

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

ІВАНОВ ОЛЕКСІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 004.922

ДИСЕРТАЦІЯ
МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ АНАЛІЗУ ЗОН РИЗИКУ ПОТЕНЦІЙНО
НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ В ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки
Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD)

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



О.В. Іванов

Науковий керівник:

Арсірій Олена Олександрівна доктор технічних наук, професор

Одеса – 2021

АНОТАЦІЯ

Іванов О. В. Моделі та методи аналізу зон ризику потенційно небезпечних об'єктів в геоінформаційних системах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки. – Державний університет «Одеська політехніка» МОНУ, Україна, Одеса, 2021.

У *вступі* обґрунтовано актуальність вирішення завдання зниження часу на визначення сценарію розвитку несприятливої події (аварії) на потенційно небезпечному об'єкті (в якості якого було обрано АЗС) за рахунок розробки моделей та методів аналізу та візуалізації зон їх ризику в геоінформаційних системах. Визначено предмет і об'єкт дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У *першому розділі* дисертаційної роботи проаналізовано методи визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті та можливості існуючих геоінформаційних систем щодо аналізу зон техногенного ризику, обґрунтовано мету та задачі дослідження.

Визначено, що одним із аспектів екологічної безпеки мегаполісів є їх техногенна безпека, яка визначається станом потенційно небезпечних об'єктів (ПНО), таких як автозаправні станції (АЗС) та комплекси, підприємства хімічної промисловості тощо. Потенційно небезпечним об'єктом вважається об'єкт, на якому використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються чи транспортуються небезпечні речовини, біологічні препарати тощо. Особливість діяльності ПНО призводить до техногенних ризиків та за певних обставин створює реальну загрозу розвитку сценарію аварії.

Показано, що одним із шляхів запобігання аваріям є ідентифікація ПНО та оцінка зон техногенних ризиків. При прогнозуванні аварійних ситуацій та визначенні зон ризику використовуються різні фізичні моделі в залежності від характеру діяльності ПНО та пов'язаних з нею видів техногенних ризиків.

Проаналізовано існуючі методики (М.), методичні рекомендації (М.р.) і комп'ютерні системи (К.с.) для визначення техногенних ризиків від ПНО та показано, що вони є спеціалізованими, спрямованими на вузьке коло спеціалістів, їх практичне використання є обмеженим тому, що потребує ліцензування (рис. 1). Все це ускладнює отримання оперативного визначення зон ризиків.

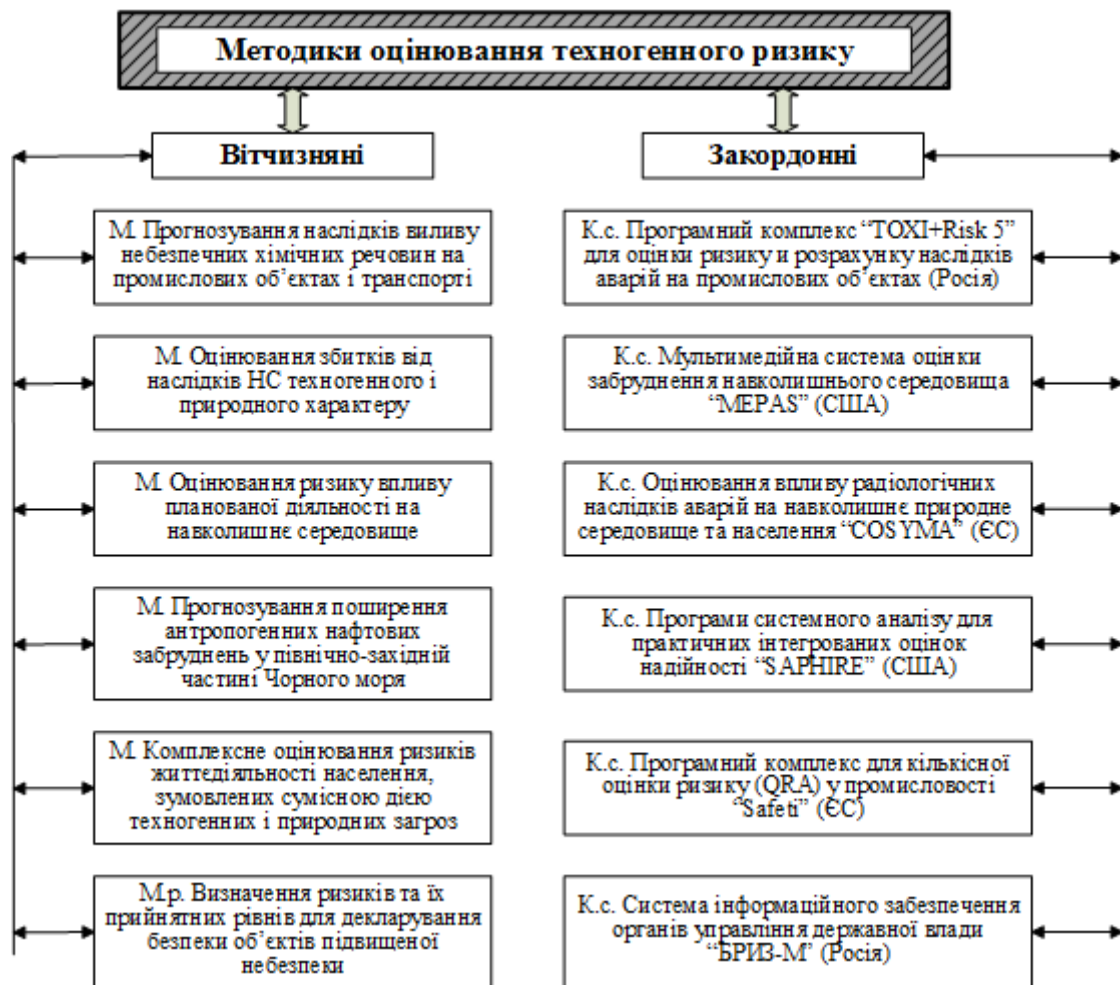


Рисунок 1 – Основні вітчизняні та закордонні методики і комп'ютерні системи оцінювання техногенного ризику

В той же час, у зв'язку зі значним збільшенням автомобільного парку у великих містах України, та, як наслідок, кількості АЗС, існує запит практики на отримання оперативного публічного попередження про зони та рівень техногенного ризику від АЗС, особливо розташованих на території мегаполісів. Відомо, що на надання оперативної та наочної візуальної екологічної інформації спрямовані геоінформаційні системи (ГІС), основою яких є картографічні сер-

віси: GoogleMaps, Google Earth, OpenStreetMap, QGIS, ArcGIS та gvSIG. Однак сучасні ГІС не мають повноцінних вбудованих засобів аналізу та візуалізації геопросторових даних про зони та рівень техногенного ризику від АЗС. Це пов'язано в тому числі з відсутністю відповідних моделей та методів.

Таким чином, актуальним завданням є розробка моделей та методів аналізу та візуалізації зон техногенного ризику АЗС в геоінформаційних системах з метою зниження часу на визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті.

У зв'язку з перерахованим вище сформульовано мету і завдання дослідження.

У другому розділі дисертаційної роботи розроблено моделі геоданих автозаправної станції як потенційно небезпечного об'єкта та зон техногенного ризику від ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі».

Для подальшого створення бази геоданих в ГІС запропоновано модель АЗС GS представляти у вигляді кортежу із наступних складових:

$$GS = \langle ID, Athem, Atemp, S, RZM \rangle \quad (1)$$

де ID – універсальний цифровий ідентифікатор об'єкта; A – атрибутивні дані, що складаються із $Athem$ – тематичних статичних та $Atemp$ – часових динамічних даних про АЗС; S – просторові дані; RZM – моделі геоданих зон техногенного ризику, які виникають від ударної хвилі RZM_{SW} , пожежі проливу нафтопродуктів RZM_{OF} і «вогняної кулі» RZM_{FB} .

До $Athem$ відносимо: тип ПНО $Type$; назву фірми-власника $Name$; юридичну адресу $Addr$; кількість резервуарів N із зазначенням їх типу N_T (наземний, підземний) та кількістю паливно-роздавальних колонок (ПРК) N_C ; кількість обслуговуючого персоналу K . Тоді $Athem$ виглядає як:

$$Athem = \langle Type_{PNO}, Name_{PNO}, Addr_{PNO}, N, N_T, N_C, K \rangle \quad (2)$$

До $Atemp$ відповідно відносимо: тип (сценарій) надзвичайної ситуації $Type_{Acc}$, який визначає подальшу модель зони ризику; дата та час надзвичайної ситуації $Date_{Acc}$; температура навколишнього повітря t °C; тиск навколишньо-

го повітря p кПа; напрям вітру $Wind_D$; швидкість вітру $Wind_S$ у м/с. Кортж $Atemp$ виглядає так:

$$Atemp = \langle Type_{Acc}, Date_{Acc}, Pet_{GS}, t, p, Wind_D, Wind_S \rangle \quad (3)$$

де Pet_{GS} – характеристика нафтопродуктів у резервуарах АЗС, яка складається із типу P_i та об'єму V_i нафтопродукту в i -тому резервуарі АЗС,

$$Pet_{GS} = \{P_i, V_i\}_{i, N} \quad (4)$$

Просторова складова S моделі GS пов'язана з визначенням місця розташування АЗС і включає у себе тип візуалізації $Type_{vis}$ (полігон, точка, лінія тощо) та відповідну координатну (X, Y) прив'язку об'єкта

$$S = \langle Type_{vis}, X, Y \rangle \quad (5)$$

Вирази (1) – (5) є вперше розробленою моделлю геоданих автозаправної станції як потенційно небезпечного об'єкта, яка містить атрибутивну (тематичну та часову) і просторову складову геоданих, що дозволяє створити базу геоданих у спеціалізованій ГІС та складають перший пункт наукової новизни.

З використанням моделі геоданих АЗС та існуючих нормативних методик розроблено RZM – моделі геоданих зон техногенного ризику. Розглянемо їх більш детально на прикладі моделі геоданих зон ризику, які виникають від ударної хвилі RZM_{SW} :

$$RZM_{SW} = \langle Inp_{SW}, Dir_{SW}, Calc_{SW}, Out_{SW} \rangle \quad (6)$$

де $Inp_{SW}, Dir_{SW}, Calc_{SW}, Out_{SW}$ – вхідні, довідникові, розрахункові та вихідні дані, значення та вигляд яких наведено в таблицях 1, 2, 3. Кількість колонок в таблиці 3 залежить від кількості резервуарів N .

Таблиця 1 – Значення довідникових змінних Dir_{SW}

Вид нафтопродукту	P	Молярна маса M_P , кг/кмоль	Константи рівняння Антуана			Теплота згорання Q_{FP} , Дж/кг
			A_P	B_P	C_P	
Бензин АИ-93	1	98,2	4,12311	664,976	221,695	43641000
Дизельне паливо	2	203,6	5,00109	1314,04	192,473	43419000

Таблиця 2 – Вигляд складових моделі геоданих RZM_{SW}

Складові геоданих	Характеристика геоданих
Inp_{SW}	$P_i, V_i (i, \bar{N}); t, Wind_D, Wind_S$
Dir_{SW}	$M_P; A_P; B_P; C_P; Q_{FP};$ (значення див. таблицю 1) $Q_0 = 4520000 \frac{Дж}{кг}; Z = 0,1; P_0 = 101,3 \text{ кПа}; \tau_{вип} = 3600 \text{ с}$
$Calc_{SW}$	$F_B = V_i \cdot 1000 \cdot 0,15 \text{ (м}^2 \text{)}; P_H = 10^{A_P - \frac{B_P}{C_P + 1}} \text{ (кПа)};$ $W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M_P} \cdot P_H \text{ (кг/(с} \cdot \text{м}^2 \text{))}; m = W \cdot F_B \cdot \tau_{вип} \text{ (кг)};$ $m_{пр} = \left(\frac{Q_{FP}}{Q_0} \right) \cdot m \cdot Z \text{ (кг)};$ $\Delta P = P_0 * \left(\frac{0,8m_{пр}^{0,33}}{r} + \frac{3m_{пр}^{0,66}}{r^2} + \frac{5m_{пр}}{r^3} \right) \text{ (кПа)}$
Out_{SW}	Значення радіусів зони руйнувань r , м: r_{100} – повних (100 кПа) r_{50} – сильних (50 кПа) r_{30} – середніх (30 кПа) r_{10} – слабких (10 кПа)

Таблиця 3 – Вигляд Out_{SW} , отриманих за повним розрахунком

Параметр	P_i	P_i
Об'єм палива V , м ³	V_i	V_i
Площа проливу палива F_B , м ²	F_B	F_B
Тиск насиченої пари палива P_H , кПа	P_H	P_H
Інтенсивність випаровування палива W , кг/с·м ²	W	W
Маса парів рідини, яка бере участь у вибуху m , кг	m	m
Питома теплота згоряння парів Q_{FP} , кДж/кг	Q_{FP}	Q_{FP}
Приведена маса парів рідини $m_{пр}$, кг	$m_{пр}$	$m_{пр}$
Радіус зони руйнувань r , м:		
повних (100 кПа)	r_{100}	r_{100}
сильних (50 кПа)	r_{50}	r_{50}
середніх (30 кПа)	r_{30}	r_{30}
слабких (10 кПа)	r_{10}	r_{10}

Розроблені моделі геоданих зон ризику, який виникає від пожежі проливу нафтопродуктів RZM_{OF} і «вогняної кулі» RZM_{FB} відрізняються в основному довідниковою Dir та розрахунковою $Calc$ складовими і детально наведені в тексті дисертації.

Таким чином, отримали подальший розвиток моделі зон техногенного ризику від ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі» з урахуванням розробленої моделі геоданих АЗС, що дозволяє створити базу геода-

них та метод визначення зон техногенного ризику на її основі, що складає другий пункт наукової новизни.

У третьому розділі дисертаційної роботи розроблено методи визначення та візуалізації геоданих зон техногенного ризику при розвитку небезпечної ситуації (аварії) за заданим сценарієм.

З урахуванням моделей (1) – (6) метод визначення геоданих зон техногенного ризику від ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі» за заданим сценарієм реалізується наступним чином:

Крок 1. З урахуванням моделі АЗС (1) вибір користувачем/експертом однієї із 3-х моделей геоданих зон техногенного ризику (RZM_{SW} , RZM_{OF} , RZM_{FB}), на базі якої відбуватиметься розрахунок.

Крок 2. На основі $Atemp$ (3) отримання з ресурсу або введення динамічних часових даних про температуру навколишнього повітря t °C; тиск навколишнього повітря p кПа; напрям вітру $Wind_D$ і швидкість вітру $Wind_S$ у м/с.

Крок 3. У залежності від кількості резервуарів N із $Athem$ (2) введення даних про тип P_i та об'єм V_i нафтопродукту в i -тому резервуарі АЗС у вигляді (4).

Крок 4. Отримання значень довідникових даних згідно структури Dir (6). В випадку вибору моделі RZM_{SW} значення знаходяться в таблицях 1 та 2.

Крок 5. У відповідності до $Calc$ (6) проводимо розрахунки вихідних параметрів. В випадку вибору моделі RZM_{SW} вид розрахунку показано в таблиці 2.

Крок 6. Для кожного i -того резервуара проводимо розрахунок радіусів r зон ризику, ітеративно в циклі від $r = 0,01$ з кроком $r = r + 0,01$ за рівнянням:

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

запам'ятовуємо значення r , для яких ΔP приймає значення 100; 50; 30 та 10 (кПа) відповідно.

Крок 7. У відповідності із структурою Out (6) формуємо вихідні дані. У випадку вибору моделі RZM_{SW} вид вихідних даних показано в таблиці 3, кількість колонок відповідає кількості наявних резервуарів АЗС.

У таблиці 4 та на рисунку 2 показані вихідні дані зон ризику за моделлю RZM_{SW} .

Таблиця 4 – Вихідні геодані зон ризику від дії ударної хвилі при руйнуванні резервуарів на АЗС, що містять бензин та дизель

Параметр	Бензин АИ-93 (літній)		Дизельне паливо «Л»	
Об'єм палива V , м ³	40	15	40	15
Площа проливу палива, F_6 , м ²	6000	2250	6000	2250
Тиск насиченої пари палива P_H , кПа	29,5515	29,5515	0,1169	0,1169
Інтенсивність випаровування палива W , кг/с·м ²	$2,928 \cdot 10^{-4}$	$2,928 \cdot 10^{-4}$	$1,668 \cdot 10^{-6}$	$1,668 \cdot 10^{-6}$
Маса парів рідини, яка бере участь у вибуху m , кг	6325,42	2372,03	36,04	13,51
Питома теплота згоряння парів Q_{FP} , кДж/кг	43641	43641	43419	43419
Приведена маса парів рідини $m_{пр}$, кг	6107,25	2290,22	34,62	12,98
Радіус зони руйнувань r , м:				
повних (100 кПа)	47,88	34,59	8,62	6,23
сильних (50 кПа)	69,3	50,09	12,5	9,03
середніх (30 кПа)	93,75	67,78	16,94	12,24
слабких (10 кПа)	199,64	144,4	36,16	26,15

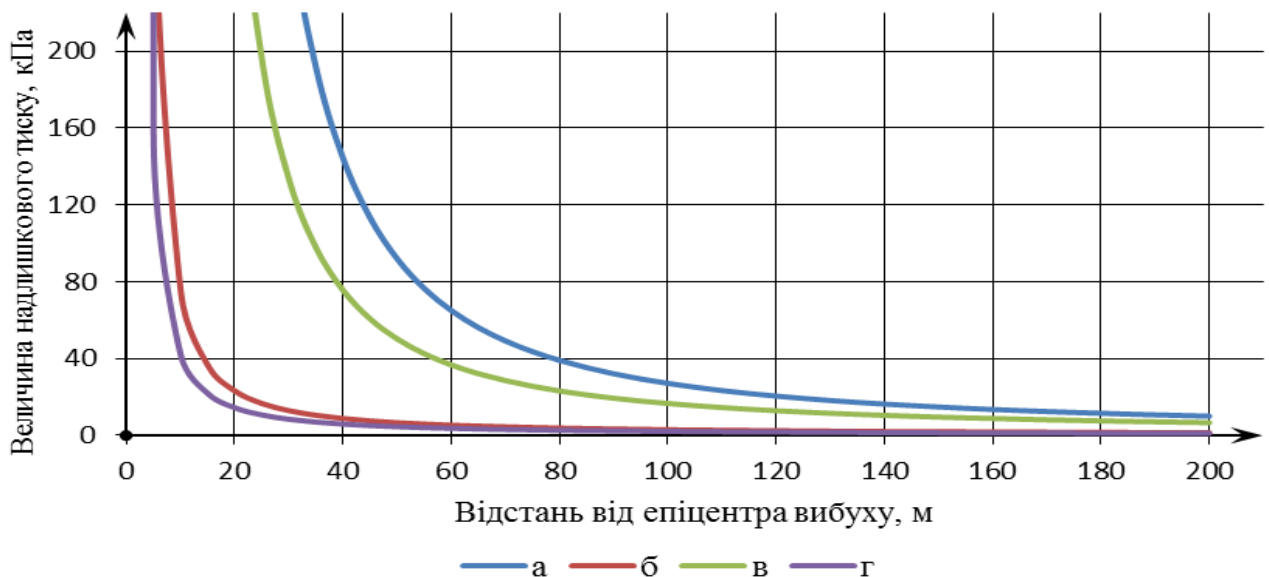


Рисунок 2 – Графіки зміни величини надлишкового тиску у фронті ударної хвилі залежно від відстані від епіцентру вибуху: а, в – для резервуарів з бензином ємністю 40 і 15 м³ відповідно; б, г – для резервуарів з дизельним паливом ємністю 40 і 15 м³ відповідно

Таким чином, удосконалено метод визначення зон техногенного ризику при розвитку небезпечної ситуації на АЗС за моделями геоданих ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі», що дозволило скоротити час на визначення наслідків сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті, що складає третій пункт наукової новизни.

Розроблений метод візуалізації геоданих зон техногенного ризику з урахуванням сценарію розвитку небезпечної ситуації на АЗС складається із двох наступних кроків:

Крок 1. Візуалізація даних просторової складової моделі (1) та (5). Із сховища даних відкритого веб-картографічного проекту *OpenStreetMap* (OSM) за допомогою плагіну *OSM Place Search* завантажуюмо карту мегаполісу та отримуємо розташування мережі АЗС після запуску *QuickOSM* з ключем (*fuel*). Дані у вигляді (*node*) *ID* з географічними координатами – широтою (*latitude*) *X* та довготою (*longitude*) *Y* та у відповідності із типом *Type_{vis}* наносяться на карту міста.

Крок 2. Візуалізація геоданих зон техногенного ризику від ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі» *RZM* моделі (1). Враховуючі координати АЗС *X* та *Y*, а також вихідні дані моделей ударної хвилі *Out_{sw}* (6), пожежі проливу нафтопродуктів *Out_{OF}* і «вогняної кулі» *Out_{FB}* за допомогою розробленого плагіну *RHO* та налаштувань плагіну *Multi Ring Buffer* візуалізуємо зони техногенного ризику.

Приклади зон техногенного ризику з різним масштабом показані на рисунку 3. На основі аналізу побудованої карти можна зауважити наступне для АЗС з резервуарами з бензином ємністю 40 м³:

- на деяких АЗС не виконуються норми протипожежних відстаней до так званих об'єктів «турботи» (підприємств, організацій, селітебних зон тощо);
- деякі АЗС розміщені не тільки в селітебних зонах, але і поблизу автомагістралей із значним потоком автомобілів, що особливо у пікові години збільшує негативні наслідки аварії;
- деякі АЗС розміщено одна поблизу одної, наприклад, традиційна та

газова АЗС, що у випадку аварії може спричинити розвиток сценарію за каскадним ефектом «доміно» (зони ризику на карті перекриваються).

За умови мінімального заповнення резервуарів АЗС нафтопродуктами (15 м^3) зони ризику у більшості випадків є локальними (на території АЗС), проте можливим є вплив на об'єкти «турботи» в сусідніх селітебних зонах.

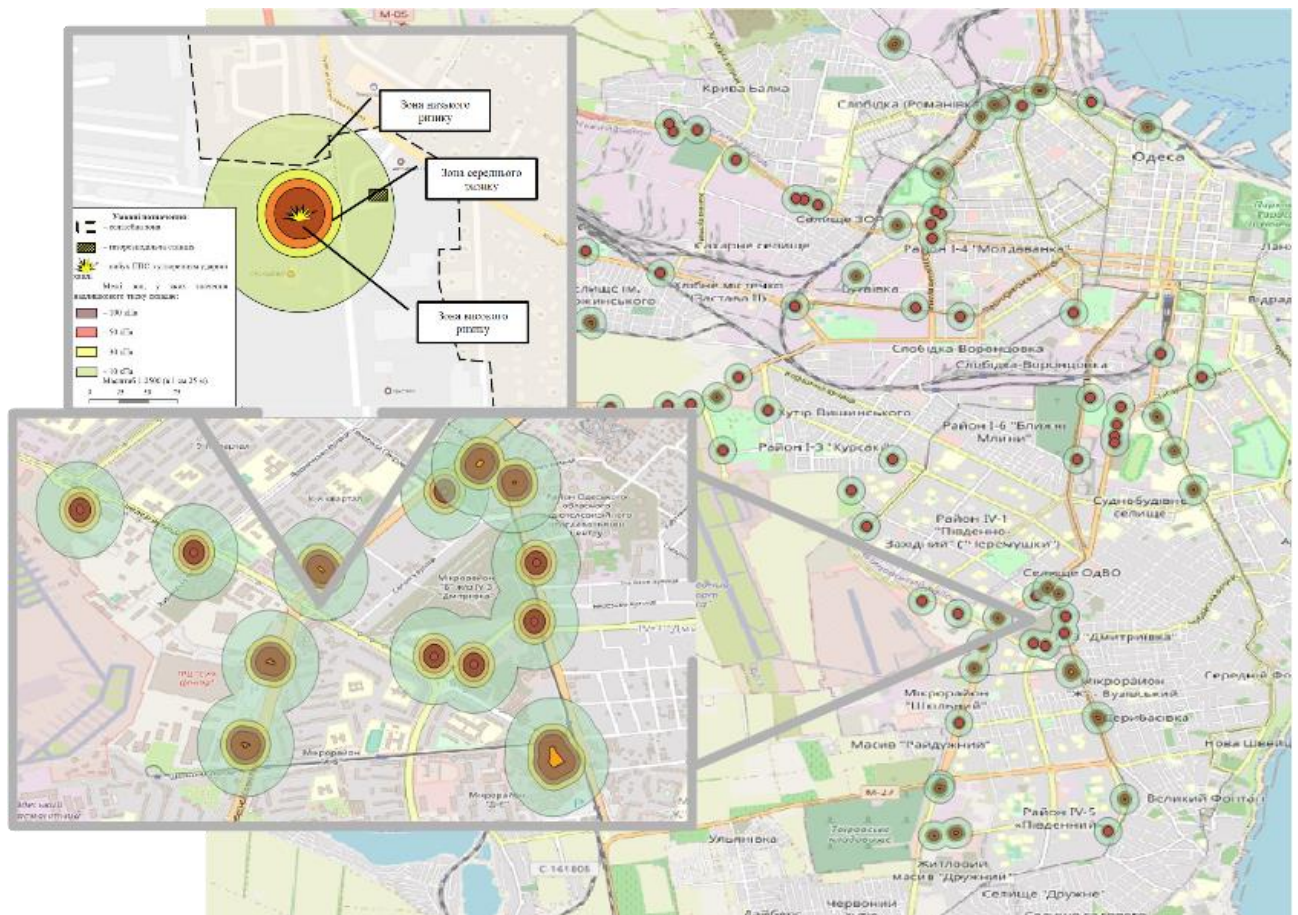


Рисунок 3 – Результати візуалізації зон ризику від АЗС за вказаним сценарієм аварії та масштабом для міста Одеси в підсистемі QGIS

Таким чином, отримав подальший розвиток метод візуалізації геоданих зон техногенного ризику (ударна хвиля, пожежа проливу нафтопродуктів і «вогняна куля»), що дозволило побудувати зони ризику на карті мегаполісу засобами ГІС та скоротити час на визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті, що складає четвертий пункт наукової новизни.

У четвертому розділі розроблено підсистему аналізу та візуалізації гео-

даних зон техногенного ризику в *QGIS*. Побудовано базу геоданих з використанням *PostGIS*, яка реалізована у вигляді розширення до СУБД *PostgreSQL*, що значно розширює можливості обробки атрибутивних (тематичних статичних та часових динамічних даних), а також просторових або географічних даних. ГІС має розширені можливості щодо відображення даних у вигляді точок, ламаних ліній та полігонів і здійснює ефективний пошук за запитами користувачів.

Показано результати апробації розробленої підсистеми в *QGIS* у ТОВ «Центр екологічної безпеки» та отримано більш ніж вдвічі скорочення часу для експертів на визначення сценарію розвитку аварії на АЗС міста Одеси, що підтверджено відповідним актом впровадження.

Ключові слова: геоінформаційні системи (ГІС), візуалізація даних в ГІС, моделювання зон техногенного ризику від АЗС, моделі геопросторових даних, *QGIS*, потенційно небезпечний об'єкт (ПНО).

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Статті у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до Європейського Союзу

1. Елена Арсирый, Екатерина Васютинская, Алексей Иванов. Мониторинг данных о техногенной обстановке урбанизированных территорий для обеспечения их устойчивого развития. *Международный журнал «Устойчивое развитие»*. Варна, Болгария, 2018. № 1/2018. С. 12-17. URL: <https://maurorg77.wixsite.com/maur-org-ru/arhiv-1> (дата звернення: 10.12.2021).

2. Елена Арсирый, Сергей Смык, Алексей Иванов, Анна Панькина. Визуализация ограниченных региональных данных в процессе экологического мониторинга. *Международный журнал «Устойчивое развитие»*. Варна, Болгария, 2019. № 2/2019. С. 22-29. URL: <https://maurorg77.wixsite.com/maur-org-ru/arhiv-1> (дата звернення: 10.12.2021).

Статті у фахових наукових виданнях України

3. Kateryna Vasiutynska, Olena Arsirii, Oleksii Ivanov. Development of the method for assessing the action zones of hazards in an emergency at a city filling station using geoinformation technology. *Technology Audit and Production Reserves*. 2017. Vol. 6, No. 3 (38). P. 29-38. DOI: 10.15587/2312-8372.2017.119505 URL: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/119505> (last accessed: 10.12.2021).

4. Kateryna Vasiutynska, Sergej Smyk, Oleksii Ivanov, Irina Shevchuk. Visualization of the pool fire action zones with using MapInfo GIS for the number of filling stations of the Odessa (Ukraine) residential district. *Technology Audit and Production Reserves*. 2017. Vol. 1, No. 3 (39). P. 30-39. DOI: 10.15587/2312-8372.2018.124241 URL: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/124241> (last accessed: 10.12.2021).

5. Olena O. Arsirii, Oleksii V. Ivanov, Sergiy Yu. Smyk. Risk zones from the filling stations modelling with application of geoinformation technology. *Herald of Advanced Information Technology*. 2021. Vol. 4, No. 1. P. 84-95. DOI: 10.15276/hait.01.2021.8 URL: <https://hait.opu.ua/?fetch=articles&with=info&id=81> (last accessed: 10.12.2021).

Опубліковані праці апробаційного характеру

6. Іванов О. В., Васютинська К. А., Макаров О. В. Моделювання техногенних ризиків з використанням ГІС-технологій. Збірник тез доповідей V Українсько-німецької конференції «Інформатика. Культура. Техніка» (Одеса, Україна). Одеський національний політехнічний університет. 22-26 травня 2017 р. Одеса : Політехперіодика, 2017. С. 121–122. URL: <http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/4204> (дата звернення: 10.12.2021).

7. Ivanov O., Vasutinska K., Makarov O. Modelowanie technogennych ryzyk z zastosowaniem GIS-technologiei. Book of abstracts «*Horizons of Science 2017. Forum of Diploma Theses*» (Kraków, Poland). Uniwersytet Jagielloński. 23-24 maja 2017. Kraków : "Paor" Orscy Sp. J., 2017. P. 27.

8. Іванов А. В., Арсирий Е. А. Особенности анализа пространственно-распределенных данных о техногенной обстановке урбанизированных террито-

рий. Матеріали *Восьмої Міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених «Сучасні інформаційні технології 2018»* (Одеса, Україна). Одеський національний політехнічний університет. 23-25 травня 2018 р. Одеса : Екологія, 2018. С. 138-139. URL: <http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/8032> (дата звернення: 10.12.2021).

9. Іванов О. В., Арсірій О. О., Васютинська К. А., Смик С. Ю. Метод цифрової обробки даних дистанційного зондування для дослідження динаміки зелених насаджень. Збірник тез доповідей *VI Українсько-німецької конференції «Інформатика. Культура. Техніка»* (Одеса, Україна). Одеський національний політехнічний університет. 12-22 вересня 2018 р. Одеса, 2018. С. 64–65.

10. Іванов О. В., Арсірій О. О. Метод візуалізації даних моніторингу атмосферного забруднення із використанням ГІС-технологій. Матеріали *VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи і технології»* (Одеса, Україна). Одеський національний політехнічний університет. 23-25 вересня 2019 р. Одеса : Екологія, 2019. С. 129-131. DOI: 10/1016/2309-5180-2016-8-4-223-231
URL: <http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/8900> (дата звернення: 10.12.2021).

11. Ivanov O. V., Arsirii O. O., Smyk S. Yu. Modelling the state of gas stations in the construction of specialized GIS. Матеріали *VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформатика. Культура. Технології» ІКТ-2021* (Одеса, Україна). Державний університет «Одеська політехніка». 13-14 травня 2021 р. Одеса, 2021. С. 114-116.

ABSTRACT

Ivanov O. V. Models and methods of risk zones of potentially hazardous objects analysis in geographic information systems. – Qualifying scientific work on the manuscript.

Thesis for the PhD degree in specialty 122 «Computer science» (12 – Information Technology). – Odessa Polytechnic State University, Ukraine, Odessa, 2021.

In the *introduction* actuality of the solution of the reducing the time task for determining the scenario of the adverse event (accident) development at a potentially hazardous object (as which the gas station (GS) was chosen) is substantiated by developing models and methods of their risk zones analysis and visualization in geoinformation systems. The subject and object of the research, scientific novelty and practical significance of the obtained results were determined.

In the *first chapter* of the thesis paper the methods of determining of the accident development scenario on the potentially hazardous object and the possibilities of existing geoinformation systems concerning the analysis of technogenic risk zones were analysed, the aim and tasks of the research were substantiated.

It is determined that one of the aspects of ecological safety of metropolises is their technogenic safety, which is determined by the state of potentially hazardous objects (PHOs), such as gas stations (GSs) and complexes, chemical industry enterprises, etc. Potentially hazardous object is the object on which dangerous substances, biological preparations, etc. are used, manufactured, processed, stored or transported. The specificity of the PHOs' activities leads to technogenic risks and under certain circumstances creates a real threat to the accident scenario development.

It was shown that one of the ways of the accidents prevention is the identification of PHOs and technogenic risk zones estimation. Different physical models are used in forecasting emergency situations and risk zones determining depending on the nature of the PHOs' activity and the types of technogenic risks associated with it.

Existing methods (M.), methodological recommendations (M.R.) and computer systems (CS) to identify the technogenic risks from PHOs were analysed and it was shown that they are specialized, aimed at a narrow circle of specialists, their practical

use is limited because of the need for licensing (Fig. 1). All that complicates a process of obtaining operational identification of risk zones.

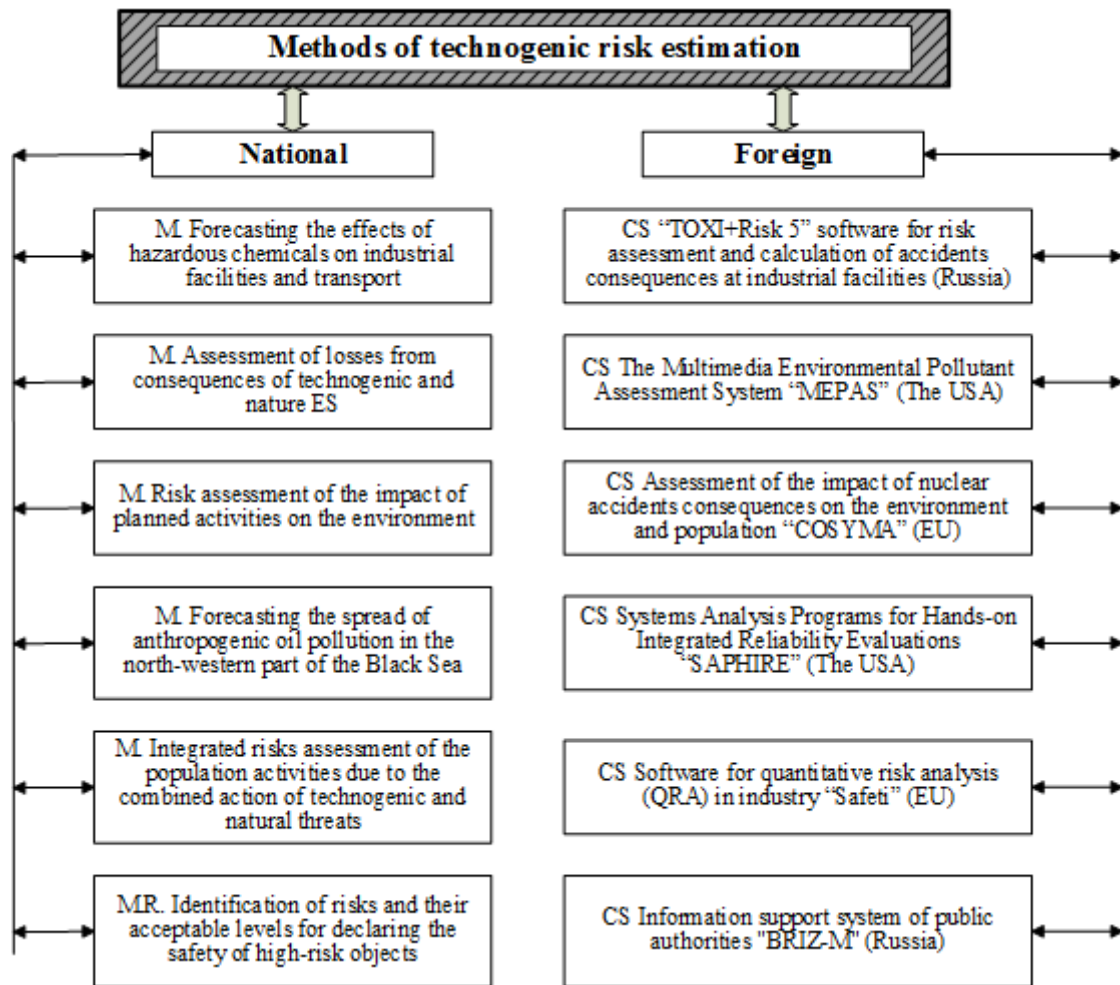


Figure 1 – The main national and foreign methods and computer systems of technogenic risk estimation

At the same time, due to the considerable increase of the car park in large cities of Ukraine and, as a result, the number of gas stations, there is a practical demand to receive operational public warning about the zones and the level of technogenic risk from the GSs, especially located in the territory of metropolises. It is known that geoinformation systems (GIS), based on cartographic services: GoogleMaps, Google Earth, OpenStreetMap, QGIS, ArcGIS and gvSIG – are directed on providing operational and visual ecological information. However, modern GIS do not have fully built-in means of geospatial data analysis and visualization about zones and the level

of technogenic risk from GSs. This is due to the lack of appropriate models and methods.

Thus, the actual task is to develop models and methods of the GSs' technogenic risk zones analysis and visualization in geoinformation systems in order to reduce the time for determining the accident development scenario at a potentially hazardous object.

In connection with the above mentioned, the aim and tasks of the research were formulated.

In the *second chapter* of the thesis paper the models of the geodata of gas station as a potentially dangerous object and technogenic risk zones from shock wave, oil products spill fire and «fireball» were developed.

For further creation of the geodatabase in GIS the model of gas station GS is proposed to represent in the form of a tuple from the following components:

$$GS = \langle ID, Athem, Atemp, S, RZM \rangle \quad (1)$$

where ID – is a universal digital object identification; A – attribute data, consisting of $Athem$ – thematic static and $Atemp$ – temporary dynamic data about GSs; S – spatial data; RZM – geodata models of technogenic risk zones, emerging from the shock wave RZM_{SW} , oil products spill fire RZM_{OF} and «fireball» RZM_{FB} .

To $Athem$ we attribute: PHO type $Type$; name of the company-owner $Name$; legal address $Addr$; number of tanks N with an indication of their type N_T (ground, underground) and number of fuel-delivery columns (FDC) N_C ; number of support staff K . Then $Athem$ looks like:

$$Athem = \langle Type_{PHO}, Name_{PHO}, Addr_{PHO}, N, N_T, N_C, K \rangle \quad (2)$$

To $Atemp$ we respectively attribute: type (scenario) of emergency situation $Type_{Acc}$, which determines the further risk zone model; date and time of emergency situation $Date_{Acc}$; ambient air temperature t °C; ambient air pressure p kPa; wind direction $Wind_D$; wind speed $Wind_S$ in m/s.

The tuple $Atemp$ looks like this:

$$Atemp = \langle Type_{Acc}, Date_{Acc}, Pet_{GS}, t, p, Wind_D, Wind_S \rangle \quad (3)$$

where Pet_{GS} – the oil products characteristic in the GS's tanks, which consists of the type P_i and volume V_i of oil product in the i -th tank of the GS,

$$Pet_{GS} = \{P_i, V_i\}_{i,\overline{N}} \quad (4)$$

The spatial component S of the model GS is connected with the location of the GS and includes the type of visualization $Type_{vis}$ (polygon, point, line, etc.) and the respective coordinate (X, Y) connection of the object

$$S = \langle Type_{vis}, X, Y \rangle \quad (5)$$

Expressions (1) – (5) are originally developed model of the gas station's geodata as a potentially hazardous object, which contains attribute (thematic and temporary) and spatial component of the geodata, which allows to create a geodatabase in specialized GIS and make the first point of scientific novelty.

Using the model of the GS's geodata and existing normative methods, RZM – the geodata models of technogenic risk zones were developed. We will consider them in detail on the example of the geodata model of risk zones that arise from the shock wave RZM_{SW} :

$$RZM_{SW} = \langle Inp_{SW}, Dir_{SW}, Calc_{SW}, Out_{SW} \rangle \quad (6)$$

where $Inp_{SW}, Dir_{SW}, Calc_{SW}, Out_{SW}$ – input, directory, calculation and output data, values and views of which are given in Tables 1, 2, 3. The number of columns in Table 3 depends on the number of tanks N .

Table 1 – The values of directory variables Dir_{SW}

Type of oil product	P	Molar mass M_p , kg/kmol	Constants of Antoine equation			Heating value Q_{FP} , J/kg
			A_p	B_p	C_p	
Gas АИ-93	1	98,2	4,12311	664,976	221,695	43641000
Diesel fuel	2	203,6	5,00109	1314,04	192,473	43419000

Table 2 – The view of the geodata model RZM_{SW} components

Components of geodata	Description of geodata
Inp_{SW}	$P_i, V_i (\bar{i}, \bar{N}); t, Wind_p, Wind_s$
Dir_{SW}	$M_p; A_p; B_p; C_p; Q_{FP}$; (for values see Table 1) $Q_0 = 4520000 \frac{J}{kg}; Z = 0,1; P_0 = 101,3 \text{ kPa}; \tau_{вип} = 3600 \text{ s}$
$Calc_{SW}$	$F_B = V_i \cdot 1000 \cdot 0,15 \text{ (m}^2\text{)}; P_H = 10^{A_p - \frac{B_p}{C_p + t}} \text{ (kPa)};$ $W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M_p} \cdot P_H \text{ (kg/(s} \cdot \text{m}^2\text{))}; m = W \cdot F_B \cdot \tau_{вип} \text{ (kg)};$ $m_{np} = \left(\frac{Q_{FP}}{Q_0} \right) \cdot m \cdot Z \text{ (kg)};$ $\Delta P = P_0 * \left(\frac{0,8m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5m_{np}}{r^3} \right) \text{ (kPa)}$
Out_{SW}	Values of radii of destructions zone r , m: r_{100} – complete (100 kPa) r_{50} – strong (50 kPa) r_{30} – average (30 kPa) r_{10} – weak (10 kPa)

Table 3 – The view of Out_{SW} obtained from the full calculation

Parameter	P_i	P_i
Fuel volume V , m ³	V_i	V_i
Evaporation area of fuel F_B , m ²	F_B	F_B
Vapour pressure of fuel P_H , kPa	P_H	P_H
Evaporation intensity of fuel W , kg/s·m ²	W	W
Mass of liquid vapours, involved in the explosion m , kg	m	m
Heating value of fuel vapours Q_{FP} , kJ/kg	Q_{FP}	Q_{FP}
Reduced mass of liquid vapours m_{np} , kg	m_{np}	m_{np}
Radius of destruction zone r , m:		
complete (100 kPa)	r_{100}	r_{100}
strong (50 kPa)	r_{50}	r_{50}
average (30 kPa)	r_{30}	r_{30}
weak (10 kPa)	r_{10}	r_{10}

The developed geodata models of risk zones, which arise from oil products spill fire RZM_{OF} and «fireball» RZM_{FB} differ mainly by directory Dir and calculation $Calc$ components and are shown in detail in the text of the thesis paper.

Thus, the technogenic risk zones models from the shock wave, oil products spill fire and «fireball» were further developed taking into account the developed geodata model of GS, which allows to create a geodatabase and a method of technogenic risk zones determination on its basis, which makes the second point of scientific

novelty.

In the *third chapter* of the thesis paper the methods of determination and visualization of technogenic risk zones geodata in the development of dangerous situation (accident) under the given scenario were developed.

Taking into account the models (1) – (6) the method of determination of technogenic risk zones geodata from shock wave, oil products spill fire and «fireball» on the given scenario is realized as follows:

Step 1: Taking into account the model of GS (1) user/expert chooses one of 3 geodata models of technogenic risk zones (RZM_{SW} , RZM_{OF} , RZM_{FB}), on the basis of which the calculation will be carried out.

Step 2: On the basis of $Atemp$ (3) receiving from the resource or entering dynamic temporary data about the ambient air temperature, t °C; ambient air pressure, p kPa; wind direction $Wind_D$; wind speed $Wind_S$ in m/s.

Step 3: Depending on the number of tanks N from $Athem$ (2), entering data on the type P_i and volume V_i of oil product in the i -th tank of the GS in the form (4).

Step 4: Obtaining the values of the directory data according to the structure Dir (6). If you select a model RZM_{SW} , the values are in Tables 1 and 2.

Step 5: In accordance with $Calc$ (6) we make calculations of the initial parameters. If you select a model RZM_{SW} , the calculation type is shown in Table 2.

Step 6: For each i -th tank we calculate the radii r of the risk zones, iterative in the cycle from $r = 0,01$ with step $r = r + 0,01$ by the equation: $\Delta P = P_0 * \left(\frac{0,8m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5m_{np}}{r^3} \right)$, remember the value of r , for which ΔP is 100; 50; 30 and 10 (kPa) respectively.

Step 7: In accordance with the structure Out (6) we form the output data. If the model RZM_{SW} is selected, the type of output data is shown in Table 3, the number of columns corresponds to the number of available tanks.

Table 4 and Figure 2 show the output data of the risk zones by model RZM_{SW} .

Table 4 – Output geodata of risk zones from shock wave action at a destruction of tanks on GS containing gas and diesel

Parameter	Gas АИ-93 (summer)		Diesel fuel "S"	
Fuel volume V , m^3	40	15	40	15
Evaporation area of fuel F_B , m^2	6000	2250	6000	2250
Vapour pressure of fuel P_H , kPa	29,5515	29,5515	0,1169	0,1169
Evaporation intensity of fuel W , $kg/s \cdot m^2$	$2,928 \cdot 10^{-4}$	$2,928 \cdot 10^{-4}$	$1,668 \cdot 10^{-6}$	$1,668 \cdot 10^{-6}$
Mass of liquid vapours, involved in the explosion m , kg	6325,42	2372,03	36,04	13,51
Heating value of fuel vapours Q_{FP} , kJ/kg	43641	43641	43419	43419
Reduced mass of liquid vapours m_{np} , kg	6107,25	2290,22	34,62	12,98
Radius of destruction zone r , m:				
complete (100 kPa)	47,88	34,59	8,62	6,23
strong (50 kPa)	69,3	50,09	12,5	9,03
average (30 kPa)	93,75	67,78	16,94	12,24
weak (10 kPa)	199,64	144,4	36,16	26,15

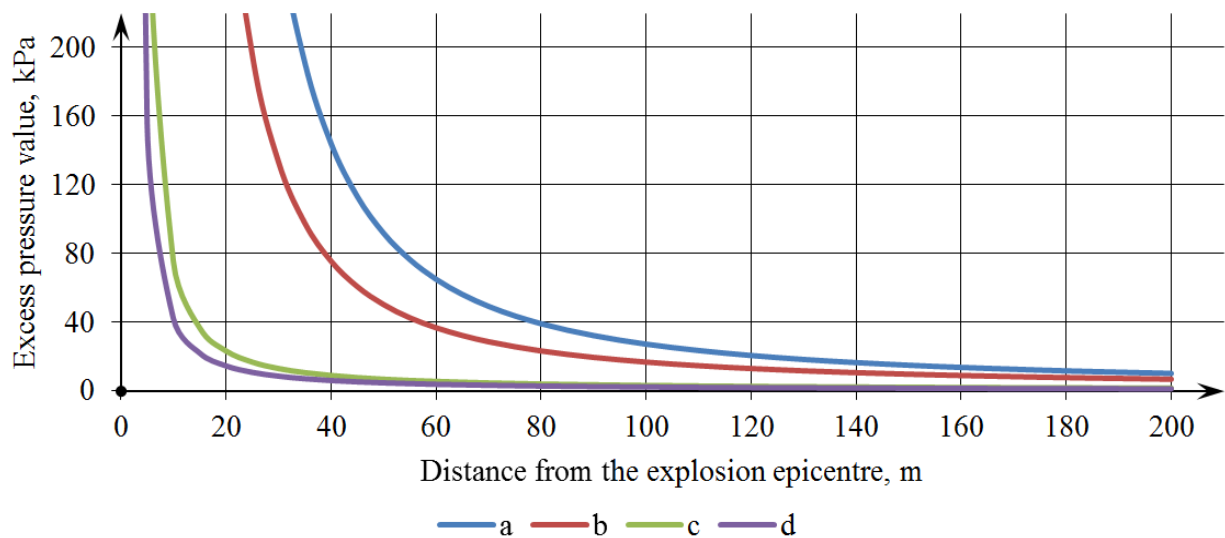


Figure 2 – The graphs of change of excess pressure value of the shock wave front depending on the distance from the explosion epicentre: a, b – for gas tanks with a capacity of 40 and 15 m^3 , respectively; c, d – for diesel fuel tanks with a capacity of 40 and 15 m^3 , respectively

Thus, the method of technogenic risk zones determination in the development of dangerous situation on the GS on geodata models of shock wave, oil products spill fire and «fireball» was improved, which allowed to reduce time for determination of consequences of scenario development of an accident on potentially hazardous ob-

ject, which makes the third point of scientific novelty.

The method of visualization of technogenic risk zones geodata was developed taking into account scenario of dangerous situation development on the GS and consists of two following steps:

Step 1: Data visualization of spatial component of model (1) and (5). From the data repository of the open web-mapping project *OpenStreetMap* (*OSM*), using the *OSM Place Search* plugin we download a metropolis map and get the location of the GSs' network after the *QuickOSM* with the key (*fuel*) is launched. The data in the form (*node*) *ID* with geographic coordinates – latitude *X* and longitude *Y* and according to the type *Type_{vis}* are applied to the city map.

Step 2: Visualization of technogenic risk zones geodata from shock wave, oil products spill fire and «fireball» of *RZM* model (1). Taking into account coordinates of the GS *X* and *Y*, as well as output data of models of shock wave *Out_{SW}* (6), oil products spill fire *Out_{OF}* and «fireball» *Out_{FB}* with the help of developed plug-in *PHO* and settings of the *Multi Ring Buffer* plug-in we visualize the technogenic risk zones.

The examples of technogenic risk zones with different scale are shown in Figure 3. On the basis of the built map analysis it is possible to note the following for GSs with gas tanks with a capacity of 40 m³:

- some GSs do not comply with the norms of fire-fighting distance to the so-called «care» objects (enterprises, organizations, residential areas, etc.);
- some GSs are located not only in residential areas, but also near highways with a significant flow of cars, which especially in the rush hour increases the negative consequences of the accident;
- some GSs are located close to one another, for example, petroleum and gas stations, which in case of an accident can cause the development of the scenario by cascade effect «domino» (risk zones on the map are overlapped).

Under the condition of minimal tanks filling of GSs with oil products (15 m³), the risk zones in most cases are local (on the territory of the GS), but it's still possible impact objects of «care» in the neighbouring residential areas.

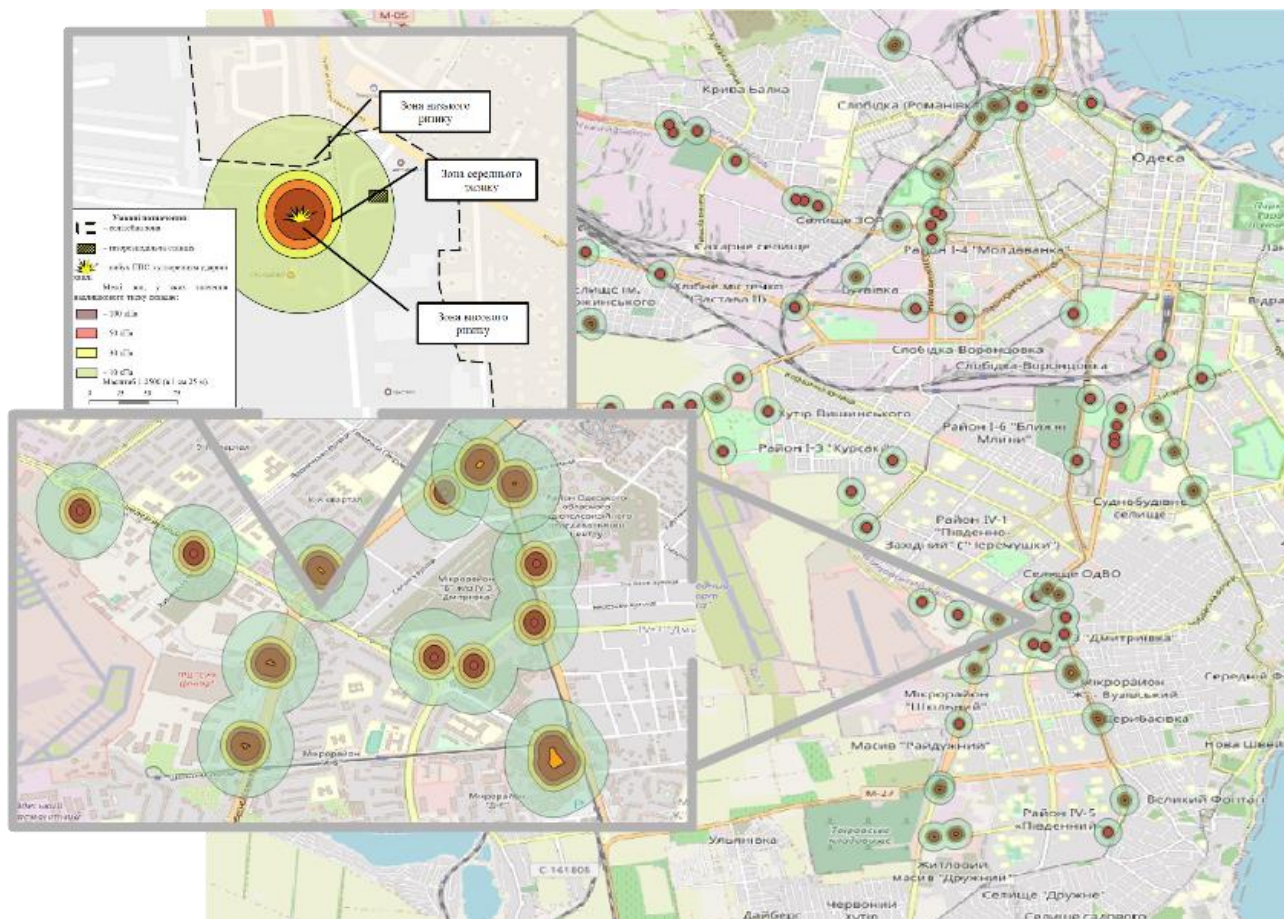


Figure 3 – The results of the risk zones visualization from the GS according to the specified accident scenario and scale for the city of Odessa in the subsystem *QGIS*

Thus, the method of visualization of technogenic risk zones geodata (shock wave, oil products spill fire and «fireball») was further developed, which allowed to build risk zones on the map of metropolis by means of *GIS* and to reduce the time of determining the accident development scenario on a potentially hazardous object, which is the fourth point of scientific novelty.

In the *fourth chapter* the subsystem of the analysis and visualization of technogenic risk zones geodata in *QGIS* was developed. A geodatabase with the use of *PostGIS* is built, which is realized in the form of extension to DBMS *PostgreSQL*, which considerably expands possibilities of processing attribute (thematic static and temporary dynamic data), as well as spatial or geographical data. GIS has expanded capabilities for displaying data in the form of points, broken lines and polygons and performs effective search by user requests.

The results of the testing of the developed subsystem in *QGIS* were shown in the «Centre for Environmental Safety» LLC and the time for experts to define the accident development scenario at the Odessa GS, confirmed by the relevant implementation act, was reduced more than twice.

Key words: geoinformation systems (GIS), data visualization in GIS, technogenic risk zones modelling from gas stations (GSs), geospatial data model, QGIS, potentially hazardous object (PHO).

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	27
ВСТУП.....	29
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ СЦЕНАРІЮ РОЗВИТКУ АВАРІЇ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНОМУ ОБ’ЄКТІ	34
1.1 Дослідження техногенної безпеки ПНО засобами ГІС.....	34
1.1.1 Класифікація потенційно небезпечних об’єктів	39
1.1.2 Аналіз тенденцій розвитку АЗС в Україні	43
1.2 Аналіз можливостей ГІС щодо визначення зон ризику ПНО	47
1.2.1 Огляд растрової та векторної моделей візуалізації даних про ПНО ..	48
1.2.2 Використання операцій буферизації та оверлейну для створення зон ризиків	52
1.3 Порівняльна характеристика можливостей ГІС щодо аналізу геопросторових даних.....	55
1.3.1 Аналіз практики використання ГІС для оцінки стану ПНО в Україні та світі.....	55
1.3.2 Порівняльна характеристика ГІС з відкритим кодом, що можуть бути використані для визначення зон ризику ПНО	61
1.4 Висновки. Постановка задачі дослідження	65
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ГЕОДАНИХ АВТОЗАПРАВНОЇ СТАНЦІЇ ТА ЗОН ЇЇ ТЕХНОГЕННОГО РИЗИКУ	67
2.1 Характеристика АЗС як особливого виду ПНО.....	67
2.1.1 Визначення факторів пожежо- та вибухонебезпеки АЗС	68
2.1.2 Використання «дерева подій» для аналізу НС на АЗС	70

2.2 Розробка концептуальної геопросторової моделі АЗС	72
2.2.1 Вихідні положення до моделювання зон ризику	75
2.3 Моделювання сценаріїв розвитку НС на АЗС за нормативними методиками	77
2.3.1 Моделювання вибуху пароповітряної суміші з утворенням ударної хвилі	77
2.3.2 Моделювання пожежі проливу нафтопродуктів.....	81
2.3.3 Моделювання сценарію «вогняної кулі»	85
2.4 Розробка моделі геоданих АЗС як ПНО та її складових.....	87
2.4.1 Модель геоданих зон ризику, що виникають при реалізації вибуху ППС з утворенням ударної хвилі	89
2.4.2 Модель геоданих зон ризику, що виникають при реалізації пожежі проливу нафтопродуктів.....	90
2.4.3 Модель геоданих зон ризику, що виникають при реалізації «вогняної кулі»	92
2.5 Висновки до другого розділу	94
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЗОН ТЕХНОГЕННОГО РИЗИКУ АВТОЗАПРАВНИХ СТАНЦІЙ.....	95
3.1 Розробка методу визначення геоданих зон техногенного ризику	95
3.1.1 Визначення геоданих зон ризику від ударної хвилі	95
3.1.2 Визначення геоданих зон ризику від пожежі проливу нафтопродуктів	98
3.1.3 Визначення геоданих зон ризику від «вогняної кулі»	100
3.2 Розробка методу візуалізації геоданих зон техногенного ризику АЗС ...	103
3.2.1 Візуалізація мережі АЗС на карті міста	103
3.2.2 Візуалізація геоданих моделей зон техногенного ризику RZM.....	106

3.3 Висновки до третього розділу.....	111
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЗОН ТЕХНОГЕННОГО РИЗИКУ АЗС В QGIS	113
4.1 Структура й основні властивості спеціалізованої підсистеми	113
4.2 Структура і основні функції ГІС QGIS	115
4.2.1 Опис модуля NextGIS Connect.....	118
4.2.2 Опис розробленого плагіну РНО	120
4.3 Структура і функціонал PostGIS.....	121
4.4 Опис інтерфейсу користувача.....	123
4.5 Тестування програми	128
4.6 Висновки до четвертого розділу.....	130
ВИСНОВКИ.....	132
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	134
ДОДАТОК А. Список публікацій здобувача за темою дисертації	143
ДОДАТОК Б. Акт впровадження результатів у ТОВ «Центр екологічної безпеки».....	146
ДОДАТОК В. Довідка про впровадження результатів дисертаційної роботи в навчальний процес Державного університету «Одеська політехніка»	147
ДОДАТОК Г. Довідка про впровадження результатів дисертаційної роботи у науково-дослідницькій діяльності Державного університету «Одеська політехніка»	148
ДОДАТОК Д. Вихідний код програмних інструментальних засобів.....	149

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЗК – автозаправний комплекс.

АЗС – автозаправна станція.

БД – база даних.

ГІС – географічна інформаційна система.

ГГ – горючі газ.

ГР – горюча рідина.

ДК – діаграма класів.

ІС – інформаційна система.

ЛЗР – легкозаймиста рідина.

НС – надзвичайна ситуація.

ОПН – об'єкт підвищеної небезпеки.

ОПР – особи, що приймають рішення.

ОС – операційна система.

ПЗ – програмне забезпечення.

ПНО – потенційно небезпечний об'єкт.

ППС – пароповітряна суміш.

ПРК – паливно-роздавальна колонка.

СУБД – система управління базами даних.

ФВ – функціональна вимога.

API – application programming interface.

GIS – geographic information system.

GRASS – Geographich Resource Analysis Support System.

GS – gas station.

gvSIG – Generalitat Valenciana, Sistema d'informació Geogràfica.

HTML – HyperText Markup Language.

ILWIS – Integrated Land and Water Information System.

JSON – JavaScript Object Notation.

MS – Microsoft.

OSM – OpenStreetMap.

PHO – potentially hazardous object.

QGIS – Quantum GIS.

RZM – risk zone model.

SAGA – System for Automated Geoscientific Analyses.

uDig – User-friendly Desktop Internet GIS.

URL – Uniform Resource Locator.

XML – eXtensible Markup Language.

XOR – eXclusive OR.

ВСТУП

Актуальність теми. Одним із аспектів екологічної безпеки мегаполісів є їх техногенна безпека, яка визначається станом потенційно небезпечних об'єктів (ПНО), таких як автозаправні станції (АЗС) та комплекси, підприємства хімічної промисловості тощо. Відповідно до закону України потенційно небезпечним об'єктом вважається об'єкт, на якому використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються чи транспортуються небезпечні речовини, біологічні препарати тощо [13]. Діяльність ПНО призводить до техногенних ризиків та за певних обставин створює реальну загрозу розвитку сценарію аварії. У 2020 році в Україні загальний об'єм матеріальних збитків від аварій на ПНО становив 9 916 677 тис. грн. [12].

Одним із шляхів запобігання аваріям є ідентифікація ПНО та оцінка зон техногенних ризиків. При прогнозуванні аварійних ситуацій та визначенні зон ризику використовуються різні фізичні моделі в залежності від характеру діяльності ПНО та пов'язаних з нею видів техногенних ризиків.

Проаналізовано існуючі методики, методичні рекомендації і комп'ютерні системи для визначення техногенних ризиків від ПНО та показано, що вони є спеціалізованими, спрямованими на вузьке коло спеціалістів, їх практичне використання є обмеженим тому, що потребує ліцензування. Все це ускладнює отримання оперативного визначення зон ризиків. В той же час в зв'язку зі значним збільшенням автомобільного парку в великих містах України, та як наслідок, кількості АЗС існує запит практики на отримання оперативного публічного попередження про зони та рівень техногенного ризику від АЗС, особливо розташованих на території мегаполісів. Як відомо, на надання оперативної та наочної візуальної екологічної інформації спрямовані геоінформаційні системи (ГІС), основою яких є картографічні сервіси, GoogleMaps, Google Earth, OpenStreetMap, QGIS, ArcGIS та gvSIG. Однак сучасні ГІС не мають повноцінних вбудованих засобів аналізу та візуалізації геопросторових даних про зони

та рівень техногенного ризику від АЗС. Це пов'язано в тому числі з відсутністю відповідних моделей та методів.

Таким чином, актуальним завданням є розробка моделей та методів аналізу та візуалізації зон техногенного ризику АЗС в геоінформаційних системах з метою зниження часу на визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась у відповідності з переліком пріоритетних напрямів наукових досліджень в галузі «Інформаційні та телекомунікаційні технології» за період 2017-2021 рр. та пріоритетними напрямками науково-дослідних робіт Державного університету «Одеська політехніка», зокрема в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи кафедри інформаційних систем – № 716-145 – «Інноваційна інтелектуальна інформаційна технологія аналізу та синтезу енергоефективних гідроаеродинамічних елементів та систем» (№ ДР 0121О111720) – при безпосередній участі автора.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є зниження часу на визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті за рахунок розробки моделей та методів аналізу та візуалізації зон техногенного ризику АЗС в геоінформаційних системах.

Для досягнення поставленої мети сформульовані та вирішені такі завдання:

- проаналізовано методи визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті та можливості існуючих геоінформаційних систем щодо аналізу зон техногенного ризику, обґрунтовано мету та задачі дослідження;
- розроблено моделі геоданих автозаправної станції як потенційно небезпечного об'єкта та зон техногенного ризику від ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі»;
- розроблено методи визначення та візуалізації геоданих зон техногенного ризику при розвитку аварії за заданим сценарієм;

– розроблено підсистему аналізу та візуалізації геоданих зон техногенного ризику в QGIS та показано її переваги при вирішенні практичних задач.

Об’єкт дослідження – процес аналізу зон ризику потенційно небезпечних об’єктів в геоінформаційних системах.

Предмет дослідження – моделі та методи аналізу та візуалізації зон ризику потенційно небезпечних об’єктів в геоінформаційних системах.

Методи дослідження. При розробці основних положень дисертації автором використовувались загальнонаукові методи, що включають у себе аналіз і синтез, узагальнення тощо при огляді існуючих методів візуалізації даних про безпеку ПНО. При огляді АЗС як ПНО використовувались методи аналізу видів і наслідків небезпек, а також метод «дерева подій». Під час моделювання розвитку аварійної ситуації на АЗС нами було використано методи розрахунку значень критеріїв за вибухопожежною та пожежною небезпекою зовнішніх установок за затвердженою методикою. Для візуалізації отриманих розрахункових даних були використані методи геоінформаційного моделювання засобами вільної ГІС, а також візуалізації геопросторових даних ПНО.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні науково-практичної задачі удосконалення та розробки аналізу та візуалізації зон техногенного ризику потенційно небезпечних об’єктів в геоінформаційних системах.

1. Вперше розроблено модель геоданих автозаправної станції як потенційно небезпечного об’єкта, яка містить атрибутивну (тематичну та часову) і просторову складову геоданих, що дозволяє створити базу геоданих у спеціалізованій ГІС.

2. Отримали подальший розвиток моделі зон техногенного ризику від ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі» з урахуванням розробленої моделі геоданих АЗС, що дозволяє створити базу геоданих та метод визначення зон техногенного ризику на її основі.

3. Удосконалено метод визначення зон техногенного ризику при розвитку небезпечної ситуації на АЗС за моделями геоданих ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі», що дозволило скоротити час на визна-

чення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті.

4. Отримав подальший розвиток метод візуалізації геоданих зон техногенного ризику (ударна хвиля, пожежа проливу нафтопродуктів і «вогняна куля»), що дозволило побудувати зони ризику на карті мегаполісу засобами ГІС та скоротити час на визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення, висновки та рекомендації, що містяться в дисертації, отримано здобувачем особисто. У роботах, які написано в співавторстві, автору дисертації належать: розробка моделі геоданих АЗС як ПНО, яка містить атрибутивну (тематичну та часову) і просторову складову геоданих [5, 11]; подальший розвиток моделей зон техногенного ризику від ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі» [1-3, 5-8]; вдосконалення методу визначення зон техногенного ризику при розвитку небезпечної ситуації на АЗС за моделями геоданих ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі» [1-7, 11]; подальший розвиток методів візуалізації геоданих зон ризику та інших геоданих, що дозволяє наносити результати моделювання на карти населеного пункту засобами ГІС [1-7, 9-11].

Апробація результатів дисертації. Основні тези дисертації доповідались та обговорювались на наукових семінарах кафедри інформаційних систем ОН-ПУ та наукових конференціях: Міжнародна конференція «Horyzonty nauki 2017. Forum pracs dyplomowych» (м. Краків, 2017 р.); V, VI та VIII Українсько-німецька конференція «Інформатика. Культура. Техніка» (м. Одеса, 2017, 2018 та 2021 рр.); VIII Міжнародна наукова конференція студентів та молодих вчених «Сучасні інформаційні технології 2018» (м. Одеса, 2018 р.) та на VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні управляючі системи і технології» (м. Одеса, 2019 р.).

Структура дисертаційної роботи. Дисертація має загальний обсяг 156 сторінок і складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та п'ятих додатків. Основний текст дисертації викладено на 133 сторі-

нках. Робота містить 38 рисунків, 26 таблиць та список використаних джерел з 81 найменування.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення отриманих в дисертації результатів полягає у скороченні часу на визначення наслідків сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті завдяки використанню при розробці підсистеми в спеціалізованій ГІС: бази геоданих, яка містить атрибутивну (тематичну та часову) та просторову складову геоданих за моделлю АЗС та моделями ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі», а також методів визначення та візуалізації геоданих зон техногенного ризику при розвитку небезпечної ситуації на АЗС.

Здійснені практичні випробування підсистеми в спеціалізованій ГІС, яку розгорнуто в ТОВ «Центр екологічної безпеки» міста Одеси, показали більш ніж вдвічі скорочення часу для експертів на визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті, що є важливим не тільки під час виникнення аварійних ситуацій, але при їх запобіганні. Практичне використання розроблених моделей, методів та підсистеми в спеціалізованій ГІС при розробці курсових та розрахунково-графічних робіт в рамках дисциплін «Організація баз та сховищ даних», «Сучасні технології баз даних» та «Ймовірнісні алгоритми та структури даних» дозволило суттєво підвищити рівень їх практичного спрямування для студентів спеціальності 122 – «Комп'ютерні науки».

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ СЦЕНАРІЮ РОЗВИТКУ АВАРІЙ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНОМУ ОБ'ЄКТІ

1.1 Дослідження техногенної безпеки ПНО засобами ГІС

Забезпечення захисту та безпеки населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій (НС), реагування на них та ліквідація наслідків від НС є однією із важливих функцій держави, що визначається Конституцією України, Цивільним кодексом України та іншими нормативно-правовими актами України. Попередження та запобігання НС техногенного характеру неможливе без детального аналізу існуючого стану техногенної безпеки промислових об'єктів, спостереження за ним у довготривалій динаміці та виробленням заходів із зменшення вірогідності виникнення НС. В Україні проблема забезпечення техногенної безпеки залишається актуальним питанням, оскільки у районах міських поселень із значною щільністю населення або поблизу них внаслідок промислового зростання протягом другої половини ХХ ст. було створено велику кількість промислових об'єктів, на яких зберігаються у значних кількостях небезпечні речовини хімічного, біологічного, радіаційного тощо походження, що за умов виникнення аварій на цих об'єктах можуть створити НС, які за своїм масштабом можна порівнювати із невеликими цунамі чи торнадо.

У 2020 році зафіксовано (за даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій [12]) найменшу кількість НС за період спостережень, починаючи з 1997 року, натомість збільшилася масштабність НС та зафіксовано зростання більш ніж у 6 разів суми завданих НС збитків. Враховуючи збереження рівня наслідків від НС, варто зазначити, що рівень ризиків виникнення НС природного та техногенного характеру та ризиків збитків від них залишаються практично незмінними та досить високими для більшості регіонів України, що підтверджується рекордною сумою завданих НС збитків у 2020 році – 9 916 677 тис. грн. [12].

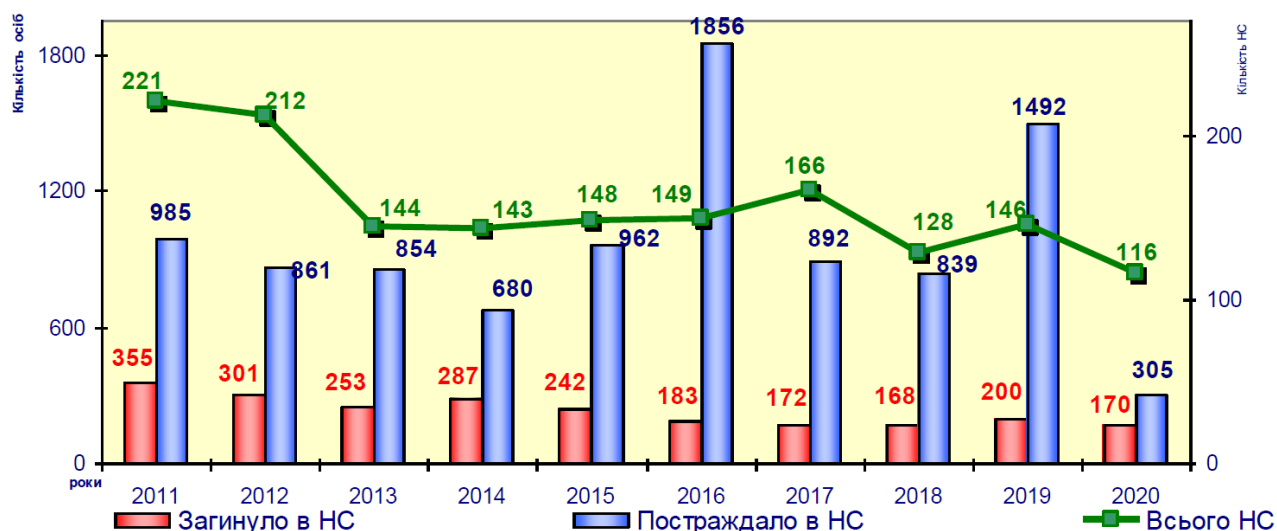


Рис. 1.1 – Динаміка виникнення НС в Україні протягом останніх років (за даними [1])

Варто зазначити, що стан техногенної безпеки в Україні, незважаючи на помірне зменшення НС техногенного характеру у 2020 році, порівняно з 2019 р. (на 21,7 % за [12], рис. 1.1), все ж залишається досить напруженим через низку причин, а саме: застарілість виробничого фонду значної кількості промислових підприємств країни, недостатність капіталовкладень в обслуговування та модернізацію виробничих фондів та об'єктів інфраструктури через фінансову кризу, недостатнє фінансування заходів із технологічної безпеки та охорони праці тощо. Також після 2014 р. внаслідок нестабільності політичної ситуації з'явився ще один вагомий чинник дестабілізації стану техногенної безпеки – бойові та терористичні дії на сході країни.

Одним із шляхів забезпечення техногенної безпеки територій є ідентифікація потенційно небезпечних об'єктів (ПНО), а також оцінка рівня ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки ПНО, що виконується відповідно до вимог Закону України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» ([13]), Методики визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки ([14]) та інших нормативно-правових актів України.

Аналіз небезпеки та ризику аварій на потенційно небезпечному об'єкті включає такі основні етапи ([14]):

- постановка завдання аналізу небезпеки та оцінки ризику;
- аналіз небезпеки та умов виникнення аварій;
- оцінка ризику (ймовірності) виникнення аварій;
- аналіз умов і оцінка ймовірності розвитку аварій;
- визначення масштабів наслідків;
- оцінка ймовірності наслідків аварій;
- оцінка прийнятності ризику та прийняття рішень щодо зменшення ризику.

Визначення масштабів наслідків аварії означає аналіз можливих впливів на людей, майно та довкілля. Для оцінки можливих наслідків і наступної оцінки ризику необхідно моделювати аварії для кожного можливого її результату, визначеного при виконанні аналізу розвитку аварій. Після встановлення аварійно небезпечних об'єктів, аварії на яких можуть протікати з ураженням та нанесенням збитків за межами підприємства, слід встановити зони максимального ураження, вид і масштаб можливих наслідків негативних впливів, а також визначити реципієнти, що потрапляють у зону ураження, і визначити об'єкти «турботи».

Головним об'єктом «турботи» є людина. Необхідно визначити загрозу для людини, для чого виділити місця проживання, підприємства й організації, що потрапляють у зону ураження ([14]).

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:

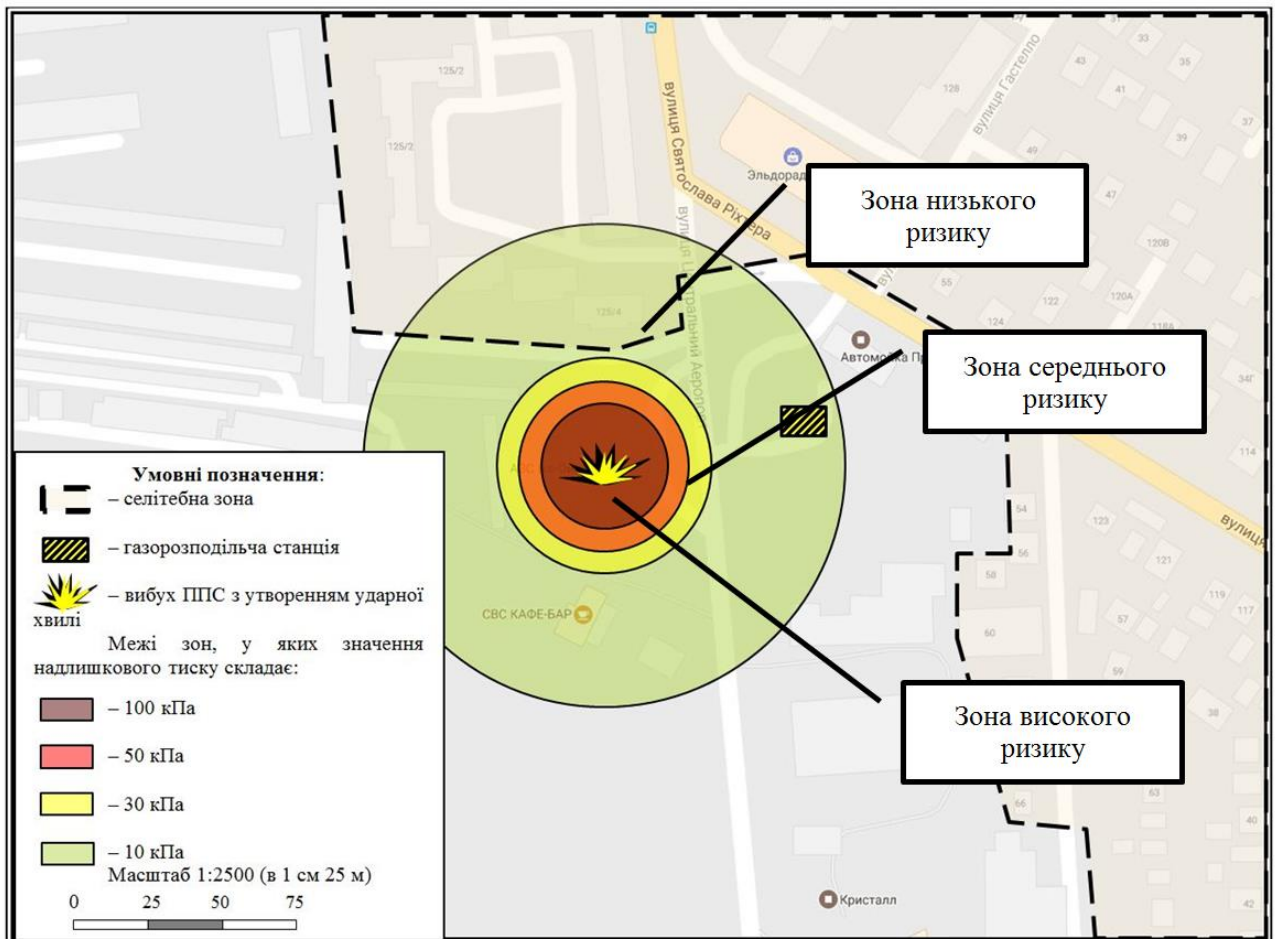
- житлові та господарські будівлі;
- транспортні засоби;
- дачні та садові ділянки;
- будівлі, споруди та устаткування підприємств;
- майно промислових підприємств, організацій та установ;
- орні землі, домашня худоба й інші сільськогосподарські об'єкти;
- сировина та продукти виробництва, у тому числі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

Крім цього необхідно виділити інші об'єкти «турботи», що потрапляють у зону небезпечного впливу аварії ([14]).

Для оцінки техногенного ризику території, зокрема, для встановлення зон максимального ураження шкідливими факторами і об'єктів «турботи», що можуть потрапляти до них, автор вважає за доцільне використання поширеного сьогодні інструменту візуалізації геопросторових даних різноманітного походження, а саме геоінформаційні системи. На сьогодні геоінформаційні системи використовуються для розв'язання широкого кола питань, а саме для моніторингу сільськогосподарських угідь, стану зелених насаджень, створення тематич-

них карт, дослідження впливу техногенних об'єктів на оточуюче середовище, землетрусів та інших НС природного походження тощо [5]. Однією із особливостей ГІС, що дозволяє використовувати їх як потужний інструмент візуалізації, є можливість оперування як із просторовими об'єктами (цифрові електронні карти, аерокосмічні знімки тощо), так і з атрибутивними даними у вигляді таблиць (до яких може вноситись необхідна інформація відповідно до задач дослідження). Також деякі ГІС дозволяють підключати сторонні модулі, що можуть проводити розрахунки відповідно до моделей розвитку аварійних ситуацій і отримувати дані одразу в атрибутивній формі тощо. Також сучасні ГІС дозволяють легко проводити просторовий пошук різноманітних об'єктів за запитом, що дозволяє встановлювати ПНО та об'єкти «турботи», які можуть потрапляти у зони ураження небезпечними факторами.

Як приклад візуалізації зон максимального ураження при виникненні НС на ПНО засобами ГІС можна навести виконаний автором розрахунок зон ураження при вибуху резервуарів із паливом на АЗС із утворенням ударної хвилі (рис. 1.2) [6]. Як видно із рис. 2, ГІС була використана для відображення зон ураження ударною хвилею при виникненні НС на типовому ПНО у межах міста. Розміри зон ураження були розраховані відповідно до затвердженої державної нормативної методики. Окрім візуалізації зон ураження, ГІС дозволяє відображати частково об'єкти «турботи», що можуть потрапити в зони ураження ударної хвилі, а також можна отримувати дані із кожної зони, які саме ушкодження можуть виникати у людей, будівель та майна. Як видно із наведеного прикладу, геоінформаційні системи можуть бути використані для візуалізації масштабів наслідків аварійних ситуацій, а також для встановлення об'єктів «турботи», що можуть потрапляти до них, що є однією із складових процесу декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки та їх ідентифікації тощо. Використання ГІС дозволяє пришвидшити процес ідентифікації ПНО, проводити моніторинг стану техногенної безпеки території у реальному часі, а також унаочнити процес прийняття управлінських



Картографічні дані: © Google, 2016

Рис. 1.2 – Моделювання зон ураження ударною хвилею від аварії на АЗС [1, 3, 6, 7]

рішень щодо містобудування ті містопланування особами, що приймають рішення (ОПР).

1.1.1 Класифікація потенційно небезпечних об'єктів

Відносини, пов'язані з діяльністю об'єктів підвищеної небезпеки, регулюються Конституцією України, Законом України «Про об'єкти підвищеної небезпеки», законами України та іншими нормативно-правовими актами [13].

Відмітимо, що *об'єкт підвищеної небезпеки (ОПН)* – об'єкт, на якому використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються або транспортуються одна або кілька небезпечних речовин чи категорій речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, а також

інші об'єкти як такі, що відповідно до закону є реальною загрозою виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру.

Потенційно небезпечний об'єкт (ПНО) – об'єкт, на якому можуть використовуватися або виготовляються, переробляються, зберігаються чи транспортуються небезпечні речовини, біологічні препарати, а також інші об'єкти, що за певних обставин можуть створити реальну загрозу виникнення аварії.

Небезпечна речовина – хімічна, токсична, вибухова, окислювальна, горюча речовина, біологічні агенти та речовини біологічного походження (біохімічні, мікробіологічні, біотехнологічні препарати, патогенні для людей і тварин мікроорганізми тощо), які становлять небезпеку для життя і здоров'я людей та довкілля, сукупність властивостей речовин і/або особливостей їх стану, внаслідок яких за певних обставин може створитися загроза життю і здоров'ю людей, довкіллю, матеріальним та культурним цінностям [13].

Згідно із положеннями чинного законодавства, усі ПНО підлягають обов'язковій ідентифікації і паспортизації із наступним внесенням даних до Державного реєстру потенційно небезпечних об'єктів [15]. З метою збільшення ефективності прийняття управлінських рішень щодо запобігання НС, пов'язаних із функціонуванням ПНО, а також зниження негативного впливу на населення і довкілля у разі виникнення аварій на ПНО Науково-дослідним, проектно-конструкторським та технологічним інститутом мікрографії Державного департаменту страхового фонду документації (НДІ мікрографії) було створено Класифікатор потенційно небезпечних об'єктів [16].

Класифікатор побудовано фасетним методом класифікації із застосуванням паралельної системи кодування. Цей класифікатор установлює найменування класифікаційних ознак ПНО, їхнє значення та коди класифікаційних угруповань. Код позиції класифікатора складається з 2 частин: ідентифікаційної та інформаційної. Ідентифікаційна частина визначає вид об'єкта залежно від характеру виробництва або за призначенням (1 фасет). Найменування інформаційних класифікаційних ознак та їх значень (2, 3, 4, 5, 6, 7 фасети) наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Найменування інформаційних класифікаційних ознак та їх значень [16]

Назва класифікаційної ознаки	Вид основної небезпеки (2 фасет)	Рівень небезпеки (3 фасет)	Рівень надзвичайної ситуації (4 фасет)	Розмір санітарної зони (м) (5 фасет)	Кількість працівників у найбільшій зміні (6 фасет)	Термін експлуатації (7 фасет)
Значення ознаки	радіаційна; хімічна; вибухопожежна; пожежна; гідродинамічна; біологічна; фізична; екологічна	помірний; підвищений	державний; регіональний; місцевий; об'єктовий	3000; 1000; 500; 300; 100; 50; менше 50	менше 3; 3-10; 11-20; 21-50; 51-100; 101-1000; більше 1000	рік введення в експлуатацію об'єкта; рік останнього капітального ремонту об'єкта; рік останнього повного переоснащення об'єкта

Усі ПНО залежно від характеру виробництва або за призначенням розподіляються у Класифікаторі ПНО за кодами значень першого фасета наступним чином [16]:

100 – Хімічні підприємства та виробництва;

300 – Військові об'єкти та виробництва вибухових речовин і боєприпасів;

310 – Підприємства та установи, що мають виробництва, використовують та зберігають ядерні матеріали (радіоактивні відходи);

320 – Підприємства з виробництва та постачання електричної та теплової енергії;

340 – Металургійні, машинобудівні та металообробні підприємства і виробництва;

380 – Підприємства з видобування руд та нерудних копалин;

410 – Підприємства з виробництва будівельних матеріалів;

430 – Підприємства з обробки деревини;

440 – Текстильні підприємства та підприємства легкої промисловості;

- 450 – Підприємства з виробництва та обробки тваринних продуктів;
- 460 – Підприємства з виробництва харчових продуктів та смакових речовин;
- 500 – Санітарно-технічні споруди комунального призначення;
- 520 – Гідроспоруди;
- 540 – Об'єкти транспорту;
- 560 – Трубопроводи та споруди на них;
- 580 – Сховища газу, нафти і нафтопродуктів;
- 590 – Об'єкти водопостачання та водовідведення;
- 610 – Склади небезпечних та шкідливих речовин;
- 620 – Заправні станції.

Більш детальний розріз ПНО залежно від характеру наведений у Класифікаторі ПНО у розділі 5 [16] і налічує 319 позицій. Значення коду другого фасету встановлюється залежно від видів небезпеки ПНО. Рівень небезпеки ПНО встановлюється залежно від наявності у складі ПНО об'єктів підвищеної небезпеки, що регулюється відповідною постановою КМУ. Значення коду четвертого фасету встановлюється залежно від рівня НС, які можуть виникнути на ПНО. Значення п'ятого фасета обирається залежно від розмірів санітарно-захисної зони підприємства, що встановлюється для обмеження постійного проживання і господарської діяльності людей з метою запобігання впливу потенційної НС на життя, здоров'я і безпеку людей, а також забезпечення розсіювання шкідливих речовин у повітрі до санітарних норм, що можуть утворюватись у процесі діяльності ПНО. Значення шостого фасета обирається залежності від кількості працівників на ПНО. Значення сьомого фасета визначається залежно від року введення в експлуатацію ПНО, його переоснащення чи капітального ремонту.

Загальне кодове позначення об'єктів Класифікатора має структуру, що зображена на рис. 1.3.

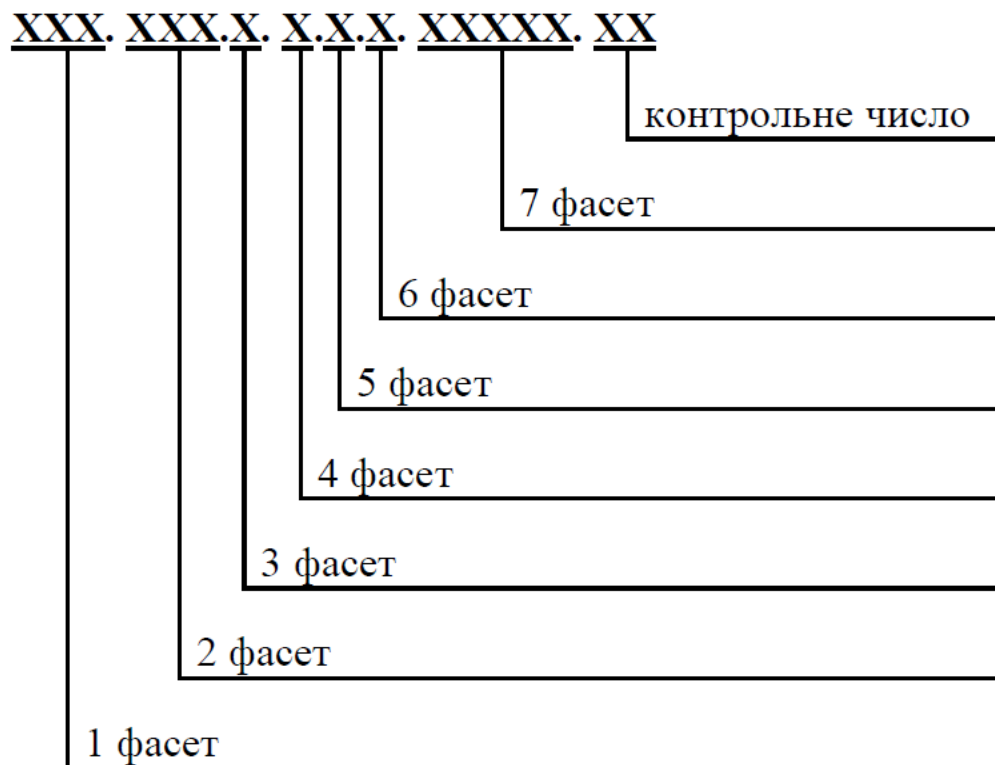


Рис. 1.3 – Кодове позначення об'єктів Класифікатора потенційно небезпечних об'єктів [16]

Також автор вважає, що ПНО можна також класифікувати залежно від геометричних характеристик об'єкта, що має важливе місце при роботі із цими об'єктами у геоінформаційних системах. Так, ПНО можна класифікувати наступним чином:

- точкові об'єкти (малі підприємства, окремі установки тощо);
- лінійні об'єкти (трубопроводи, лінії електропередач тощо);
- полігони (кар'єри, сховища, полігони твердих побутових відходів тощо).

1.1.2 Аналіз тенденцій розвитку АЗС в Україні

В якості об'єкта дослідження як типового потенційно небезпечного об'єкта автором було обрано автозаправні станції через низку причин.

По-перше, внаслідок значного збільшення автомобільного парку в Україні (особливо у великих містах) за роки незалежності відбулося відповідне зростання чисельності АЗС та нафтобаз в Україні. Так, їхня чисельність за останні 6

років за даними Держстату України [18] сягнула позначки у 7 тис. (архіви даних за більш ранній проміжок часу відсутні), що зображено на рис. 1.4.

Автозаправні станції належать до об'єктів підвищеної пожежо- та вибухонебезпеки, що пов'язано із наявністю на них у великих кількостях нафтопродуктів, що належать до легкозаймистих горючих рідин, а також із притаманними їм технологічними процесами транспортування, переливання, зберігання та перекачування палива тощо.

По-друге, автором було обрано АЗС як такий ПНО, НС на якому можуть бути представлені у відносно простих моделях розвитку несприятливих подій (далі автором буде розглянуто можливі сценарії розвитку подій на АЗС у вигляді «дерева подій»). Зважаючи на те, що за характером виробництва, видами небезпек тощо потенційно небезпечні об'єкти можуть бути представлені у широкому спектрі (як було показано у розділі 1.1.1) і для опису розвитку НС на

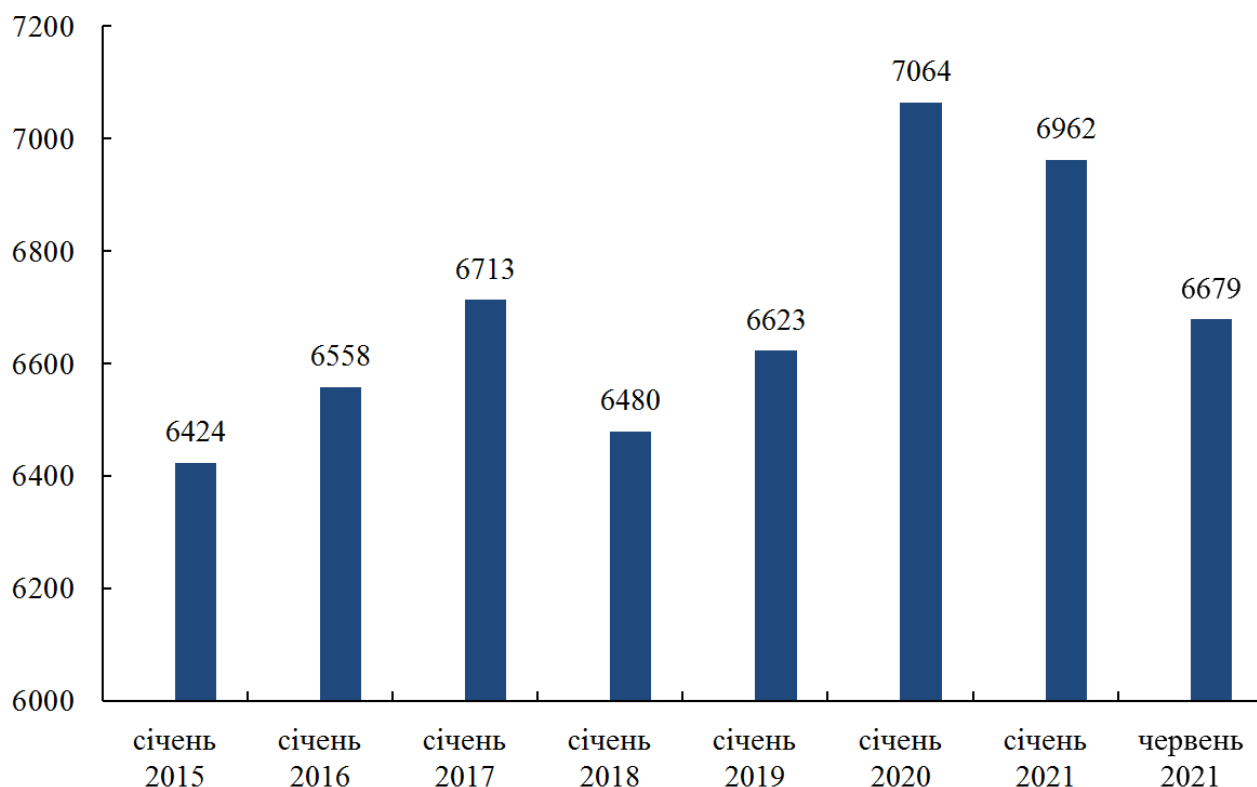


Рис. 1.4 – Кількість АЗС в Україні за роками (дані Держстату України [18])

них використовуються різні фізичні моделі аварійних ситуацій (як приклад, можна навести вибухи із поширенням ударної хвилі, горіння із виділенням інтенсивного випромінювання і продуктів згорання, поширення газопилової хмари внаслідок руйнування ємностей із хімікатами тощо), автором було обрано АЗС з метою показати можливість використання ГІС для аналізу зон ризику від ПНО і за аналогією такі ж методи можуть бути використані і для інших об'єктів. Задача дослідження усього спектру ПНО у даній роботі не ставилась зважаючи на її трудомісткість і часові витрати.

По-третє, зростання чисельності АЗС не означало фактичного підвищення їхньої якості і безпечності, а також призвело до збільшення числа порушень. Як свідчить аналіз ЗМІ протягом останніх років, аварії на АЗС та нафтобазах в Україні відбуваються досить часто із людськими жертвами через різні причини (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Аварії на автозаправних станціях та їх наслідки (за даними ЗМІ)

№ з/п	Рік та місце виникнення НС	Причини та характер НС	Наслідки НС
1	22 квітня 2014 р., Переяслав-Хмельницький район Київської обл., АЗС «БРСМ»	Вибух в адміністративній будівлі АЗС	6 осіб загинуло, 6 осіб постраждало
2	8 червня 2015 р., с. Крячки Васильківського району Київської обл., нафтобаза «БРСМ»	Загорання резервуару з паливно-мастильними матеріалами з послідовним перекиданням вогню на поруч розташовані резервуари	6 осіб загинуло, 16 осіб постраждало, завдано збитків на суму близько 50 млн. грн
3	8 червня 2015 р., м. Дубни Рівненської обл., нафтобаза «WOG»	Вибух 2 паливних резервуарів через порушення техніки безпеки при проведенні зварювальних робіт	2 осіб постраждало
4	15 червня 2015 р., м. Кременчук Полтавської обл., НПЗ	Вибух паливного резервуару через порушення техніки безпеки при проведенні зварювальних робіт	1 особа загинула
5	25 квітня 2016 р., м. Джанкой, АРК	При заправці газового балону автомобіля спалахнула іскра і вогонь перекинувся на ПРК	3 особи загинули
6	16 вересня 2016 р., Вінківці, Хмельницька обл.	Вибух підземного резервуару із випарами	1 особа загинула, 1 особа постраждала

Продовження таблиці 1.2

№ з/п	Рік та місце виникнення НС	Причини та характер НС	Наслідки НС
7	11 липня 2017 р., с. Загальці Київської обл.	Вибух ємності з газом внаслідок ДТП	1 особа загинула, 1 постраждала
8	27 березня 2019 р., м. Кропивницький	Вибухи на газовій автозаправній станції	3 осіб постраждало
9	19 травня 2019 р., м. Житомир	Спалах цистерни із паливом із перекиданням полум'я на всю АЗС	2 осіб постраждало
10	1 серпня 2019 р., с. Тарасівка Києво-Святошинського району	Пожежа на території модульної АЗС	1 особа постраждала
11	17 жовтня 2019 р., с. Шапарівка Луганської обл.	Під час зливу пального з бензовоза стався вибух з наступною пожежею	1 особа постраждала
12	22 лютого 2020 р., с. Велика Олександрівка Херсонської обл.	Вибух ємності з парами газу і масла	2 осіб постраждало
13	21 серпня 2021 р., м. Хуст, Закарпатська обл.	Вибух газоповітряної суміші на АЗС	2 осіб постраждало

Серед причин аварійних ситуацій:

- порушення правил техніки безпеки при виконанні поточних та ремонтних робіт працівниками, зокрема і через недбале ставлення до охорони праці;
- використання нафтопродуктів низької якості через «тіньові» закупки, використання синтетичних добавок для розведення палива;
- порушення вимог будівельних робіт при будівництві, ремонті діючих АЗС, економія на будівельних матеріалах;
- дорожньо-транспортні пригоди, порушення при зливі палива із автоцистерн до підземних резервуарів;
- недостатня кількість засобів протипожежного захисту може сприяти збільшенню масштабу аварійної ситуації тощо.

Також варто відмітити, що збільшенню масштабів аварій та кількості потерпілих сприяють деякі з факторів, а саме: поширення тенденції до розміщення на АЗС різних видів пального (рідкого та газового), а також до розміщення поблизу традиційних АЗС автогазозаправних станцій, що може у випадку поширення аварії викликати каскадні руйнування близькорозташованих устано-

вок та об'єктів за ефектом «доміно». Помітною стала тенденція до перетворення традиційних АЗС на автозаправні комплекси із розміщенням у/поблизу них об'єктів обслуговування водіїв та пасажирів, а також авто (роздрібна торгівля продуктами харчування, запасними частинами, мастильними речовинами; технічне обслуговування, миття автомобілів), що збільшує число осіб, що можуть одночасно перебувати на АЗС разом із обслуговуючим персоналом. Також у великих містах внаслідок ущільнення житлової забудови та збільшення густини транспортних потоків, особливо у часи пік, значно зменшились відстані до них від АЗС, що може додатково збільшувати масштаб НС та кількість жертв. Усі перелічені фактори зумовили автора займатись більш докладним дослідженням саме АЗС у даній роботі.

1.2 Аналіз можливостей ГІС щодо визначення зон ризику ПНО

Подання інформації в зрозумілій і зручній для користувача формі є однією з основних функцій будь-якої системи обробки даних. Оскільки ГІС орієнтовані переважно на обробку просторово-розподілених даних, вони подають оброблену інформацію у вигляді різних карт, картодіаграм, тривимірних і анімованих зображень. Одним із завдань, які будуть досягнуті у роботі, є візуалізація зон ризику від потенційно небезпечних об'єктів, тобто візуалізація геопросторових даних (або геоданих) [68, 69].

Візуалізація (visualization, visualisation, viewing, display, displaying, синонім – графічне відтворення, відображення – у ГІС, комп'ютерній графіці і картографії) – проектування і генерація зображень, у тому числі геозображень, картографічних зображень та іншої графіки на пристроях відображення (переважно на екрані дисплея) на основі вихідних цифрових даних і алгоритмів їхнього перетворення [24].

Геодані – тематичні, просторові та тимчасові дані, що відображають властивості об'єктів, процесів та явищ, що відбуваються на Землі. Вони включають дані про предмети, форми території та інфраструктури на поверхні Землі, причому як суттєвий елемент у них повинні обов'язково бути присутніми прос-

торові відносини. Геодані можна пов'язувати у просторові відносини один з одним, що дає можливість виробляти нові відомості. На геоданих можна проводити запити, аналіз та оцінки для вирішення практичних завдань.

За аспектом змістовності геодані поділяють на дві великі групи, а саме *базисні геодані* (координатні геодані) та *спеціальні* або *тематичні геодані* (атрибутивні геодані). Геодані описують об'єкти та їх характеристики (включаючи соціально-економічну інформацію), через їхнє положення у просторі безпосередньо (наприклад, координатами) чи опосередковано (наприклад, зв'язками).

Об'єкти реального світу можна розглядати з урахуванням трьох аспектів їх опису: просторового, тимчасового та тематичного. Просторовий аспект (місце) пов'язаний з визначенням розташування. Часовий аспект (час) пов'язаний із змінами та фіксацією цих змін із плином часу. Тематичний аспект (тема) обумовлений наявністю ознак певної тематики чи предметної галузі. Усі геодані підпадають під один з цих параметрів: місце, час, тема. Ці характеристики утворюють основні класи геоданих. У геоданих для визначення «місця» використовують один клас – координати, для визначення параметрів часу та тематичної спрямованості – інший клас геоданих – атрибути [25].

1.2.1 Огляд растрової та векторної моделей візуалізації даних про ПНО

Просторова інформація є основою інформаційного блоку ГІС, тому способи її формалізації є найважливішою складовою частиною технології географічних інформаційних систем. У наш час використовуються два основних способи формалізації просторових даних – *растровий* і *векторний*, відповідні двом принципово різним способам опису (моделям) просторових даних [66-70].

Растрова модель даних ґрунтується на поданні карти за допомогою регулярної сітки однакових за формою і площею елементів. Растрове зображення – це двовимірна матриця пікселей однакового розміру, причому в кожному пікселі зберігається значення атрибута, що може являти собою результат виміру, інтерполяції, класифікації тощо.

Структуру растрових даних роз'яснено на рис. 1.5, на якому показаний збільшений фрагмент растрового зображення (угорі), що складається з 6 рядків і 9 стовпців пікселей. Наведеному фрагменту відповідає показана нижче матриця чисел або атрибутів растра. Поруч із нею показано, якими кольорами відображається кожний з атрибутів на екрані комп'ютера, а також представлена легенда, що роз'ясняє, яка інформація закодована в растрі [24].

Векторним способом подання просторових даних, або *векторною* моделлю, називають спосіб формалізації просторових даних, що ґрунтується на використанні набору елементарних графічних об'єктів, або «графічних примітивів». В основу векторної моделі покладено *точку* (point) – первинний графічний елемент із координатами (x, y), місце розташування якого відоме з довільно заданою точністю. Дві точки з координатами (x1, y1) і (x2, y2) формують другий

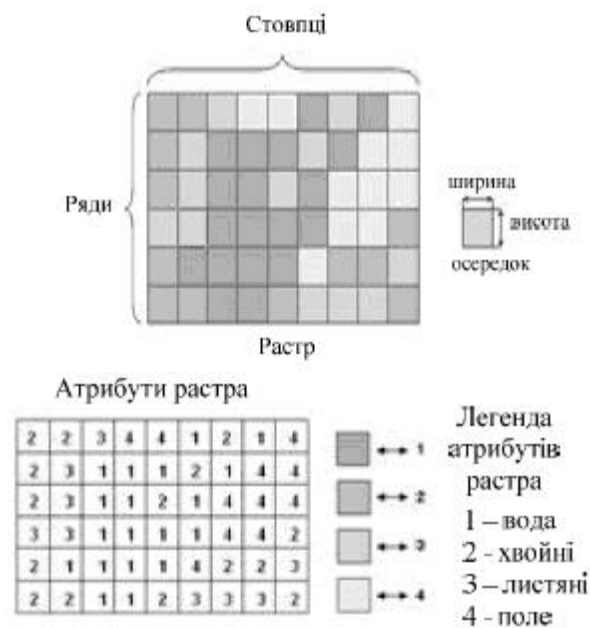


Рис. 1.5 – Структура растрових даних [24]

графічний примітив, *лінію* (line) – відрізок прямої, що з'єднує ці точки. Замкнута послідовність ліній відокремлює частину поверхні – *полігон* (polygon), який є третім з основних елементарних графічних об'єктів, або графічних примітивів, на яких базується векторна модель просторових даних.

Точки представляють географічні об'єкти, які занадто малі, щоб зображувати їх в обраному масштабі, наприклад, це можуть бути населені пункти, будинки, **автозаправки**, телефонні стовпи, колодязі тощо. Місце розташування крапки на карті задається однією парою географічних координат (х, у). Крапкові об'єкти мають при собі, як правило, описову (атрибутивну) інформацію.

Лінії представляють протяжні географічні об'єкти, які занадто вузькі в обраному масштабі, щоб зображувати їх у вигляді полігонів або, інакше кажучи, щоб зображувати їх у вигляді об'єктів, що мають ширину. Лініями зображуються дороги, ріки, трубопроводи тощо. Просторова інформація про лінійні об'єкти представляє собою послідовні набори пар координат, які при з'єднанні утворюють лінії. Лінійні об'єкти так як і крапкові об'єкти мають при собі описову інформацію, яка також зберігається в окремих атрибутивних таблицях.

Полігони являють собою замкнуті фігури, які показують форму й положення майданних об'єктів, таких, як держави, райони, водойми, земельні ділянки тощо. Полігони представляються ламаними лініями, початок і кінець яких збігаються. Полігони так само як інші векторні об'єкти мають при собі описову інформацію. Важливо розуміти, що, хоча полігональний об'єкт може мати багато різних атрибутів, що описують його властивості, всі ці атрибути описують полігон цілком [24].

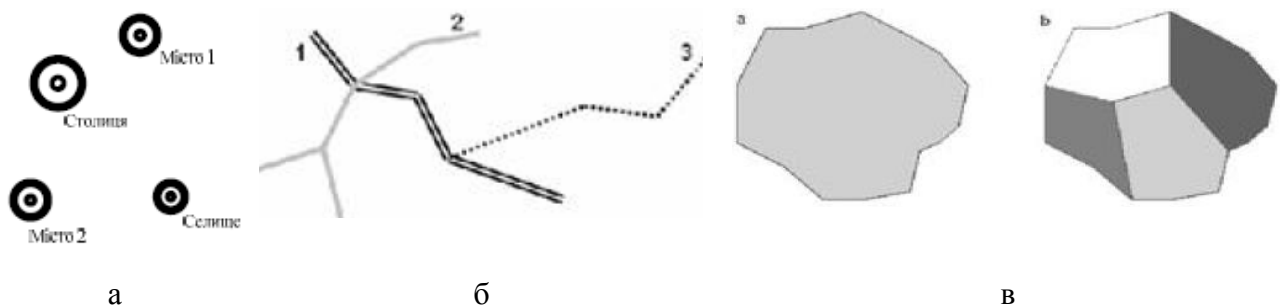


Рис. 1.6 – Відображення елементів векторної моделі: а – крапкові; б – лінійні; в – полігональні [24]

Різниця між двома моделями даних більш наочно показана на рис. 1.7. Тут у растровому й векторному поданні показане озеро, три річки, що впли-

вають із його, і один точковий об'єкт (наприклад, джерело). Крапки в растровому поданні відображаються однією або декількома суміжними осередками. Лінії можуть бути представлені ланцюжком осередків, шириною в одну або кілька осередків. Полігони відображаються масивом суміжних осередків. Ясно, що розмір осередків растра буде впливати на якість результатів, що представляють. Використання занадто більших осередків приведе до втрати певної частини інформації. Використання ж занадто малих осередків зажадає великого обсягу пам'яті для зберігання растра й збільшить час, необхідний на його обробку.

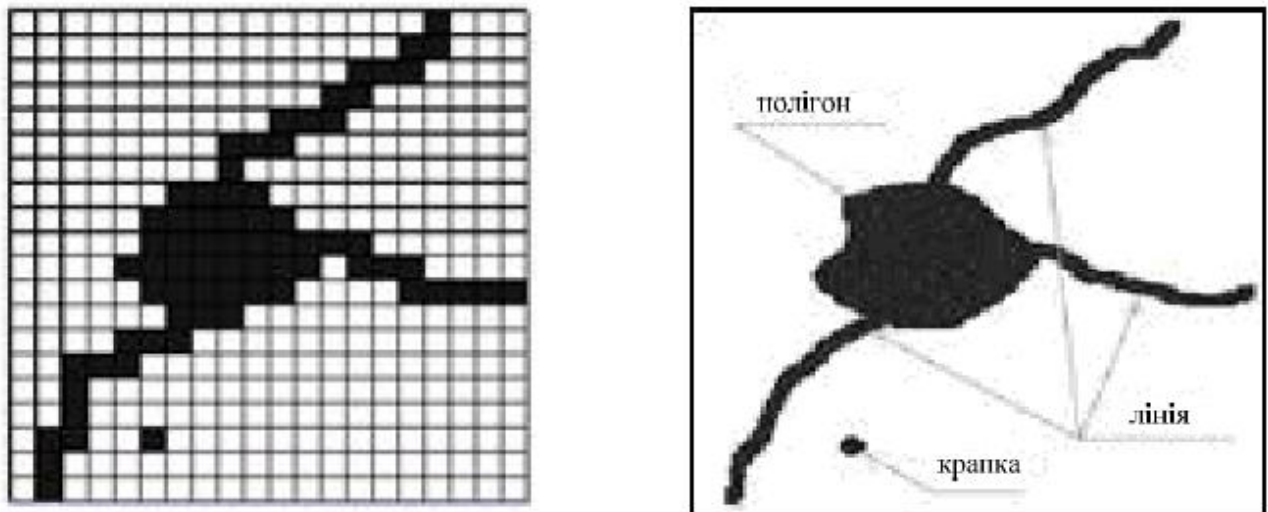


Рис. 1.7 – Зіставлення растрової та векторної моделей даних [24]

Растрові і векторні структури даних мають свої *переваги* і *недоліки*. До *переваг растрових* структур слід віднести злиття позиційної і семантичної атрибути просторової інформації в єдиній прямокутній матриці; при цьому відповідає необхідність в особливих засобах збереження й обробки семантики просторових даних (як у векторних структурах), що значно спрощує аналітичні операції з растровими зображеннями. Основними *недоліками растрового* подання є значна ємність машинної пам'яті, необхідна для збереження растрових даних, а також недостатньо висока точність позиціонування точкових об'єктів і зобра-

ження ліній (особливо похилих), зумовлена генералізацією інформації в межах комірки растра.

Основними *перевагами векторного* подання є компактність збереження (часто в десятки разів вища, ніж при растровому), висока точність позиціонування точкових об'єктів і зображення ліній. До *недоліків векторних* моделей слід віднести наявність складної системи опису топологічної структури даних, унаслідок чого їх обробка вимагає виконання складних геометричних алгоритмів визначення положення вузлових точок, стикування сегментів (дуг), замикання полігонів та ін. Це значно сповільнює роботу з векторними даними, особливо на нешвидкодійних ПК.

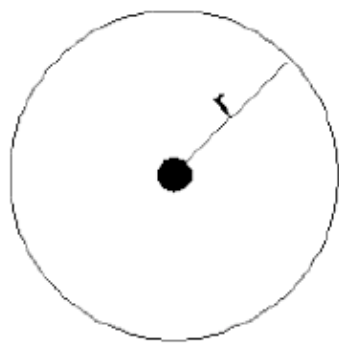
Виходячи з їх переваг і недоліків, векторні структури рекомендується використовувати для збереження феноменологічно-структурованої інформації (ареали), для мережного аналізу, а також для підвищення якості відображення при картографуванні лінійних об'єктів, растрові структури – для швидкого і дешевого накладення карт і просторового аналізу, а також моделювання в тих випадках, коли доводиться працювати з поверхнями. Дуже ефективним, зокрема для високоякісного картографування, є поєднання векторного і растрового форматів з використанням векторного формату для збереження і побудови ліній, а растрового – для наповнення (розфарбування) площ [24].

1.2.2 Використання операцій буферизації та оверлейну для створення зон ризику

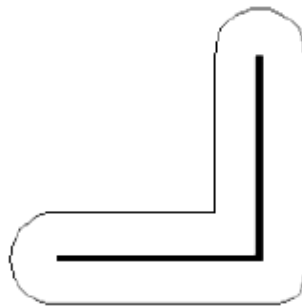
Буферна зона (buffer zone, buffer, corridor) – являє собою полігональний шар, утворений шляхом розрахунку та побудови еквідистант, або еквідистантних ліній (equidistant line), рівновіддалених щодо безлічі точкових, лінійних або полігональних просторових об'єктів [66, 69-70]. Буферна зона полігонального об'єкта може будуватися як зовні, так і усередині полігону. У разі якщо відстані між об'єктами та еквідистантами ставляться у відповідність значення одного з його атрибутів, говорять про «буферизацію із зважуванням» (weighed buffering).

У сучасних ГІС буферні зони створюються автоматично, причому побудувати їх можна довкола об'єктів будь-яких типів, рис. 1.8. Говорячи простіше, буферні зони – це можуть бути епідеміологічні зони, зони техногенних катастроф (розлив нафти, аварія на атомній станції), зони дії різних радіотехнічних пристроїв і систем тощо [26].

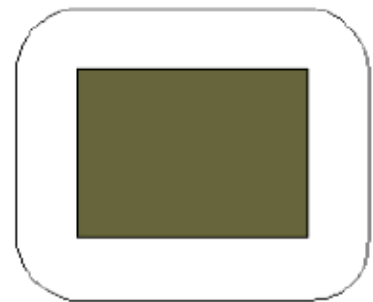
Щоб створити буфер, потрібно задати радіус буфера, або як константи, або у вигляді колонки таблиці, або у вигляді виразу. Потім потрібно вказати гладкість (число сегментів для буферного кола). Радіус буфера визначає його розміри. Скажімо, щоб буфер охоплював усі об'єкти, розташовані в межах 10



буферування точки



буферування лінії



буферування площі

Рис. 1.8 – Побудова буферних зон заданої ширини для різноманітних графічних примітивів [26]

кілометрів по обидва боки шосе, слід задати радіус буфера 10 кілометрів. Якщо як радіус використовується вираз або дані з деякої колонки таблиці, то ГІС обчислюватиме радіус. Радіус можна задати як постійну величину (константу), а можна використовувати значення з деякої колонки таблиці. Наприклад, щоб створити навколо міст буферні зони, які відображали б чисельність їхнього населення, можна вибирати значення радіусу буфера з колонки «Населення». Більш того, радіус буфера можна задавати як вираз. Припустимо, потрібно створити буфери навколо міст, що відображають густину населення. Але в таблиці немає колонки, яка містила б значення густини населення. У такому разі

треба задати радіус буфера виразом, в якому обчислюватиметься густина населення на підставі даних чисельності населення та площі міст [26].

Можна створювати єдиний буфер навколо всіх вибраних об'єктів або окремі буфери коло кожного об'єкта. Здійснити буферизацію для декількох об'єктів відразу можна двома способами. По-перше, можна створити єдиний буфер навколо цих об'єктів. В цьому випадку слід пам'ятати, що ГІС вважає отриманий буфер єдиним об'єктом типу багатокутник. Якщо вибрати один з буферних багатокутників, буде обрано і всі інші. Іншим способом є створення окремих буферів для кожного з об'єктів.

Оверлейна операція, оверлей (overlay) – являє собою операцію накладання один на інший двох або більше шарів, результатом якої є графічна композиція (графічний оверлей) використовуваних шарів або єдиний результуючий шар, що несе в собі набір просторових об'єктів вихідних шарів, топологію цього набору та атрибути, які є похідними від значень атрибутів вихідних об'єктів у топологічному оверлей векторної моделі уявлень просторових об'єктів [68, 70].

До оверлейних відносяться операції:

- визначення належності крапки полігону;
- визначення належності лінії полігону;
- визначення належності полігона полігону;
- накладання двох полігональних шарів;
- знищення меж однойменних класів полігонального шару із породженням нового шару;
- визначення ліній перетину об'єктів;
- об'єднання (комбінування) об'єктів одного типу;
- визначення точки дотику лінійного об'єкта тощо [26].

Прикладом оверлейної операції є операція топологічного оверлея «точка-в-полігон» (point-in-polygon), зображена на рис. 1.9. По суті відбувається накладання двох шарів, внаслідок чого утворюється новий шар.

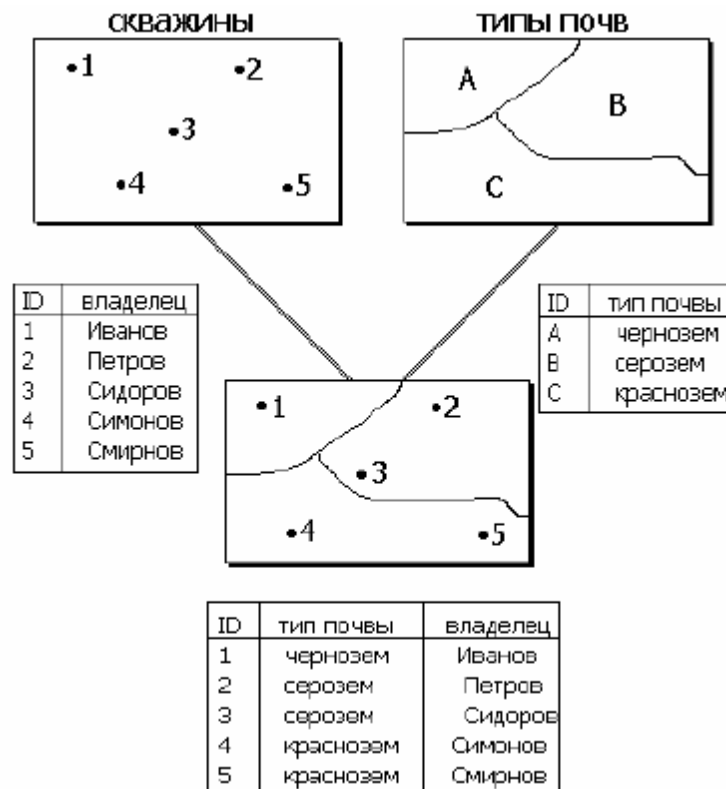


Рис. 1.9 – Оверлейная операция «кратка-в-полігон» [26]

Крім операцій топологічного оверлея, існують операції логічного або булівського оверлея. Усі операції (загалом їх чотири) засновані на елементарних логічних функціях – логіні I, АБО, НЕ та XOR [26].

1.3 Порівняльна характеристика можливостей ГІС щодо аналізу геопросторових даних

1.3.1 Аналіз практики використання ГІС для оцінки стану ПНО в Україні та світі

Проаналізувавши вітчизняні джерела [22, 27-28, 72] на предмет методик і комп'ютерних систем, що використовуються для визначення техногенного ризику, зокрема і від ПНО, ми виявили, що у вітчизняній науці на даний час не розроблено власних комп'ютерних систем, на відміну від зарубіжного досвіду, де вони широко використовуються для аналізу безпеки техногенних систем (рис. 1.10). Усе це зумовлює актуальність задачі створення комп'ютерних

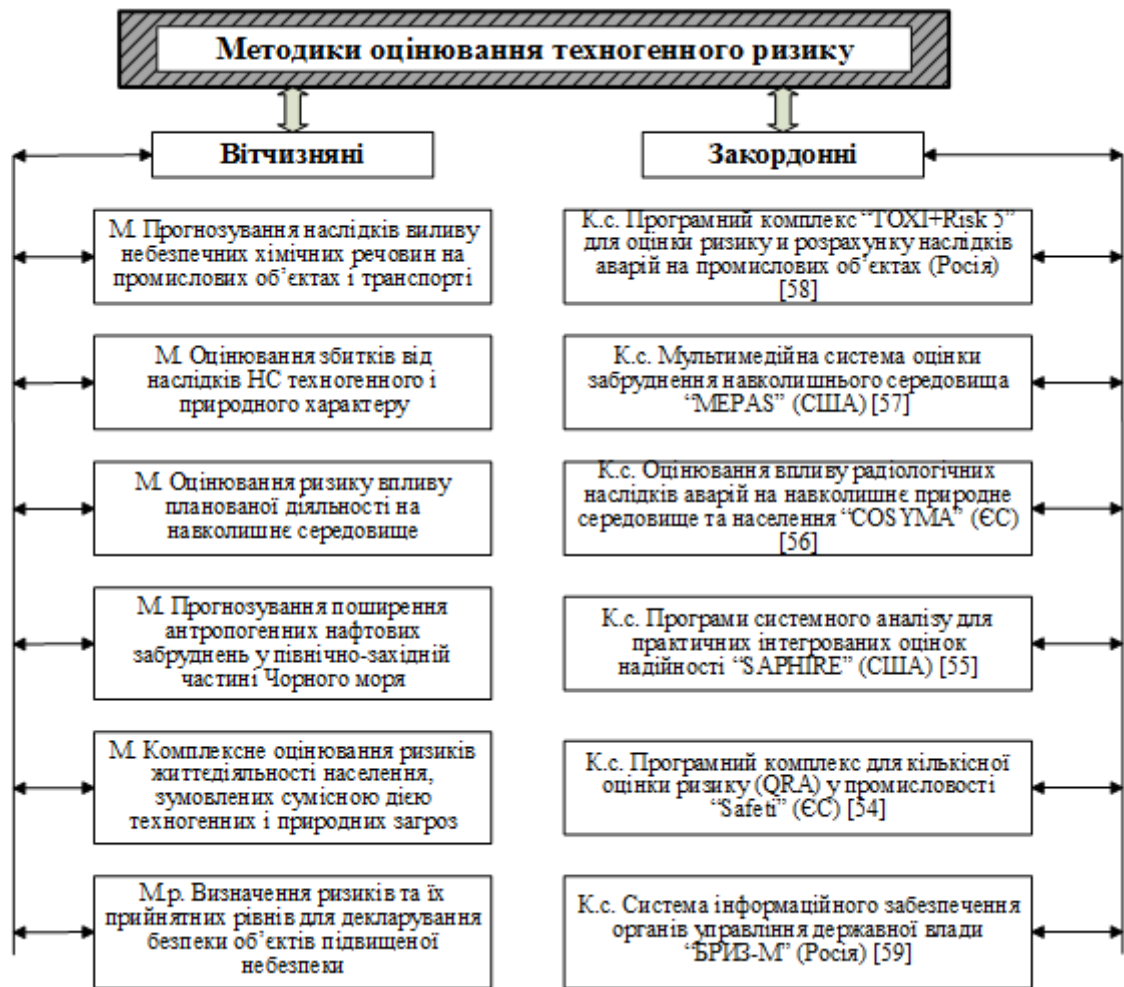


Рис. 1.10 – Основні вітчизняні та закордонні методики і комп'ютерні системи оцінювання техногенного ризику (М. – методика; М.р. – методичні рекомендації; К.с. – комп'ютерна система) (за [22] із доповненнями автора)

систем власного виробництва на основі затверджених нормативних методик оцінювання техногенного ризику, що дозволяє розв'язати низку проблем, пов'язаних із: пришвидшенням розрахунків за методиками завдяки розробленому програмному забезпеченню; розв'язання проблем ліцензування і закупівлі програмних продуктів іноземного виробництва, що іноді є недоцільним через високу вартість програмного забезпечення, проблему відповідності іноземних методик вітчизняним, а також створення зручного мовного інтерфейсу. Ми вважаємо, що шляхом розв'язання цих проблем є створення власного програмного забезпечення, що дозволить проводити розрахунки і моделювання НС на ПНО за вітчизняними затвердженими методиками, а також візуалізація отрима-

них даних засобами вільних геоінформаційних систем. У подальшому результати досліджень можуть бути використані для створення повноцінних комп'ютерних систем оцінювання техногенного ризику широкого кола питань.

У [29] автори розробили і впровадили інструмент для оцінки регіонального ризику у міських зонах, що базується на геообробці за допомогою ГІС. Були побудовані моделі процесів геообробки для розрахунку величини ризиків, оцінки вразливості та їх картографування. Ці моделі були інтегровані в автоматичний інструмент ГІС і застосовані на прикладі міського району північного Китаю. Успішно отримана карта ризиків може бути використана як інструмент для прийняття рішень при керуванні НС та у містобудуванні.

Загальні питання механізму візуалізації ризику засобами геоінформаційних систем були досліджені авторами у [81]. Були розглянуті проблеми, які виникають при візуалізації різнорідних, комплексних та взаємозалежних даних по ризику, що пов'язано з неоднорідністю інформації та складністю її графічної інтерпретації. Були розглянуті як приклади графіки розсіювань на картах, проект визначення природних ризиків у США HAZUS, а також картографування ризиків на різних територіях.

За допомогою програмного комплексу *ТОКСИ+Risk* проводилось моделювання аварійних ситуацій, пов'язаних з розгерметизацією автоцистерни на АЗС у м. Свірськ у роботі [30]. Були проаналізовані причини аварійної ситуації, на основі логіко-ймовірнісного підходу були складені «дерево відмов» і «дерево подій». Були змодельовані події пожежі проливу нафтопродуктів, а також вибуху паливно-повітряної суміші, і розроблені за допомогою програмного комплексу ситуативні плани аварій та поля ризиків для конкретної АЗС. Розроблені поля потенційних ризиків свідчать, що при аварійній події зони факторів ураження поширюються лише на території АЗС [30].

У статті [78] наводяться результати робіт з тривимірного цифрового моделювання розливів нафти та нафтопродуктів (ННП) як основа для розробки пропозицій щодо оснащення промислових майданчиків захисними спорудами. Розташування контурів розливу ННП на території отримано за допомогою мо-

дуля «Розлив нафтопродуктів (суша)» на основі програмного комплексу ArcGIS, що дозволяє імітувати розлив нафти з урахуванням рельєфу території. Обсяги ННП, які можуть вийти в навколишнє середовище внаслідок руйнування обладнання, визначалися виходячи з технічних характеристик обладнання, особливостей, що здійснюються на об'єкті технологічних операцій та властивостей небезпечних речовин. Для ймовірнісного аналізу та оцінки наслідків можливих аварій використовувався програмний комплекс *ТОКСИ+Risk*.

У [77] автором розглядається досвід розробки систем прогнозування НС на базі ГІС ArcGIS Desktop компанією ТОВ «ИНПРО-ГИС» (м. Уфа, Росія). Розв'язання задачі розробки цих систем пов'язане з наступним колом завдань: програмний розділ блоків математичного моделювання і відображення просторової інформації, виявлення блоку спільних вхідних і вихідних даних у математичних моделях, урахування оновлення даних, розділ моделей на 2 класи: експрес-оцінка та складний розрахунок. Практика діяльності компанії дозволила досягти певних успіхів у превентивному аналізі НС, а саме: врахування ефекту «доміно», попередження про близькість НС, сценарне управління, оцінка ризику НС. Автором також розглядаються невирішені завдання, якими можна визначити вектор розвитку питань прогнозування і ліквідації НС засобами ГІС-технологій.

Дослідження [31] присвячене питанню створення плану евакуації при аваріях з викидом небезпечних хімічних речовин із використанням методів аналізу ризиків на основі інструментів ГІС. При таких аваріях плани евакуації мають бути достатньо вибірковыми, щоб враховувати концентрацію близькорозташованих будівель і час досягнення максимальних концентрацій небезпечних хімікатів. Запропоновані модулі моделювання, інтегровані у ГІС, були використані для оцінки ситуації при витоку хлору із промислового підприємства поблизу міста Ульсан.

Використанням ГІС як інструмента для прийняття рішень при проектуванні мережі нових АЗС займались дослідники у [73]. Ними був використаний метод багатокритеріального аналізу для аналізу критеріїв розміщення майдан-

чика АЗС. Зібрані дані були проаналізовані за допомогою описової статистики (частотний розподіл, гістограми, кругові діаграми та відсоткове співвідношення), що дозволило за допомогою ГІС створити карту розподілу АЗС на території, що полегшує задачу прийняття управлінських рішень.

Концепція тривимірного управління ризиками (3DRM) на прикладі водневої автозаправної станції представлена у [74]. Структура 3DRM включає в себе детальну 3D модель для конкретної ділянки, інструмент обчислення динаміки рідини для моделювання сценарію аварії, методологію частотного аналізу і кількісної оцінки ризику та методи візуалізації. Пропонується розширити аналіз, включивши індивідуальний ризик для даної щільності населення та набору факторів небезпеки.

Перспективам використання технологій 3D візуалізації в інтелектуальних системах прогнозування НС присвячена праця [76]. Розглядаються використання цих технологій у ГІС «Панорама» (для моделювання рельєфу, наземних об'єктів, рослинності тощо) та модуль прогнозування НС, який входить до комплексу ГІС «Оператор». Автором розглядаються переваги розширення можливостей інтелектуальних системах прогнозування НС за рахунок технології трьохвимірного моделювання у середовищі *Unity*. Реалізація алгоритмів поведінки ґрунтів та рослинності за допомогою програмних засобів візуалізації трьохвимірної графіки дозволить цим інтелектуальним системам зробити процес прийняття рішень більш наочним і ефективним.

Методології дослідження ризиків для терміналу, на якому зберігається паливо, з використанням методів HAZOP (HAZard and OPerability analysis) та дерева відмов FTA присвячена робота дослідників [75]. Кількісна оцінка ризику показує, що найбільш небезпечною подією є розлив палива, а людський фактор відіграє важливу роль у всіх можливих аваріях, що призводить до необхідності навчання персоналу заводів.

Загальним питанням ролі геоінформаційних систем та технологій у процесах прийняття рішень при управлінні корпоративними об'єктами з територіа-

льно розподіленими ресурсами присвячена стаття [32]. Були розглянуті Web-сервіси, що надають ГІС, описані їх можливості та сфери використання.

Питанню картографування техногенних загроз від ПНО в масштабах України присвячена робота [80]. Для створення системи карт пропонується формування, обробка, аналіз і узгодження інформаційних ресурсів про регіональні ПНО та об'єкти підвищеної хімічної, вибухопожежної, радіаційної та гідродинамічної небезпеки. Для створення карт України на предмет техногенних загроз від ПНО автором було використано ГІС MapInfo Professional, а також програмні продукти – ArcView, MS Access, MS Excel та Adobe Illustrator.

Розгляд питання використання ГІС у задачах управління якістю повітря наведений у [33]. Розглянуті 4 класи задач, які розглядають у системах управління якістю повітря, а також проаналізовані можливості ГІС, які можна використати для розв'язання цих задач. Розглянуто структуру системи підтримки та прийняття рішень СППР-ГІС у задачах управління якістю повітря, а також проаналізовані потоки даних у цих інформаційних системах. Також був наведений аналіз прикладів інформаційних систем для управління якістю повітря із різних джерел.

У роботі [34] було запропоновано інформаційну технологію та концепцію веб-сервісу і мобільного додатку для оцінювання комплексного екологічного ризику від розподілених у часі та просторі факторів небезпеки. Основною відмінністю запропонованої інформаційної технології від існуючих аналогів є методи обробки даних про фактори небезпеки з відкритих веб-ресурсів та можливість оцінювання екологічного ризику комплексно.

У праці [35] були розглянуті інтеграційні можливості спеціалізованої ГІС екологічного моніторингу міста Києва, її структурну модель у зв'язку з GPS-моделюванням електронних карт. Досліджені способи формування просторових баз даних природно-техногенних територій міста та практику їх застосування. Було створено серію карт природно-техногенного середовища міста Києва із застосуванням можливостей різних прикладних програм (MapInfo, Surfer, Illustrator тощо).

У [79] розглядаються питання, присвячені процесу розробки Автоматизованої системи раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення (АСРВНСО). Розглянуто структурну схему АСРВНСО, визначені вимоги до програмного засобу, інтерфейсу користувача. Досліджуються питання автономності, адаптованості, можливості вдосконалення розроблюваної системи, а також збереження результатів.

1.3.2 Порівняльна характеристика ГІС з відкритим кодом, що можуть бути використані для визначення зон ризику ПНО

У роботі [36] авторами було досить ґрунтовно проаналізовано ринок безкоштовних ГІС програм, які можуть бути обрані для моніторингу атмосферного забруднення від автомобільних доріг. Оскільки автором було раніше наголошено на доцільності використання ГІС з відкритим кодом для проведення моделювання зон ризику від ПНО, ми наведемо огляд існуючих вільних ГІС, проведений авторами [36] (табл. 1.3).

Для вибору оптимальної ГІС можна користуватись наступними критеріями:

- доступність і популярність програмного забезпечення ГІС в Україні та світі;
- можливість створення додаткових програмних модулів і модифікації коду у ГІС.

Geographic Resource Analysis Support System (GRASS) [60] є модульною системою, що дає доступ до більш ніж 300 модулів для роботи із двовірними й тривірними векторними й растровими даними і по функціоналу може бути порівняна із ESRI ArcGIS рівня ArcINFO. Поширення GRASS обмежено через відсутність зручного користувацького графічного інтерфейсу і в ній найбільше зацікавлені науково-дослідницькі інститути й університети.

Quantum GIS (QGIS) [43] було створено для простого у використанні й швидкого перегляду географічних даних для ОС Linux. По мірі росту проекту з'явилася ідея застосовувати QGIS як простий графічний інтерфейс для GRASS,

Функціональність		GRASS		QGIS	uDig	gvSIG	SAGA		ILWIS	MapWindow GIS
Напрямок застосування		Повна GUI-основана GIS	Відоображення та редагування		Відоображення (OGC стандарти)		Аналіз, моделювання, візуалізація	Растовий аналіз		Забезпечення основний ГІС та GUI функцій, розробка систем Підтримки Рішень
		Просторовий аналіз та наукова візуалізація	GRASS-Інтерфейс	Application Framework		заміна ArcView	(фокус на растрi)			
Імпорт/експорт даних	Операційні системи на основі яких працює ГІС	Windows, Linux, MacOSX	Windows, Linux, MacOSX	Windows, Linux, MacOSX	Windows, Linux, MacOSX	Windows, Linux, MacOSX	Windows, Linux, MacOSX	Тільки Windows		Тільки Windows
	Читання - Растрів/Зображень	Бсі GDAL підтримані формати, також підтримка voxel	Бсі GDAL підтримані формати	Бсі GDAL підтримані формати	Бсі GDAL підтримані формати	Бсі GDAL підтримані формати	Бсі GDAL підтримані формати	Бсі GDAL підтримані формати		Бсі GDAL підтримані формати
	Читання - Вектору	+ (через OGR)	+ (через OGR)	+	+	+	+	+		Бсі GDAL підтримані формати + BGD, та інші.
	Читання табличних даних	+ (CSV та багато інших)	+	-	-	-	-	-		Бсі GDAL підтримані формати + BGD, та інші.
	Читання - баз даних	PostGIS, PostgreSQL, ODBC, MySQL, SQLite, Oracle	PostGIS	PostGIS, Oracle, DB2, ArcSDE	PostGIS, Oracle, DB2, ArcSDE	PostGIS, Oracle, DB2, ArcSDE	PostGIS, Oracle, DB2, ArcSDE	PostGIS, Oracle, DB2, ArcSDE		Бсі GDAL підтримані формати + BGD, та інші.
Стилізування / Картографування	Створення - Растрів/Зображень	Бсі GDAL-формати	-	+	+	+	+	+		Бсі GDAL підтримані формати + BGD, та інші.
	Створення - Вектору	Бсі OGR-формати	Бсі OGR-формати	Бсі OGR-формати	Бсі OGR-формати	Бсі OGR-формати	Бсі OGR-формати	Бсі OGR-формати		Бсі GDAL підтримані формати + BGD, та інші.
	Створення - табличних даних	CSV	-	-	-	-	-	-		Бсі GDAL підтримані формати + BGD, та інші.
	Створення - Баз даних	PostGIS (р. Обмежений)	PostGIS	PostGIS, Oracle, DB2, ArcSDE	PostGIS, Oracle, DB2, ArcSDE	PostGIS, Oracle, DB2, ArcSDE	PostGIS, Oracle, DB2, ArcSDE	PostGIS, Oracle, DB2, ArcSDE		Бсі GDAL підтримані формати + BGD, та інші.
	Стилізування точок	колір, розмір, форма, наповнення шаблон	колір, розмір, форма, наповнення шаблон	Повна підтримка SLD	Повна підтримка SLD	Повна підтримка SLD	Повна підтримка SLD	Повна підтримка SLD		Бсі GDAL підтримані формати + BGD, та інші.
Підтримка декількох мов	Стилізування ліній	колір, ширина	колір, ширина, шаблон	Повна підтримка SLD	Повна підтримка SLD	Повна підтримка SLD	Повна підтримка SLD	Повна підтримка SLD		Бсі GDAL підтримані формати + BGD, та інші.
	Стилізування полігонів	колір, контур, наповнення	колір, контур, наповнення, шаблон	Повна підтримка SLD	Повна підтримка SLD	Повна підтримка SLD	Повна підтримка SLD	Повна підтримка SLD		Бсі GDAL підтримані формати + BGD, та інші.
	Маркування тексту	+ (просте маркування)	+ (просте маркування)	Повна підтримка SLD	Повна підтримка SLD	Повна підтримка SLD	Повна підтримка SLD	Повна підтримка SLD		Бсі GDAL підтримані формати + BGD, та інші.
		AR, CS, DE, EL, ES, FR, IT, JA, PL, PT, PT_BR, RU, SL, TH, TR, VI, ZH	26 мов	EN, FR, IT, DE, ES	EN, FR, IT, DE, ES	EN, FR, IT, DE, ES	EN, FR, IT, DE, ES	EN, FR, IT, DE, ES		Бсі GDAL підтримані формати + BGD, та інші.
	3D-Відоображення	+	GRASS функції через GRASS Plugin	-	-	-	-	-		Бсі GDAL підтримані формати + BGD, та інші.
Функціональна мова інтеграції		Bash, Python, Perl	Python	Groovy	Python	Python	Python, comm та shell	Python, comm та shell		Бсі GDAL підтримані формати + BGD, та інші.
	Версія	GRASS 6.4	QGIS 1.3	Version 1.1-RC12	Version 1.1-RC12	Version 1.1	SAGA 2.0.2	SAGA 2.0.2		Бсі GDAL підтримані формати + BGD, та інші.

Таблиця 1.3 – Порівняльний аналіз функціональних можливостей ГІС з відкритим кодом [25]

отримуючи в такий спосіб його аналітичні та інші функції. Система підтримує обробку растрових і векторних даних, може працювати з даними, що надаються багатьма картографічними веб-серверами і базами даних. Її функціонал може бути розширено за рахунок створення модулів на C++ або Python. QGIS має одне із найбільших співтовариств розроблювачів, при цьому їх кількість постійно зростає.

User-friendly Desktop Internet GIS (uDig) [61] було створено, щоб розробити ПЗ, що дозволяє працювати з даними, що зберігаються в БД прямо або через веб. uDig написано на Java з використанням платформи Eclipse і спочатку працювала з векторними даними. Після приєднання до команди GRASS в ній було реалізовано можливість роботи з растровими даними. Два основні недоліки, пов'язані з використанням Eclipse: розмір додатка і схожість графічного інтерфейсу із середовищем розробки програм, що може бути непростим для кінцевих користувачів.

Перший модуль **System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA)** [62] був розроблений у 2001 році в Департаменті географії Геттінгенського університету (Німеччина) і працював з растровими даними. Основне призначення: аналіз рельєфу, картування ґрунтів і візуалізація даних. SAGA написана на C++ і має зручний API для сторонніх користувачів. Основний розробник і проект нещодавно перемістився у Гамбурзький університет.

Generalitat Valenciana, Sistema d'informació Geogràfica (gvSIG) [63] була створена за ініціативи Міністерства транспорту Валенсії з метою замінити ESRI ArcView GIS 3.x у зв'язку з переходом муніципальних органів на ОС Linux. gvSIG написана на мові Java, працює з векторними і растровими даними, а також з геоданими різних БД. До її мінусів слід віднести відсутність документації для розробників і велика залежність від множини C++ і Java бібліотек.

Основним координатором проекту **Integrated Land and Water Information System (ILWIS)** [64] на теперішній час є компанія 52° North GmbH (Німеччина). Працює з векторними і растровими даними, використовується для

широкого кола завдань, зокрема аналізу зображень і моделювання процесів ерозії. ILWIS працює тільки з ОС сімейства Windows.

MapWindow GIS [65] було створено для забезпечення необхідного функціоналу розробникам ГІС у Водній дослідницькій лабораторії в Університеті штату Юта (США). MapWindow GIS інтегрований з GEOS і GDAL/OGR (завдяки чому має потужні аналітичні функції), легко працює з продуктами, заснованими на Microsoft Office, і програмами, написаними на VB6, C++, C#, VB.NET і Delphi [36].

Аналіз функціональних можливостей відкритих ГІС свідчить про можливість їх використання у задачах візуалізації зон ризику від ПНО, а також про можливість вбудови програмних модулів до складу ГІС, що будуть розраховувати моделі розвитку несприятливої ситуації на основі даних з БД і введених користувачем ГІС. Авторами для дослідження було обрано вільну ГІС Quantum GIS через низку переваг, зокрема через можливість створення модулів на C++, Python або R, що можуть розраховувати моделі сценаріїв розвитку несприятливої події на ПНО (на прикладі АЗС) і дозволяють отримати необхідні геодані для візуалізації зон ризику. Окрім того, QGIS має вбудований величезний інструментарій, що стане у нагоді для розв'язання різноманітних задач обробки геоданих; має зручний користувацький інтерфейс і досить велику кількість навчальної інформації для користувача російською або українською мовами на веб-сайтах або електронних підручниках; здатний працювати з векторними і растровими даними з різних БД, а також вільних даних, отриманих з хмарних сервісів (як-от, Google Earth Engine чи OpenStreetMap). Крім того, QGIS вже зарекомендував себе як сервіс, що може бути використаний і використовується широким колом науковців для розв'язання задач різноманітної складності. Усі вищеперераховані причини, а також добра обізнаність автора із QGIS і зумовили вибір його для проведення подальших досліджень.

1.4 Висновки. Постановка задачі дослідження

У першому розділі дисертаційної роботи проаналізовано методи визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті та можливості існуючих геоінформаційних систем щодо аналізу зон техногенного ризику, обґрунтовано мету та задачі дослідження.

Показано, що стан техногенної безпеки мегаполісів визначається станом потенційно небезпечних об'єктів (ПНО), таких як автозаправні станції (АЗС) та комплекси, підприємства нафто-хімічної та хімічної промисловості тощо. Діяльність ПНО призводить до техногенних ризиків та за певних обставин створює реальну загрозу розвитку сценарію аварії. За даними ДСНС зафіксовано найменшу кількість аварій за період спостережень, починаючи з 1997 року, натомість збільшилася їх масштабність та зростання більш ніж у 6 разів суми завданих збитків яка у 2020 році в Україні становила 9 916 677 тис. грн.

Встановлено, що одним із шляхів запобігання аваріям є ідентифікація ПНО та оцінка зон техногенних ризиків. Проаналізовано існуючі методики, методичні рекомендації і комп'ютерні системи для визначення техногенних ризиків від ПНО та показано, що вони є спеціалізованими, спрямованими на вузьке коло спеціалістів, їх практичне використання є обмеженим тому, що потребує ліцензування. Все це ускладнює отримання оперативного визначення зон ризиків. В той же час в зв'язку зі значним збільшенням автомобільного парку в великих містах України, та як наслідок, кількості АЗС існує запит практики на отримання оперативного публічного попередження про зони та рівень техногенного ризику від АЗС, особливо розташованих на території мегаполісів.

Показано, що на надання оперативної та наочної візуальної екологічної інформації спрямовані геоінформаційні системи (ГІС), основою яких є картографічні сервіси. Проаналізовані існуючі в ГІС інструменти обробки і візуалізації геоданих за растровою та векторною моделлю представлення, описано операції буферизації та оверлейну, як найбільш перспективні для візуалізації зон ризику від АЗС. На основі дослідження практики використання ГІС показа-

на обмеженість вбудованих засобів щодо можливостей аналізу та візуалізації геопросторових даних про зони та рівень техногенного ризику від АЗС. Це пов'язано в тому числі з відсутністю відповідних моделей та методів.

У зв'язку з перерахованим вище сформульована мета і завдання дослідження.

Метою даної роботи є зниження часу на визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті за рахунок розробки моделі та методів аналізу та візуалізації зон техногенного ризику АЗС в геоінформаційних системах. Для досягнення поставленої мети сформульовані та вирішені такі завдання:

- проаналізовано методи визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті та можливості існуючих геоінформаційних систем щодо аналізу зон техногенного ризику, обґрунтовано мету та задачі дослідження;
- розроблено моделі геоданих автозаправної станції як потенційно небезпечного об'єкта та зон техногенного ризику від ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі»;
- розроблено методи визначення та візуалізації геоданих зон техногенного ризику при розвитку небезпечної ситуації (аварії) за заданим сценарієм;
- розроблено підсистему аналізу та візуалізації геоданих зон техногенного ризику в QGIS та показано її переваги при вирішенні практичних задач.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ГЕОДАНИХ АВТОЗАПРАВНОЇ СТАНЦІЇ ТА ЗОН ЇЇ ТЕХНОГЕННОГО РИЗИКУ

Як показано у першому розділі, через обмеженість вбудованих засобів сучасних ГІС щодо можливостей аналізу та візуалізації геопросторових даних про зони та рівень техногенного ризику від АЗС, виникає потреба у розробці моделі геоданих АЗС як типового потенційно небезпечного об'єкта. При розробці цієї моделі ми маємо виходити із наступних двох положень:

1. Дана модель АЗС має відповідати вимогам нормативно-затверджених вітчизняних методів розрахунку критеріїв пожежно- та вибухопожежної безпеки зовнішніх установок [23], які дозволяють проводити розрахунок зон ризику при виникненні на АЗС однієї із трьох НС: вибух пароповітряної суміші (ППС) з виникненням ударної хвилі; пожежа проливу нафтопродуктів; виникнення «вогняної кулі». Крім того, при розрахунку розмірів зон ризику мають бути враховані типові значення тиску у фронті ударної хвилі й інтенсивності теплового випромінювання пожежі з точки зору їх впливу на людей і навколишні об'єкти (будівлі, устаткування, автомобілі тощо).

2. Для візуалізації зон ризику від АЗС як типового ПНО засобами геоінформаційних систем дані про АЗС мають бути представлені у вигляді геоданих, а для побудови зон ризику навколо них засобом буферизації має бути заданий радіус зони ризику (або буферної зони у термінах ГІС), що має відповідати попередньому положенню.

Таким чином, для візуалізації зон ризику засобами ГІС АЗС має бути розглянута як ПНО (із визначенням сценаріїв розвитку аварійної ситуації на ньому), так і як геопросторовий об'єкт, що може бути опрацьований засобами ГІС.

2.1 Характеристика АЗС як особливого виду ПНО

Надалі будемо вживати у роботі поняття, які наводимо згідно з нормативним документом [17]. Під *автозаправною станцією (АЗС)* слід розуміти ком-

плекс будинків, споруд, технологічного обладнання, призначений для приймання, зберігання моторного палива та заправлення ним автотранспорту (мототранспорту).

Автозаправний комплекс (АЗК) – автозаправна станція з об'єктами (будинками, спорудами, приміщеннями) обслуговування водіїв, пасажирів (роздрібна торгівля продуктами харчування), автотранспорту (технічного обслуговування, миття автомобілів, роздрібна торгівля запасними частинами, мастильними речовинами) [17].

2.1.1 Визначення факторів пожежо- та вибухонебезпеки АЗС

Основними технологічними стадіями на АЗС є:

- стадія приймання нафтопродуктів із бензовозів в підземні резервуари;
- стадія зберігання нафтопродуктів в резервуарах;
- стадія заправки нафтопродуктами із підземних чи наземних резервуарів автотранспортної техніки автотранспортної техніки через паливно-роздавальні колонки (ПРК) [19].

Специфічною особливістю АЗС є розміщення технологічного обладнання на відкритих майданчиках. При подібному розміщенні горючі та токсичні пари, які виділяються, розсіюються природніми повітряними потоками, причому їхні концентрації у подальшому знижуються до безпечного рівня. Вибухи та пожежі на зовнішніх установках можливі тільки при аварійних ситуаціях, пов'язаних з утворенням вибухонебезпечних концентрацій парів нафтопродуктів у повітряному середовищі.

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 ПРК;
- корозійному зносі трубопроводів та резервуарів [20].

До додаткових особливостей АЗС, які роблять їх потенційно небезпечними для життя людини є оснащення АЗС технологічним обладнанням, яке відпрацювало свій нормативний термін експлуатації, та підвищена пожежна небезпека вітчизняних автоцистерн та автомобілів.

Наявність великої кількості дизельного пального та бензину у ємнісному обладнанні АЗС створює небезпеку виникнення пожежі у випадку витоку палива та наявності джерела спалахування. При витоку палива у технологічні колодязі створюється небезпека утворення вибухонебезпечних концентрацій паливно-повітряної суміші (ППС), що при наявності джерела ініціювання вибуху може обумовити вибух цієї суміші у технологічних колодязях і створити умови для подальшого розвитку аварії у підземних сховищах [20].

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.

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. [20].

При оцінюванні поведінки рідких вуглеводнів у результаті розгерметизації обладнання розглядаються варіанти з повним зруйнуванням обладнання та участю у формуванні площі випаровування та вибухонебезпечної хмари усього об'єму рідкої фази. Виділяють 2 типові сценарії розвитку аварії на АЗС.

Перший сценарій передбачає повне зруйнування ємності з повним вивільненням пожежовибухонебезпечної речовини, яка у ній зберігається. Причини зруйнування ємності можуть бути різні ініціюючі події, викликані як внутрішніми, так і зовнішніми факторами, наприклад землетрус та зрушення земної поверхні, падіння літака та інших летальних апаратів, диверсії, терористичні акти, тепловий удар ті гідравлічний розрив. Згідно з європейською статистикою, імовірність цих подій є величиною порядку 10^{-8} , тому даний сценарій аварії у подальшому не розглядаємо.

Другий сценарій передбачає локальне зруйнування установок із ЛЗР чи ГР. Розрахунок проводиться для трьох варіантів:

- пожежа-спалах при локальному виході продукту із ємності;
- пожежа проливу ЛЗР чи ГР;
- «вогняна куля» при розриві ємності з речовиною під тиском [20].

При потраплянні у межі «вогняної кулі» чи проливі сусідніх резервуарів останні з вірогідністю 60 % вибухають у результаті ефекту «BLEVE», утворення якого відбувається за наступною схемою:

- охоплення полум'ям резервуару, підвищення тиску всередині резервуару та нагрів металу з втратою його міцності;
- розрив оболонки резервуару, викид речовини та скипання викинутої речовини;
- вибух парів рідини, яка скипіла, із запалюванням та утворенням «вогняної кулі» [20].

2.1.2 Використання «дерева подій» для аналізу НС на АЗС

Нехай на деякій АЗС в процесі зливу палива з транспортного засобу в ємності зберігання сталася розгерметизація технологічної системи. В результаті

стався витік нафтопродукту в навколишнє середовище. Позначимо ймовірність такої події $Q_{ав}$ – розвиток аварії, в залежності від різних факторів (наявність і надійність систем блокування аварії, правильності дій персоналу, метеоумов в момент аварії та ін.). Розвиток аварії може привести до однієї з наступних подій [21]:

- Подія A_1 – миттєве займання спливаючого продукту з подальшим факельним горінням;
- Подія A_2 – стався розлив палива на підстилаючу поверхню, загорання не відбулося (завдяки спрацюванню системи блокування);
- Подія A_3 – в результаті неспрацювання системи блокування, сталося загорання проливу;
- Подія A_4 – паливо, яке випарувалось, утворило парову хмару, відбулося її загорання без утворення надлишкового тиску;
- Подія A_5 – сталася пожежа хмари з утворенням надлишкового тиску.

Імовірність кожної проміжної події позначена:

$Q_{мз}$ – імовірність миттєвого займання палива, що стікає;

$Q_{зп}$ – імовірність займання проливу;

$Q_{со}$ – імовірність займання паро-повітряної суміші без утворення надлишкового тиску;

$Q_{см}$ – імовірність займання паро-повітряної суміші з утворенням надлишкового тиску;

$P_з$ – імовірність того, що засоби попередження пожежі завдання виконали або відбулося розсіювання хмари паро-повітряної суміші.

Аналіз статистичних даних показує, що при викиді ЛЗР найбільш вірогідними для реалізації є «вогняна куля», згорання хмари, факельне горіння проливу (табл. 2.1).

На рис. 2.1 представлено «дерево подій» аварійної ситуації для кількісного аналізу аварії на АЗС.

Таблиця 2.1 – Статистичні ймовірності різних сценаріїв розвитку НС на АЗС [21]

Сценарій аварії	Імовірність
Факел ($Q_{мз}$)	0,322
«Вогняна куля» ($Q_{вк}$)	0,108
Горіння проливу ($Q_{зп}$)	0,1862
Згорання хмари ($Q_{со}$)	0,1689
Згорання хмари з розвитком надлишкового тиску ($Q_{ст}$)	0,0119
Без горіння (P_z)	0,203



Рис. 2.1 – Аналіз розвитку НС на АЗС внаслідок руйнування ємності за допомогою «дерева подій» [20, 71]

Цифри поряд з найменуванням події показують умовну імовірність виникнення цієї події, при цьому імовірність ініціюючої події (локальне руйнування) прийнято рівною 1 [20].

2.2 Розробка концептуальної геопросторової моделі АЗС

При розробці концептуальної геопросторової моделі АЗС необхідно враховувати наступні складові для подальшого моделювання та візуалізації зон ризику засобами ГІС [11]:

1) атрибутивна складова цифрової моделі АЗС повинна містити набір даних для подальшого проведення чисельного моделювання розвитку несприятливих ситуацій на АЗС за затвердженими законодавством методиками;

2) просторова складова цифрової моделі АЗС має бути представлена згідно вимогам відповідної ГІС;

3) динамічна складова цифрової моделі АЗС має враховувати особливості сценарію розвитку НС на основі атрибутивної та просторової інформації, а також обраної моделі розвитку НС на основі відповідної методики розрахунку.

З іншого боку для подальшого використання в *QGIS* у концептуальній геопросторовій моделі АЗС необхідно перебачити три компоненти, які створюють повний цифровий опис просторового об'єкта:

1) універсальний цифровий ідентифікатор ID об'єкта, що являє собою універсальну числову послідовність, що присвоюється кожному об'єкту;

2) просторові дані, що включають у себе тип об'єкту (полігон, крапка, лінія тощо) та відповідну координатну прив'язку об'єкту;

3) атрибутивні дані, тобто сукупність характеристик та властивостей об'єкту з їх значеннями (непросторові дані чи непозиційна частина цих даних) [5].

Схему взаємозв'язку складових розробленої концептуальної геопросторової моделі АЗС показано на рис. 2.2.

В якості атрибутивних характеристик досліджуваного об'єкта пропонуються наступні (їх перелік не вичерпується наведеними і може бути збільшений відповідно до потреб моделювання):

- тип об'єкту (АЗС);
- найменування (назва фірми-власника);
- адреса (юридична адреса);
- кількість резервуарів із зазначенням їх типу (наземний, підземний);
- кількість паливно-роздавальних колонок (ПРК);
- кількість обслуговуючого персоналу, чол;
- вид надзвичайної ситуації (НС) (сценарій несприятливої події, що обира-

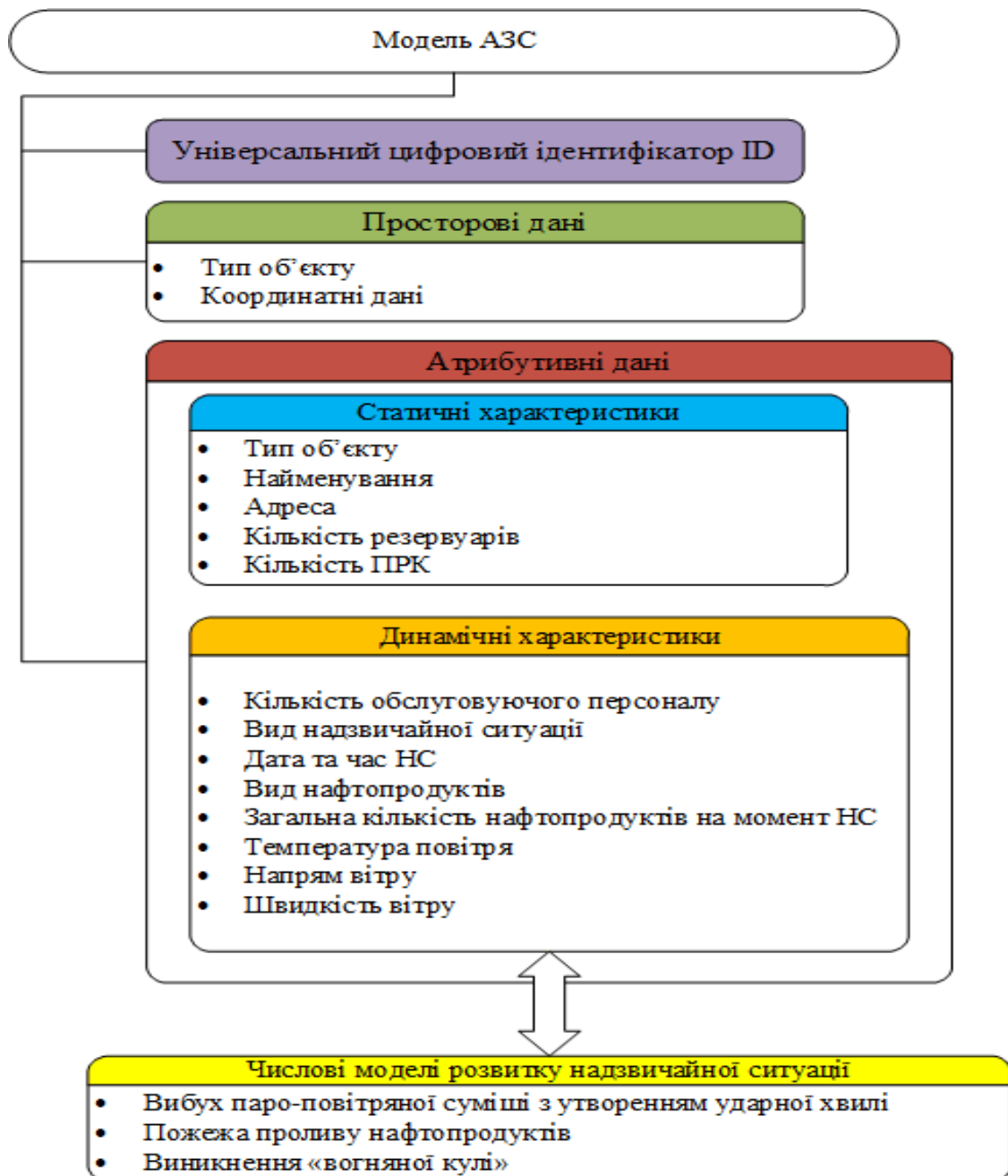


Рис. 2.2 – Схема взаємозв'язку складових концептуальної геопросторової моделі АЗС [5]

ється для моделювання);

- дата та час НС;
- вид нафтопродуктів (із зазначенням, у якому із резервуарів вони зберігаються);
- кількість нафтопродуктів (із зазначенням їхньої кількості на момент НС у конкретних резервуарах);

- температура навколишнього повітря, °C;
- напрям вітру;
- швидкість вітру у м/с.

З іншого боку, саме набір атрибутивних даних використовується при чисельному моделюванні несприятливих ситуацій на АЗС і тому їхня кількість залежить саме від затвердженої розрахункової методики, за якою проводиться моделювання НС. Ці дані ми пропонуємо розділити на статичні (мало- або незмінні у порівняно великих часових проміжках) та динамічні характеристики (параметри, для яких важливе конкретне значення у даний момент часу для проведення моделювання НС). Розподіл на статичні та динамічні характеристики поданий на рис. 2.2.

Надалі для проведення чисельного моделювання розвитку несприятливої ситуації нами використовуються динамічні характеристики [5].

2.2.1 Вихідні положення до моделювання зон ризику

Для проведення моделювання та числового розрахунку зон ризику на АЗС, що виникають при виникненні одного з трьох несприятливих сценаріїв (були розглянуті у розділі 2.1), ми маємо користуватись положеннями затвердженого стандарту [23]. Для моделювання ми використовуємо наступні положення стандарту.

Як розрахунковий варіант потрібно вибирати найбільш несприятливий варіант аварії або період нормальної роботи апаратів, за якого у вибуху і/або горінні бере участь найбільша кількість речовин і/або матеріалів, найбільш небезпечних щодо наслідків такого вибуху і/або горіння, що містяться в одному апараті (установці) [23].

Кількість речовин, що потрапили до навколишнього простору і можуть утворювати вибухонебезпечні газо-, пароповітряні суміші, визначають за таких умов:

- весь вміст апарата потрапляє до навколишнього простору;

- відбувається одночасно витікання речовин із трубопроводів, які живлять апарат за прямим та зворотнім потоками, протягом проміжку часу, який необхідний для перекривання трубопроводів.
- відбувається випаровування з поверхні рідини, що розлилася; площа випаровування у разі розливу на горизонтальну поверхню визначають (за відсутності довідникових або експериментальних даних), виходячи з розрахунку, що 1 л розчинів, що містять 70% і менше (за масою) розчинників, розливається на площі $0,1 \text{ м}^2$, а інших рідин – на $0,15 \text{ м}^2$;
- відбувається також випаровування рідин з поверхонь відкритих ємностей технологічного устаткування та з поверхонь, на які за технологічним процесом нанесено горючу рідину, що на час аварії знаходиться у стадії висихання;
- тривалість випаровування ($\tau_{\text{вип}}$) рідини приймають такою, що дорівнює часу її повного випаровування, але не більше 3600 с [23].

В якості об'єктів моделювання були обрані мережі АЗС у межах міста Одеси (місто з чисельністю мешканців понад 1 млн осіб).

Характеристика потенційно небезпечних об'єктів:

1. Основні види робіт [3]:

- прийом нафтопродуктів (бензин АИ-93; дизельне паливо);
- зберігання нафтопродуктів;
- заправка автомобілів.

2. Склад ПНО [3]:

- резервуари місткістю 40 м^3 (згідно до табл. 10.9 [6, с. 79] тип АЗС Б, місткість максимально можлива для міста із чисельністю мешканців більше 250 тис. осіб).

3. В якості аварійної ситуації ми розглядаємо локальне руйнування резервуару із наступним спалахом витоку, що може призвести до одного з 3 наслідків: пожежа проливу нафтопродуктів, виникнення «вогняної кулі», згорання ППС з утворенням ударної хвилі [3].

4. Кількість нафтопродуктів, яка може вилитись на вільну поверхню, приймається згідно із припущень, що були наведені раніше в цьому розділі згідно з [23].

5. Метеодані приймаємо за даними для міста Одеси за місяць липень (найбільш несприятливий період): $t = 29\text{ }^{\circ}\text{C}$; швидкість вітру 3,0 м/с [37].

2.3 Моделювання сценаріїв розвитку НС на АЗС за нормативними методиками

2.3.1 Моделювання вибуху пароповітряної суміші з утворенням ударної хвилі

Вибух пароповітряної (газоповітряної) суміші – процес згорання горючої пароповітряної (газоповітряної) суміші у відкритому просторі з утворенням тиску у фронті ударної хвилі [23].

Основними вражаючими факторами при вибуху є:

- ударна хвиля;
- уламки зруйнованого обладнання, обвалення будівель і конструкцій.

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 [38].

Джерелом виникнення ударної хвилі є високий тиск у центрі вибуху, що досягає 10^6 млрд Па. Вона складається із зони стиснення (де тиск вище атмосферного) і зони розрідження (тиск нижче атмосферного). Вражаюча дія ударної хвилі визначається двома параметрами: надмірним тиском ΔP_{ϕ} і швидкісним напором $\Delta P_{\text{шв}}$ повітря.

Надмірний тиск (ΔP_{ϕ}) – це різниця між нормальним атмосферним тиском перед фронтом хвилі й максимальним тиском у фронті ударної хвилі P_a , тобто $\Delta P_{\phi} = P_{\phi} - P_a$.

Швидкісний напір тиску ($\Delta P_{\text{шв}}$) – це динамічне навантаження, яке створюється потоком повітря. Так само, як і надмірний тиск, швидкісний напір вимірюється в Паскалях (Па).

Ударна хвиля викликає ураження в результаті дії надмірного тиску, швидкісного напору повітря, вона миттєво охоплює людину з усіх боків. При зіткненні фронту ударної хвилі з людиною чи твариною на тіло діє великий тиск і це відчувається як удар. Ступінь пошкодження тканин і органів залежить від тиску ударної хвилі, швидкості її поширення [38].

Залежно від надмірного тиску і швидкісного напору повітря виникають різні пошкодження у людей і тварин, які за складністю ураження поділяються на легкі, середі, важкі і дуже важкі травми (табл. 2.2).

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. 2.3).

Таблиця 2.2 – Характеристика пошкоджень людей і тварин у залежності від величини надмірного тиску у фронті ударної хвилі [38]

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 барабаних 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

Маса парів легкозаймистої (ЛЗР) та горючої рідини (ГР) m_p у кілограмах, що потрапили до навколишнього простору під час випаровування з поверхні розливу, визначають за формулою:

$$m_p = W \cdot F_v \cdot \tau_v \quad (2.1)$$

де W – інтенсивність випаровування, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$;

Таблиця 2.3 – Характеристика руйнувань об’єктів, будівель залежно від величини надмірного тиску у фронті ударної хвилі [38]

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 багатоповерхових 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 багатоповерхових 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.

F_v – площа випаровування, m^2 , яку визначають залежно від маси рідини, що потрапила до навколишнього простору (площу випаровування у разі розливу на горизонтальну поверхню визначаємо, виходячи з розрахунку, що 1 л рідин розливається на $0,15 m^2$ (за відсутності експериментальних даних) [23]);

τ_v – тривалість випаровування ЛЗР та ГР до навколишнього простору, с.

Інтенсивність випаровування W , $kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$, визначають за довідниковими або експериментальними даними. Для ЛЗР, які не нагріті вище температури навколишнього середовища, у разі відсутності таких даних, допускається розраховувати W за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M} \cdot P_H \quad (2.2)$$

де M – молярна маса, $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$;

P_H – тиск насиченої пари, кПа , за розрахункової температури рідини, визначений за довідниковими даними, або за формулою (2.3):

$$P_H = 10^{\left(A - \frac{B}{C_a + t_p}\right)} \quad (2.3)$$

де: A , B , C_a – константи Антуана (довідникові дані) визначено, коли тиск насичених парів вимірюють у кПа ;

t_p – температура рідини, $^{\circ}\text{C}$.

Виходячи з розглянутого варіанту розрахункової аварії, визначають масу горючих газів і/або парів ЛЗР та ГР, кг , що потрапили до навколишнього простору з технологічного апарата.

Показники пожежної безпеки видів палива (довідникові дані), що беруть участь у розрахунку, наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Значення показників пожежної небезпеки деяких сумішей і технічних продуктів [42]

№ п/п	Продукт	Сумар- на фор- мула	Молярна маса, кг/кмоль	Константи рівняння Антуана			Теплота згорання, кДж/кг
				A	B	C	
1	Бензин АИ-93 (літній)	$C_{7,024}$ $H_{13,706}$	98,2	4,12311	664,976	221,695	43641
2	Дизельне паливо «Л»	$C_{14,511}$ $H_{29,120}$	203,6	5,00109	1314,04	192,473	43419

Величину розрахункового надлишкового тиску ΔP у кілопаскалях, що розвивається у разі займання газо-, пароповітряних сумішей, визначають за формулою [23]:

$$\Delta P = P_0 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot m_{\text{пр}}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{\text{пр}}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{\text{пр}}}{r^3} \right) \quad (2.4)$$

де P_0 – атмосферний тиск, кПа (допускається приймати таким, що дорівнює $101,3 \text{ кПа}$);

r – відстань від геометричного центра зовнішньої установки до межі розрахункової зони, м;

Приведену масу горючих газів (ГГ) і/або парів ЛЗР та ГР $m_{\text{пр}}$ у кілограмах, обчислюють за формулою:

$$m_{\text{пр}} = \left(\frac{Q_{\text{зг}}}{Q_0} \right) \cdot m \cdot Z \quad (2.5)$$

де $Q_{\text{зг}}$ – питома теплота згоряння ГГ і/або парів ЛЗР та ГР, Дж · кг⁻¹;

Z – коефіцієнт участі ГГ і/або парів ЛЗР та ГР у горінні, який дозволено приймати 0,1;

Q_0 – константа, що дорівнює $4,52 \cdot 10^6$ Дж · кг⁻¹;

m – маса ГГ (m_g) і/або парів ЛЗР та ГР (m_n), які потрапили до навколишнього простору в результаті розрахункової аварії, кг.

При проведенні моделювання ми визначаємо відстані від геометричного центра вибуху до об'єкта впливу, у яких величина надлишкового тиску складає 100, 50, 30 і 10 кПа (згідно таблиць 2.2 і 2.3 залежно від характеру ушкоджень для людини, а також об'єктів і будівель). Таким чином встановлюються радіуси зон ризику при виникненні ударної хвилі при згоранні ППС при аварії на АЗС.

2.3.2 Моделювання пожежі проливу нафтопродуктів

Пожежа проливу – горіння проливів рідких продуктів – дифузійне горіння парів ЛЗР та ГР у повітрі над поверхнею рідини.

Дифузійне горіння – горіння за умов, коли горюча речовина і окисник розділені зоною горіння [39].

Горюча речовина (горючий матеріал) – речовина (матеріал), здатний до участі у горінні в ролі відновника [39].

Легкозаймиста рідина (ЛЗР) – горюча рідина з температурою спалаху не більше 61 °С у закритому тиглі або 66 °С у відкритому тиглі. Особливо небезпечними називають легкозаймисті рідини з температурою спалаху не більше ніж 28 °С [23].

Основними вражаючими факторами при цьому є:

- теплове випромінювання та гарячі продукти горіння;
- відкрите полум'я та палаючі нафтопродукти;
- токсичні продукти горіння.

Інтенсивність теплового випромінювання розраховують для двох варіантів пожежі (або для того з них, який може бути реалізований у даній технологічній установці):

а) горіння розливів ЛЗР та ГР або твердих горючих матеріалів (включно з пилом);

б) «вогняна куля» – великомасштабне дифузійне горіння, що відбувається у разі розриву резервуара з горючою рідиною або газом під тиском, із займанням вмісту резервуара.

Якщо можлива реалізація обох варіантів, то під час оцінювання значень критеріїв за пожежною небезпекою враховується більше з двох значень інтенсивності теплового випромінювання [23].

Інтенсивність теплового випромінювання q у кіловатах на квадратний метр під час горіння розливів горючих рідин або твердих горючих матеріалів обчислюють за формулою:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \psi \quad (2.6)$$

де E_f – середньоповерхнева густина теплового випромінювання полум'я, кВт · м⁻²;

F_q – кутовий коефіцієнт опромінення;

ψ – коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу.

Значення E_f приймають на основі експериментальних даних. Для деяких видів рідкого вуглеводневого палива значення E_f наведені у табл. 2.5.

Розраховують характерний розмір розливу рідини d у метрах за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} \quad (2.7)$$

де F – площа розливу, м².

Таблиця 2.5 – Середньоповерхнева густина теплового випромінювання полум'я E_f залежно від діаметра вогнища пожежі й питома швидкість вигорання M_v для деяких видів рідкого вуглеводневого палива [23]

Паливо	$E_f, \text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$					$M_v, \text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$
	$d = 10 \text{ м}$	$d = 20 \text{ м}$	$d = 30 \text{ м}$	$d = 40 \text{ м}$	$d = 50 \text{ м}$	
ЗВГ (Метан)	220	180	150	130	120	0,08
ЗВГ (Пропан-бутан)	80	63	50	43	40	0,10
Бензин	60	47	35	28	25	0,06
Дизельне паливо	40	32	25	21	18	0,04
Нафта	25	19	15	12	10	0,04
Примітка.	Для діаметрів вогнищ пожежі менше 10 м або більше 50 м потрібно приймати величину E_f таку саму, як і для вогнищ пожежі діаметром 10 м і 50 м відповідно.					

Обчислюють висоту полум'я H у метрах за формулою:

$$H = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{M_v}{\rho_n \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61} \quad (2.8)$$

де M_v – питома масова швидкість вигорання палива, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$;

ρ_n – густина навколишнього повітря, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

$g = 9,81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ – прискорення вільного падіння.

Густину навколишнього повітря за даними значеннями температури $t, ^\circ\text{C}$, та тиску $p, \text{Па}$, визначають за формулою [40]:

$$\rho_n = \frac{28,96}{22,4} \cdot \frac{273 \cdot p}{101325 \cdot (273 + t)} \quad (2.9)$$

Визначають кутовий коефіцієнт опромінення F_q за формулою:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} \quad (2.10)$$

де F_V, F_H – фактори опромінення для вертикальної і горизонтальної площадок відповідно, які визначаються за формулами:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{S} \cdot \arctg \left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg \left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right\} \right] \quad (2.11)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{(B-1/S)}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}} \right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right] \quad (2.12)$$

$$A = (h^2 + S^2 + 1) / (2 \cdot S) \quad (2.13)$$

$$B = (1 + S^2) / (2 \cdot S) \quad (2.14)$$

$$S = 2 \cdot r / d \quad (2.15)$$

$$h = 2 \cdot H / d \quad (2.16)$$

де r – відстань від геометричного центра розливу (від зовнішньої установи) до об'єкта, що опромінюється, м.

Визначають коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу ψ за формулою:

$$\psi = e^{-7 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5 \cdot d)} \quad (2.17)$$

У табл. 2.6 наведені типові значення гранично допустимої інтенсивності теплового випромінювання q , кВт/м² для різних ступенів ураження людини і матеріалів.

Таблиця 2.6 – Типові гранично допустимі значення інтенсивності теплового випромінювання для різних ступенів ураження людини і пошкодження матеріалів [41]

Ступінь ураження	Типові гранично допустимі значення інтенсивності теплового випромінювання, кВт/м ²
Без негативних наслідків впродовж тривалого часу	1,4
Безпечно для людини у брезентовому одязі	4,2
Нестерпний біль через 20-30 с Опік 1-ого ступеню через 15-20 с Опік 2-ого ступеню через 30-40 с Займання бавовни-волокна через 15 хв	7,0
Нестерпний біль через 3-5 с Опік 1-ого ступеню через 6-8 с Опік 2-ого ступеню через 12-16 с	10,5
Займання деревини із шорсткою поверхнею (вологість 12 %) при тривалості опромінення 15 хв	12,9
Займання деревини, пофарбованої масляною фарбою по струганій поверхні, займання фанери	17,0

Відповідно до таблиці 2.6 проводиться моделювання сценарію горіння проливу нафтопродуктів і визначаються відстані від геометричного центра пожежі до об'єкта, що опромінюється, у яких інтенсивність теплового випромі-

нювання q складає відповідно 17; 10,5; 7 та 1,4 кВт/м². Таким чином задаються розміри зон ризику залежно від дії пожежі проливу нафтопродуктів на людину та оточуючі об'єкти при розвитку аварії на АЗС.

2.3.3 Моделювання сценарію «вогняної кулі»

«Вогняна куля» – дифузійне горіння, яке реалізується при руйнуванні резервуара зі зрідженим або стисненим газом, перегрітою (нагрітою вище температури кипіння) рідиною з наступним утворенням газоповітряної (пароповітряної) хмари з концентрацією горючого газу (пари) в середині хмари більше значення верхньої концентраційної межі поширення полум'я, внаслідок чого реакція горіння всередині хмари не проходить, а дифузійне горіння відбувається по зовнішній оболонці хмари [23].

Основними вражаючими факторами при цьому є:

- теплове випромінювання та гарячі продукти горіння;
- відкрите полум'я та палаючі нафтопродукти.

Інтенсивність теплового випромінювання для «вогняної кулі» q , кВт · м⁻², обчислюють за формулою (2.6).

Величину E_f визначають на основі експериментальних даних. За їх відсутності приймають 450 кВт · м⁻² [23].

Значення F_q обчислюють за формулою:

$$F_q = \frac{H/D_s + 0,5}{4 \cdot [(H/D_s + 0,5)^2 + (r/D_s)^2]^{1,5}} \quad (2.18)$$

де H – висота центра «вогняної кулі», м;

D_s – ефективний діаметр «вогняної кулі», м;

r – відстань від об'єкта, що опромінюється, до точки на поверхні землі безпосередньо під центром «вогняної кулі», м.

Ефективний діаметр «вогняної кулі» D_s , м, визначають за формулою:

$$D_s = 5,33 \cdot m^{0,327} \quad (2.19)$$

де m – маса горючої речовини, кг.

Значення H визначають у ході спеціальних досліджень. За їх відсутності приймають $D_s / 2$.

Проміжок часу існування «вогняної кулі» t_s , с, визначають за формулою:

$$t_s = 0,92 \cdot m^{0,303} \quad (2.20)$$

Коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу ψ розраховують за формулою:

$$\psi = e^{-7 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{r^2 + H^2} - D_s/2)} \quad (2.21)$$

Дозу теплового випромінювання Q , Дж $\cdot$ м⁻², визначають за формулою [30]:

$$Q = q \cdot t_s \quad (2.22)$$

У таблиці 2.7 наведені типові значення гранично допустимих доз теплового випромінювання Q , Дж $\cdot$ м⁻², при дії «вогняної кулі» на людину.

Таблиця 2.7 – Типові значення гранично допустимих доз теплового випромінювання при дії «вогняної кулі» на людину [41]

Ступінь ураження	Доза теплового випромінювання, Дж $\cdot$ м ⁻²
Опік 1-ого ступеню	$1,2 \cdot 10^5$
Опік 2-ого ступеню	$2,2 \cdot 10^5$
Опік 3-ого ступеню	$3,2 \cdot 10^5$

Відповідно до таблиці 2.7 проводиться моделювання сценарію виникнення «вогняної кулі» і визначаються відстані від геометричного центра «кулі» до об'єкта впливу, у яких доза теплового випромінювання Q складає відповідно $3,2 \cdot 10^5$; $2,2 \cdot 10^5$ та $1,2 \cdot 10^5$ Дж $\cdot$ м⁻². Таким чином задаються розміри зон ризику залежно від дії «вогняної кулі» на людину та оточуючі об'єкти при розвитку аварії на АЗС.

2.4 Розробка моделі геоданих АЗС як ПНО та її складових

На основі вищевикладених розділів для подальшого створення бази геоданих в ГІС автором запропоновано модель АЗС GS (схематично зображено на рис. 2.3) представляти у вигляді кортежу із наступних складових:

$$GS = \langle ID, Athem, Atemp, S, RZM \rangle \quad (2.23)$$

де ID – універсальний цифровий ідентифікатор об'єкта; A – атрибутивні данні, що складаються із $Athem$ – тематичних статичних та $Atemp$ – часових динамічних даних про АЗС; S – просторові данні; RZM – моделі геоданих зон техногенного ризику, які виникають від ударної хвилі RZM_{SW} , пожежі проливу нафтопродуктів RZM_{OF} і «вогняної кулі» RZM_{FB} .

До $Athem$ відносимо: тип ПНО $Type$; назва фірми-власника $Name$; юридичну адресу $Addr$; кількість резервуарів N із зазначенням їх типу N_T (наземний, підземний) та кількістю паливно-роздавальних колонок (ПРК) N_C ; кількість обслуговуючого персоналу K . Тоді $Athem$ виглядає як:

$$Athem = \langle Type_{PNO}, Name_{PNO}, Addr_{PNO}, N, N_T, N_C, K \rangle \quad (2.24)$$

До $Atemp$ відповідно відносимо: тип (сценарій) надзвичайної ситуації $Type_{Acc}$, який визначає подальшу модель зони ризику; дата та час надзвичайної ситуації $Date_{Acc}$; температура навколишнього повітря, t °C; тиск навколишнього повітря, p кПа; напрям вітру $Wind_D$; швидкість вітру $Wind_S$ у м/с. Кортеж $Atemp$ виглядає так:

$$Atemp = \langle Type_{Acc}, Date_{Acc}, Pet_{GS}, t, p, Wind_D, Wind_S \rangle \quad (2.25)$$

де Pet_{GS} – характеристика нафтопродуктів резервуарах АЗС, яка складається із типу P_i та об'єму V_i нафтопродукту в i -тому резервуарі АЗС,

$$Pet_{GS} = \{P_i, V_i\}_{i=1}^N \quad (2.26)$$

Просторова складова S моделі GS пов'язана з визначенням місця розташування АЗС включає у себе тип візуалізації $Type_{vis}$ (полігон, крапка, лінія тощо) та відповідну координатну (X, Y) прив'язку об'єкта

$$S = \langle Type_{vis}, X, Y \rangle \quad (2.27)$$

Вхідні дані									
Атрибутивні дані					Просторові дані				
Статичні характеристики		Динамічні характеристики			Тип об'єкту		Координатні дані об'єкту		
Найменування юридичної особи	Кількість резервуарів N, шт.								
	A, B, C								
	$\sqrt{M}$								
	$Q_{\text{пр}}, Q_0$								
Адреса	Z								
	P_0								
	E_f								
	M_v								
Кількість ПРК, шт.	$M_{\text{п}}$				Універсальний цифровий ідентифікатор ID				
	Дата та час НС								
Моделі геоданих зон техногенного ризику									
Вибух ППС з утворенням ударної хвилі					Горіння проливу нафтопродуктів				
$F_g = V \cdot 1000 \cdot 0.15$					$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}$				
$P_H = 10^{\left(\frac{A-B}{C_0 + t_{\text{пр}}}\right)}$					$\rho_n = \frac{M}{22.4} \cdot \frac{273 \cdot p}{p_0 \cdot (273 + t)}$				
$W = 10^{6 \cdot \sqrt{M} \cdot P_H}$					$H = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{M_v}{\rho_n \cdot \sqrt{g \cdot d}}\right)^{0.61}$				
$m_i = W \cdot F_g \cdot \tau_g$					$h = 2 \cdot H / d$				
$m_{\text{пр}} = \left(\frac{Q_{\text{пр}}}{Q_0}\right) \cdot m \cdot Z$					$S = 2 \cdot r / d$				
$\Delta P = P_0 \cdot \left(\frac{0.8 \cdot m_{\text{пр}}}{r} + \frac{3 \cdot m_{\text{пр}}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{\text{пр}}}{r^3}\right)$					$B = \frac{(1 + S^2)}{(2 \cdot S)}$				
					$A = \frac{(h^2 + S^2 + 1)}{(2 \cdot S)}$				
					$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{(B-1)/S}{\sqrt{B^2-1}} \cdot \arctg\left(\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)} - \frac{(A-1)/S}{\sqrt{A^2-1}} \cdot \arctg\left(\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}\right)\right)$				
					$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{S} \cdot \arctg\left(\frac{h}{\sqrt{S^2-1}}\right) - \frac{h}{S} \cdot \arctg\left(\frac{S-1}{S+1} \cdot \arctg\left(\frac{S-1}{\sqrt{A^2-1}}\right)\right)$				
					$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}$				
					$\psi = e^{-7} \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0.5 \cdot d)$				
					$q = E_f \cdot F_q \cdot \psi$				
					$Q = q \cdot t_s$				
Вихідні дані									
Атрибутивні дані					Просторові дані				
Статичні характеристики		Динамічні характеристики			Тип об'єкту		Координатні дані об'єкту		
Найменування юридичної особи	Кількість обслуговуючого персоналу								
	Радіуси зон ризику:								
	Вид надзвичайної ситуації								
	Дата та час НС								
Адреса	Універсальний цифровий ідентифікатор ID								

Рис. 2.3 – Модель геоданих АЗС як ПНО, включаючи моделі геоданих зон техногенного ризику

Вирази (1) – (5) є вперше розробленою моделлю геоданих автозаправної станції як потенційно небезпечного об'єкта, яка містить атрибутивну (тематичну та часову) та просторову складову геоданих, що дозволяє створити базу геоданих у спеціалізованій ГІС та складають перший пункт наукової новизни.

2.4.1 Модель геоданих зон ризику, що виникають при реалізації вибуху ППС з утворенням ударної хвилі

З використанням моделі геоданих АЗС та існуючих нормативних методик розроблено RZM – моделі геоданих зон техногенного ризику. Модель геоданих зон ризику, які виникають при вибуху ППС з утворенням ударної хвилі RZM_{SW} пропонуємо представляти у вигляді кортежу із наступних складових:

$$RZM_{SW} = \langle Inp_{SW}, Dir_{SW}, Calc_{SW}, Out_{SW} \rangle \quad (2.28)$$

де $Inp_{SW}, Dir_{SW}, Calc_{SW}, Out_{SW}$ – вхідні, довідникові, розрахункові та вихідні дані, значення та вигляд яких наведено в таблицях 2.8, 2.9 та 2.10.

Таблиця 2.8 – Значення довідникових змінних Dir_{SW}

Вид нафтородукту	P	Молярна маса M_P , кг/кмоль	Константи рівняння Антуана			Теплота згорання Q_{FP} , Дж/кг
			A_P	B_P	C_P	
Бензин АИ-93	1	98,2	4,12311	664,976	221,695	43641000
Дизельне паливо	2	203,6	5,00109	1314,04	192,473	43419000

Таблиця 2.9 – Вигляд складових моделі геоданих RZM_{SW}

Складові геоданих	Характеристика геоданих
Inp_{SW}	$P_i, V_i (\bar{i}, \bar{N}); t, Wind_D, Wind_S$
Dir_{SW}	$M_P; A_P; B_P; C_P; Q_{FP};$ (значення див. Таблицю. 2.8) $Q_0 = 4520000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}; Z = 0,1; P_0 = 101,3 \text{ кПа}; \tau_{\text{вип}} = 3600 \text{ с}$
$Calc_{SW}$	$F_B = V_i \cdot 1000 \cdot 0,15 \text{ (м}^2 \text{)}; P_H = 10^{A_P - \frac{B_P}{C_P + t}} \text{ (кПа)};$ $W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M_P} \cdot P_H \text{ (кг/(с} \cdot \text{м}^2 \text{))}; m = W \cdot F_B \cdot \tau_{\text{вип}} \text{ (кг)};$ $m_{\text{пр}} = \left(\frac{Q_{FP}}{Q_0} \right) \cdot m \cdot Z \text{ (кг)};$

Продовження таблиці 2.9

Складові геоданих	Характеристика геоданих
$Calc_{SW}$	$\Delta P = P_0 * \left(\frac{0,8m_{пр}^{0,33}}{r} + \frac{3m_{пр}^{0,66}}{r^2} + \frac{5m_{пр}}{r^3} \right)$ (кПа)
Out_{SW}	Значення радіусів зони руйнувань r , м: r_{100} – повних (100 кПа) r_{50} – сильних (50 кПа) r_{30} – середніх (30 кПа) r_{10} – слабких (10 кПа)

Кількість колонок в таблиці 2.10 залежить від кількості резервуарів N .

Таблиця 2.10 – Вигляд Out_{SW} , отриманих за повним розрахунком

Параметр	P_i	P_i
Об'єм палива V , м ³	V_i	V_i
Площа проливу палива F_v , м ²	F_v	F_v
Тиск насиченої пари палива P_H , кПа	P_H	P_H
Інтенсивність випаровування палива W , кг/с·м ²	W	W
Маса парів рідини, яка бере участь у вибуху m , кг	m	m
Питома теплота згоряння парів Q_{FP} , кДж/кг	Q_{FP}	Q_{FP}
Приведена маса парів рідини $m_{пр}$, кг	$m_{пр}$	$m_{пр}$
Радіус зони руйнувань r , м:		
повних (100 кПа)	r_{100}	r_{100}
сильних (50 кПа)	r_{50}	r_{50}
середніх (30 кПа)	r_{30}	r_{30}
слабких (10 кПа)	r_{10}	r_{10}

2.4.2 Модель геоданих зон ризику, що виникають при реалізації пожежі проливу нафтопродуктів

Модель геоданих зон ризику, які виникають при горінні проливу нафтопродуктів RZM_{OF} пропонуємо представляти у вигляді кортежу із наступних складових:

$$RZM_{OF} = \langle Inp_{OF}, Dir_{OF}, Calc_{OF}, Out_{OF} \rangle \quad (2.29)$$

де $Inp_{OF}, Dir_{OF}, Calc_{OF}, Out_{OF}$ – вхідні, довідникові, розрахункові та вихідні дані, значення та вигляд яких наведено в таблицях 2.11, 2.12 та 2.13.

Таблиця 2.11 – Значення довідникових змінних Dir_{OF}

Вид нафтопродукту	Р	M_{VP} , кг/(м ² · с)	E_{fp} , кВт/м ²				
			d = 10 м	d = 20 м	d = 30 м	d = 40 м	d = 50 м
Бензин	1	0,06	60	47	35	28	25
Дизельне паливо	2	0,04	40	32	25	21	18
Примітка	Для діаметрів вогнищ пожежі менше 10 м або більше 50 м потрібно приймати величину E_f таку саму, як і для вогнищ пожежі діаметром 10 м і 50 м відповідно.						

Таблиця 2.12 – Вигляд складових моделі геоданих RZM_{OF}

Складові геоданих	Характеристика геоданих
Inp_{OF}	$P_i, V_i (\bar{i}, \bar{N}); t, p, Wind_D, Wind_S$
Dir_{OF}	$M_{VP}; E_{fp}$; (значення див. Таблицю. 2.11) $M_{\Pi}=28,96$ кмоль/кг; $P_0=101,3$ кПа; $g=9,81$ м/с ²
$Calc_{OF}$	$F_B = V_i \cdot 1000 \cdot 0,15 \text{ (м}^2 \text{)}; \quad d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_B}{\pi}} \text{ (м)}; \quad \rho_{\Pi} = \frac{M_{\Pi}}{22,4} \cdot \frac{273 \cdot P}{P_0 \cdot (273 + t)} \text{ (кг/м}^3 \text{)};$ $H = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{M_{VP}}{\rho_{\Pi} \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61} \text{ (м)}; \quad h = 2 \cdot H / d; \quad S = 2 \cdot r / d;$ $B = (1 + S^2) / (2 \cdot S); \quad A = (h^2 + S^2 + 1) / (2 \cdot S);$ $F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{(B-1/S)}{\sqrt{B^2-1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}} \right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2-1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right];$ $F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{S} \cdot \arctg \left(\frac{h}{\sqrt{S^2-1}} \right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg \left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2-1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right\} \right];$ $F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}; \quad \psi = e^{-7 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5 \cdot d)};$ $q = E_{fp} \cdot F_q \cdot \psi \text{ (кВт/м}^2 \text{)}$
Out_{OF}	Значення радіусів зон ризику r , м при яких інтенсивність теплового випромінювання q складе: $r_{17} - 17$ кВт/м ² $r_{10,5} - 10,5$ кВт/м ² $r_7 - 7$ кВт/м ² $r_{1,4} - 1,4$ кВт/м ²

Кількість колонок в таблиці 2.13 залежить від кількості резервуарів N .

Таблиця 2.13 – Вигляд Out_{OF} , отриманих за повним розрахунком

Параметр	P_i	P_i
Об'єм палива у резервуарі, m^3	V_i	V_i
Ефективний діаметр проливу d , м	d	d
Висота полум'я H , м	H	H
Кутовий коефіцієнт опромінення F_q	F_q	F_q
Середньоповерхнева густина теплового потоку випромінювання полум'я E_{fp} , кВт/м ²	E_{fp}	E_{fp}
Коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу ψ	ψ	ψ
Радіуси зон r , м, при яких інтенсивність теплового випромінювання q складе:		
17 кВт/м ²	r_{17}	r_{17}
10,5 кВт/м ²	$r_{10,5}$	$r_{10,5}$
7 кВт/м ²	r_7	r_7
1,4 кВт/м ²	$r_{1,4}$	$r_{1,4}$

2.4.3 Модель геоданих зон ризику, що виникають при реалізації «вогняної кулі»

Модель геоданих зон ризику, які виникають при виникненні «вогняної кулі» RZM_{FB} пропонуємо представляти у вигляді кортежу із наступних складових:

$$RZM_{FB} = \langle Inp_{FB}, Dir_{FB}, Calc_{FB}, Out_{FB} \rangle \quad (2.30)$$

де $Inp_{FB}, Dir_{FB}, Calc_{FB}, Out_{FB}$ – вхідні, довідникові, розрахункові та вихідні дані, значення та вигляд яких наведено в таблицях 2.14, 2.15 та 2.16.

Таблиця 2.14 – Значення довідникових змінних Dir_{FB}

Вид нафтородукту	P	Молярна маса M_p , кг/кмоль	Константи рівняння Антуана		
			A_p	B_p	C_p
Бензин АИ-93	1	98,2	4,12311	664,976	221,695
Дизельне паливо	2	203,6	5,00109	1314,04	192,473

Таблиця 2.15 – Вигляд складових моделі геоданих RZM_{FB}

Складові геоданих	Характеристика геоданих
Inp_{FB}	$P_i, V_i (\overline{i, N}); t$
Dir_{FB}	$M_p; A_p; B_p; C_p$ (значення див. Таблицю. 2.14) $E_f = 450 \text{ кВТ/м}^2; \tau_{\text{вип}} = 3600 \text{ с}$
$Calc_{FB}$	$F_b = V_i \cdot 1000 \cdot 0,15 \text{ (м}^2 \text{)}; P_H = 10^{A_p - \frac{B_p}{C_p + 1}} \text{ (кПа)};$ $W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M_p} \cdot P_H \text{ (кг/(с} \cdot \text{м}^2 \text{))}; m = W \cdot F_b \cdot \tau_{\text{вип}} \text{ (кг)};$ $D_s = 5,33 \cdot m^{0,327} \text{ (м)}; H = D_s / 2 \text{ (м)}; t_s = 0,92 \cdot m^{0,303} \text{ (с)};$ $F_q = \frac{H/D_s + 0,5}{4 \cdot [(H/D_s + 0,5)^2 + (r/D_s)^2]^{1,5}}; \psi = e^{-7 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{r^2 + H^2} - D_s/2)};$ $q = E_f \cdot F_q \cdot \psi \text{ (кВТ/м}^2 \text{)}; Q = q \cdot t_s \text{ (Дж/м}^2 \text{)}$
Out_{FB}	Значення радіусів зон ризику r , м при яких доза теплового випромінювання Q складе: $r_{3,2} - 3,2 \cdot 10^5 \text{ Дж/м}^2$ $r_{2,2} - 2,2 \cdot 10^5 \text{ Дж/м}^2$ $r_{1,2} - 1,2 \cdot 10^5 \text{ Дж/м}^2$

Кількість колонок в таблиці 2.16 залежить від кількості резервуарів N .

Таблиця 2.16 – Вигляд Out_{FB} , отриманих за повним розрахунком

Параметр	P_i	P_i
Об'єм палива у резервуарі, м^3	V_i	V_i
Ефективний діаметр «вогняної кулі» D_s , м	D_s	D_s
Висота центра «вогняної кулі» H , м	H	H
Час існування «вогняної кулі» t_s , с	t_s	t_s
Коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу ψ	ψ	ψ
Кутовий коефіцієнт опромінення F_q	F_q	F_q
Радіуси зон r , м, при яких доза теплового випромінювання Q складе:		
$3,2 \cdot 10^5 \text{ Дж/м}^2$	$\Gamma_{3,2}$	$\Gamma_{3,2}$
$2,2 \cdot 10^5 \text{ Дж/м}^2$	$\Gamma_{2,2}$	$\Gamma_{2,2}$
$1,2 \cdot 10^5 \text{ Дж/м}^2$	$\Gamma_{1,2}$	$\Gamma_{1,2}$

Таким чином, отримали подальший розвиток моделі зон техногенного ризику від ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі» з ура-

хуванням розробленої моделі геоданих АЗС, що дозволяє створити базу геоданих та метод визначення зон техногенного ризику на її основі, що складає другий пункт наукової новизни.

2.5 Висновки до другого розділу

В результаті виконання другого розділу дисертаційного дослідження розроблено моделі геоданих автозаправної станції як потенційно небезпечного об'єкта та зон техногенного ризику від ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі».

На основі аналізу нормативної літератури та наукових джерел побудовано «дерево подій» та встановлені найімовірніші сценарії розвитку аварійної ситуації на АЗС, а саме: вибух пароповітряної суміші з утворенням ударної хвилі, горіння проливу нафтопродуктів і виникнення «вогняної кулі».

Показано моделювання найімовірніших сценаріїв розвитку аварійної ситуації на АЗС за допомогою нормативних методик.

Отримано перші два пункти наукової новизни, а саме:

- вперше розроблено модель геоданих автозаправної станції як потенційно небезпечного об'єкта, яка містить атрибутивну (тематичну та часову) та просторову складову геоданих, що дозволяє створити базу геоданих у спеціалізованих ГІС.

- отримали подальший розвиток моделі зон техногенного ризику від ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі» з урахуванням розробленої моделі геоданих АЗС, що дозволяє створити базу геоданих та метод визначення зон техногенного ризику на її основі.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЗОН ТЕХНОГЕННОГО РИЗИКУ АВТОЗАПРАВНИХ СТАНЦІЙ

3.1 Розробка методу визначення геоданих зон техногенного ризику

На основі розробленої моделі геоданих автозаправної станції як потенційно небезпечного об'єкта та моделей геоданих зон ризику, що виникають на АЗС, автором розроблено метод визначення геоданих зон техногенного ризику при розвитку небезпечної ситуації (аварії) за заданим сценарієм, які потім будуть використовуватись у ГІС для візуалізації.

З урахуванням моделей (2.28)-(2.30) метод визначення геоданих зон техногенного ризику від ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі» за заданим сценарієм реалізується наступними чином:

Крок 1. З урахуванням моделі АЗС (2.23) вибір користувачем/експертом однієї із 3-х моделей геоданих зон техногенного ризику (RZM_{SW} , RZM_{OF} чи RZM_{FB}), на базі якої відбуватиметься розрахунок.

Далі в залежності від обраної моделі геоданих та розрахунку, метод розділяється на три паралельні гілки, в яких конкретна реалізація кроків залежить від обраного сценарію, що ми покажемо у наступних трьох підрозділах (3.1.1 - 3.1.3).

3.1.1 Визначення геоданих зон ризику від ударної хвилі

Крок 1.2. На основі $Atemp$ (2.25) отримання з ресурсу або введення користувачем/експертом динамічних часових даних про температуру навколишнього повітря, t °C; напрям вітру $Wind_D$; швидкість вітру $Wind_S$ у м/с.

Крок 1.3. В залежності від кількості резервуарів N із $Athem$ (2.24) введення даних про тип P_i та об'єм V_i нафтопродукту в i -тому резервуарі АЗС у вигляді Pet_{GS} (2.26).

Крок 1.4. Отримання значень довідникових даних згідно структури Dir (2.28). В випадку вибору моделі RZM_{SW} значення знаходяться в таблицях 2.8 та 2.9.

Крок 1.5. У відповідності до $Calc_{SW}$ (2.28) проводимо розрахунки вихідних параметрів. У випадку вибору моделі RZM_{SW} вид розрахунку за рівняннями моделі показано в таблиці 2.9.

Крок 1.6. Для кожного i -того резервуара проводимо розрахунок радіусів r зон ризику, ітеративно в циклі від $r = 0,01$ з кроком $r = r + 0,01$ за рівнянням (2.4), запам'ятовуємо значення r , для яких ΔP приймає значення 100; 50; 30 та 10 (кПа) відповідно.

Крок 1.7. У відповідності із структурою Out_{SW} (2.28) формуємо вихідні дані. За вибором користувача/експерта, ми формуємо вихідні дані у скороченому чи повному вигляді. У випадку вибору моделі RZM_{SW} вид скорочених вихідних даних показано в таблиці 3.1, кількість стовпчиків таблиці відповідає кількості наявних резервуарів АЗС.

Таблиця 3.1 – Вигляд Out_{SW} у скороченому вигляді

Параметр	P_i	P_i
Об'єм палива V , м ³	V_i	V_i
Радіус зони руйнувань r , м:		
повних (100 кПа)	r_{100}	r_{100}
сильних (50 кПа)	r_{50}	r_{50}
середніх (30 кПа)	r_{30}	r_{30}
слабких (10 кПа)	r_{10}	r_{10}

При виборі виводу вихідних даних у повному вигляді для моделі RZM_{SW} їх вид показано в табл. 2.10. Кількість стовпчиків таблиці відповідає кількості наявних резервуарів АЗС.

В таблиці 3.2 та на рисунку 3.1 показані вихідні дані зон ризику у повному вигляді, отримані за моделлю RZM_{SW} .

Таблиця 3.2 – Вихідні геодані зон ризику від дії ударної хвилі при руйнуванні резервуарів на АЗС, що містять бензин та дизель [1, 3, 5]

Параметр	Бензин АИ-93 (літній)		Дизельне паливо "Л"	
Об'єм палива V , м ³	40	15	40	15
Площа проливу палива, F_6 , м ²	6000	2250	6000	2250
Тиск насиченої пари палива P_n , кПа	29,5515	29,5515	0,1169	0,1169
Інтенсивність випаровування палива W , кг/с·м ²	$2,928 \cdot 10^{-4}$	$2,928 \cdot 10^{-4}$	$1,668 \cdot 10^{-6}$	$1,668 \cdot 10^{-6}$
Маса парів рідини, яка бере участь у вибуху m , кг	6325,42	2372,03	36,04	13,51
Питома теплота згоряння парів Q_{FP} , кДж/кг	43641	43641	43419	43419
Приведена маса парів рідини $m_{пр}$, кг	6107,25	2290,22	34,62	12,98
Радіус зони руйнувань r , м:				
повних (100 кПа)	47,88	34,59	8,62	6,23
сильних (50 кПа)	69,3	50,09	12,5	9,03
середніх (30 кПа)	93,75	67,78	16,94	12,24
слабких (10 кПа)	199,64	144,4	36,16	26,15

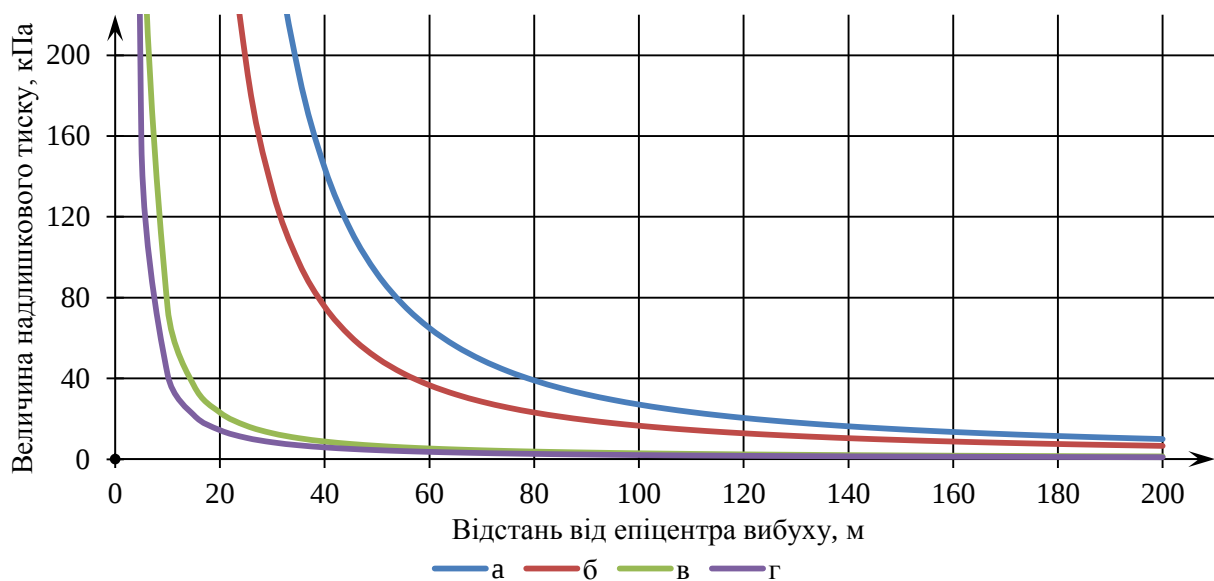


Рисунок 3.1 – Графіки зміни величини надлишкового тиску у фронті ударної хвилі залежно від відстані від епіцентру вибуху: а, в – для резервуарів з бензином ємністю 40 і 15 м³ відповідно; б, г – для резервуарів з дизельним паливом ємністю 40 і 15 м³ відповідно [5]

Далі за вибором користувача/експерта, розрахунок може бути продовжено за моделлю RZM_{SW} – тоді він повертається у *Крок 2* методу; чи за іншою

моделлю – її вибір за *Кроком 1*; чи завершено розрахунок і перехід до візуалізації.

3.1.2 Визначення геоданих зон ризику від пожежі проливу нафтопродуктів

Крок 2.2. На основі A_{temp} (2.25) отримання з ресурсу або введення користувачем/експертом динамічних часових даних про температуру навколишнього повітря, t °C; тиск навколишнього повітря, p кПа; напрям вітру $Wind_D$; швидкість вітру $Wind_S$ у м/с.

Крок 2.3. В залежності від кількості резервуарів N із A_{them} (2.24) введення даних про тип P_i та об'єм V_i нафтопродукту в i -тому резервуарі АЗС у вигляді Pet_{GS} (2.26).

Крок 2.4. Отримання значень довідникових даних згідно структури Dir (2.28). В випадку вибору моделі RZM_{OF} значення знаходяться в таблицях 2.11 та 2.12.

Крок 2.5. У відповідності до $Calc_{OF}$ (2.29) проводимо розрахунки вихідних параметрів. У випадку вибору моделі RZM_{OF} вид розрахунку за рівняннями моделі показано в таблиці 2.12.

Крок 2.6. Для кожного i -того резервуара проводимо розрахунок радіусів r зон ризику, ітеративно в циклі від $r = 0,5 \cdot d + 0,01$ з кроком $r = r + 0,01$ за рівняннями (2.10)-(2.15) (кутовий коефіцієнт опромінення та його складові), а також (2.17) та (2.6), запам'ятовуємо значення r , для яких q приймає значення 17; 10,5; 7 та 1,4 (кВт/м²) відповідно.

Крок 2.7. У відповідності із структурою Out_{OF} (2.29) формуємо вихідні дані. За вибором користувача/експерта, ми формуємо вихідні дані у скороченому чи повному вигляді. У випадку вибору моделі RZM_{OF} вид скорочених вихідних даних показано в таблиці 3.3, кількість стовпчиків таблиці відповідає кількості наявних резервуарів АЗС.

Таблиця 3.3 – Вигляд Out_{OF} у скороченому вигляді

Параметр	P_i	P_i
Об'єм палива у резервуарі, m^3	V_i	V_i
Радіуси зон r , м, при яких інтенсивність теплового випромінювання q складе:		
17 кВт/м ²	Γ_{17}	Γ_{17}
10,5 кВт/м ²	$\Gamma_{10,5}$	$\Gamma_{10,5}$
7 кВт/м ²	Γ_7	Γ_7
1,4 кВт/м ²	$\Gamma_{1,4}$	$\Gamma_{1,4}$

При виборі виводу вихідних даних у повному вигляді для моделі RZM_{OF} їх вид показано в табл. 2.13. Кількість стовпчиків таблиці відповідає кількості наявних резервуарів АЗС.

В таблиці 3.4 та на рисунку 3.2 показані вихідні дані зон ризику у повному вигляді, отримані за моделлю RZM_{OF} .

Таблиця 3.4 – Вихідні геодані зон ризику від пожежі проливу нафтопродуктів при руйнуванні резервуарів на АЗС, що містять бензин та дизель [2]

Параметр	Бензин АИ-93	Бензин АИ-93	Дизельне паливо	Дизельне паливо
Об'єм палива у резервуарі V , m^3	40	15	40	15
Ефективний діаметр проливу d , м	87,40	53,52	87,40	53,52
Висота полум'я H , м	76,48	54,39	59,72	42,47
Кутовий коефіцієнт опромінення F_q	0,062	0,060	0,084	0,082
Середньоповерхнева густина теплового потоку випромінювання полум'я E_{fp} , кВт/м ²	25	25	18	18
Коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу ψ	0,9001	0,9313	0,9271	0,9503
Радіуси зон r , м, при яких інтенсивність теплового випромінювання q складе:				
17 кВт/м ²	43,97	26,93	–	–
10,5 кВт/м ²	61,1	37,8	47,73	29,27
7 кВт/м ²	81,5	51,34	63,56	39,54
1,4 кВт/м ²	194,1	128,39	151,9	99,66

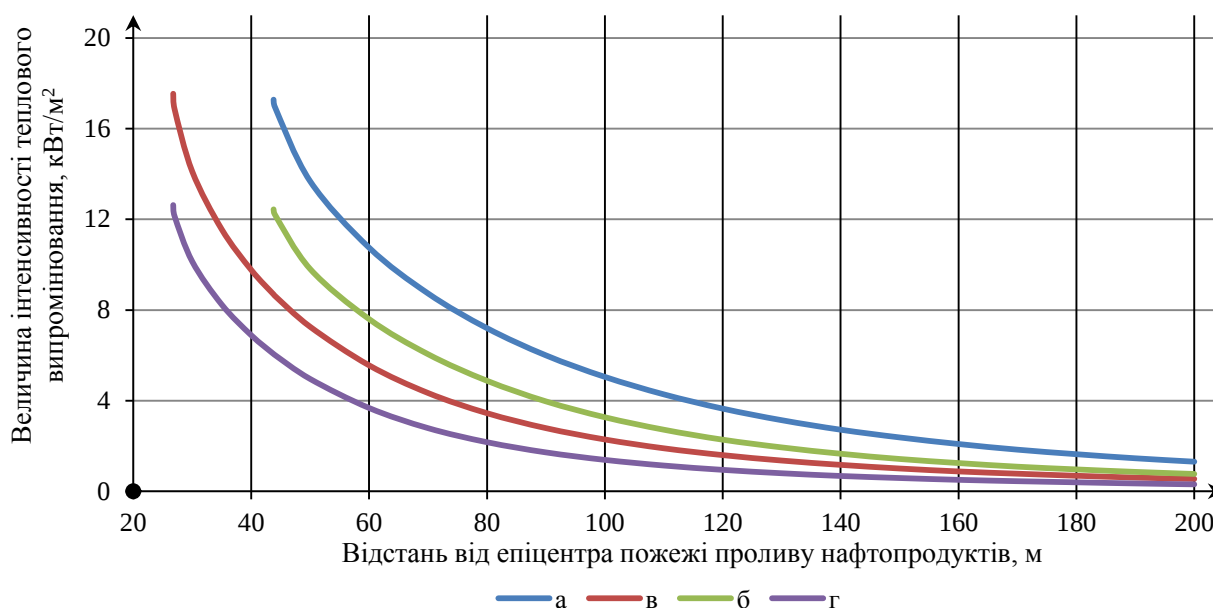


Рисунок 3.2 – Графіки зміни величини інтенсивності теплового випромінювання залежно від відстані від епіцентру пожежі: а, в – для резервуарів з бензином ємністю 40 і 15 м³ відповідно; б, г – для резервуарів з дизельним паливом ємністю 40 і 15 м³ відповідно

Далі за вибором користувача/експерта, розрахунок може бути продовжено за моделлю RZM_{OF} – тоді він повертається у *Крок 2* методу; чи за іншою моделлю – її вибір за *Кроком 1*; чи завершено розрахунок і перехід до візуалізації.

3.1.3 Визначення геоданих зон ризику від «вогняної кулі»

Крок 3.2. На основі $Atemp$ (2.25) отримання з ресурсу або введення користувачем/експертом динамічних часових даних про температуру навколишнього повітря, t °C; напрям вітру $Wind_D$; швидкість вітру $Wind_S$ у м/с.

Крок 3.3. В залежності від кількості резервуарів N із $Athem$ (2.24) введення даних про тип P_i та об'єм V_i нафтопродукту в i -тому резервуарі АЗС у вигляді Pet_{GS} (2.26).

Крок 3.4. Отримання значень довідникових даних згідно структури Dir (2.30). В випадку вибору моделі RZM_{FB} значення знаходяться в таблицях 2.14 та 2.15.

Крок 3.5. У відповідності до $Calc_{FB}$ (2.30) проводимо розрахунки вихідних параметрів. У випадку вибору моделі RZM_{FB} вид розрахунку за рівняннями моделі показано в таблиці 2.15.

Крок 3.6. Для кожного i -того резервуара проводимо розрахунок радіусів r зон ризику, ітеративно в циклі від $r = 0,01$ з кроком $r = r + 0,01$ за рівняннями (2.18), (2.21), (2.6) та (2.22); запам'ятовуємо значення r , для яких Q приймає значення 320000; 220000 та 120000 (Дж/м²) відповідно.

Крок 3.7. У відповідності із структурою Out_{FB} (2.30) формуємо вихідні дані. За вибором користувача/експерта, ми формуємо вихідні дані у скороченому чи повному вигляді. У випадку вибору моделі RZM_{FB} вид скорочених вихідних даних показано в таблиці 3.5, кількість стовпчиків таблиці відповідає кількості наявних резервуарів АЗС.

Таблиця 3.5 – Вигляд Out_{FB} у скороченому вигляді

Параметр	P_i	P_i
Об'єм палива у резервуарі V , м ³	V_i	V_i
Радіуси зон r , м, при яких доза теплового випромінювання Q складе:		
$3,2 \cdot 10^5$ Дж/м ²	$\Gamma_{3,2}$	$\Gamma_{3,2}$
$2,2 \cdot 10^5$ Дж/м ²	$\Gamma_{2,2}$	$\Gamma_{2,2}$
$1,2 \cdot 10^5$ Дж/м ²	$\Gamma_{1,2}$	$\Gamma_{1,2}$

При виборі виводу вихідних даних у повному вигляді для моделі RZM_{FB} їх вид показано в табл. 2.16. Кількість стовпчиків таблиці відповідає кількості наявних резервуарів АЗС.

В таблиці 3.6 та на рисунку 3.3 показані вихідні дані зон ризику у повному вигляді, отримані за моделлю RZM_{FB} .

Далі за вибором користувача/експерта, розрахунок може бути продовжено за моделлю RZM_{FB} – тоді він повертається у *Крок 2* методу; чи за іншою моделлю – її вибір за *Кроком 1*; чи завершено розрахунок і перехід до візуалізації.

Таблиця 3.6 – Вихідні геодані зон ризику від дії «вогняної кулі» при руйнуванні резервуарів на АЗС, що містять бензин та дизель

Параметр	Бензин АИ-93	Бензин АИ-93	Дизельне паливо	Дизельне паливо
Об'єм палива у резервуарі V , м ³	40	15	40	15
Ефективний діаметр «вогняної кулі» D_s , м	93,26	67,97	17,21	12,49
Висота центра «вогняної кулі» H , м	46,63	33,83	8,61	6,24
Час існування «вогняної кулі» t_s , с	13,0	9,7	2,7	2,0
Коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу ψ	0,9034	0,9379	0,9933	0,9966
Кутовий коефіцієнт опромінення F_q	0,0225	0,0292	0,098	0,1317
Радіуси зон r , м, при яких доза теплового випромінювання Q складе:				
$3,2 \cdot 10^5$ Дж/м ²	120,00	74,64	–	–
$2,2 \cdot 10^5$ Дж/м ²	143,87	91,44	8,56	1,97
$1,2 \cdot 10^5$ Дж/м ²	185,93	120,74	16,01	9,12

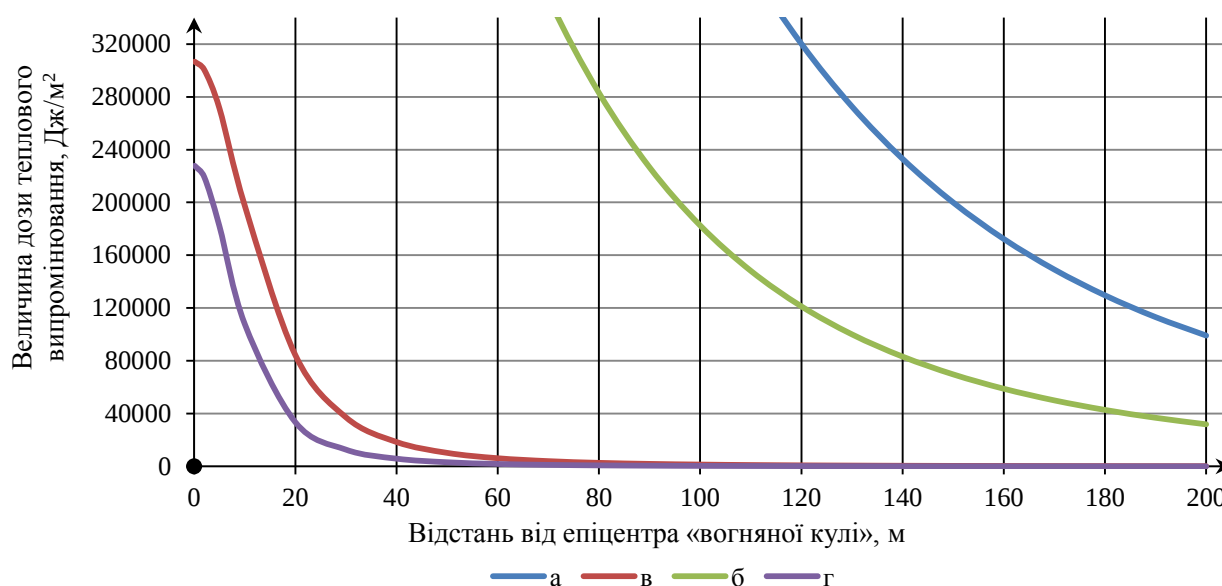


Рисунок 3.3 – Графіки зміни величини дози теплового випромінювання залежно від відстані від епіцентру «вогняної кулі»: а, б – для резервуарів з бензином ємністю 40 і 15 м³ відповідно; в, г – для резервуарів з дизельним паливом ємністю 40 і 15 м³ відповідно

Таким чином, удосконалено метод визначення зон техногенного ризику при розвитку небезпечної ситуації на АЗС за моделями геоданих ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі», що дозволило скоротити час

на визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті, що складає третій пункт наукової новизни.

3.2 Розробка методу візуалізації геоданих зон техногенного ризику АЗС

На основі розробленої моделі геоданих АЗС як ПНО був розроблений метод візуалізації геоданих зон техногенного ризику з урахуванням сценарію розвитку (за однією із трьох моделей геоданих зон – RZM_{SW} , RZM_{OF} та RZM_{FB}) у вільній ГІС під назвою QGIS [43].

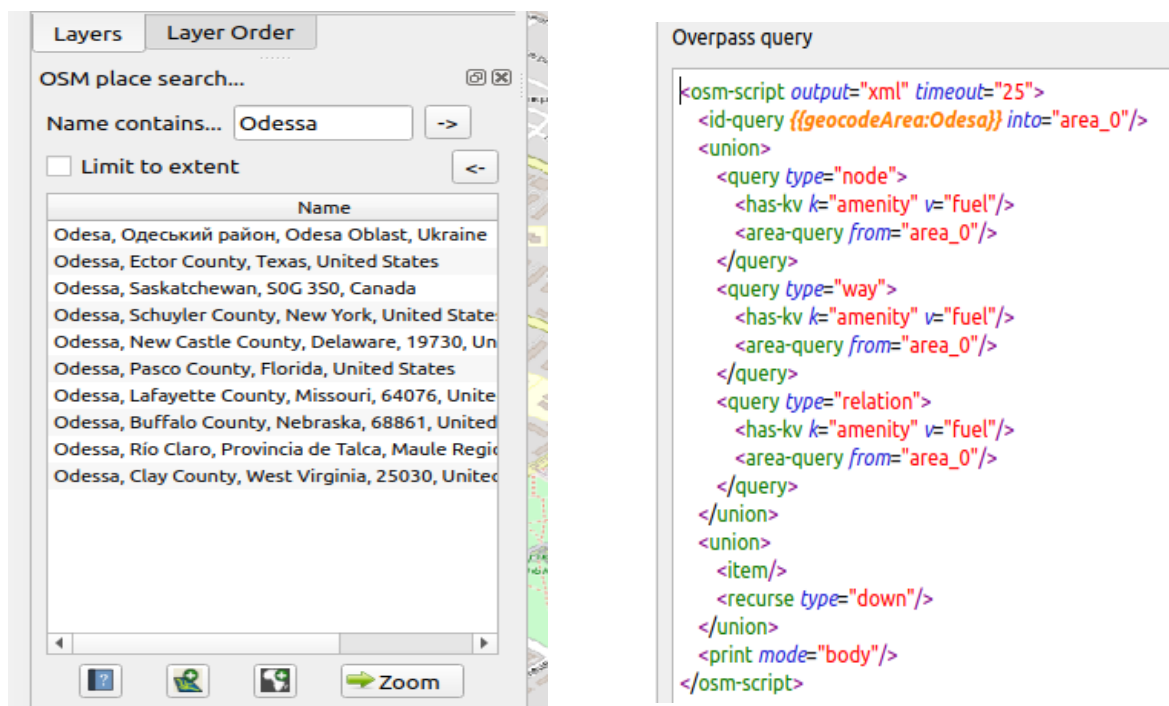
Розроблений метод візуалізації складається із двох наступних кроків:

Крок 1. Візуалізація даних просторової складової моделі (2.23) та (2.27). Із сховища даних відкритого веб-картографічного проекту *OpenStreetMap* (OSM) [44] за допомогою плагіну *OSM Place Search* [45] (рис. 3.4а) завантажують карту мегаполісу – у нашому випадку м. Одеса, та отримуємо розташування мережі АЗС після запуску *QuickOSM* [45] (рис. 3.5) зі значенням *fuel* ключа *amenity*.

Крок 2. Візуалізація геоданих зон техногенного ризику від ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі» RZM моделі (2.23). Враховуючі координати АЗС X та Y , а також вихідні дані моделей ударної хвилі Out_{SW} (2.28), пожежі проливу нафтопродуктів Out_{OF} (2.29) і «вогняної кулі» Out_{FB} (2.30) за допомогою розробленого плагіну *PNO* (детально плагін буде розглянуто у розділі 4.2.2) та налаштувань плагіну *Multi Ring Buffer* візуалізуємо зони техногенного ризику.

3.2.1 Візуалізація мережі АЗС на карті міста

Показано результати виконання кроку 1 за розробленим методом візуалізації.



а

б

Рис. 3.4 – Результати налаштувань плагінів *QGIS* для візуалізації мережі АЗС, як потенційно-небезпечних об'єктів (а – діалогове вікно плагіну *OSM Place Search*; б – текст скрипта запиту на сервер *openstreetmap*) [5]

OpenStreetMap [44] – некомерційний веб-картографічний проект із створення силами спільноти учасників-користувачів Інтернету детальної вільної та безкоштовної географічної карти світу.

Запит на відображення розташування мережі АЗС на території міста може бути сформований або за допомогою скрипта (рис. 3.4б), або за допомогою конструктора запитів при запуску *QuickOSM* (рис. 3.5) [5, 11].

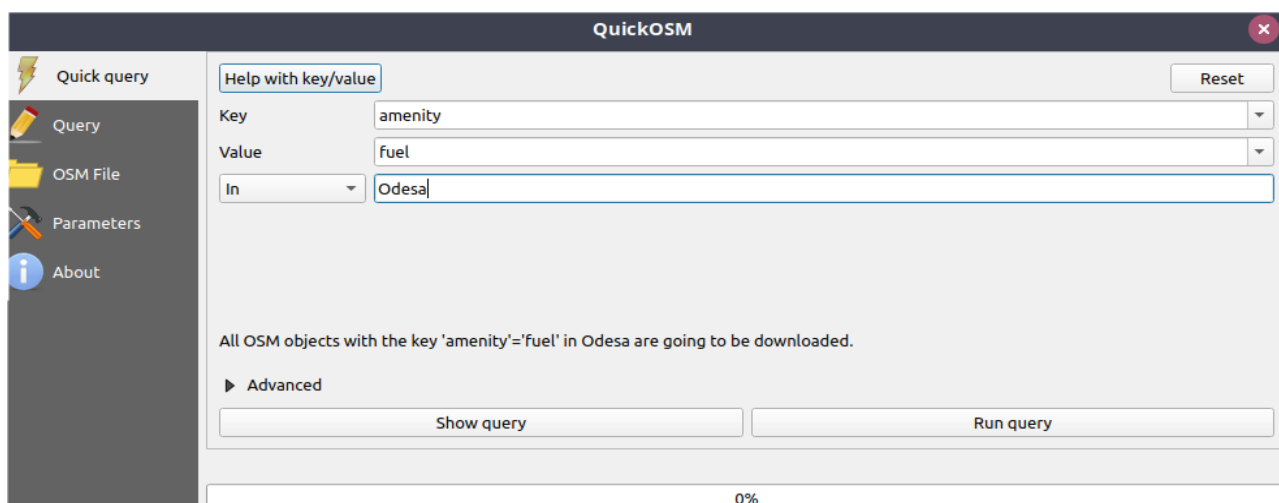


Рис. 3.5 – Діалогове вікно плагіну *QuickOSM*

Ми обираємо ключ пошуку *amenity* (ключ *amenity* використовується для опису корисних і важливих об'єктів для відвідувачів та жителів міста: школи, банки, телефони, аптеки, в'язниці, туалети тощо). Далі обираємо його значення – у нашому випадку вказуємо АЗС (*fuel*). Обираємо географічну точку пошуку (*Odessa*). Далі обираємо тип даних для відображення (рис. 3.6).

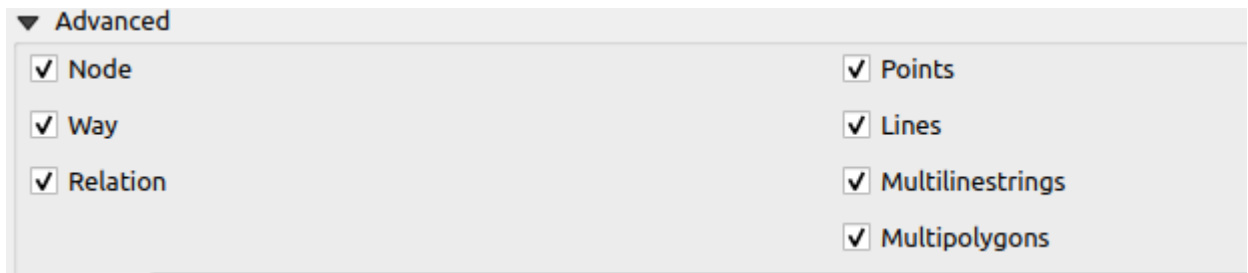


Рис. 3.6 – Меню вибору пошукових об'єктів

Дані у вигляді (*node*) *ID* з географічними координатами – широтою (latitude) *X* та довготою (longitude) *Y* та у відповідності із типом *Type_{vis}* (точки, лінії, полігони тощо) наносяться на карту міста. Відображення АЗС на карті міста зображено на рис. 3.7.

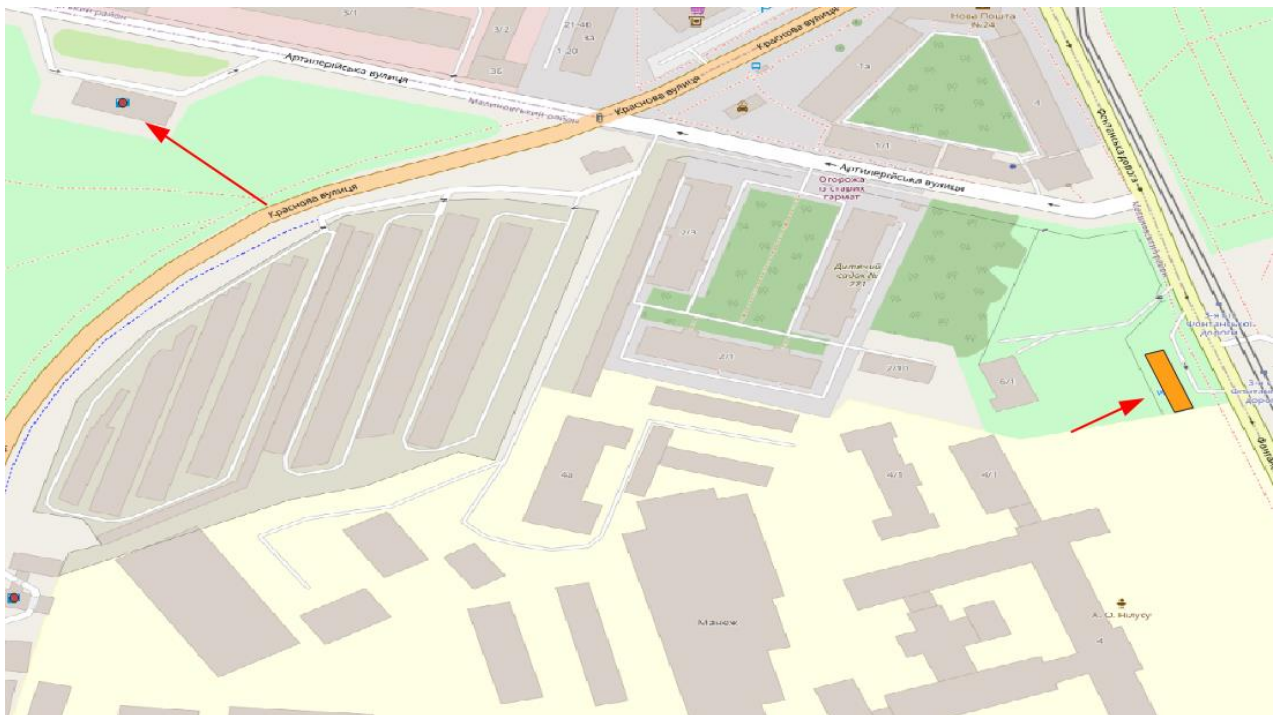


Рис. 3.7 – Відображення АЗС на карті міста (Одеса)

3.2.2 Візуалізація геоданих моделей зон техногенного ризику RZM

Показано результати виконання кроку 1 за розробленим методом візуалізації.

При відсутності даних про вітер ми використовуємо плагін *Multi Ring Buffer* для візуалізації зон техногенного ризику від АЗС [5, 11]. Приклад роботи із плагіном зображено на рис. 3.8.

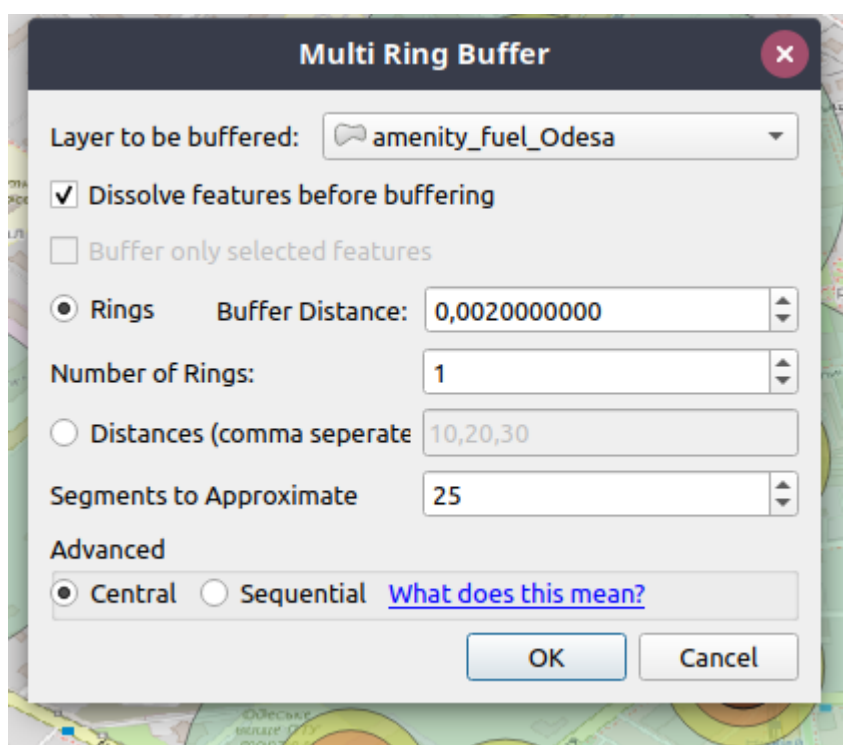


Рис. 3.8 – Налаштування діалогового вікна плагіну *Multi Ring Buffer* [5]

При роботі із плагіном *Multi Ring Buffer* виконуємо наступні кроки:

- обираємо шар із АЗС (отриманий на попередньому кроці) для проведення операції буферизації (*amenity_fuel_Odesa*);
- обираємо радіус зони техногенного ризику відповідно до структури *Out (buffer distance)*;
- обираємо кількість зон (*number of rings*);
- обираємо кількість сегментів у полігоні (*segments to approximate*).

Підключаємо отриманий шар після роботи із плагіном *Multi Ring Buffer* до основного і отримуємо результат на карті міста. Приклади зон техногенного ризику з різним масштабом карти у підсистемі *QGIS* показані на рисунках 3.9-3.11.

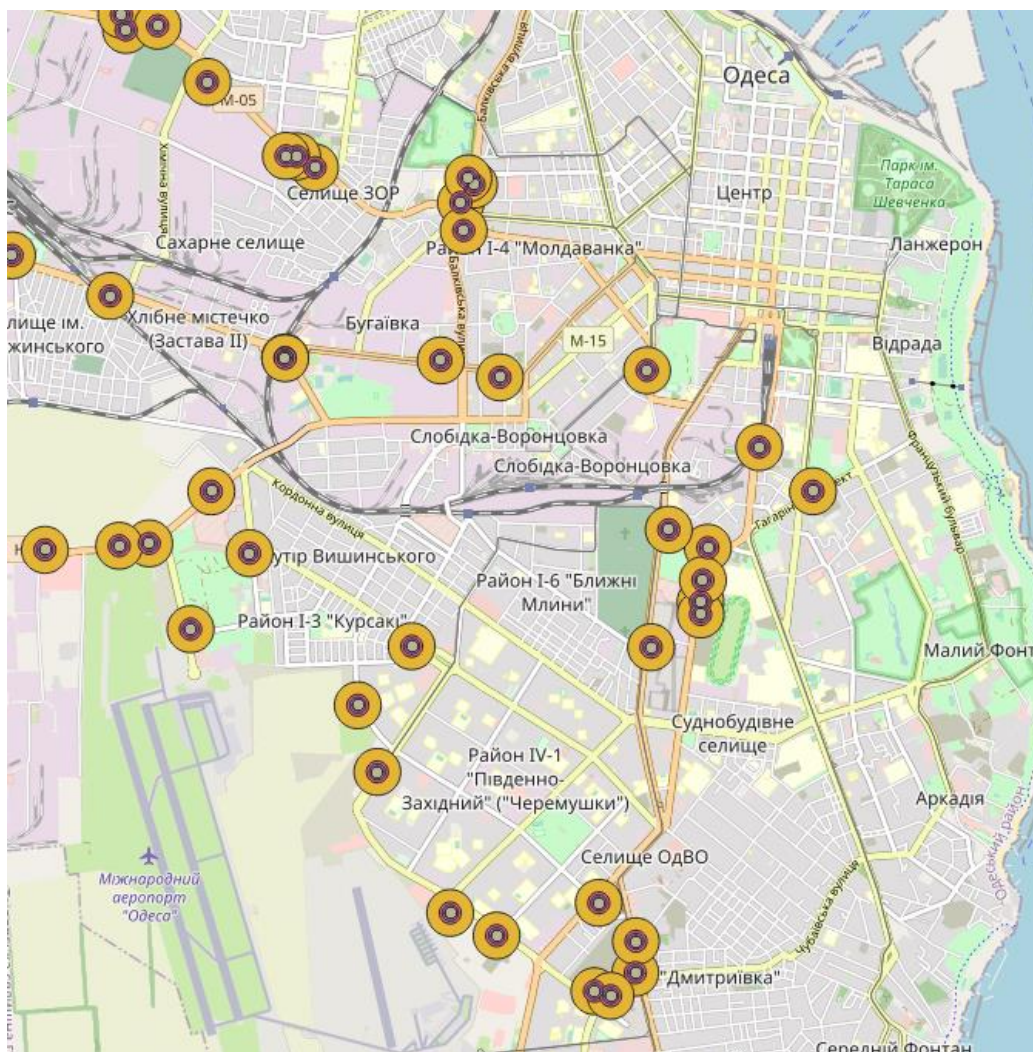


Рис. 3.9 – Результати візуалізації геоданих моделі зон техногенного ризику, що виникає від ударної хвилі RZM_{SW} на карті міста Одеса у підсистемі *QGIS* [5]

На основі аналізу побудованої карти (рис. 3.9) можна зауважити наступне для АЗС з резервуарами з бензином ємністю 40 м^3 :

- на деяких АЗС не виконуються норми протипожежних відстаней до так званих об'єктів «турботи» (підприємств, організацій, селітебних зон тощо);
- деякі АЗС розміщені не тільки в селітебних зонах, але і поблизу

автомагістралей із значним потоком автомобілів, що особливо у пікові години збільшує негативні наслідки аварії;

– деякі АЗС розміщено одна поблизу одної, наприклад, традиційна та газова АЗС, що у випадку аварії може спричинити розвиток сценарію за каскадним ефектом «доміно» – приклад для одного з районів міста зображено на рис. 3.10 (зони ризику на карті перекриваються) [5].

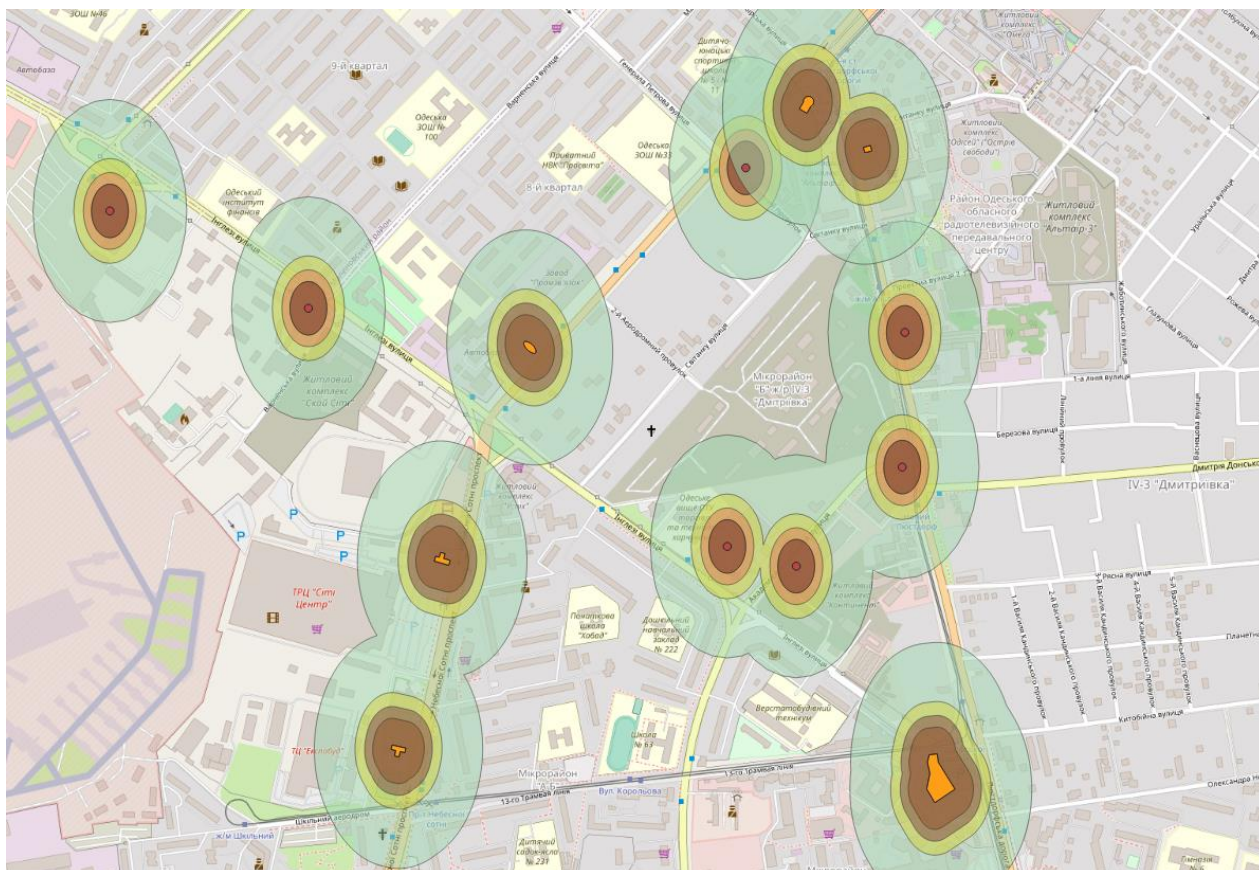


Рис. 3.10 – Візуалізація зон техногенного ризику від ударної хвилі за умов максимальної місткості (40 м^3) резервуарів із бензином на одному із районів м. Одеси [5, 11]

За умови мінімального заповнення резервуарів АЗС нафтопродуктами (15 м^3) зони ризику у більшості випадків є локальними (на території АЗС), проте можливим є вплив на об'єкти «турботи» в сусідніх селітебних зонах [5].

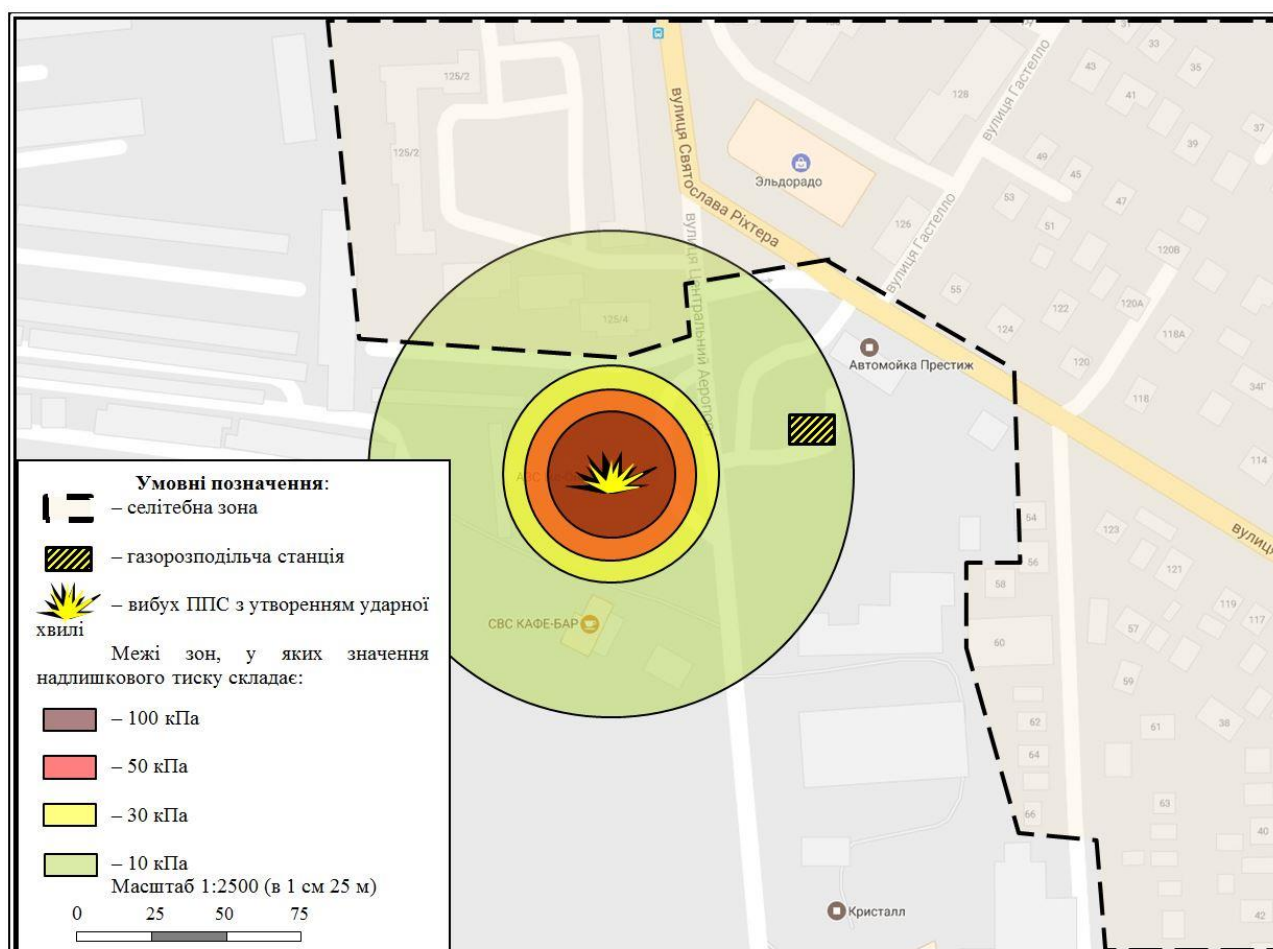


Рис. 3.11 – Результати візуалізації зон техногенного ризику від ударної хвилі на прикладі однієї з АЗС на території м. Одеси [1, 3, 6, 7]

Як видно із прикладу візуалізації геоданих моделі зон техногенного ризику від ударної хвилі RZM_{SW} у підсистемі QGIS у великому масштабі (рис. 3.11), у зону середніх руйнувань (тиск від 30 до 10 кПа) потрапляє частина селітебної території (а саме, 2 багатоповерхові будинки), 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 можна побачити, що 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. А кількість людських жертв збільшується не лише за рахунок персоналу АЗС, а і персоналу автомийки [1, 3].

При наявності даних про вітер (особливо актуально для пожежі проливу нафтопродуктів, зважаючи на можливу довготривалість цього сценарію, на відміну від вибуху ППС з утворенням ударної хвилі та «вогняної кулі»), ми можемо скористатись плагіном *Shape Tools* і використати їх для відображення зон ризику з поправкою на вітер (приклад реалізації зображено на рис. 3.12).

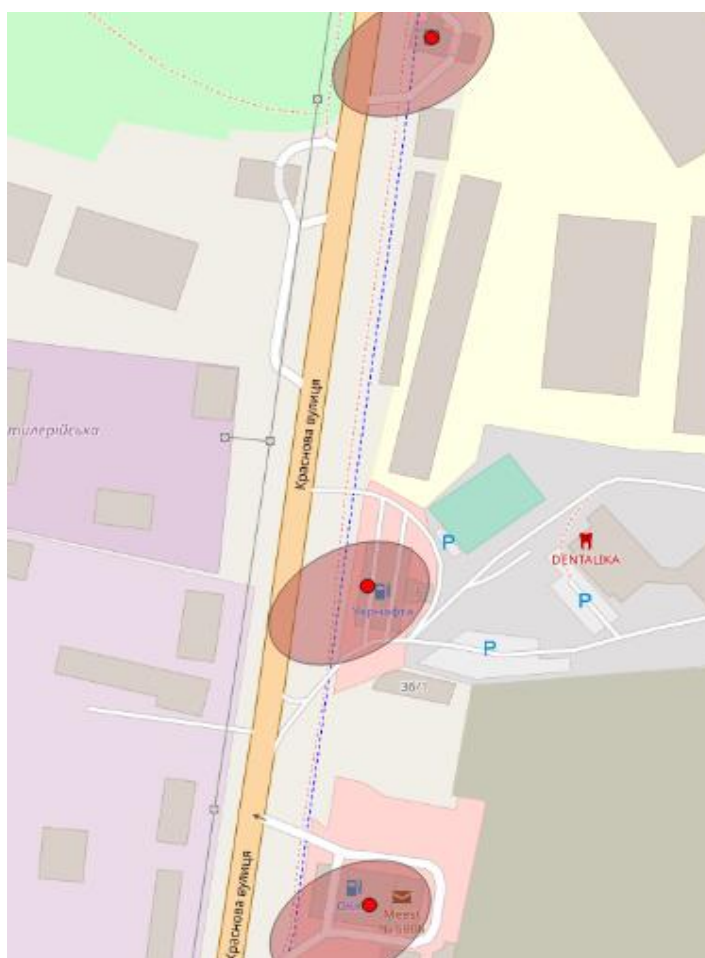


Рис. 3.12 – Результати візуалізації геоданих моделі зон техногенного ризику *RZM* від АЗС на карті м. Одеси з поправкою на вітер

Щоб не перевантажувати дисертаційну роботу зображеннями, авторські результати візуалізації зон техногенного ризику від АЗС на карті міста Одеси можна переглянути *на веб-карті м. Одеси*, перейшовши за посиланням [53].

Таким чином, отримав подальший розвиток метод візуалізації геоданих зон техногенного ризику (ударна хвиля, пожежа проливу нафтопродуктів і «вогняна куля»), що дозволило побудувати зони ризику на карті мегаполісу засобами ГІС та скоротити час на визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті, що складає четвертий пункт наукової новизни.

3.3 Висновки до третього розділу

В третьому розділі дисертаційної роботи розроблено методи визначення та візуалізації геоданих зон техногенного ризику при розвитку аварії за заданим сценарієм.

На основі моделі геоданих АЗС та моделей геоданих зон техногенного ризику, що виникають при вибуху ППС з утворенням ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів та «вогняної кулі» розроблено метод визначення геоданих зон ризику, який складається із семи кроків. Шість кроків за методом виконуються паралельно та залежать від сценарію розвитку аварії, який обрано на першому кроці. Наведено приклади вихідних даних, які містять розрахункову складову, представлену в розгорнутому та/або скороченому вигляді за вимогою експерта, та просторову складову у вигляді одного та/або двох радіусів зон ризику. Наведені графіки зміни величин параметру безпеки зони техногенного ризику (відповідно тиску у фронті ударної хвилі, інтенсивності теплового випромінювання та дози теплового випромінювання) в залежності від відстані від епіцентру НС підтверджують достовірність вихідних даних.

Для візуалізації просторової складової вихідних даних, отриманих за розробленим методом визначення зон техногенного ризику розроблено відповідний метод, використання якого орієнтоване на QGIS.

З урахуванням визначення (за першим методом) та візуалізації геоданих (за другим методом) час на визначення сценарію розвитку аварії на потенційно

небезпечному об'єкті скоротився більш ніж вдвічі за експериментами які, проводились у ТОВ «Центр екологічної безпеки».

Крім того, експерт бачить наочну інформацію про недотримання норм протипожежних відстаней у вигляді накладання зон техногенного ризику від близько розташованих АЗС, що може викликати подальший розвиток аварійних ситуацій на них за ефектом «доміно».

Таким чином, в третьому розділі дисертації наведено відомості про третій та четвертий пункти наукової новизни, а саме:

— удосконалено метод визначення зон техногенного ризику при розвитку небезпечної ситуації на АЗС за моделями геоданих ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі», що дозволило скоротити час на визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті.

— отримав подальший розвиток метод візуалізації геоданих зон техногенного ризику (ударна хвиля, пожежа проливу нафтопродуктів і «вогняна куля»), що дозволило побудувати зони ризику на карті мегаполісу засобами ГІС та скоротити час на визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЗОН ТЕХНОГЕННОГО РИЗИКУ АЗС В QGIS

4.1 Структура й основні властивості спеціалізованої підсистеми

Загальна структура системи визначення та візуалізації зон техногенного ризику АЗС як ПНО, яку побудовано на основі геоінформаційної системи з відкритим кодом *QGIS* складається з наступних складових: відкритого картографічного сервісу *OpenStreetMap* для отримання початкової картографічної інформації (або просторових даних), метео сервісу *OpenWeather* з відкритим *API* для отримання часових динамічних даних про метеоумови, бази геоданих (*PostGIS*), яка реалізована у вигляді розширення до *PostgreSQL*, веб-браузера, серверної Веб ГІС (*NextGIS*). Система є автоматизованою та працює за участю користувача-експерта (рис. 4.1).

Метою спеціалізованої ГІС є визначення (розрахунок) та візуалізація зон техногенного ризику АЗС як ПНО при виникненні НС на них.

ГІС призначена для користувачів, які є фахівцями в області екології та Державної служби України з НС (далі іменуватимемо експертами), а так само для великого спектру користувачів, від підприємців, освітян, спеціалістів різного профілю до приватних осіб (далі іменуватимемо користувачами), для аналізу і визначення потенційно небезпечних зон на певній території, наприклад, при містоплануванні, забезпеченні безпеки життєдіяльності населення і т.п.

ГІС дозволяє виконувати основні функції: обробка даних від ПНО і розрахунок сценаріїв НС у спеціально розробленому плагіні в *QGIS*, візуалізація результатів розрахунку у локальній ГІС (*QGIS*) чи серверній частині (*NextGIS*).

Вхідним потоком є дані від Державного реєстру потенційно небезпечних об'єктів [46] та *OpenStreetMap* [44], а саме: атрибутивні *A* та геопросторові *S* дані відповідно до моделі (2.23-2.27); а також метеодані онлайн-сервісу *OpenWeather* (частина структури *Atemp* моделі (2.25)). На виході отримуємо візуалізовані на карті населеного пункту у вигляді полігонів зони техногенного

ризиків від ПНО за обраним сценарієм у настільниковій ГІС (*QGIS*) чи серверній частині (*NextGIS*). Візуалізовані дані використовуються для подальшого аналізу користувачами/експертами.

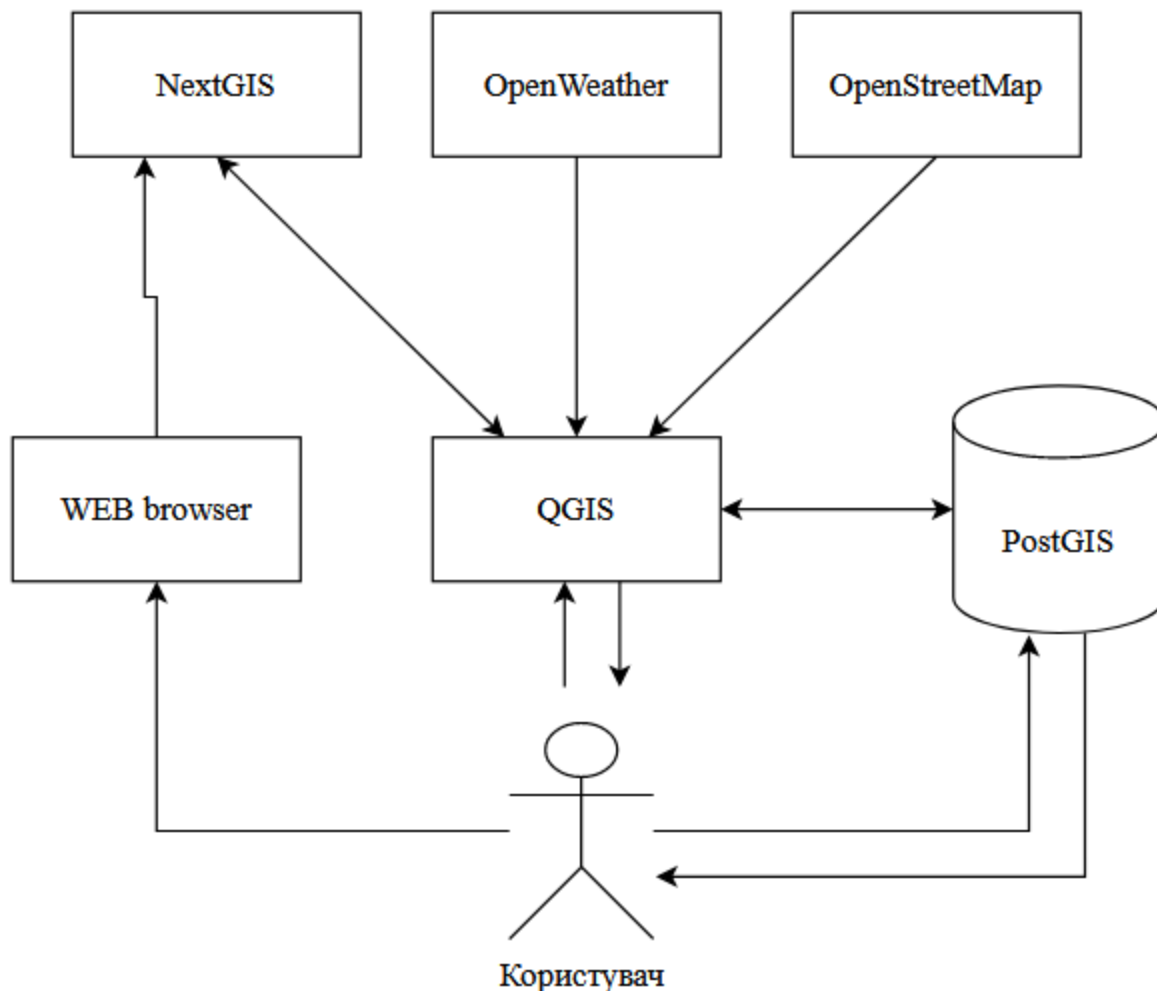


Рис. 4.1 – Структура спеціалізованої ГІС

Користувач підсистеми має змогу працювати із геоінформаційною системою *QGIS*, базою даних *PostGIS* та веб-браузером. База даних *PostGIS* використовується для збереження даних, отриманих при роботі з спеціалізованою ГІС. Інформаційна частина (*OpenStreetMap*, *OpenWeather*) надає вхідні дані до геоінформаційної системи *QGIS*. ГІС *QGIS* використовується як основний елемент визначення (розрахунку) зон техногенного ризику (за допомогою спеціально розробленого плагіну *PNO*) та їх візуалізації на карті населеного пункту. Сер-

верна частина (реалізована у вигляді серверної Веб ГІС *NextGIS*) використовується для відображення результатів візуалізації на веб-сайтах.

Інформаційна частина розробленої підсистеми складається з сервісів *OpenStreetMap* та *OpenWeather*.

OpenStreetMap [44] – це відкритий проєкт, спрямований на збір, збереження та розповсюдження загальнодоступних геопросторових даних, створення інструментів для роботи з ними силами спільноти волонтерів.

Базові інструменти *OSM* оперують даними у форматі XML, який описує набір екземплярів елементів (вузли, відрізки та зв'язки). У нашому випадку ми генеруємо мапи локально за допомогою *QGIS* та плагінів.

Отримання даних відбувається за допомогою API.

Отримання часових динамічних даних про метеоумови виконується за допомогою сервісу *OpenWeather*.

OpenWeather [47] – онлайн сервіс, який надає API для доступу до даних про поточну погоду, прогнози та історичні дані. Як джерело даних використовуються офіційні метеорологічні служби, дані з метеостанцій аеропортів та дані з приватних метеостанцій.

Отримуються дані за допомогою API у форматах JSON, XML або HTML.

4.2 Структура і основні функції ГІС QGIS

Основним елементом розробленої підсистеми, який забезпечує визначення (розрахунок) і візуалізацію зон техногенного ризику, є геоінформаційна система *QGIS* [43]. *QGIS* – вільна кросплатформна геоінформаційна система, яка складається з настільникової (*QGIS Desktop*) та серверної (*QGIS Server* і *QGIS Web Client*) частин. Функціонал *QGIS* досить великий і включає у себе:

- перегляд даних у векторному і растровому виглядах у багатьох форматах;
- дослідження даних та компонування карт;
- управління даними: створення, редагування й експорт;
- аналіз даних;
- публікація карт в мережі Інтернет;

- розширення функціональності за допомогою модулів розширення, написаних на C++ чи Python [48].

У роботі ми використовуємо QGIS версії 3.22.1 “Białowieża” – вікно завантаження зображено на рис. 4.2.



Рис. 4.2 – Завантаження програмного продукту QGIS [43]

Для роботи системи, згідно технічних вимог, необхідно встановити наступні модулі/плагіни [10] (рис. 4.3):

- QuickOSM;
- QuickMapServices;
- Buffer;
- Shape Tools;
- Multi Ring Buffer;
- Multi-distance buffer;
- NextGis Connect;

- РНО.

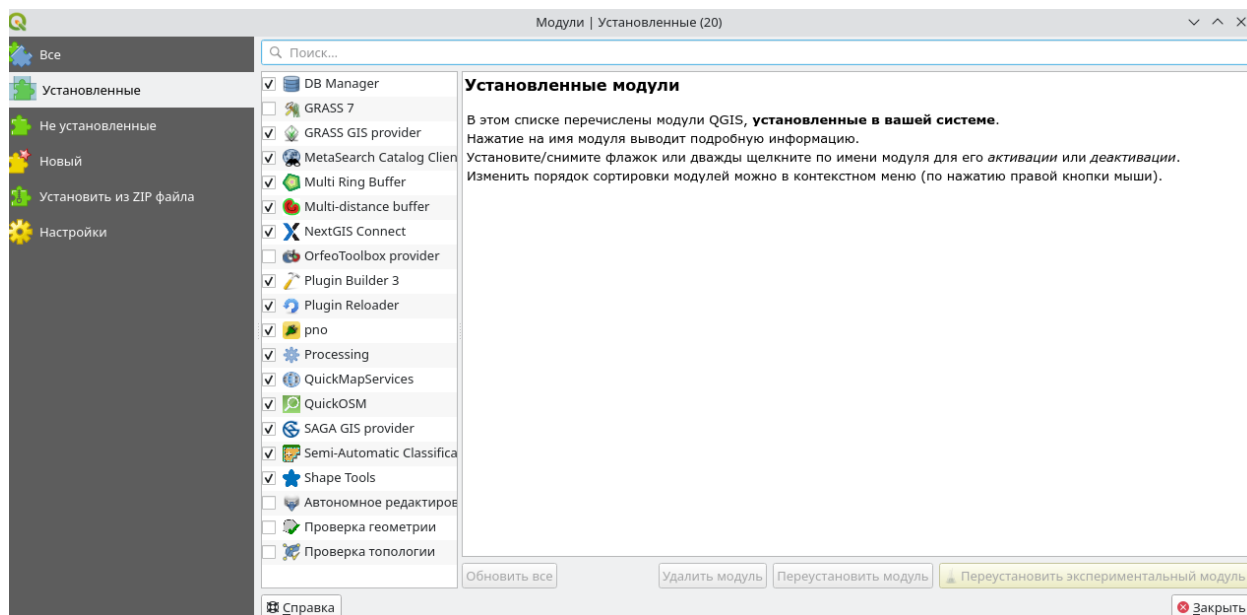


Рис. 4.3 – Встановлення необхідних плагінів для роботи *QGIS* відповідно до мети

Модулі *QGIS* використовуються наступним чином:

QuickOSM – за допомогою цього плагіну ми можемо працювати з картами із *OpenStreetMap* та візуалізовувати географічні об'єкти (докладніше розглянуто в підрозділі 3.2.1).

QuickMapServices – цей плагін дозволяє формувати запити на сервер *OpenStreetMap* для отримання просторової та статичної інформації.

Buffer – за допомогою цього плагіну може бути побудований буфер у вигляді полігона з потрібним радіусом.

Shape Tools – допоміжний плагін для побудови буферів, використовується для врахування зміни зон ризику залежно від вітру (докладніше в 3.2.2).

Multi Ring Buffer – плагін, який дозволяє сформувати або з'єднати декілька буферів (розділ 3.2.2).

Multi-distance buffer – плагін, який дозволяє редагувати буфери та будувати їх різноманітними формами.

NextGIS Connect – за допомогою цього модуля можна: завантажувати дані з Веб ГІС *NextGIS* в настільну ГІС *QGIS*; завантажувати векторні і растрові шари з настільної ГІС в Веб ГІС; завантажувати цілком проекти *QGIS* в Веб ГІС зі збереженням стилів оформлення, ієрархією шарів, і т.д .;

РНО – розроблений плагін для розрахунку зон ризику ПНО.

4.2.1 Опис модуля *NextGIS Connect*

Для того, щоб опублікувати в інтернеті карти з результатами розрахунку, ми використовуємо модуль *NextGIS Connect* [50]. Завдяки цьому модулю ми можемо завантажити з настільної ГІС дані у Веб ГІС з подальшою роботою у Веб ГІС. Це дозволяє швидко завантажувати векторні та растрові данні, а також цілі проекти *QGIS*.

Для створення підключення потрібно натиснути на кнопку «налаштування» на панелі модуля *NextGIS Connect* (рис. 4.4).

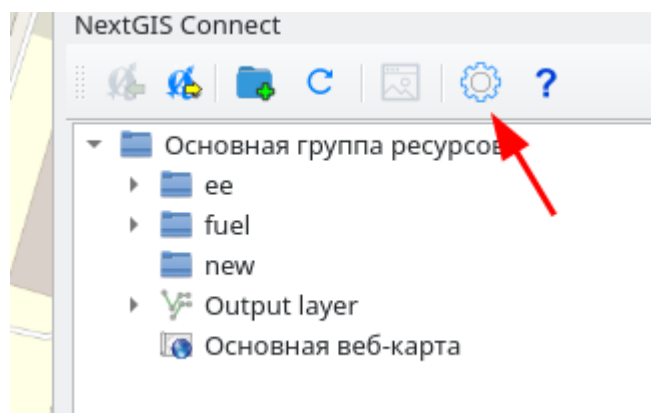


Рис. 4.4 – Налаштування модуля *NextGIS Connect*

У вікні, натисніть кнопку «Нове» і заповніть поля (рис. 4.5):

- URL – адреса, Веб ГІС;
- Ім'я – ідентифікатор підключення.

Заповнюємо форму «Ім'я користувача» та «Пароль», якщо необхідні дії, що вимагають спеціалізований дозвіл, наприклад, створювати чи видаляти ресурси, для неавторизованих користувачів.

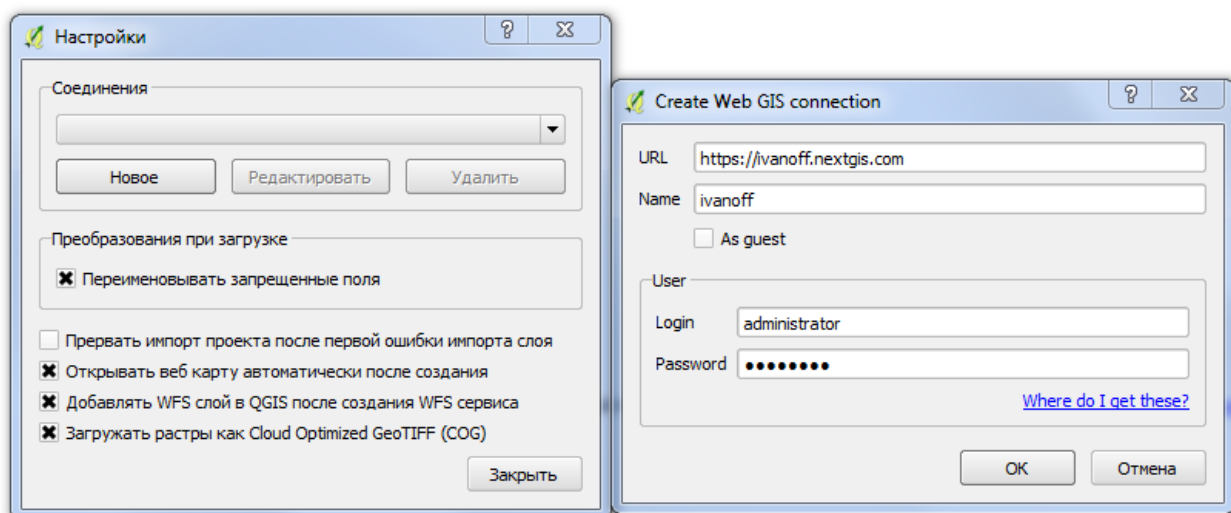


Рисунок 4.5 – Створення підключення

У програмі *QGIS* треба зібрати проект з потрібних шарів (векторних і растрових), налаштувати відображення.

Натисніть кнопку «Імпорт поточного проекту» для завантаження проекту у Веб ГІС (рис. 4.6).

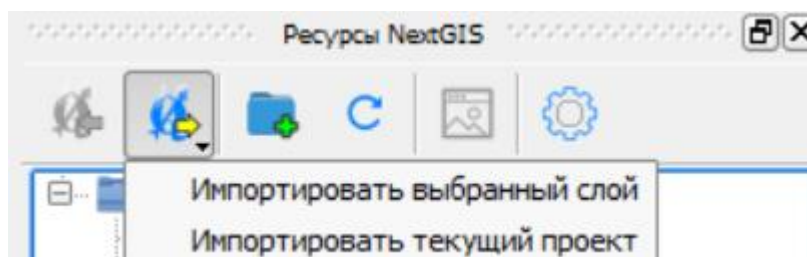


Рис. 4.6 – Імпорт проекту

У діалоговому вікні вкажіть назву нової Групи ресурсів, в яку буде завантажений проект.

Якщо проект завантажився успішно, то у відповідній Групі ресурсів з'явиться нова Група ресурсів з заданою назвою, всередині якої будуть знаходитися:

- всі Растрові і Векторні шари, для яких доступна операція Імпортувати обраний шар, а також їх Стили;

- веб-карта з заданим розширенням, на яку будуть додані всі імпортовані шари з урахуванням їх угруповання, ієрархії і видимості в панелі шарів *QGIS*.

Далі ми можемо відкрити карту за посиланням або натискаючи кнопку «Відкрити у браузері».

4.2.2 Опис розробленого плагіну РНО

Для реалізації методу визначення геоданих зон техногенного ризику АЗС автором був розроблений плагін для *QGIS* – *PHO* (Potentially hazardous object). Зовнішній вигляд вікна плагіну зображено на рис. 4.7.

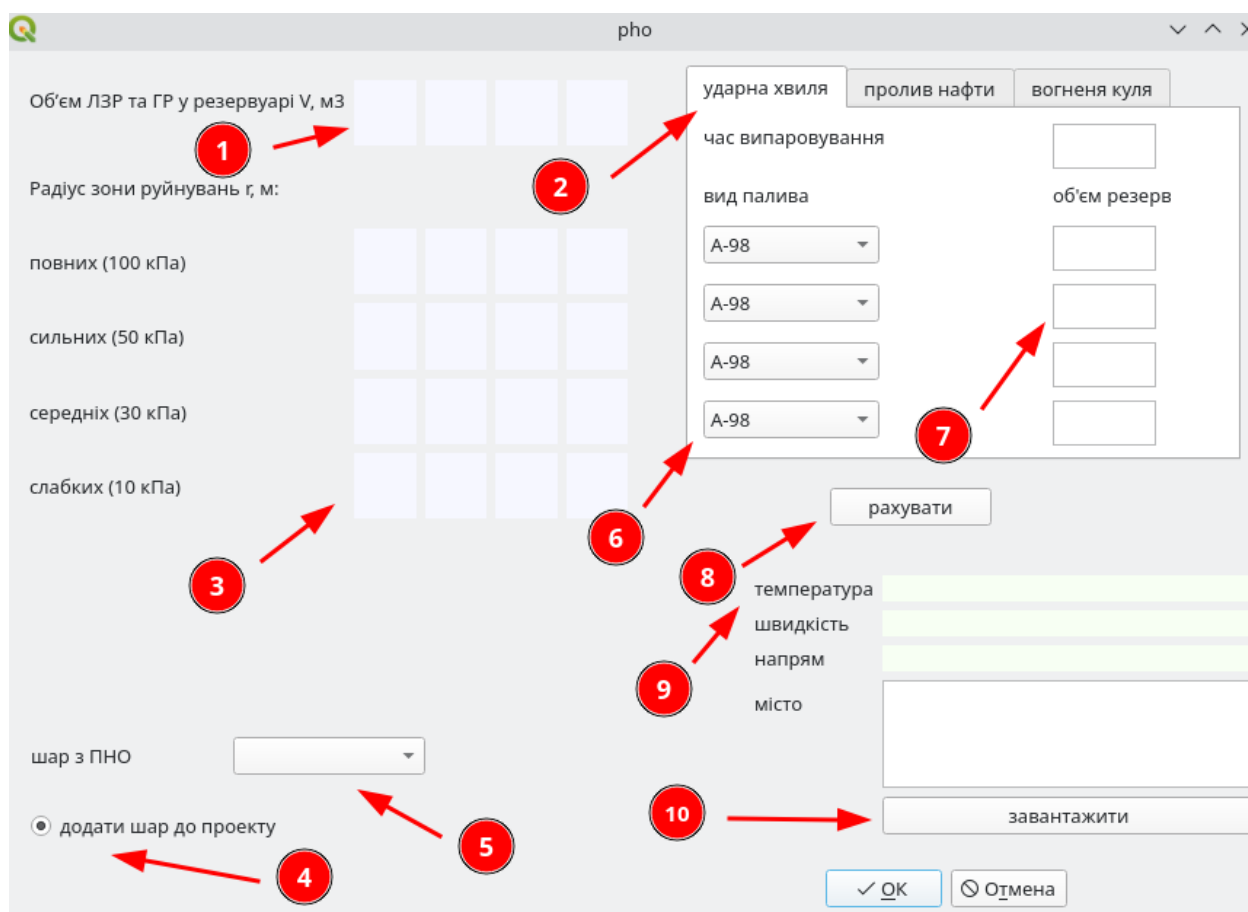


Рис. 4.7 – Зовнішній вигляд плагіну *PHO*

Цей плагін виконує розрахунок зон техногенного ризику, для цього йому потрібно завантажити динамічні дані про метеоумови. Динамічні дані заванта-

жуються після того як користувач введе поле «місто» назву населеного пункту та натисне кнопку 10, поле 9 заповнюється даними погоди для вибраного міста. Далі користувач у полі 6 може вибрати вид палива, поле 7 – це значення об'єму резервуару. Вибір вкладки 2 пов'язаний з визначенням типу методики розрахунку. Так, на вибір користувачу доступні такі методики як: розрахунок ударної хвилі, пролив нафти та «вогняної кулі». Після натискання кнопки 8 виконується розрахунок та заповнюються поля 3 та 1.

Використовуючи елемент 5, ми завантажуюмо шар з геоданими ПНО. Також є можливість додати шар з результатами розрахунку до QGIS використовуючи radiobutton 4. При натисканні кнопки «ОК» проводиться завантаження результатів розрахунків до бази даних. При натисканні кнопки «Отмена» плагін завершує роботу без збереження даних. Частину програмного коду реалізації плагіну відображено у Додатку Д.

4.3 Структура і функціонал PostGIS

Для збереження отриманої інформації була використана підсистема збереження інформації. Її основою є *PostGIS* [49].

PostGIS – це просторова СУБД. Просторова СУБД зберігає та обробляє просторові об'єкти поряд з іншими (простими) об'єктами в БД.

Дані, що зберігаються у підсистемі збереження, зображено на рис. 4.8. БД складається з наступних сутностей:

- *OSM* – дані, що завантажуються з сервісу *OpenStreetMap*;
- *OSM_settlement* – дані про конкретний населений пункт, що буде розглядатись при роботі у підсистемі;
- *PHO* – дані про ПНО, реалізовані відповідно до моделі геоданих АЗС (2.23);
- *RZM* – дані про модель зон техногенного ризику відповідно до обраного сценарію розвитку НС при моделюванні;
- *Weather* – часові динамічні дані про метеоумови відповідно до структури *Atemp* моделі (2.25).

Сутність *OSM_settlement* містить атрибути назва населеного пункту (*name_setl*), населення (*population*) та поштовий індекс (*psdcode*). Сутність *PHO* містить атрибути відповідно до моделі (2.23). До додаткових атрибутів цієї сутності відносяться: атрибут (*amenity*), що використовується плагіном *QuickOSM*

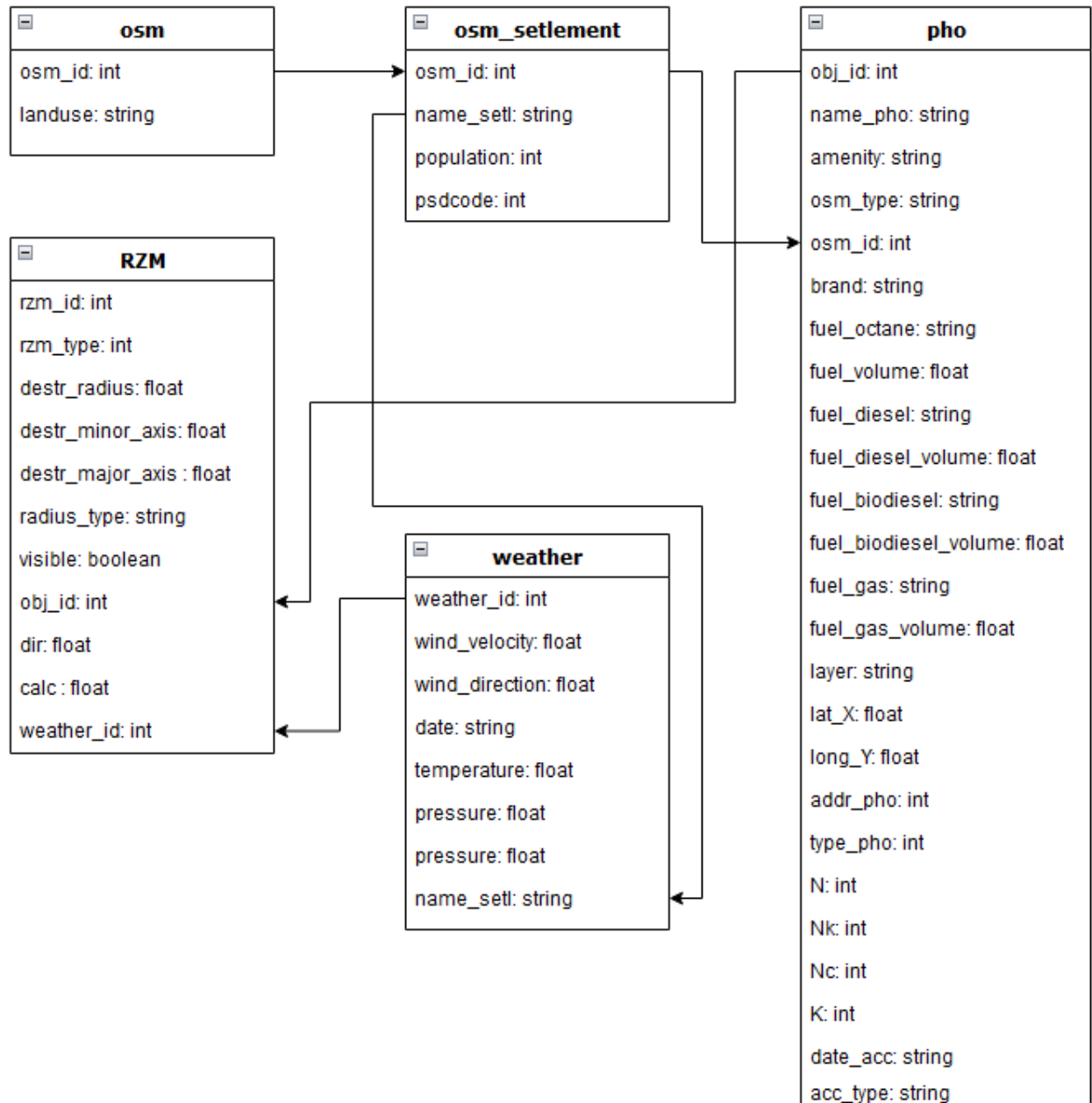


Рис. 4.8 – Структура даних, що використовується в *PostGIS* автором

(докладніше в розділі 3.2.1), атрибути для додаткових видів палива – біодизеля та природного газу (*fuel_biodiesel*, *fuel_gas*), а також атрибут, пов'язаний з ти-

пом візуалізації $Type_{vis}$ (layer). Сутність *Weather* складається з атрибутів відповідно до кортежу *Atemp* (2.25). Сутність *RZM* представлена атрибутами відповідно до моделей зон техногенного ризику (2.28-2.30).

Зв'язки між сутностями реалізовані наступним чином: сутність *OSM* пов'язана з сутністю *OSM_settlement*, сутність *OSM_settlement* – з сутностями *OSM*, *Weather* та *PHO*, сутність *PHO* – з сутностями *OSM_settlement* та *RZM*, сутність *RZM* – з сутностями *PHO* та *Weather*, сутність *Weather* – з сутностями *OSM_settlement* та *RZM*. Більш детально зв'язки представлені на рис. 4.8.

4.4 Опис інтерфейсу користувача

Дана інформаційна підсистема призначена для роботи з двома типами користувачів:

- експерт, який безпосередньо займається обробкою і візуалізацією даних від ПНО;
- користувач, який може скористатися результатом візуалізації для своїх особистих цілей.

Права експерта:

- управління даними;
- обробка даних;
- візуалізація даних.

Права користувача:

- аналіз результатів візуалізації;
- перегляд об'єктів соціального значення.

Діаграму прецедентів підсистеми зображено на рис. 4.9, яка відображає взаємодію користувачів з інформаційною підсистемою.

При проектуванні спеціалізованої ГІС визначено функціональні та нефункціональні вимоги та наведено діаграму класів.

Функціональні вимоги:

Ф1 Функція обробки даних.

Ця функція доступна для експерта.

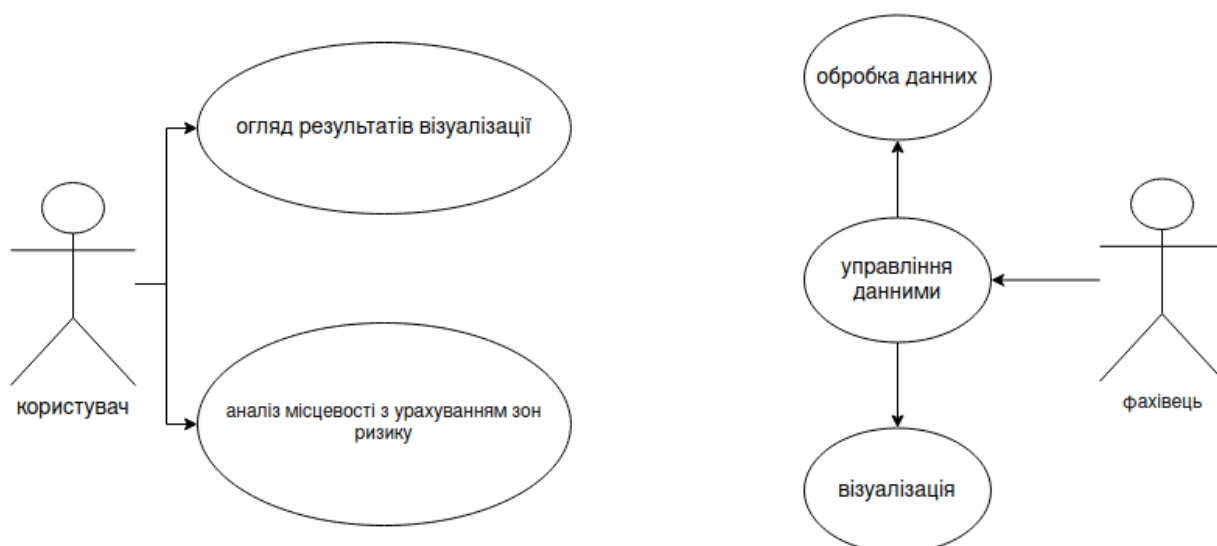


Рис. 4.9 – Діаграма прецедентів інформаційної підсистеми

ФВ1.1 Функція підрахунку параметрів і представлення даних про ПНО:

Об'єм ЛЗР та ГР у резервуарі, м^3 ;

Маса ЛЗР та ГР, яка потрапила до навколишнього середовища m , кг;

Площа проливу ЛЗР та ГР F , м^2 ;

Радіуси зони руйнувань r , м.

ФВ1.2 Якщо дані введені некоректно, система повинна видати повідомлення про помилку.

ФВ 1.3 У разі успіху, система відобразить результати обчислень.

Ф2 Функція візуалізації даних.

Ця функція доступна тільки експерту.

ФВ2.1 Функція візуалізації даних про ПНО:

Представлення обчислених даних у вигляді полігонів на мапі;

Представлення даних про об'єкти в зоні ризику на мапі.

ФВ2.2 Якщо дані введені некоректно, система повинна видати повідомлення про помилку з зазначенням, що саме невірно.

ФВ2.3 У разі успішної візуалізації данні зон ризику від ПНО будуть зображені на мапі.

Ф3 Функція аналізу місцевості з урахуванням зон ризику.

Ця функція доступна експерту та користувачу.

ФВ3.1 В результаті успіху з'являється можливість побачити на карті зони ризику від ПНО.

ФВ3.2 Якщо дані введені некоректно, система повинна видати повідомлення про помилку з зазначенням, що саме некоректно.

Ф4 Функція огляд результатів візуалізації.

Ця функція доступна експерту та користувачу.

ФВ4.1. У разі успішної візуалізації зон ризику від ПНО ці зони будуть зображені на мапі у вигляді полігонів (приклад для моделі ударної хвилі):

Зони руйнувань:

- повних (100 кПа);
- сильних (50 кПа);
- середніх (30 кПа);
- слабких (10 кПа).

ФВ4.2 У разі відмови або помилки, система повинна видати повідомлення про помилку з зазначенням, що саме некоректно.

Нефункціональні вимоги:

- сайт буде запускатися на наступних браузерях:
 1. Mozilla FireFox, версія 40;
 2. Opera, версія 30 і вище;
 3. Chrome, версія 40 і вище;
- цільовою платформою може бути: Windows 7 32/64 bit, 8 32/64 bit, 10 32/64 bit, UNIX;
- сайт повинен мати високу доступність (не менше 22 годин на добу);
- безпека.

За вимогами безпеки, необхідно передбачити заходи щодо захисту контенту сайту від несанкціонованого доступу третіх осіб. Паролі та логіни адміністратора повинні шифруватися. Дані користувача повинні зберігатися в базі даних.

Діаграма класів (ДК) – статичне представлення структури моделі. Відображає статичні (декларативні) елементи, такі як: класи, типи даних, їх

зміст та відношення. ДК може містити позначення для пакетів та може містити позначення для вкладених пакетів. Також вона може містити позначення деяких елементів поведінки, однак їх динаміка розкривається в інших типах діаграм. ДК слугує для представлення статичної структури моделі системи в термінології класів об'єктно-орієнтованого програмування [51]. ДК розробленої підсистеми зображено на рис. 4.10.

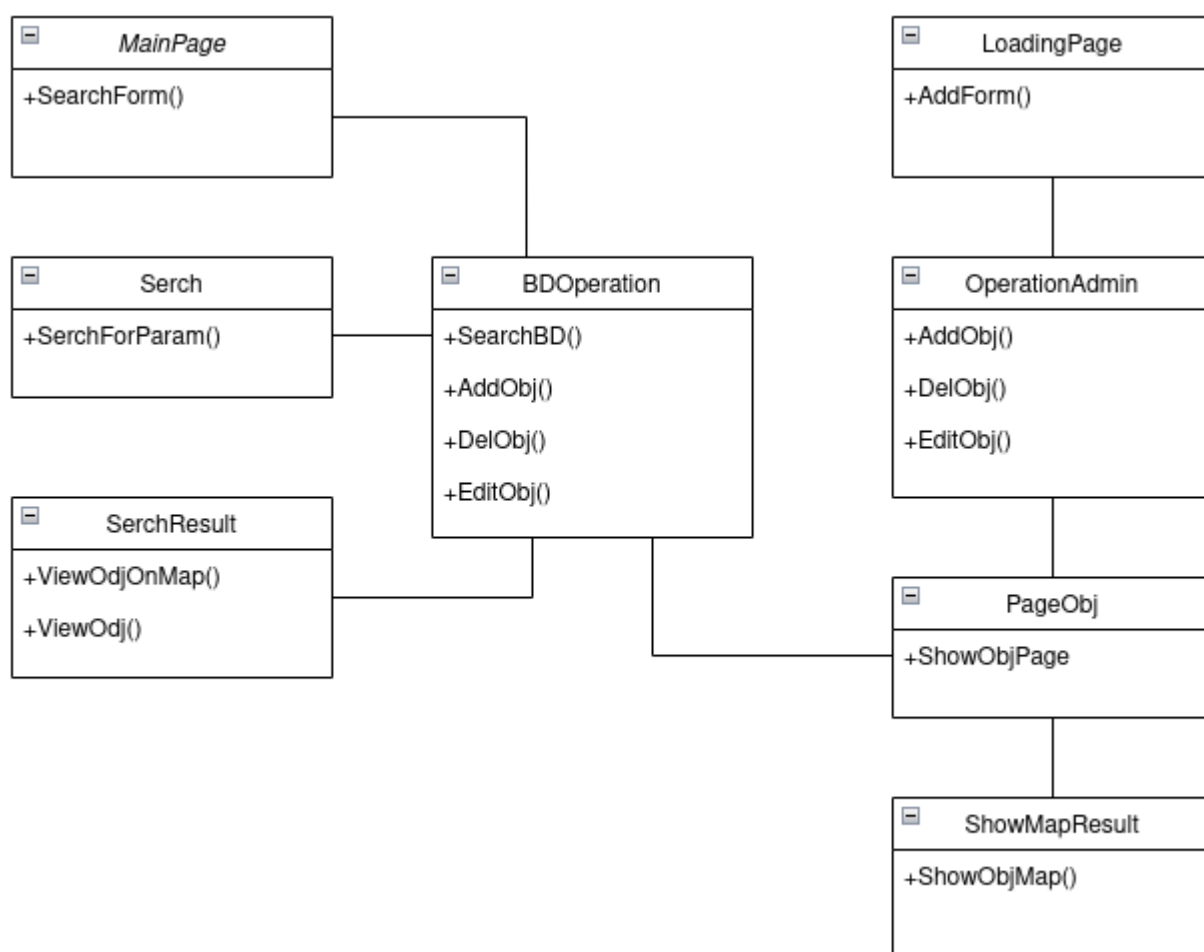


Рисунок 4.10 – Діаграма класів ІС

Опис компонентів діаграми класів ІС:

- MainPage – клас, який реалізує головну сторінку;
- Search – клас, який реалізує фільтр для пошуку об'єктів по параметрах;
- SearchResult – клас, який реалізує відображення об'єкта на карті з докладною інформацією про об'єкт;

- BDOperation – клас, який реалізує роботу з БД, пошук по параметрам, додавання, видалення, редагування об’єктів;
- LoadingPage – клас, який реалізує сторінку і форми для додавання/редагування об’єктів;
- OperationAdmin – клас, який реалізує роботу менеджера на сторінці (додавання, видалення, редагування);
- PageObj – клас, який реалізує сторінку з об’єктом;
- ShowMapResult – клас, який реалізує відображення редагованого об’єкту на карті.

Графічний інтерфейс спеціалізованої ГІС представляє собою веб-додаток. В основі призначеного для користувача інтерфейсу буде карта, ліворуч меню (фільтр) для вибору необхідних параметрів візуалізації (рис. 4.11).

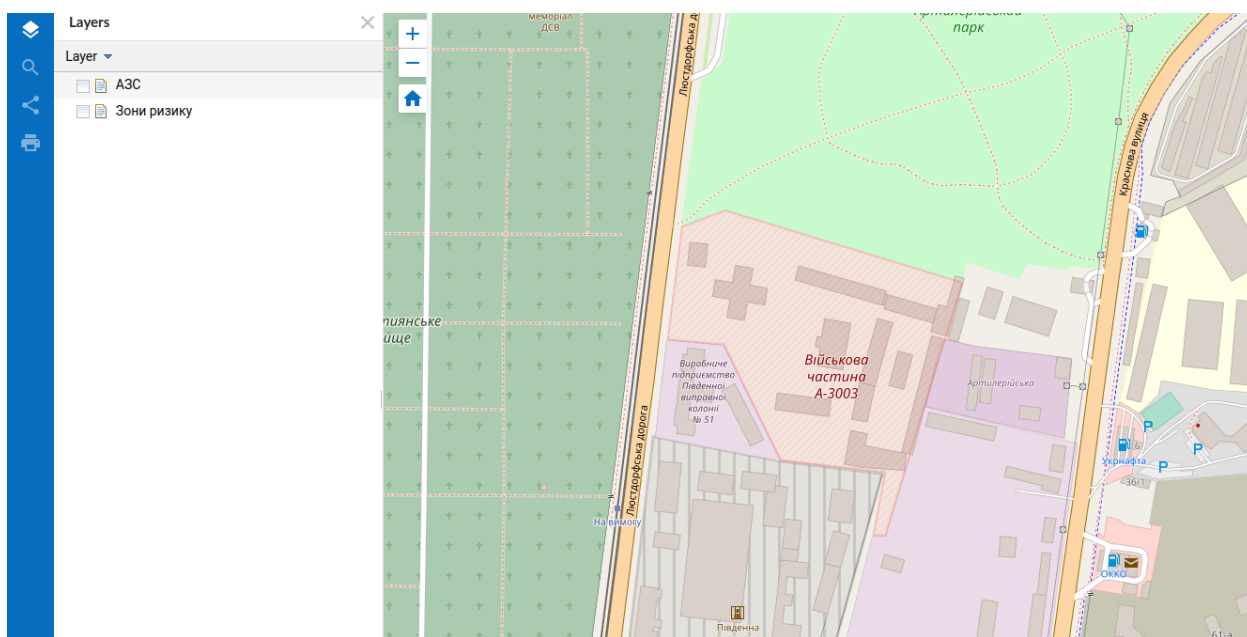


Рис. 4.11 – Вигляд головної сторінки

Після обраних користувачем необхідних показників, на карті з’являються полігони з зонами ризику, також можна переглянути атрибутивну інформацію щодо об’єкта (рис. 4.12).

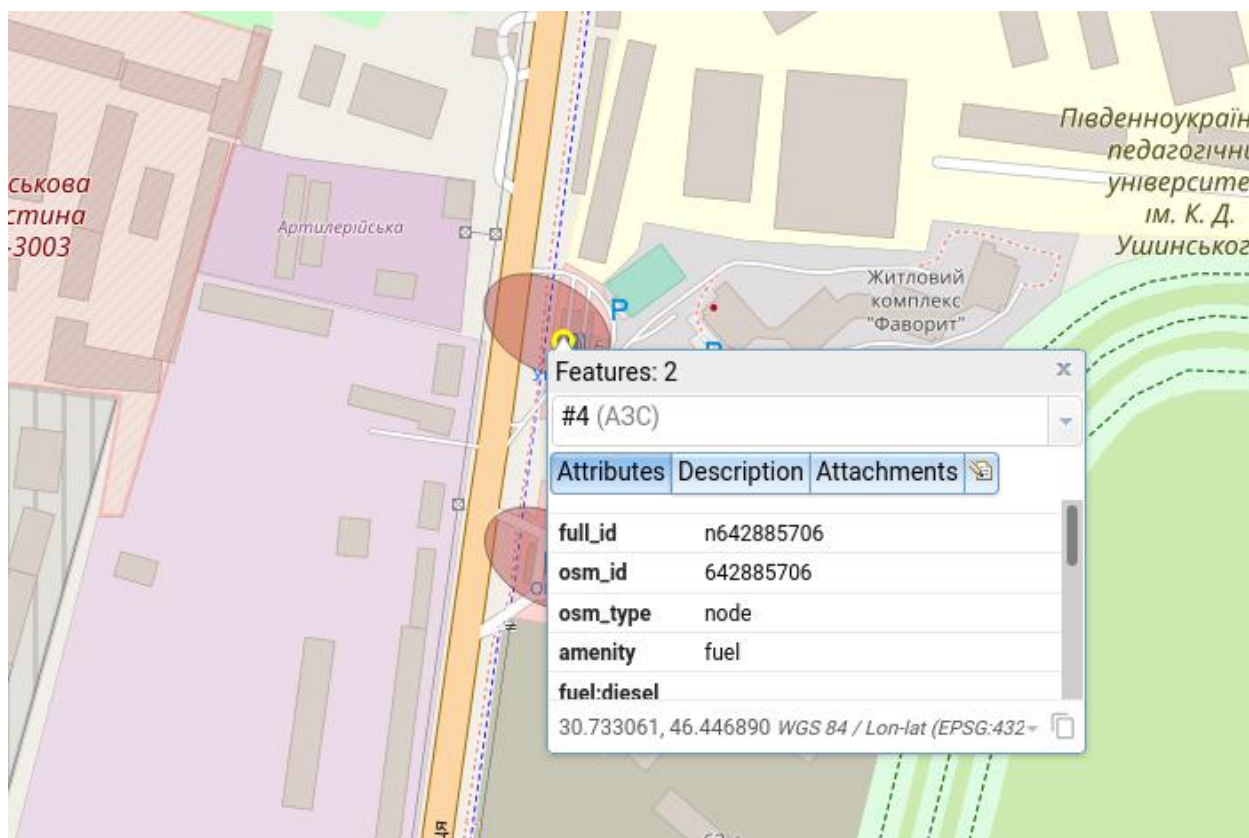


Рис. 4.12 – Приклад відображення на карті вибраного об'єкту

4.5 Тестування програми

При розробці спеціалізованої ГІС були використані модульне, функціональне та навантажувальне тестування.

Протокол проведення модульного тестування:

Тест 1. Передача функції AddObj() у поле «об'єм резервуара» літерного значення. Функція повинна вивести запобігання про те, що значення неприпустимо. Результат тесту: в результаті тесту ми отримуємо, що повідомлення виведене.

Тест 2. Передача функції AddObj() у поле «місто» цифрового значення. Функція повинна вивести запобігання про те, що значення неприпустимо. Результат тесту: в результаті тесту ми отримуємо, що повідомлення виведене.

Тест 3. Передача функції AddObj() у поле «об'єм» літерного значення. Функція повинна вивести запобігання про те, що значення неприпустимо. Результат тесту: в результаті тесту ми отримуємо, що повідомлення виведене.

Протокол проведення функціонального тестування відображений в таб-

лиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Функціональне тестування

Номер тест-кейса	Тест	Отриманий результат	Коментар, що демонструє збіг результатів, або їх розбіжність
Тест-кейс №1	Введення не існуючої пари «Логін + Пароль».	Видана помилка про те, що не існує такої пари.	Результати повністю збіглися.
Тест-кейс №2	Імпортуємо файл для завантаження об'єктів в форматі .mp4	Видане повідомлення про неправильному форматі файлу, що імпортується.	Результати повністю збіглися.
Тест-кейс №3	Залишаємо обов'язкові для заповнення поля порожніми.	Видане повідомлення про необхідність заповнити порожні поля.	Результати повністю збіглися.
Тест-кейс №4	Залишаємо поля для пошуку порожніми.	Результат пошуку є всі зареєстровані об'єкти	Результати повністю збіглися.
Тест-кейс №5	Під час пошуку обираємо показник «АЗС»	На карті позначені на карті зображуються точки АЗС	Результати повністю збіглися.

Протокол навантажувального тестування. Для навантажувального тестування нами був обраний сервіс loadly [52]. Подивимося результати тестування (рис. 4.13).

Результат перевірки <https://ivanoff.nextgis.com/resource/36/display?panel=layers> за 3 декабля 2021 г. 18:47:24

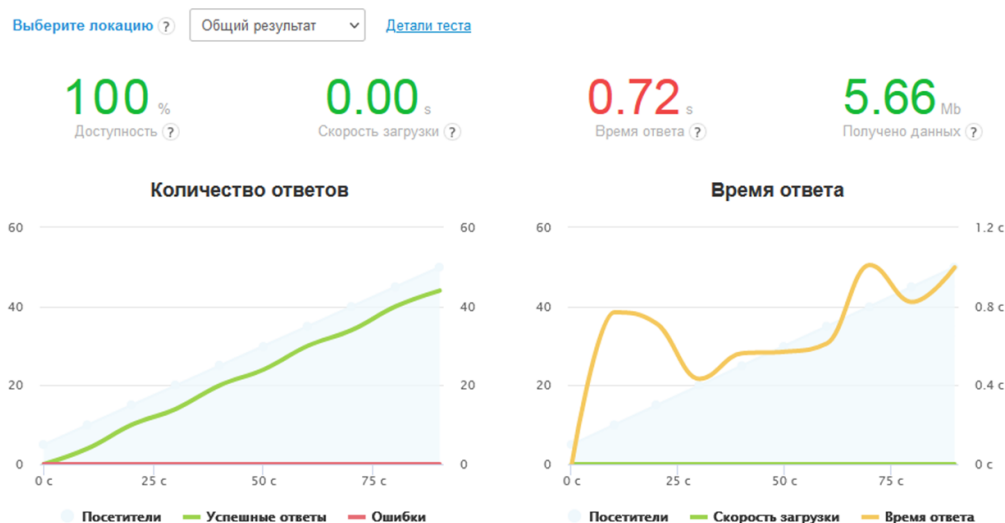


Рис. 4.13 – Результати навантажувального тестування

Навантажувальні тести пройшли успішно, як бачимо, результати тесту в межах норми, окрім середнього часу відгуку при навантаженні 50 користувачів (0,72 с). Так само варто зауважити, що кількість запитів відповідає кількості відповідей, не виявлено жодної помилки.

4.6 Висновки до четвертого розділу

У четвертому розділі дисертаційного дослідження розроблено підсистему аналізу та візуалізації геоданих зон техногенного ризику в *QGIS* та показано її переваги при вирішенні практичних задач.

Наведено загальну структуру спеціалізованої ГІС у вигляді взаємозв'язку наступних блоків: відкритого картографічного сервісу *OpenStreetMap* для отримання початкової картографічної інформації (або просторових даних), метео сервісу *OpenWeather* з відкритим *API* для отримання часових динамічних даних про метеоумови, бази геоданих (*PostGIS*), яка реалізована у вигляді розширення до *PostgreSQL*, веб-браузера, серверної Веб ГІС (*NextGIS*). Наведено детальний опис бази геоданих *PostGIS*.

Наведено опис функціональних можливостей розроблених та вбудованих плагінів *QGIS*: *QuickOSM* та *QuickMapServices* формують та обробляють запити до *OpenStreetMap* та відображають географічні об'єкти; *Buffer*, *Shape Tools*, *Multi Ring Buffer*, *Multi-distance buffer* із даних розрахунків будують буфери у вигляді полігонів різної форми; *NextGIS Connect* завантажує дані з локальної *QGIS* на Веб ГІС *NextGIS*, що робить перегляд мапи із зонами ризику АЗС доступним для широкого кола зареєстрованих веб-користувачів.

Показано всі складові етапів проектування, реалізації та тестування плагіна *PHO* (Potentially hazardous object) та його функціональні можливості щодо визначення та візуалізації геоданих зон техногенного ризику засобами *QGIS*.

Здійснені практичні випробування підсистеми в спеціалізованій ГІС, яку було розгорнуто в ТОВ «Центр екологічної безпеки» міста Одеси, показали більш ніж вдвічі скорочення часу для експертів на визначення сценарію розви-

тку аварії на потенційно небезпечному об'єкті, що підтверджується відповідним актом впровадження (Додаток Б).

ВИСНОВКИ

Результати, отримані в рамках дисертаційного дослідження, спрямовані на вирішення актуальної науково-технічної задачі зниження часу на визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті за рахунок розробки моделей і методів аналізу та візуалізації зон техногенного ризику АЗС в геоінформаційних системах.

На основі проведених досліджень отримані наукові та науково-практичні результати, які вносять істотний внесок у подальший розвиток ГІС на базі удосконалення моделей геоданих статичних об'єктів (АЗС) та динамічних подій (ударна хвиля, пожежа проливу нафтопродуктів і «вогняна куля»), а також методів визначення та візуалізації геоданих зон техногенного ризику при розвитку аварії за заданим сценарієм.

Виконано аналіз існуючих методів, методик та комп'ютерних систем для визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті та встановлено, що їх практичне використання ускладнює оперативне визначення зон ризиків, хоча у зв'язку зі значним збільшенням кількості АЗС існує запит практики на отримання оперативного публічного попередження про зони та рівень техногенного ризику від АЗС, особливо розташованих на території мегаполісів. Виконано аналіз вбудованих засобів існуючих картографічних сервісів та показано обмеженість існуючих ГІС щодо аналізу та візуалізації зон техногенного ризику.

Розроблено модель геоданих статичних об'єктів (АЗС), яка містить атрибутивну (тематичну та часову) і просторову складову геоданих, а також моделі геоданих динамічних подій (зон техногенного ризику від ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі»). На основі розроблених моделей створено спеціалізовану базу геоданих з використанням додаткових можливостей *PostGIS*, яка реалізована у вигляді розширення до СУБД *PostgreSQL*.

На основі розроблених моделей геоданих АЗС та зон їх ризику від ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі» розроблено методи

визначення та візуалізації зон техногенного ризику при розвитку небезпечної ситуації на АЗС. Наведені експериментальні дані розрахунків підтверджують їх відповідність даним про зони ризику, які отримані за теоретичними методиками. Розроблені методи є основою для створення спеціалізованого плагіну *PHO*. Реалізація *PHO* в якості вбудованого засобу в *QGIS* розширило її можливості щодо побудови та візуалізації зон ризику на мапі мегаполісу.

На базі *QGIS* розроблено ГІС, яка використовує відкриті *API* доступу для обміну інформацією з *OpenStreetMap*, *OpenWeather*, *PostGIS* та *NextGIS*, а також розроблений плагін *PHO* для надання експертам-екологам розширених можливостей аналізу геоданих зон техногенного ризику мережі АЗС, які візуалізовано на мапі. Практичні випробування ГІС в ТОВ «Центр екологічної безпеки» міста Одеси показали більш ніж вдвічі скорочення часу для експертів на визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті, що підтверджується відповідним актом впровадження. Можливість завантаження даних з локальної *QGIS* на Веб ГІС *NextGIS* робить перегляд мапи із зонами ризику АЗС доступним для широкого кола зареєстрованих веб-користувачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kateryna Vasiutynska, Olena Arsirii, Oleksii Ivanov. Development of the method for assessing the action zones of hazards in an emergency at a city filling station using geoinformation technology. *Technology Audit and Production Reserves*. 2017. Vol. 6, No. 3 (38). P. 29-38. DOI: 10.15587/2312-8372.2017.119505 URL: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/119505> (last accessed: 10.12.2021).
2. Kateryna Vasiutynska, Sergej Smyk, Oleksii Ivanov, Irina Shevchuk. Visualization of the pool fire action zones with using MapInfo GIS for the number of filling stations of the Odessa (Ukraine) residential district. *Technology Audit and Production Reserves*. 2017. Vol. 1, No. 3 (39). P. 30-39. DOI: 10.15587/2312-8372.2018.124241 URL: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/124241> (last accessed: 10.12.2021).
3. Елена Арсирій, Екатерина Васютинская, Алексей Иванов. Мониторинг данных о техногенной обстановке урбанизированных территорий для обеспечения их устойчивого развития. *Международный журнал «Устойчивое развитие»*. Варна, Болгария, 2018. № 1/2018. С. 12-17. URL: <https://maurorg77.wixsite.com/maur-org-ru/arhiv-1> (дата звернення: 10.12.2021).
4. Елена Арсирій, Сергей Смык, Алексей Иванов, Анна Панькина. Визуализация ограниченных региональных данных в процессе экологического мониторинга. *Международный журнал «Устойчивое развитие»*. Варна, Болгария, 2019. № 2/2019. С. 22-29. URL: <https://maurorg77.wixsite.com/maur-org-ru/arhiv-1> (дата звернення: 10.12.2021).
5. Olena O. Arsirii, Oleksii V. Ivanov, Sergiy Yu. Smyk. Risk zones from the filling stations modelling with application of geoinformation technology. *Herald of Advanced Information Technology*. 2021. Vol. 4, No. 1. P. 84-95. DOI: 10.15276/hait.01.2021.8 URL: <https://hait.opu.ua/?fetch=articles&with=info&id=81> (last accessed: 10.12.2021).
6. Іванов О. В., Васютинська К. А., Макаров О. В. Моделювання техногенних ризиків з використанням ГІС-технологій. Збірник тез доповідей V Українсько-німецької конференції «Інформатика. Культура. Техніка» (Одеса, Україна). Одеський національний політехнічний університет. 22-26 травня 2017 р. Одеса : Політехперіодика, 2017. С. 121–122. URL: <http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/4204> (дата звернення: 10.12.2021).
7. Ivanov O., Vasutinska K., Makarov O. Modelowanie technogennych ryzyk z zastosowaniem GIS-technologii. Book of abstracts «*Horizons of Science 2017. Forum of Diploma Theses*» (Kraków, Poland). Uniwersytet Jagielloński. 23-24 maja 2017. Kraków : "Paor" Orscy Sp. J., 2017. P. 27.

8. Иванов А. В., Арсирій Е. А. Особенности анализа пространственно-распределенных данных о техногенной обстановке урбанизированных территорий. Матеріали *Восьмої Міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених «Сучасні інформаційні технології 2018»* (Одеса, Україна). Одеський національний політехнічний університет. 23-25 травня 2018 р. Одеса : Екологія, 2018. С. 138-139. URL: <http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/8032> (дата звернення: 10.12.2021).

9. Иванов О. В., Арсирій О. О., Васютинська К. А., Смик С. Ю. Метод цифровой обработки данных дистанционного зондирования для дослідження динаміки зеленых насаждений. Збірник тез доповідей *VI Українсько-німецької конференції «Інформатика. Культура. Техніка»* (Одеса, Україна). Одеський національний політехнічний університет. 12-22 вересня 2018 р. Одеса, 2018. С. 64–65.

10. Иванов О. В., Арсирій О. О. Метод візуалізації даних моніторингу атмосферного забруднення із використанням ГІС-технологій. Матеріали *VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи і технології»* (Одеса, Україна). Одеський національний політехнічний університет. 23-25 вересня 2019 р. Одеса : Екологія, 2019. С. 129-131. DOI: 10/1016/2309-5180-2016-8-4-223-231

URL: <http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/8900> (дата звернення: 10.12.2021).

11. Ivanov O. V., Arsirii O. O., Smyk S. Yu. Modelling the state of gas stations in the construction of specialized GIS. Матеріали *VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформатика. Культура. Технології» ІКТ-2021* (Одеса, Україна). Державний університет «Одеська політехніка». 13-14 травня 2021 р. Одеса, 2021. С. 114-116.

12. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2020 році. *ДСНС України* : веб-сайт. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Zvitni-materiali-Derzhavnoyi-sluzhbi-Ukrayini-z-nadzvichaynih-situaciy.html>. (дата звернення 12.12.2021).

13. Про об'єкти підвищеної небезпеки : Закон України від 18.01.2001 р. № 2245-III. *Відомості Верховної Ради України*. 2001. № 15. С. 73.

14. Про затвердження Методики визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки : наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 04.12.2002 р. № 637. URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0637203-02#Text>. (дата звернення 12.12.2021).

15. ДСТУ 7134:2009. Державний реєстр потенційно небезпечних об'єктів. [Чинний від 2010-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держпоживстандарт України, 2010. 14 с.

16. Класифікатор потенційно небезпечних об'єктів. *Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи* : електр. ресурс. URL: https://www.dsns.gov.ua/UserFiles/File/2009/12_03_09_Klass_PNO.pdf. (дата звернення 12.12.2021).

17. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. [Чинний від 2019-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 185 с.

18. Державна служба статистики України : веб-сайт. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 10.12.2021).

19. Михайлюк О.П., Кравців С.Я. Проблеми забезпечення пожежовибухобезпеки автозаправних станцій. *Проблеми пожежарної безпеки*. 2012. вып. 32. С. 149–154. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2150>. (дата звернення: 10.12.2021).

20. Радченко Ю.С. Оценка последствий аварий на автозаправочных станциях. *Труды БГТУ. Сер. 4, Химия, технология органических веществ и биотехнология*. 2008. вып. XVI. С. 125–129. URL: <https://catalog.belstu.by/catalog/trudy/doc/8990/info>. (дата звернення: 10.12.2021).

21. Гражданская защита области : учебник / Д. И. Мазоренко и др. Харьков : КП «Друкарня № 13», 2007. Т. 2. 540 с.

22. Екологічний ризик: методологія оцінювання та управління : навч. посібник / Г. В. Лисиченко та ін. Київ : Наук. думка, 2014. 328 с.

23. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2016. 34 с.

24. Геоінформаційні технології в екології : навч. посібник / І. В. Пітак та ін. Суми, 2012. 273 с.
25. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Геоинформационные системы : Учебное пособие. М. : МГУПС (МИИТ), 2015. 97 с.
26. Самардак А. С. Геоинформационные системы : электронный учебник. Владивосток, 2005. 124 с.
27. Карінцева О. І. Науково-методичний підхід до оцінювання екологічного ризику різних видів економічної діяльності. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2017. № 3. С. 378-388. DOI: 10.21272/mmi.2017.3-35.
28. Козуля Т. В., Ємельянова Д. І. Екологічний ризик на різних рівнях дослідження природно-техногенних систем, інформаційне забезпечення його оцінки. *Проблеми інформаційних технологій*. 2015. № 17. С. 138-144.
29. Zhao M., Liu X. Regional risk assessment for urban major hazards based on GIS geoprocessing to improve public safety. *Safety Science*. 2016. Vol. 87, P. 18-24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.03.016>.
30. Дроздова Т. И., Деревянченко И. С. Прогнозный анализ техногенных рисков при сливно-наливных операциях на автозаправочной станции г. Свирска. *XXI век. Техносферная безопасность*. 2019. № 4(2). С. 171-188. DOI: <http://doi.org/10.21285/2500-1582-2019-2-171-188>.
31. Yoo B., Choi S.D. Emergency evacuation plan for hazardous chemicals leakage accidents using GIS-based risk analysis techniques in South Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. Vol. 16, No 11: 1948. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16111948>.
32. Біккузін К. В. ГІС технології в управлінні корпоративними об'єктами. *Системи обробки інформації*. 2012. Вип. 4 (102), том 1. С. 149-152. URL: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/9746/eng>. (дата звернення: 10.12.2021).
33. Ночвай В., Криваковська Р., Іщук О. Використання ГІС у задачах управління якістю повітря. *Електроніка та інформаційні технології*. 2012. Вип. 2. С. 154-163. URL: http://elit.lnu.edu.ua/issue_en.php?lang=eng&number=2&num

art=19. (дата звернення: 10.12.2021).

34. Мокін В. Б., Собко Б. Ю., Жуков С. О. Технологія оцінювання комплексного екологічного ризику за допомогою веб-сервісу. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2017. № 2. С. 24-31. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/2027>. (дата звернення: 10.12.2021).

35. Шевченко Р. Ю. Мобільна геоінформаційна система екологічного моніторингу міста Києва як науково-методологічна модель запобігання ризикам антропогенного впливу. *Екологічні науки*. 2019. Вип. 2 (25). С. 55-63. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-2-25-9>.

36. Матейчик В. П., Вайганг Г. О., Римарук К. В. До вибору ГІС-програм для візуалізації рівня забруднення автомобільних доріг. *Вісник Національного транспортного університету*. К. : НТУ, 2013. Вип. 27. С. 125-130.

37. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. [Чинний від 2011-11-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 127 с.

38. Стеблюк М. І. Цивільна оборона : Підручник. К. : Знання, 2006. 487 с.

39. ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2007-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 31 с.

40. Тищенко Н. Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. Справ. изд. М. : Химия, 1991. 368 с.

41. ГОСТ Р 12.3.047-2012. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. [Дата введения 2014-01-01]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103505> (дата звернення: 10.12.2021).

42. Посібник з практичного застосування ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» / за ред. В. Ю. Руденка. Київ : ТОВ «Київська книжково-журнальна фабрика», 2018. 192 с.

43. QGIS. Вільна географічна інформаційна система з відкритим кодом: веб-сайт. URL: <https://qgis.org/uk/site/> (дата звернення: 12.12.2021).
44. OpenStreetMap : веб-сайт. URL: <https://www.openstreetmap.org> (дата звернення: 12.12.2021).
45. Searching and Downloading Open-StreetMap Data (QGIS3) – QGIS Tutorials and Tips : веб-сайт. URL: https://www.qgistutorials.com/en/docs/3/downloading_osm_data.html (дата звернення: 12.12.2021).
46. Державний реєстр потенційно небезпечних об'єктів : веб-сайт. URL: <https://рпо.gov.ua/> (дата звернення: 12.12.2021).
47. Current weather and forecast – OpenWeatherMap : веб-сайт. URL: <https://openweathermap.org/> (дата звернення: 12.12.2021).
48. Features – QGIS Documentation : веб-сайт. URL: https://docs.qgis.org/3.16/en/docs/user_manual/preamble/features.html (дата звернення: 12.12.2021).
49. PostGIS – Spatial and Geographic objects for PostgreSQL : веб-сайт. URL: <https://postgis.net/> (дата звернення: 12.12.2021).
50. NextGIS Connect: работаем с Веб ГИС из настольной ГИС : веб-сайт. URL: <https://nextgis.ru/blog/connect/> (дата звернення: 12.12.2021).
51. Rumbaugh J., Jacobson I., Booch G. The unified modeling language reference manual. Addison Wesley Longman Inc., 1999. URL: <https://archive.org/details/unifiedmodelingl00rumb> (дата звернення: 12.12.2021).
52. Loady – Нагрузочное тестирование сайта и сервера онлайн, стресс тест сайта : веб-сайт. URL: <https://loady.com/> (дата звернення: 12.12.2021).
53. PHO visualization-webmap | Геоинформационная система NextGIS : веб-сайт. URL: <https://ivanoff.nextgis.com/resource/36/display?panel=layers> (дата звернення 15.12.2021).
54. QRA software | Pipeline risk analysis | Safeti : веб-сайт. URL: <https://www.dnv.com/services/qra-software-safeti-1715> (дата звернення 10.12.2021).

55. SAPHIRE | Home : веб-сайт. URL: <https://saphire.inl.gov/#/> (дата звернення 10.12.2021).

56. PC COSYMA Version 2: an accident consequence assessment package for use on a PC | News | CORDIS | European Commission : веб-сайт. URL: <https://cordis.europa.eu/article/id/4488-pc-cosyma-version-2-an-accident-consequence-assessment-package-for-use-on-a-pc> (дата звернення 10.12.2021).

57. Streng D.L., Chamberlain P.J. Multimedia Environmental Pollutant Assessment System (MEPAS{reg_sign}): Exposure pathway and human health impact assessment models. United States : N. p., 1995. URL: https://www.osti.gov/biblio/70754-multimedia-environmental-pollutant-assessment-system-mepas-reg_sign-exposure-pathway-human-health-impact-assessment-models (дата звернення 10.12.2021). DOI: <https://doi.org/10.2172/70754>.

58. Программный комплекс TOXI+Risk 5 / TOXI+ : веб-сайт. URL: <https://toxi.ru/produkty/programmnyi-kompleks-toxirisk-5> (дата звернення 10.12.2021).

59. Система ИО органов управления Гос. власти / RCNTEC : веб-сайт. URL: <https://www.rcntec.com/ru/produkty/briz> (дата звернення 10.12.2021).

60. GRASS GIS – Bringing advanced geospatial technologies to the world : веб-сайт. URL: <https://grass.osgeo.org/> (дата звернення 10.12.2021).

61. uDIG : Home : веб-сайт. URL: <http://udig.refrations.net/> (дата звернення 10.12.2021).

62. SAGA – System for Automated Geoscientific Analyses : веб-сайт. URL: <http://www.saga-gis.org/en/index.html> (дата звернення 10.12.2021).

63. Home – Portal gvSIG : веб-сайт. URL: <http://www.gvsig.com/en> (дата звернення 10.12.2021).

64. ILWIS - 52° North Spatial Information Research GmbH : веб-сайт. URL: <https://52north.org/software/software-projects/ilwis/> (дата звернення 10.12.2021).

65. The MapWindow Project – Home : : веб-сайт. URL: <https://www.mapwindow.org/> (дата звернення 10.12.2021).

66. Бугаевский Л.М., Цветков В.Я. Геоинформационные системы : Учебное пособие для вузов. М. : 2000. 222 с.
67. Ананьев Ю.С. Геоинформационные системы : Учеб. пособие. Томск : Изд. ТПУ, 2003. 70 с.
68. Жуковский О.И. Геоинформационные системы : учебное пособие. Томск : Эль Контент, 2014. 130 с.
69. Ковин Р.В., Марков Н.Г. Геоинформационные системы : учебное пособие. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. 175 с.
70. Шипулін В.Д. Основні принципи геоінформаційних систем : навч. посібник. Х. : ХНАМГ, 2010. 313 с.
71. Тарадуда Д.В., Шевченко Р.І. Аналіз існуючої методологічної бази з оцінки небезпеки потенційно-небезпечних об'єктів. Національний університет цивільного захисту України. Електрон. дан. 2019. URL: http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Conferences/ProblemsOfTechnogenicAndNaturalSecurity/Taraduda_Shevchenko.pdf (дата звернення 10.12.2021).
72. Шевченко Р.І., Тарадуда Д.В., Палюх В.В. Аналіз методологічної бази з оцінки ризику виникнення аварії на потенційно небезпечних об'єктах. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2012. Вип. 16. С. 138-148.
73. Yisa J., Olubadewo-Joshua O., Okosun O.S. Utilization of GIS techniques as decision support system for location of filling stations in Minna, Niger State, Nigeria. *Geosfera Indonesia*. 2019. Vol. 4, No 3. P. 247-263. DOI: <https://doi.org/10.19184/geosi.v4i3.9713>.
74. Skjold T., Siccama D., Hiskens H., Brambilla A., Middha P., Groth K.M., LaFleur A.C. 3D risk management for hydrogen installations. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017. Vol. 42, P. 7721-7730. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.07.006>.
75. Fuentes-Bargues J.L., González-Cruz M.C., González-Gaya C., Baixauli-Pérez M.P. Risk analysis of a fuel storage terminal using HAZOP and FTA. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017. Vol. 14, No 7: 705. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph14070705>.

76. Бируля А.С., Гурин Н.И. Перспективы использования технологий трехмерной визуализации в интеллектуальных системах прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Информационные технологии : материалы 85-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 1-13 февраля 2021 г. Минск : БГТУ, 2021. С. 101-104. URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/41021> (дата звернення 10.12.2021).

77. Митакович С.А. Разработка систем прогнозирования чрезвычайных ситуаций на базе ГИС. *Геоматика*. 2014. № 4. С. 94-99.

78. Половков С.А., Гончар А.Э., Пугачева П.В., Слепнев В.Н. Разработка дополнительных защитных сооружений от разливов нефти, нефтепродуктов на основе трехмерного моделирования. Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2018. Т. 8. № 2. С. 197-205. DOI: 10.28999/2541-9595-2018-8-2-197-205.

79. Дранишников Л.В., Денисенко В.М., Найверт О.В. Автоматизована система раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення. Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. Технічні науки. 2016. Вип. 1. С. 143-148.

80. Козаченко Т.І. Геоінформаційне картографування техногенних загроз від потенційно небезпечних об'єктів. Вісник геодезії та картографії. 2012. № 1 (76). С. 14-25.

81. Жолобова О.И., Жолобов Д.А. Графическая визуализация рисков средствами геоинформационных систем. Вестник АГТУ. 2007. № 1 (36). С. 109-115.

ДОДАТОК А. Список публікацій здобувача за темою дисертації

Статті у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до Європейського Союзу

1. Елена Арсирий, Екатерина Васютинская, Алексей Иванов. Мониторинг данных о техногенной обстановке урбанизированных территорий для обеспечения их устойчивого развития. *Международный журнал «Устойчивое развитие»*. Варна, Болгария, 2018. № 1/2018. С. 12-17. URL: <https://maurorg77.wixsite.com/maur-org-ru/arhiv-1> (дата звернення: 10.12.2021).

2. Елена Арсирий, Сергей Смык, Алексей Иванов, Анна Панькина. Визуализация ограниченных региональных данных в процессе экологического мониторинга. *Международный журнал «Устойчивое развитие»*. Варна, Болгария, 2019. № 2/2019. С. 22-29. URL: <https://maurorg77.wixsite.com/maur-org-ru/arhiv-1> (дата звернення: 10.12.2021).

Статті у фахових наукових виданнях України

3. Kateryna Vasiutynska, Olena Arsirii, Oleksii Ivanov. Development of the method for assessing the action zones of hazards in an emergency at a city filling station using geoinformation technology. *Technology Audit and Production Reserves*. 2017. Vol. 6, No. 3 (38). P. 29-38. DOI: 10.15587/2312-8372.2017.119505 URL: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/119505> (last accessed: 10.12.2021).

4. Kateryna Vasiutynska, Sergej Smyk, Oleksii Ivanov, Irina Shevchuk. Visualization of the pool fire action zones with using MapInfo GIS for the number of filling stations of the Odessa (Ukraine) residential district. *Technology Audit and Production Reserves*. 2017. Vol. 1, No. 3 (39). P. 30-39. DOI: 10.15587/2312-8372.2018.124241 URL: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/124241> (last accessed: 10.12.2021).

5. Olena O. Arsirii, Oleksii V. Ivanov, Sergiy Yu. Smyk. Risk zones from the filling stations modelling with application of geoinformation technology. *Herald of Advanced Information Technology*. 2021. Vol. 4, No. 1. P. 84-95. DOI:

10.15276/hait.01.2021.8 URL: <https://hait.opu.ua/?fetch=articles&with=info&id=81> (last accessed: 10.12.2021).

Опубліковані праці апробаційного характеру

6. Іванов О. В., Васютинська К. А., Макаров О. В. Моделювання техногенних ризиків з використанням ГІС-технологій. Збірник тез доповідей *V Українсько-німецької конференції «Інформатика. Культура. Техніка»* (Одеса, Україна). Одеський національний політехнічний університет. 22-26 травня 2017 р. Одеса : Політехперіодика, 2017. С. 121–122. URL: <http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/4204> (дата звернення: 10.12.2021).

7. Ivanov O., Vasutinska K., Makarov O. Modelowanie technogennych ryzyk z zastosowaniem GIS-technologii. Book of abstracts *«Horizons of Science 2017. Forum of Diploma Theses»* (Kraków, Poland). Uniwersytet Jagielloński. 23-24 maja 2017. Kraków : "Paor" Orscy Sp. J., 2017. P. 27.

8. Іванов А. В., Арсирій Е. А. Особенности анализа пространственно-распределенных данных о техногенной обстановке урбанизированных территорий. Матеріали *Восьмої Міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених «Сучасні інформаційні технології 2018»* (Одеса, Україна). Одеський національний політехнічний університет. 23-25 травня 2018 р. Одеса : Екологія, 2018. С. 138-139. URL: <http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/8032> (дата звернення: 10.12.2021).

9. Іванов О. В., Арсірій О. О., Васютинська К. А., Смик С. Ю. Метод цифрової обробки даних дистанційного зондування для дослідження динаміки зелених насаджень. Збірник тез доповідей *VI Українсько-німецької конференції «Інформатика. Культура. Техніка»* (Одеса, Україна). Одеський національний політехнічний університет. 12-22 вересня 2018 р. Одеса, 2018. С. 64–65.

10. Іванов О. В., Арсірій О. О. Метод візуалізації даних моніторингу атмосферного забруднення із використанням ГІС-технологій. Матеріали *VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи і технології»* (Одеса, Україна). Одеський національний політехнічний універси-

тет. 23-25 вересня 2019 р. Одеса : Екологія, 2019. С. 129-131. DOI: 10/1016/2309-5180-2016-8-4-223-231 URL:

<http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/8900> (дата звернення: 10.12.2021).

11. Ivanov O. V., Arsirii O. O., Smyk S. Yu. Modelling the state of gas stations in the construction of specialized GIS. Матеріали *VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформатика. Культура. Технології» ІКТ-2021* (Одеса, Україна). Державний університет «Одеська політехніка». 13-14 травня 2021 р. Одеса, 2021. С. 114-116.

ДОДАТОК Б. Акт впровадження результатів у ТОВ «Центр екологічної безпеки»

ТОВ "Центр екологічної безпеки"

(Товариство з обмеженою відповідальністю)

код ЄДРПОУ 33072124

м. Одеса, вул. Братів Поджіо, 11, тел. (048) 706 36 92

Вих. № 1/12 від « 13 » грудня 2021 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Іванова Олексія Володимировича на тему:

«Моделі та методи аналізу зон ризику потенційно небезпечних об'єктів в геоінформаційних системах» під час проведення дослідницьких робіт на підприємстві

У рамках наукового дослідження Іванова О. В. розроблено моделі та методи аналізу та візуалізації зон техногенного ризику АЗС у геоінформаційних системах з метою зниження часу на визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті (ПНО). В якості прикладів ПНО досліджувалась мережа АЗС у м. Одеса при реалізації одного з несприятливих сценаріїв розвитку аварійної події. Під час проведення дослідницьких робіт на підприємстві, а також навчання співробітників роботі з розробленою ГІС досягнуті наступні результати:

1. Розроблені моделі та методи можуть бути використані для дослідження потенційно небезпечних об'єктів на будь-яких територіях (не лише міських) на предмет відповідності їх розміщення відповідним затвердженим нормативам з огляду на їх вплив на оточуюче середовище.

2. Використання розробленої ГІС дозволяє більш ніж вдвічі скоротити час для експертів на визначення сценарію розвитку аварії на потенційно небезпечному об'єкті, що є важливим не тільки під час виникнення аварійних ситуацій, але й при їх запобіганні.

3. Результати дисертаційної роботи можуть бути використані для навчання співробітників і підвищення їхньої кваліфікації, а також можуть слугувати основою для подальших розробок комплексних моделей та методів оцінки ПНО.

Вважаємо, що результати дисертаційної роботи можуть бути використані у навчальних програмах співробітників, а також для проведення подальших робіт із розширення підходу до комплексної оцінки стану техногенної безпеки міста.

Заступник директора
ТОВ «Центр екологічної безпеки»



Соловйов В.Г.
Соловйов В.Г.
тел. 067-484-50-34

**ДОДАТОК В. Довідка про впровадження результатів дисертаційної роботи
в навчальний процес Державного університету «Одеська політехніка»**

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Іванова Олексія Володимировича

«Моделі та методи аналізу зон ризику потенційно небезпечних об'єктів в
геоінформаційних системах»

у навчальний процес Державного університету «Одеська політехніка»

Довідка видана про те, що в програмах, навчально-методичних матеріалах та курсах лекцій з дисциплін «Організація баз та сховищ даних», «Сучасні технології баз даних» та «Ймовірнісні алгоритми та структури даних», що вивчаються на кафедрі Інформаційних систем Інституту комп'ютерних систем бакалаврами та магістрами спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» використовуються наступні наукові результати дисертації Іванова Олексія Володимировича:

- моделі геоданих автозаправної станції як потенційно небезпечного об'єкту та зон техногенного ризику від ударної хвилі, пожежі нафтопродуктів і вогняної кулі;
- методи визначення та візуалізації геоданих зон техногенного ризику при розвитку аварії за заданим сценарієм;
- підсистема аналізу та візуалізації геоданих зон техногенного ризику в QGIS з використанням СУБД PostGIS.

Практичне використання розроблених моделей, методів та підсистеми в спеціалізованій ГІС при розробці курсових та розрахунково-графічних в рамках зазначених дисциплін дозволило суттєво підвищити рівень їх практичного спрямування для студентів спеціальності 122 – «Комп'ютерні науки».

Перший проректор
д.т.н., професор

Голова методичної ради ІКС
к.т.н., доцент



С.А. Нестеренко

А.О. Ніколенко

02.04.2021 р.

**ДОДАТОК Г. Довідка про впровадження результатів дисертаційної роботи
у науково-дослідницькій діяльності Державного університету «Одеська
політехніка»**



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ODESSA POLYTECHNIC STATE UNIVERSITY

пр-т Шевченка, 1, м. Одеса-44, 65044 Україна
тел.: +38 048 7223474, факс: +38 048 7221992

Shevchenko ave., 1, Odessa-44, 65044 Ukraine
phone: +38 048 7223474, fax: +38 048 7221992

E-mail: mail@op.edu.ua https://op.edu.ua Код ЄДРПОУ 43861328

13.12.2021 № 2881/145-04
На № _____

Довідка

про використання результатів дисертаційної роботи
Іванова Олексія Володимировича

**Моделі та методи аналізу зон ризику потенційно небезпечних об'єктів в
геоінформаційних системах**
у науково-дослідницькій діяльності Державного університету
«Одеська політехніка»

Довідка видана в тому, що у науково-дослідницькій діяльності Державного університету «Одеська політехніка» використані наступні наукові результати, отримані у дисертаційній роботі Іванова Олексія Володимировича:

- моделі геоданих автозаправної станції як потенційно небезпечного об'єкту та зон техногенного ризику від ударної хвилі, пожежі проливу нафтопродуктів і «вогняної кулі»;
- методи визначення та візуалізації геоданих зон техногенного ризику при розвитку аварії за заданим сценарієм;
- підсистема аналізу та візуалізації геоданих зон техногенного ризику в QGIS з використанням СУБД PostGIS.

Дисертацію виконано згідно тематичних планів НДР ОНПУ за період 2017-2021 рр.

Іванов Олексій Володимирович був молодшим науковим співробітником за держбюджетною темою № 716-145 – «Інноваційна інтелектуальна інформаційна технологія аналізу та синтезу енергоефективних гідроаеродинамічних елементів та систем» (№ ДР 0121О111720).

Проректор



Д.В. Дмитришин

ДОДАТОК Д. Вихідний код програмних інструментальних засобів

Зовнішній вигляд плагіну *РНО*:

```
<class>sergDialogBase</class>
<widget class="QDialog" name="sergDialogBase">
  <property name="geometry">
    <rect>
      <x>0</x>
      <y>0</y>
      <width>870</width>
      <height>597</height>
    </rect>
  </property>
  <property name="windowTitle">
    <string>pho</string>
  </property>
  <widget class="QTabWidget" name="tabWidget">
    <property name="geometry">
      <rect>
        <x>470</x>
        <y>10</y>
        <width>381</width>
        <height>271</height>
      </rect>
    </property>
    <property name="currentIndex">
      <number>2</number>
    </property>
    <widget class="QWidget" name="tab">
      <attribute name="title">
        <string>ударна хвиля</string>
      </attribute>
      <widget class="QComboBox" name="cb_1">
        <property name="geometry">
          <rect>
            <x>10</x>
            <y>80</y>
            <width>121</width>
            <height>26</height>
          </rect>
        </property>
      </widget>
      <widget class="QLabel" name="label_6">
        <property name="geometry">
          <rect>
```

```

        <x>10</x>
        <y>50</y>
        <width>81</width>
        <height>18</height>
    </rect>
</property>
<property name="text">
    <string>вид палива</string>
</property>
</widget>

```

Реалізація розрахунку сценарію вибух ППС з утворенням ударної хвилі:

#Метод визначення зон ризику при виникненні ударної хвилі

```
#fuel
```

```
#a_93
```

```
k = 1
```

```
mk = 98.2
```

```
ak = 4.12311
```

```
bk = 664.976
```

```
ck = 221.695
```

```
qk = 43641000
```

```
q0 = 4520000
```

```
z = 0.1
```

```
p0 = 101.3
```

```
mv = 0.06
```

```
tvip = 55
```

```
temperature = 29
```

```
volume = 40
```

```
g = 9.81
```

```
fb = volume*1000*0.15
```

```
print("fb ", fb)
```

```
ph = 10**(ak-(bk/(ck+temperature)))
```

```
print("ph ", ph)
```

```
w = (10**(-6))*math.sqrt(mk)*ph
```

```
print("w ", w)
```

```
m = w*fb*tvip
```

```
print("m ", m)
```

```
mpr = (qk/q0)*m*z
```

```
print("mpr ",mpr)
```

```

r = 0.01
while r != 0:
    mpr = 827.75
    p_delta = p0 * (((0.8 * mpr ** 0.33) / r) + ((3 * mpr ** 0.66)
/ r) + ((5 * mpr) / r))
    p_delta = round(p_delta, 3)

#    print(r)
    if p_delta <= 101 and p_delta > 99:
        r_100 = r

    if p_delta <= 51 and p_delta > 49:
        r_50 = r

    if p_delta <= 31 and p_delta > 29:
        r_30 = r

    if p_delta <= 10:
        r_10 = r
        break
    r += 0.1
print("r_10  ", r_10, "r_30  ", r_30, "r_50  ", r_50, "r_100  ",
r_100)

```

Взаємодія з вікном Qt5:

```

def __init__(self, iface):
    """Constructor.

    :param iface: An interface instance that will be passed to
this class
                  which provides the hook by which you can manipulate
the QGIS
                  application at run time.
    :type iface: QgsInterface
    """
    # Save reference to the QGIS interface
    self.iface = iface
    # initialize plugin directory
    self.plugin_dir = os.path.dirname(__file__)
    # initialize locale
    locale = QSettings().value('locale/userLocale')[0:2]
    locale_path = os.path.join(
        self.plugin_dir,
        'i18n',

```

```

        'serg_{}.qm'.format(locale))

if os.path.exists(locale_path):
    self.translator = QTranslator()
    self.translator.load(locale_path)
    QApplication.installTranslator(self.translator)

# Declare instance attributes
self.actions = []
self.menu = self.tr(u'&pno')

# Check if plugin was started the first time in current
QGIS session
# Must be set in initGui() to survive plugin reloads
self.first_start = None

# noinspection PyMethodMayBeStatic
def tr(self, message):
    """Get the translation for a string using Qt translation
API.

    We implement this ourselves since we do not inherit
QObject.

:param message: String for translation.
:type message: str, QString

:returns: Translated version of message.
:rtype: QString
"""
    # noinspection PyTypeChecker,PyArgumentList,PyCallByClass
    return QApplication.translate('serg', message)

def add_action(
    self,
    icon_path,
    text,
    callback,
    enabled_flag=True,
    add_to_menu=True,
    add_to_toolbar=True,
    status_tip=None,
    whats_this=None,
    parent=None):
    """Add a toolbar icon to the toolbar.

```

```

        :param icon_path: Path to the icon for this action. Can be
a resource
        path (e.g. `:/plugins/foo/bar.png`) or a normal file
system path.
        :type icon_path: str

        :param text: Text that should be shown in menu items for
this action.
        :type text: str

        :param callback: Function to be called when the action is
triggered.
        :type callback: function

        :param enabled_flag: A flag indicating if the action
should be enabled
        by default. Defaults to True.
        :type enabled_flag: bool

        :param add_to_menu: Flag indicating whether the action
should also
        be added to the menu. Defaults to True.
        :type add_to_menu: bool

        :param add_to_toolbar: Flag indicating whether the action
should also
        be added to the toolbar. Defaults to True.
        :type add_to_toolbar: bool

        :param status_tip: Optional text to show in a popup when
mouse pointer
        hovers over the action.
        :type status_tip: str

        :param parent: Parent widget for the new action. Defaults
None.
        :type parent: QWidget

        :param whats_this: Optional text to show in the status bar
when the
        mouse pointer hovers over the action.

        :returns: The action that was created. Note that the
action is also
        added to self.actions list.

```

```

:rtype: QAction
"""

icon = QIcon(icon_path)
action = QAction(icon, text, parent)
action.triggered.connect(callback)
action.setEnabled(enabled_flag)

if status_tip is not None:
    action.setStatusTip(status_tip)

if whats_this is not None:
    action.setWhatsThis(whats_this)

if add_to_toolbar:
    # Adds plugin icon to Plugins toolbar
    self.iface.addToolBarIcon(action)

if add_to_menu:
    self.iface.addPluginToMenu(
        self.menu,
        action)

self.actions.append(action)

return action

def initGui(self):
    """Create the menu entries and toolbar icons inside the
    QGIS GUI."""

    icon_path = ':/plugins/pno/icon.png'
    self.add_action(
        icon_path,
        text=self.tr(u'pno'),
        callback=self.run,
        parent=self.iface.mainWindow())

    # will be set False in run()
    self.first_start = True

def unload(self):
    """Removes the plugin menu item and icon from QGIS GUI."""
    for action in self.actions:
        self.iface.removePluginMenu(

```

```

        self.tr(u'&pno'),
        action)
    self.iface.removeToolBarIcon(action)

def run(self):
    """Run method that performs all the real work"""

    # Create the dialog with elements (after translation) and
    keep reference
    # Only create GUI ONCE in callback, so that it will only
    load when the plugin is started
    if self.first_start == True:
        self.first_start = False
        self.dlg = sergDialog()
    self.dlg.cb_1.clear()
    self.dlg.cb_2.clear()
    self.dlg.cb_3.clear()
    self.dlg.cb_4.clear()
    self.dlg.cb_5.clear()
    self.dlg.cb_6.clear()
    self.dlg.cb_7.clear()
    self.dlg.cb_8.clear()
    self.dlg.cb_9.clear()
    self.dlg.cb_10.clear()
    self.dlg.cb_11.clear()
    self.dlg.cb_12.clear()
    self.dlg.cb_layer.clear()

#
self.dockwidget.closingPlugin.disconnect(self.onClosePlugin)

    layers = [layer for layer in
QgsProject.instance().mapLayers().values()]
    layer_list = []
    for layer in layers:
        layer_list.append(layer.name())
    print(layer_list)
    self.dlg.cb_layer.addItem(layer_list)

#
    self.dlg.pb_solve.clicked.connect(print("st"))

    print("qq")
    a_98 = "A-98"
    a_95 = "A-95"

```

```
a_93 = "A-93"
a_92 = "A-92"
a_80 = "A-80"
a_disell = "Disssel"

type_fuel = [a_98, a_95, a_93, a_92, a_80, a_disell]

self.dlg.cb_1.addItem(type_fuel)
self.dlg.cb_2.addItem(type_fuel)
self.dlg.cb_3.addItem(type_fuel)
self.dlg.cb_4.addItem(type_fuel)
self.dlg.cb_5.addItem(type_fuel)
self.dlg.cb_6.addItem(type_fuel)
self.dlg.cb_7.addItem(type_fuel)
self.dlg.cb_8.addItem(type_fuel)
self.dlg.cb_9.addItem(type_fuel)
self.dlg.cb_10.addItem(type_fuel)
self.dlg.cb_11.addItem(type_fuel)
self.dlg.cb_12.addItem(type_fuel)
```