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.

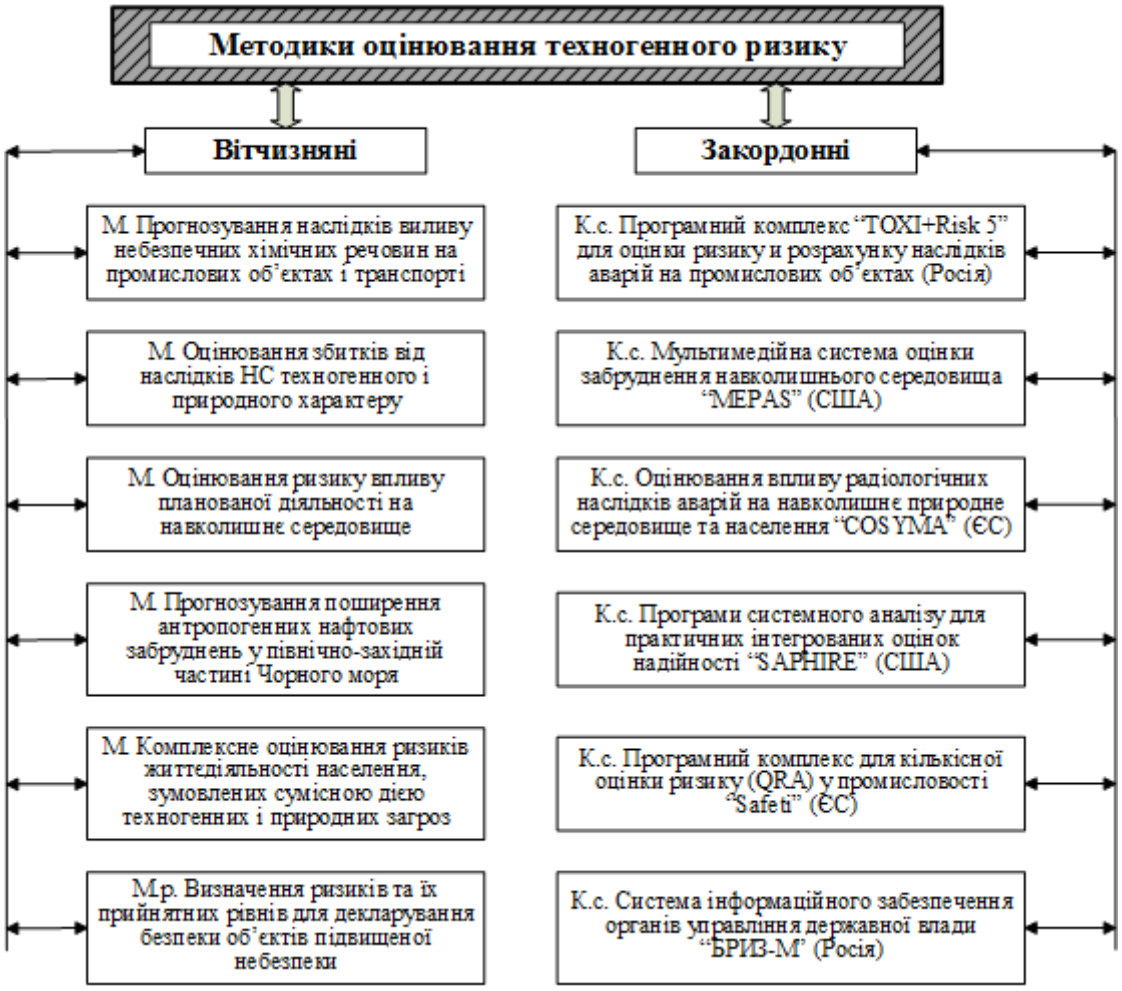

Рисунок 1 – Основні вітчизняні та закордонні методики і комп'ютерні системи оцінювання техногенного ризику

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 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.

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:

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

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

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

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

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,

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

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}	$P_i, V_i\ (\overline{i,N})$; $t, Wind_D, Wind_S$
Dir_{SW}	M_P; $A_P; B_P; C_P; Q_{FP}$; (значення див. таблицю 1) $Q_0 = 4520000\ \frac{Дж}{кг}; Z = 0{,}1; P_0 = 101{,}3$ кПа; $\tau_{вип} = 3600$ с
$Calc_{SW}$	$F_в = V_i \cdot 1000 \cdot 0{,}15$ (м^2); $P_Н = 10^{A_p - \frac{Bp}{Cp + t}}$ (кПа); $W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M_p} \cdot P_Н$ (кг/(с·м^2)); $m = W \cdot F_в \cdot \tau_{вип}$ (кг); $m_{пр} = \left(\frac{Q_{FP}}{Q_0}\right) \cdot m \cdot Z$ (кг); $\Delta P = P_0 * \left(\frac{0{,}8 m_{пр}^{0{,}33}}{r} + \frac{3 m_{пр}^{0{,}66}}{r^2} + \frac{5 m_{пр}}{r^3}\right)$ (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)

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 $F_в$, м^2	$F_в$	$F_в$
Тиск насиченої пари палива $P_н$, кПа	$P_Н$	$P_Н$
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

геоданих 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 °С; 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 структурі 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: $\Delta P = P_0 * \left(\frac{0{,}8 m_{\text{пр}}^{0{,}33}}{r} + \frac{3 m_{\text{пр}}^{0{,}66}}{r^2} + \frac{5 m_{\text{пр}}}{r^3}\right)$, 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, $F_в$, м^2	6000	2250	6000	2250
Тиск насиченої пари палива $P_н$, кПа	29,5515	29,5515	0,1169	0,1169
Інтенсивність випаровування палива W, кг/с·м^2	$2{,}928\cdot10^{-4}$	$2{,}928\cdot10^{-4}$	$1{,}668\cdot10^{-6}$	$1{,}668\cdot10^{-6}$
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

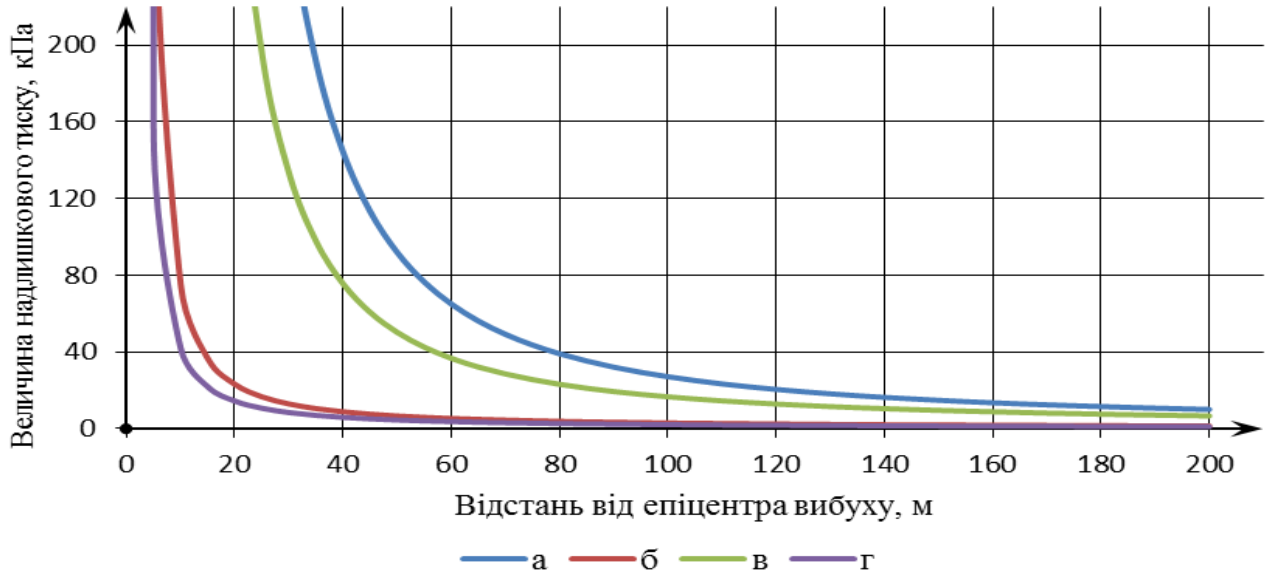

Рисунок 2 – Графіки зміни величини надлишкового тиску у фронті ударної хвилі залежно від відстані від епіцентру вибуху: а, в – для резервуарів з бензином ємністю 40 і 15 м^3 відповідно; б, г – для резервуарів з дизельним паливом ємністю 40 і 15 м^3 відповідно

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* завантажуємо 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 *PHO* 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 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» (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.

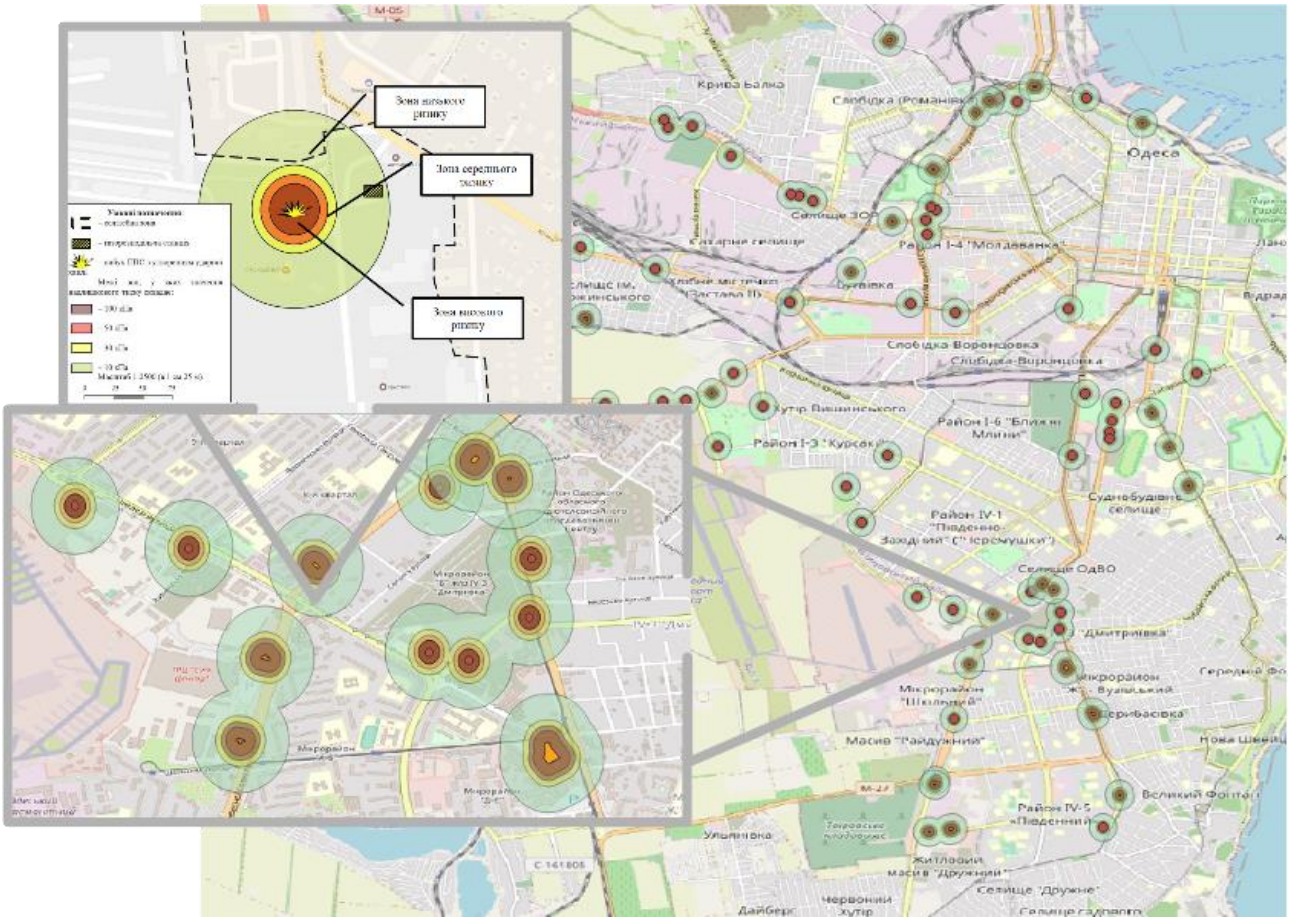

Рисунок 3 – Результати візуалізації зон ризику від АЗС за вказаним сценарієм аварії та масштабом для міста Одеси в підсистемі *QGIS*

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 геоданих 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 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. Иванов А. В., Арсирий 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 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.

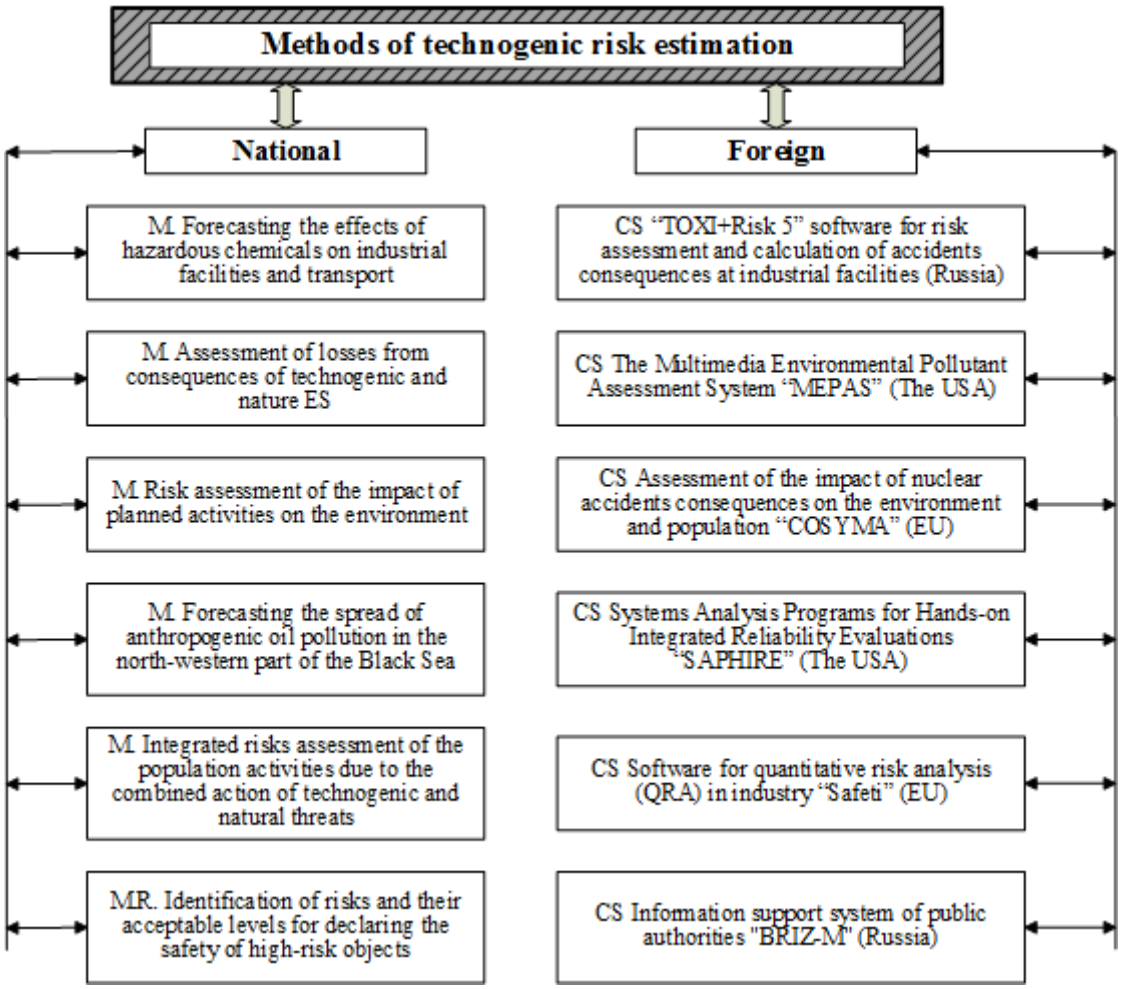

Figure 1 – The main national and foreign methods and computer systems of technogenic risk estimation

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,

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

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}	$P_i, V_i\ (\overline{i,N})$; $t, Wind_D, Wind_S$
Dir_{SW}	M_P; $A_P; B_P; C_P; Q_{FP}$; (for values see Table 1) $Q_0 = 4520000\frac{\text{J}}{kg}; Z = 0{,}1; P_0 = 101{,}3$ kPa; $\tau_{\text{вип}} = 3600$ s
$Calc_{SW}$	$F_{\text{в}} = V_i \cdot 1000 \cdot 0{,}15$ (m^2); $P_H = 10^{A_p - \frac{B_p}{C_p + t}}$ (kPa); $W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M_p} \cdot P_H$ (kg/(s·m^2)); $m = W \cdot F_{\text{в}} \cdot \tau_{\text{вип}}$ (kg); $m_{\text{пр}} = \left(\frac{Q_{FP}}{Q_0}\right) \cdot m \cdot Z$ (kg); $\Delta P = P_0 * \left(\frac{0{,}8 m_{\text{пр}}^{0{,}33}}{r} + \frac{3 m_{\text{пр}}^{0{,}66}}{r^2} + \frac{5 m_{\text{пр}}}{r^3}\right)$ (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 $F_{\text{в}}$, m^2	$F_{\text{в}}$	$F_{\text{в}}$
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 $m_{\text{пр}}$, kg	$m_{\text{пр}}$	$m_{\text{пр}}$
Radius of destruction zone *r*, m:		
complete (100 kPa)	r_{100}	r_{100}
strong (50 кPa)	r_{50}	r_{50}
average (30 kPa)	r_{30}	r_{30}
weak (10 кPa)	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: $\Delta P = P_0 * \left(\frac{0{,}8m_{\text{пр}}^{0{,}33}}{r} + \frac{3m_{\text{пр}}^{0{,}66}}{r^2} + \frac{5m_{\text{пр}}}{r^3}\right)$, 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 $F_в$, 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·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 $m_{пр}$, 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

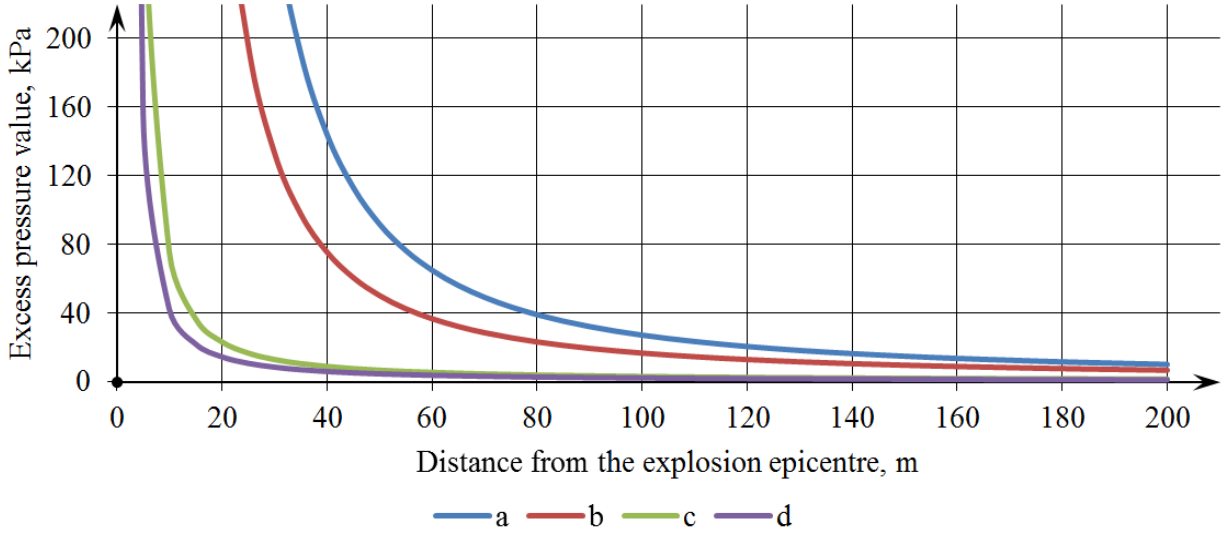

Figure 2 – The graphs of change of excess pressure value of the shock wave front depending on the distance from the explosion epicentre: a, b – for gas tanks with a capacity of 40 and 15 m^3, respectively; c, d – for diesel fuel tanks with a capacity of 40 and 15 m^3, respectively

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 object, 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 m^3:

– 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 m^3), 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.

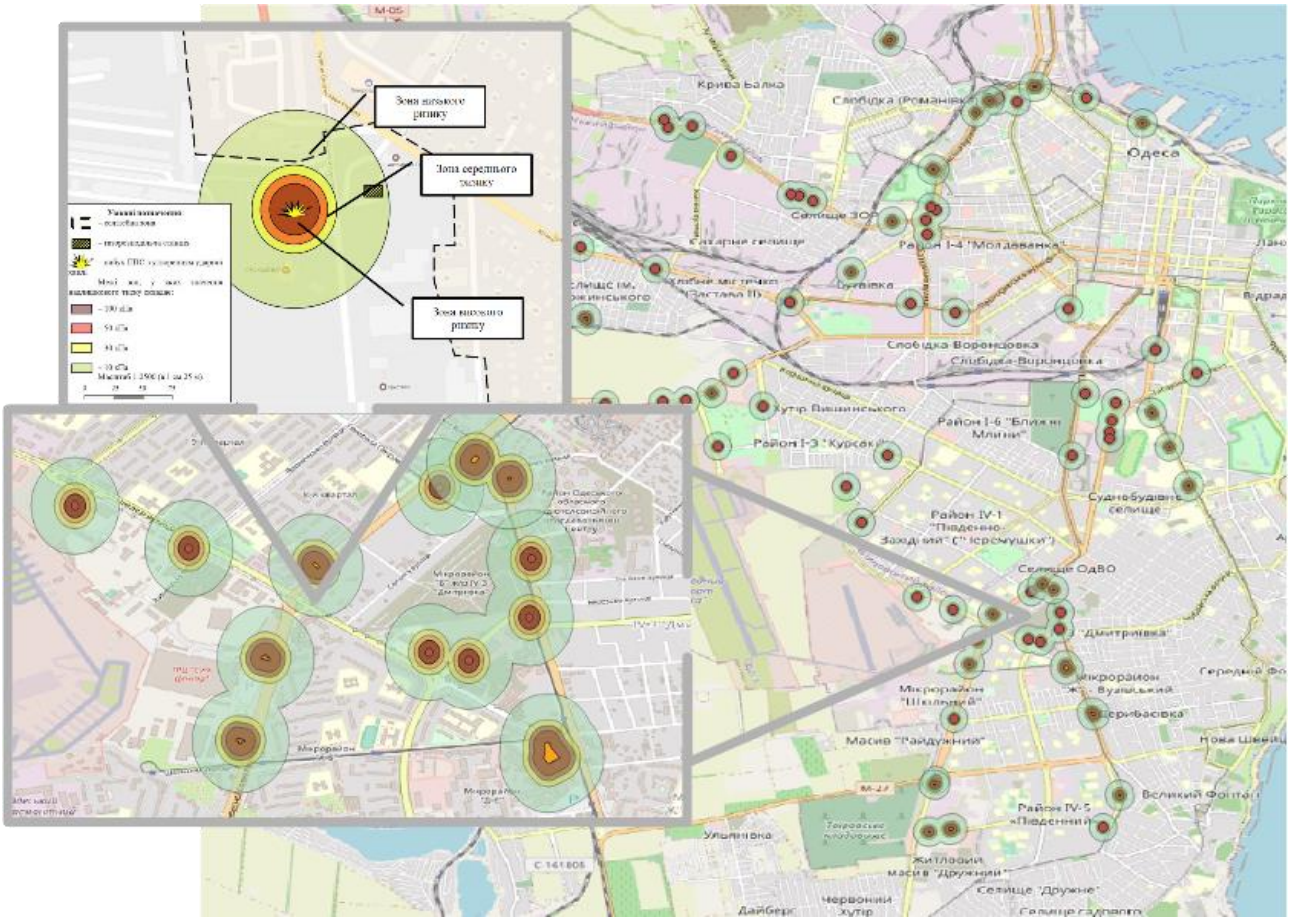

Figure 3 – The results of the risk zones visualization from the GS according to the specified accident scenario and scale for the city of Odessa in the subsystem *QGIS*

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).