО, обираючи і розраховуючи для них будь-який сценарій розвитку НС чи аварії залежно від конкретної ситуації. Запропонована архітектура комплексної ГІС, яка представлена на рис. 2.

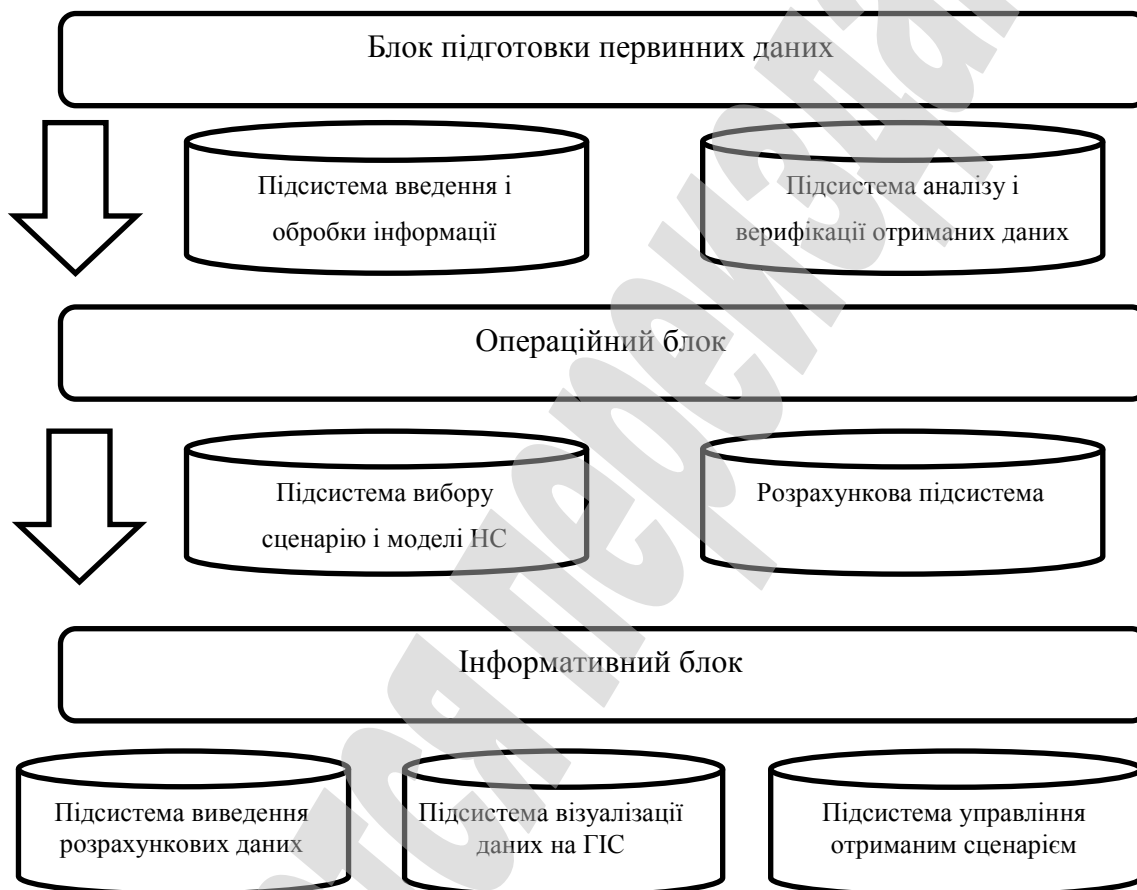


Рис. 2. Схема архітектури комплексної геоінформаційної системи з оцінки техногенної безпеки потенційно небезпечного об'єкта

Всю сукупність інформації, яка вводиться до блоку підготовки первинних даних і є необхідною для прогнозування наслідків аварій та катастроф, можливо розподілити на три групи:

- іманентні характеристики ПНО, до складу яких, поряд із іншими, відносяться й властивості сильнодіючих отруйних речовин;
- характеристики району розташування об'єкта;
- кліматичні характеристики.

Інша частина інформації ГІС (наприклад, розташування населених пунктів відносно об'єкта, що вивчається) використовується на стадії аналізу рівня небезпеки, адже величина шкоди при аварії залежить від взаємного розташування реципієнтів ризику та місця аварії.

Варто відмітити, що на карті мають бути розміщені усі ПНО, які занесені до Державного реєстру ПНО і контролюються органами Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС), що зменшує час на пошук об'єкта. Іманентні характеристики ПНО беруться з відповідних даних органів ДСНС, керівників підприємств, а також інших відомчих органів. Кліматичні характеристики атмосфери на момент сценарію беруться із даних Українського гідрометеорологічного центру.

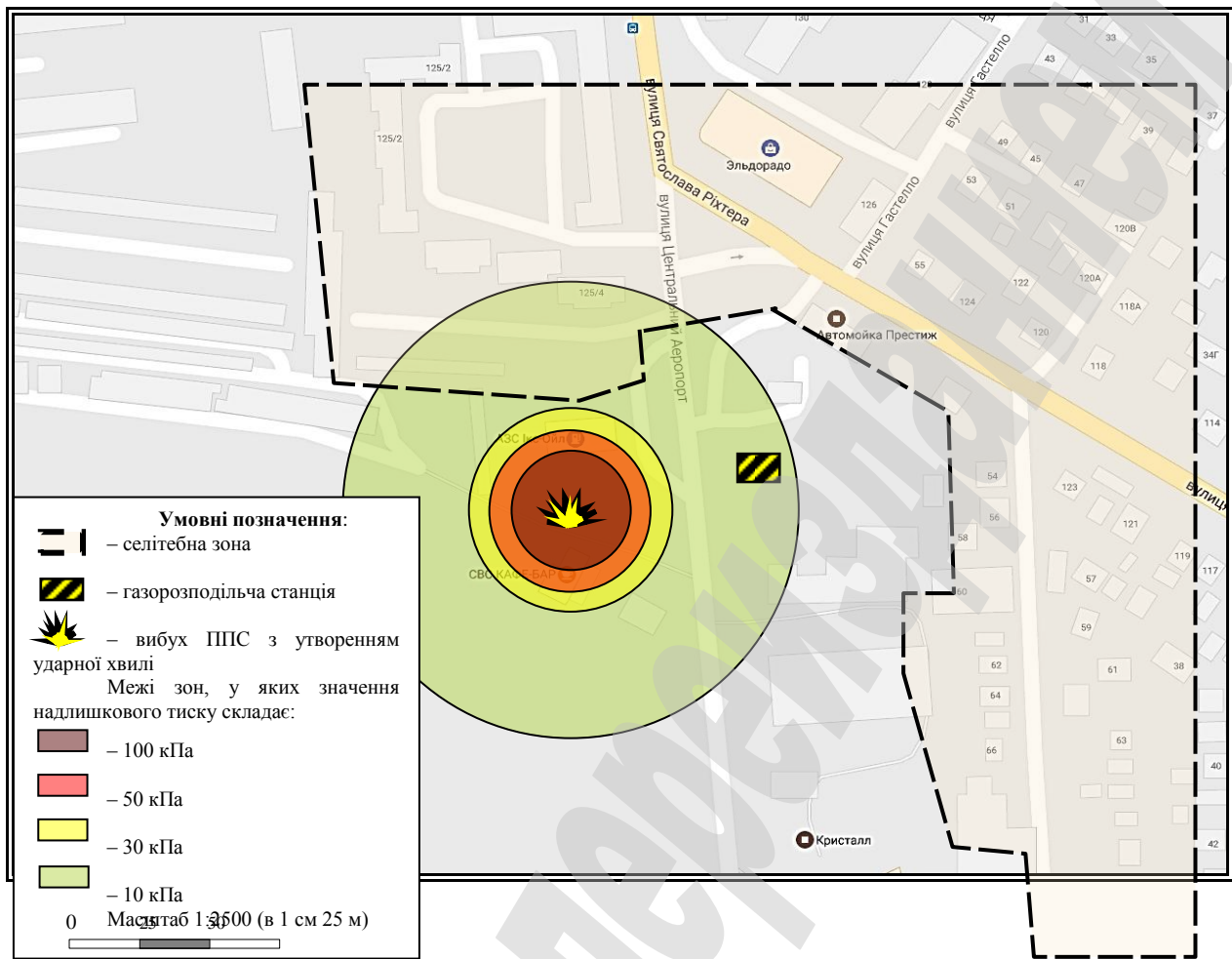
Після того, як первинні дані введені у систему, обирається можливий сценарій розвитку із запропонованих операційним блоком. Сценарії, які пропонуються, розглядаються згідно із затвердженими відомчими органами інструкціями та методиками їх розрахунку. Очевидно, що комплексна ГІС може включити в себе вже оброблені та алгоритмізовані варіанти, які є наявними у теперішній час. Для інших сценаріїв повинна бути проведена алгоритмізація та обробка на ЕОМ із написанням відповідної програми. Розрахункова підсистема представляє собою програму, написану на основі алгоритму розрахунку моделі, яка у свою чергу має за основу затверджену розрахункову методику. Очевидно, що після обрання сценарію розвитку події, може знадобитись певна кількість додаткової інформації, необхідної для розрахунку.

Інформативний блок передбачає виведення розрахункових даних за запитом користувача в скороченій або розширеній табличних формах. Також у цьому блоці користувач має змогу працювати із електронними картами, на якій після задання конкретного ПНО та розрахунку сценарію вже буде відображено тематичну інформацію (зони ураження тощо).

За основу пропонується брати розроблені GoogleMaps. Згідно із архітектурою ГІС (рис. 2), на тематичній карті будуть зображені ПНО, зона дії уражуючих факторів (ударної хвилі) та інформативне табло. На табло відображається загальна інформація – зона високого, середнього, низького ризику; опис можливих загроз для людини у кожній зоні, а також можливі руйнування будівель і майна. Передбачене використання у ГІС хмарних технологій з метою прискорення розрахунків, а також з метою максимально оперативного оновлення інформації.

В якості ГІС для моделювання зон техногенних ризиків було використано геоінформаційну систему Quantum GIS версії 2.18.2 – це високотехнологічна модель візуалізації з відкритим інформаційним кодом, що розповсюджується на умовах GNU General Public License. QGIS є проектом Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) [20].

Дані розмірів зон із використанням ГІС QGIS 2.18.2 було нанесено на карту з метою виявлення об'єктів, що піддаються ураженню (рис. 3).



Картографічні дані: © Google, 2016

Рис. 3. Візуалізація зон ураження ударною хвилею від аварії на автозаправній станції на карті міста Одеса, Україна, із застосуванням Quantum GIS

6.3. Класифікація об'єктів «турботи», що потрапляють у зони ураження ударною хвилею

При можливості виникнення і розвитку аварійної ситуації на ПНО дуже важливим для прийняття зважених управлінських рішень необхідно класифікувати об'єкти «турботи», які потрапляють у зони високого, середнього та низького ризику.

За визначенням [21], об'єкт «турботи» – реципієнти, на яких негативний вплив аварій створює небезпеку для життєдіяльності населення та для довкілля і зачіпає інтереси громадськості. Головним об'єктом «турботи» є людина. Необхідно визначити загрозу для людини, для чого виділити місця проживання, підприємства й організації, що потрапляють у зону ураження. Як інші об'єкти «турботи» слід розглядати:

- соціально важливі об'єкти;
- елементи екосистеми;
- майно юридичних і фізичних осіб.

Як соціально важливі об'єкти слід розглядати:

- місця великого скупчення людей (стадіони, кінотеатри, лікарні тощо);
- природоохоронні об'єкти (заповідники, парки тощо);

- зони відпочинку (рекреаційні зони);
- об'єкти культури (музеї, палаци, пам'ятники архітектури тощо);
- об'єкти життєзабезпечення (станції водопідготовки, об'єкти енергопостачання, об'єкти комунального господарства, транспортні магістралі тощо);
- місця розташування органів місцевого самоврядування, державної адміністрації й інших органів управління життєдіяльністю.

Як елементи екосистеми, де можливий негативний вплив аварій, слід розглядати: флору і фауну; атмосферу; водне середовище (ріки, водойми, морська акваторія); землю, включаючи ґрунтові води; інші об'єкти впливу.

Як майно юридичних і фізичних осіб можуть розглядатися:

- житлові та господарські будівлі;
- транспортні засоби;
- дачні та садові ділянки;
- будівлі, споруди та устаткування підприємств;
- майно промислових підприємств, організацій та установ;
- орні землі, домашня худоба й інші сільськогосподарські об'єкти;
- сировина та продукти виробництва, у тому числі посіви та врожай;
- інше рухоме та нерухоме майно.

Крім цього необхідно виділити інші об'єкти «турботи», що потрапляють у зону небезпечного впливу аварії.

Залежно від надмірного тиску і швидкісного напору повітря виникають різні пошкодження у людей і тварин, які за складністю ураження поділяються на легкі, середні, важкі і дуже важкі травми (табл. 2).

Таблиця 2

Характеристика пошкоджень людей і тварин у залежності від величини надмірного тиску у фронті ударної хвилі*

Величина надмірного тиску, кПа	Пошкодження	Характеристика пошкоджень
20–40	Легкі травми	Вивихи, тимчасове пошкодження слуху, контузія
40–60	Середні травми	Контузія, пошкодження органів слуху, вивихи кінцівок, кровотечі з носа і вух, розриви барабанних перетинок
60–100	Важкі травми	Важкі контузії, переломи кінцівок (часто відкриті), сильні кровотечі з носа і вух
>100	Дуже важкі травми	Переломи кісток, розриви внутрішніх органів (печінки, селезінки, нирок, легень та інших), відкриті переломи кінцівок, струси мозку, переломи хребта

Примітка: * складено на основі даних [18].

З метою визначення характеру руйнувань і встановлення обсягу рятувальних та інших невідкладних робіт залежно від надмірного тиску у фронті ударної хвилі, осередок ураження умовно поділяють на чотири зони (табл. 3).

Таблиця 3

Характеристика руйнувань об'єктів, будівель залежно від величини надмірного тиску у фронті ударної хвилі*

Величина надмірного тиску, кПа	Ступінь руйнування	Характеристика руйнувань
>100	Зона повних руйнувань	Руйнування або сильна деформація всіх несучих конструкцій і елементів споруди, утворення суцільних завалів. Підземні (підвальні) частини споруд значно менше руйнуються. Повністю руйнуються житлові та виробничі споруди. До 90 % підземних комунально-енергетичних мереж зберігаються
50–30	Зона сильних руйнувань	Руйнування багатопверхових будинків виникають при надмірному тиску 25–30 кПа, малоповерхових будівель – 25–35 кПа, споруд виробничого типу – 30–50 кПа. Деформується більша частина несучих конструкцій. Можуть залишатися частково стіни і перекриття нижніх поверхів. Утворюються завали
30–10	Зона середніх руйнувань	Більшість несучих конструкцій зберігається, лише частково деформується. Зберігається основна частина стін з можливими тріщинами в зовнішніх стінах і провалами в окремих місцях, але при цьому другорядні та частина несучих конструкцій можуть бути зруйновані повністю. Виникають при надмірному тиску 10–20 кПа для багатопверхових будівель, 15–25 кПа – малоповерхових, 20–30 кПа – виробничих споруд. На комунально-енергетичній мережі деформуються і руйнуються окремі опори повітряних ліній електропередач, пошкоджуються технологічні трубопроводи
20–7	Зона слабких руйнувань	Руйнування вікон, дверей, легких перегородок, поява тріщин, в основному в стінах верхніх поверхів. Підвали й нижні поверхи зберігаються. Незначні руйнування і пошкодження на комунально-енергетичній мережі
5–3	Пошкодження	Порушення найбільш слабких елементів будівель: карнизів, перегородок, дверей, вікон та ін. Руйнування скління на 90 % при надмірному тиску 5–10 кПа

Примітка: * складено на основі даних [21].

Проведено розрахунок розмірів небезпечних зон, у яких можливі повні (надмірний тиск понад 100 кПа), сильні (100–50 кПа), середні (50–30 кПа) та слабкі руйнування (10 кПа) об'єктів та будівель, а також виникають відповідні травми у людей (табл. 2).

Як видно із результатів візуалізації (рис. 3), у зону середніх руйнувань (тиск від 30 до 10 кПа) потрапляє частина житлової забудови (а саме, 2 багатопверхових будинків), газорозподільча станція, заклад громадського харчування. При цьому у житлових будинках частково деформується більшість несучих конструкцій, з'являються тріщини в зовнішніх стінах і провали в окремих місцях, при цьому другорядні та частина несучих конструкцій можуть бути зруйновані повністю. На комунально-енергетичній мережі пошкоджуються технологічні трубопроводи, що

може викликати ефект «доміно» на газорозподільчій станції. У людей, які потрапляють у цю зону, можуть виникнути легкі травми (контузії, вивихи кінцівок, тимчасова втрата слуху).

Варто також відмітити, що практично повністю від ударної хвилі може постраждати не лише АЗС, а й розташована поруч автомийка (20 м), а також сильних руйнувань зазнає гаражний кооператив. Також значна частина автостради підпадає під зону дії ударної хвилі, що може викликати значні людські жертви, коли у годину пік поблизу перехрестя збирається велика кількість автомобілів.

В цілому, кількість людських жертв може збільшитися не лише за рахунок персоналу АЗС, а й персоналу автомийки, мешканців будівель, випадкових перехожих на вулиці.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Таким чином, запропонована комплексна ГІС у результаті матиме наступні корисні властивості:

1) *системність* – поєднання ПНО як об'єкту впливу з суб'єктами наслідків НС та реципієнтами впливів в систему взаємопов'язаних елементів;

2) *інтегральність* – можливість системи в рамках запропонованого методу розглядати не лише один сценарій розвитку, а їх сукупність, а також варіанти їх розгалуження та перекривання;

3) *наочність (інформативність)* – здатність прийняття зважених, адекватних управлінських рішень;

4) *оперативність*;

5) *кросплатформність* – можливість використання даної ГІС на різних обчислювальних пристроях завдяки використанню хмарних технологій;

б) *відкритість* – забезпечує гласність та вільний доступ усіх зацікавлених сторін.

Використання методу моделювання розвитку аварійної ситуації на АЗС у межах міста-мільйонника підвищує оперативність подання інформації, дозволяє адекватно прогнозувати розвиток екологічної ситуації в системі управління ризиком. Це також позитивно впливає на роботу органів ДСНС у забезпеченні техногенної безпеки міста.

На відміну від охарактеризованих вище аналогів, розроблений метод дозволяє візуалізувати конкретну територію міста, яка охоплюється негативними факторами наслідків аварії. Це дозволяє визначати об'єкти «турботи», що потрапляють у відповідні зони ризику, проводити їх класифікацію за рівнями ушкоджень та організовувати відповідні заходи з мінімізації ризиків в системі управління екологічною безпекою міста.

Weaknesses. У разі застосування запропонованого методу оцінки наслідків аварій на міській АЗС, виникає необхідність розробки розрахункових методів для комбінації різних сценаріїв, навіть таких, які раніше не розглядалися. Такий підхід буде вимагати розроблення додаткових алгоритмів обчислення, нових програмних продуктів, можливо, даних дистанційного зондування та сучасних геоінформаційних технологій. Тож, кінцевий продукт може бути більш складним для персоналу в умовах його практичного застосування, що, навпаки, призведе до збільшення часу оброблення інформації.

Opportunities. Зважаючи на наявність високотоксичних речовин на об'єктах АЗС, розвиток різноманітних сценаріїв як для людини, так і для навколишнього середовища, може бути катастрофічним. Використання ж хмарних технологій дозволяє одночасно використовувати ресурси багатьох ЕОМ, що дозволить у максимально короткий строк надавати достовірний прогноз щодо особливостей конкретної ситуації та масштабів її наслідків. Розгалуження дерева подій та врахування комбінованих сценаріїв вимагає застосування засобів інтелектуальної візуалізації [22].

Для розроблення більш інформативної геоінформаційної моделі у перспективі можливе додавання шарів даних про стан природних компонентів території розміщення ПНО. Тож, доцільно залучати результати оцінок ризиків підтоплення ґрунтів, зсувів, карстів, підвищення рівня залягання ґрунтових вод. Серед техногенних факторів необхідно враховувати фоновий стан забруднення атмосфери, ґрунтових вод, ґрунтів на основі даних моніторингу, а також дані з інтенсивності руху автотранспорту в місті. Використання такої комплексної інформації та створення відповідних баз даних дасть змогу оцінювати рівні природно-техногенної безпеки районів розміщення ПНО (АЗС – в конкретному випадку) в місті в режимі реального часу.

Threats. Запропонований метод вимагає освітлення конкретних технологічних параметрів автозаправних станцій, які, перш за все, проводять комерційну діяльність. Впровадження методу може суперечити бізнес-інтересам власників, вимагати від них додаткових фінансових вкладень на організацію безпекових заходів. Але безпека міста як цільної урбоекосистеми, безпека кожного мешканця, має бути абсолютною прерогативою в системах управління будь-якою діяльністю.

8. Висновки

1. Оброблені первинні дані, необхідні для аналізу пожежовибухонебезпечних факторів та можливих сценаріїв розвитку НС на АЗС. Початковою подією аварії на АЗС є витік пожежовибухонебезпечного продукту (бензин, дизельне паливо, моторне масло). Відкритий вогонь, іскри, розряди статичної електрики, грозові розряди, самоспалахування, самозаймання і пірофорні відкладення, можуть призвести до пожеж та вибухів.

2. За обраним сценарієм розвитку НС на основі оброблених первинних даних визначені розміри території руйнувань, які виникають внаслідок розвитку аварії. Розраховані зони ураження ударною хвилею, у яких можливі повні (надмірний тиск понад 100 кПа), сильні (100–50 кПа), середні (50–30 кПа) та слабкі (менш 10 кПа) руйнування об'єктів та будівель, а також виникають відповідні травми у людей.

3. Запропонована архітектура комплексної ГІС, яка включає етапи вибору сценарію розвитку надзвичайної ситуації, обробки первинних даних, розрахунку величин та радіусів зон складових параметрів аварійної ситуації, а також візуалізацію зон руйнувань. ГІС використана для нанесення трьох зон ураження фактором ударної хвилі на карту міської забудови та подальшого аналізу сценаріїв розвитку аварії на АЗС.

4. Визначені об'єкти «турботи», що потрапили у відповідні зони ризику, серед яких 2 багатоповерхових будинка, газорозподільча станція, кафе-бар, гаражний кооператив, значна частина автостради. Здійснена класифікація об'єктів «турботи», що потрапили у зони високого, середнього та низького ризику залежно від надмірного тиску у фронті ударної хвилі. Диверсифікація ризиків є основою визначення характеру руйнувань і встановлення обсягу рятувальних робіт та інших заходів з мінімізації наслідків аварій.

Література

1. Jelnovach, A. N. Analiz ekologicheskikh vozdeistvii i riskov pri ekspluatatsii avtozapravochnykh stantsii [Text] / A. N. Jelnovach, N. V. Prokopenko // Vestnik HNADU. – 2014. – Vol. 67. – P. 78–88.

2. Radchenko, Yu. S. Otsenka posledstviu avarii na avtozapravochnykh stantsiiah [Text] / Yu. S. Radchenko // Trudy BGTU. Ser. 4, Himiia, tehnologiia organicheskikh veshchestv i biotehnologiia. – 2008. – Vol. 4. – P. 125–129.

3. Boyko, T. Calculation and analysis of predictable technological risk value of industrial objects in stationary operating conditions [Text] / T. Boyko, P. Vavulin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2014. – Vol. 5, No. 10 (71). – P. 42–46. doi:[10.15587/1729-4061.2014.27981](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.27981)

4. Boyko, T. Using the assessment method of environmental risk of a project in strategic territorial planning [Text] / T. Boyko, I. Dzhygyrey, A. Abramova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 3, No. 10 (87). – P. 10–17. doi:[10.15587/1729-4061.2017.101848](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101848)

5. Popov, V. M. Informatsiina tekhnolohiia pidvyshchennia tekhnohennoi bezpeky rehionu [Text] / V. M. Popov, I. A. Chub, M. V. Novozhylova // Systemy obrobky informatsii. – 2015. – Vol. 12 (137). – P. 181–184.

6. Morales Terres, I. M. Assessing the impact of petrol stations on their immediate surroundings [Text] / I. M. Morales Terres, M. D. Minarro, E. G. Ferradas, A. B. Caracena, J. B. Rico // Journal of Environmental Management. – 2010. – Vol. 91, No. 12. – P. 2754–2762. doi:[10.1016/j.jenvman.2010.08.009](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.08.009)

7. Kountouriotis, A. Numerical investigation of VOC levels in the area of petrol stations [Text] / A. Kountouriotis, P. G. Aleiferis, A. G. Charalambides // Science of The Total Environment. – 2014. – Vol. 470–471. – P. 1205–1224. doi:[10.1016/j.scitotenv.2013.10.064](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.064)

8. De Sousa, T. B. Environmental Impacts Management of a Brazilian Gas station: A Case Study [Text] / T. B. De Sousa // Global Journal of Researches in Engineering: G Industrial Engineering. – 2015. – Vol. 15, No. 3, Version 1.0. – P. 22–32. – Available at: \www/URL: https://globaljournals.org/GJRE_Volume15/4-Environmental-Impacts-Management.pdf

9. Cezar-Vaz, M. R. Risk Perception and Occupational Accidents: A Study of Gas Station Workers in Southern Brazil [Text] / M. R. Cezar-Vaz, L. P. Rocha, C. A. Bonow, M. R. S. da Silva, J. C. Vaz, L. S. Cardoso // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2012. – Vol. 9, No. 12. – P. 2362–2377. doi:[10.3390/ijerph9072362](https://doi.org/10.3390/ijerph9072362)

10. Edokpolo, B. Health Risk Assessment of Ambient Air Concentrations of Benzene, Toluene and Xylene (BTX) in Service Station Environments [Text] / B. Edokpolo, Q. Yu,

D. Connell // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2014. – Vol. 11, No. 6. – P. 6354–6374. doi:[10.3390/ijerph110606354](https://doi.org/10.3390/ijerph110606354)

11. Edokpolo, B. Health risk characterization for exposure to benzene in service stations and petroleum refineries environments using human adverse response data [Text] / B. Edokpolo, Q. J. Yu, D. Connell // Toxicology Reports. – 2015. – Vol. 2. – P. 917–927. doi:[10.1016/j.toxrep.2015.06.004](https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2015.06.004)

12. Zhang, L. An integrated framework of safety performance evaluation for oil and gas production plants: Application to a petroleum transportation station [Text] / L. Zhang, J. Kang, J. Zhang, J. Gao // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2016. – Vol. 43. – P. 292–301. doi:[10.1016/j.jlp.2016.05.029](https://doi.org/10.1016/j.jlp.2016.05.029)

13. Verchenov, O. D. Modeliuvannia tekhnolohii ryzyku dlia nebezpechnykh vyrobnychkh ob'ektiv hazotransportnykh pidpriemstv z vykorystanniam HIS tekhnolohii [Text] / O. D. Verchenov, A. A. Verlan, S. V. Volkodav, A. H. Mikhailenko, A. S. Markov, A. V. Yanchuk // Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V. I. Vernadskoho. Serii: Heohrafiia. – 2012. – Vol. 25, No. 1 (64). – P. 14–27.

14. Struchkova, G. P. Ispol'zovanie GIS dlia otsenki riska bezopasnosti truboprovodov [Text] / G. P. Struchkova, T. A. Kapitonova, L. E. Tarskaia, P. V. Efremov // Fundamental'nye issledovaniia. – 2014. – No. 5–5. – P. 994–999.

15. Mykhailiuk, O. P. Problemy zabezpechennia pozhezhovybukhobezpeky avtozapravnykh stantsii [Text] / O. P. Mykhailiuk, S. Ya. Kravtsiv // Problemy pozharnoi bezopasnosti. – 2012. – Vol. 32. – P. 149–154.

16. DBN 360-92** Mistobuduvannia. Planuvannia i zabudova miskykh i silskykh poselen [Text]: Order of the State Committee for Construction of April 17, 1992 No. 44. – Introduced: 2017-07-01. – Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2002. – 6 p.

17. Stebliuk, M. I. Tsyvilna oborona [Text]: Handbook / M. I. Stebliuk. – Kyiv: Znannia, 2006. – 487 p.

18. NAPB B.03.002-2007. Normy vyznachennia katehorii prymishchen, budynkiv ta zovnishnykh ustanovok za vybukhopozhezhnoi ta pozhezhnoi nebezpekoiu [Electronic resource]: Order of the Ministry of Ukraine on Emergencies and Affairs of Population Protection from the Consequences of the Chernobyl Disaster from December 3, 2007, No. 833. – Kyiv, 2007. – Available at: \www/URL: https://dnaop.com/html/32980/doc-HAIB_B.03.002-2007

19. DSTU-N B V.1.1-27:2010. Budivna klimatolohiia. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi [Text]. – Introduced: 2011-11-01. – Kyiv: Ukrarkhbudininform, 2011. – 123 p.

20. QGIS – providna vilna nastilna HIS [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: <http://www.qgis.org/uk/site/about/index.html>

21. Pro zatverdzhennia Metodyky vyznachennia ryzykiv ta yikh pryiniatnykh rivniv dlia deklaruvannia bezpeky ob'ektiv pidvyshchenoi nebezpeky [Electronic resource]: Order of the Ministry of Labor and Social Policy of Ukraine from December 4, 2002 No. 637 // Informatsionnyi portal Ukrainy. – 2017. – Available at: \www/URL: <http://ua-info.biz/legal/basene/ua-cmelgt/index.htm>

22. Arsirii, O. Developing of hydro-aerodynamic systems' elements based on intellectual visualization [Text] / O. Arsirii // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2013. – Vol. 3, No. 8 (63). – P. 4–8. – Available at: \www/URL: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/14826/12628>