

*Пйотр Хмель, Є. В. Мартин, д-р техн. наук, проф.
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)
С. Є. Ляковська, канд. техн. наук
(Національний університет «Львівська політехніка»)*

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОЕКТНО – ОРІЄНТОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ДУАЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ

Запропоновано геометричну модель дуальної системи «транскордонні оперативно – рятувальні підрозділи – надзвичайні ситуації» на засадах аналізу переміщення у фазовому просторі точки рівноваги дуальної системи при різних коефіцієнтах зміни в середовищі рівня ресурсної забезпеченості транскордонних оперативно–рятувальних підрозділів та інтенсивності надзвичайних ситуацій, реалізовану в тривимірному просторі стану системи і двовимірній фазовій площині її параметрів з використанням запропонованих підходів до моделювання і аналізу впливу проектно–орієнтованої методології управління на її діяльність. Проведено комп'ютерну реалізацію моделі досліджуваної системи з урахуванням модельної реалізації процесу взаємодії двох її начал та впливу засобів і методів проектно – орієнтованого управління. Обґрунтований і реалізований в комп'ютерній моделі перший цикл перебігу процесу взаємодії двох начал дуальної системи у двох площинах стану тривимірного простору, коли надзвичайна ситуація чи пожежа набуває нульового або наближеного до нього значення. Проведений аналіз впливу коефіцієнтів диференціальних рівнянь моделі як зовнішніх, так і внутрішніх чинників на поведінку двох складових елементів дуальної системи «транскордонні оперативно–рятувальні підрозділи – надзвичайні ситуації», зокрема, на підвищення результативності діяльності міждержавних формувань. Показана можливість врахування впливу засобів та методів проектно – орієнтованого управління на результативність ліквідації надзвичайної ситуації.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, дуальні системи, транскордонні оперативно – рятувальні підрозділи, надзвичайні ситуації, геометрична модель, проектно – орієнтоване управління.

Пйотр Хмель, Е. В. Мартын, С. Е. Ляковская

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТНО – ОРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДУАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ

Предложено геометрическую модель дуальной системы «трансграничные оперативно – спасательные подразделения – чрезвычайные ситуации» на основе анализа перемещения в фазовом пространстве точки равновесия дуальной системы при различных коэффициентах изменения в среде уровня ресурсной обеспеченности трансграничных оперативно – спасательных подразделений и интенсивности чрезвычайных ситуаций, реализованную в трехмерном пространстве состояния системы и двумерной фазовой плоскости ее параметров с использованием предложенных подходов к моделированию и анализу влияния проектно–ориентированной методологии управления на ее деятельность. Проведено компьютерную реализацию модели исследуемой системы с учетом модельной реализации процесса взаимодействия двух ее начал и влияния средств и методов проектно – ориентированного управления. Обоснован и реализован в компьютерной модели первый цикл течения процесса взаимодействия двух начал дуальной системы в двух плоскостях состояния трехмерного пространства, когда чрезвычайная ситуация или пожар приобретает нулевое или близкое к нему значение. Проведенный анализ влияния коэффициентов дифференциальных уравнений модели как внешних, так и внутренних факторов на поведение двух составляющих элементов дуальной системы «трансграничные оперативно–спасательные подразделения – чрезвычайные ситуации», в частности, на повышение результативности деятельности межгосударственных формирований. Показана возможность учета влияния средств и методов проектно – ориентированного управления на результативность ликвидации чрезвычайной ситуации.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, дуальные системы, трансграничные оперативно–спасательные подразделения, чрезвычайные ситуации, геометрическая модель, проектно – ориентированное управление.

COMPUTER SIMULATION PROCESS PROJECT – ORIENTED MANAGEMENT OF DUAL SYSTEM

A geometric model of the dual system of "cross – border operational – rescue units – emergency" based on the analysis of movement in phase space equilibrium point dual system with different coefficients of changes in the environment of resource provision of cross – border operational and rescue units and intensity of extreme situations, realized in three dimensions status system and the two–dimensional phase plane of parameters using the proposed approaches to modeling and analysis of the impact of project – oriented management methodology in its work. A computer model of the system implementation is based model implementation process of interaction between the two principles and the impact of means and methods of project – based management. Justified and implemented in a computer model of the first cycle of the procedure of interaction of two principles dual system in two planes condition of three – dimensional space when an emergency or fire gets close to zero or its value. The analysis of the impact factors of differential equations models both external and internal factors on the behavior of the two components of the dual system of "cross – border operational and rescue units – emergency", particularly on increasing the effectiveness of international forces. The possibility of taking into account the impact of means and methods of design – oriented management on the effectiveness of the emergency.

Keywords: computer modeling, dual systems, cross–border operational and rescue departments, emergency, geometric pattern, design – oriented government.

Вступ. Розвиток відкритих систем супроводжується зростанням числа їх елементів, ускладненням взаємозв'язків між ними і одночасно зменшенням надійності функціонування без помилок. На допомогу приходять сучасні методи і засоби проектно – орієнтованого управління процесами, об'єктами і явищами [1]. Розроблення спеціалізованих комп'ютерних геометричних моделей в процесі формування змінних параметрів систем важливе для створення реалістичного зображення дійсності і ефективного керування оперативно–рятувальними підрозділами [2]. Зазначені моделі дають змогу ґрунтовно проаналізувати результативність їх роботи через те, що вони враховують значущі параметри реальних процесів; наприклад, в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій взаємодіють багато показників: досвід рятувальників, знання, якість і кількість спеціальних засобів, а також фактори самої надзвичайної ситуації тощо. Але ресурси, як правило, обмежені, тому необхідно раціонально їх розподіляти для найбільш ефективної роботи оперативно–рятувальних підрозділів. Результативність взаємодії елементів єдиної дуальної системи зростає при використанні моделей та методів проектно – орієнтовного управління. Використання геометричних моделей дуальних систем зможе допомогти результативному розподілу цих необхідних ресурсів через те, що на основі одержаних даних створюється необхідний графік вимог до цих ресурсів.

В Україні закладені певні принципи захисту населення від надзвичайних ситуацій та забезпечення взаємодії різних служб як державних, так і закордонних у випадку, наприклад, загальнодержавних надзвичайних ситуацій або надзвичайних ситуацій природного чи техногенного характеру на прикордонних територіях.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Поступ у розвитку технічних систем здійснюється через взаємодію двох протилежних начал. Наприклад, у живій природі із перемінним успіхом взаємодіють елементи біологічної системи «хижак – жертва», а при ліквідації надзвичайних ситуацій чи пожеж на транскордонних територіях сусідніх держав взаємодіють елементи дуальної системи «транскордонні оперативно – рятувальні підрозділи – надзвичайні ситуації». Пожежно – технічні дуальні системи, створені та укомплектовані зусиллями урядів сусідніх держав, успішно справляються в частині виконання оперативних завдань з ліквідації надзвичайних ситуацій чи пожеж на

трансгоскордонних територіях [3]. Практична реалізація проекту створення трансгоскордонних оперативно-рятувальних підрозділів вказує на їх високу результативність і водночас потребує проведення спрямованих на удосконалення їх функціонування ґрунтовних наукових досліджень із залученням методів та засобів проектно – орієнтованого управління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основним документом для створення і комплектування служб цивільного захисту, зокрема, трансгоскордонних оперативно-рятувальних підрозділів, слугує Кодекс цивільного захисту України, а також її міжнародні угоди з сусідніми державами.

Для створення комп'ютерної геометричної моделі дуальної системи «оперативно – рятувальні підрозділи – надзвичайні ситуації» використовується модель «хижак – жертва» Лотки – Вольтерри [4]. Вона показує близький до реальності графік на засадах використання дійсних показників. При цьому вона не є занадто громіздкою, що могло би створювати додаткові похибки, та не є занадто простою, як би не надавала необхідне відображення дійсності. Модель на основі рівнянь Лотки – Вольтерри набула величезної популярності, тому іноді називається класичною моделлю взаємодії популяцій хижака і жертви або просто моделлю «хижак – жертва». Приведене обґрунтування в [5] дало можливість записати рівняння швидкості розвитку трансгоскордонного оперативно – рятувального підрозділу для числа сил і засобів у трансгоскордонного оперативно – рятувального підрозділу як системи в довільний момент часу t і швидкості зміни масштабності надзвичайних ситуацій x :

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= x(\alpha - \beta y) \\ \frac{dy}{dt} &= -y(\gamma - \delta x),\end{aligned}\tag{1}$$

де γ – коефіцієнт зміни в середовищі трансгоскордонних оперативно – рятувальних підрозділів;

α – коефіцієнт зростання числа і потужності надзвичайних ситуацій, з урахуванням ліквідації надзвичайних ситуацій, яка відбувається з коефіцієнтом β , і зростання числа і потужності трансгоскордонних оперативно – рятувальних підрозділів з коефіцієнтом δ . Рівняння описують динаміку взаємодії елементів системи «трансгоскордонні оперативно-рятувальні підрозділи – надзвичайні ситуації». Відбувається взаємовплив елементів дуальної системи.

В праці [5] проаналізована структура таких підрозділів, вказано на необхідність прикладного використання засобів управління проектами, програмами та портфелями проектів. Наукові розвідки [6], [7] показують можливість і раціональність використання методів і засобів геометричного моделювання в процесі дослідження і моделювання взаємодії трансгоскордонних систем і оперативно – рятувальних підрозділів ліквідації надзвичайних ситуацій. У [8] обґрунтовується доцільність аналізу таких систем як дуальних, де відбувається взаємовплив двох протилежних начал: оперативно – рятувальних підрозділів і надзвичайних ситуацій, зокрема, пожеж, на прикордонних територіях.

Виділення складових проблеми, які підлягають розв'язанню. Практична реалізація на міждержавному рівні трансгоскордонних оперативно – рятувальних підрозділів можлива на засадах всебічного вивчення із залученням засобів моделювання їх діяльності в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій. Ще не зайнятою науковою нішею є проблема адаптації запропонованої моделі щодо дослідження процесів взаємодії окремих ланок дуальної системи «трансгоскордонні оперативно-рятувальні підрозділи – надзвичайні ситуації» з урахуванням впливу на їх діяльність засобів та методів проектно-орієнтованого управління та аналізу впливу основних параметрів на час ліквідації власне надзвичайні ситуації.

Мета статті полягає у з'ясуванні особливостей комп'ютерної реалізації моделі дуальної системи на прикладі діяльності трансгоскордонних оперативно – рятувальних підрозділів при ліквідації надзвичайних ситуацій із врахуванням специфіки їх взаємодії на засадах моде-

лювання і аналізу інтегральних кривих тривимірного простору стану дуальної системи «трансформовані оперативно-рятувальні підрозділи – надзвичайної ситуації».

Виклад основного матеріалу

Модель Лотки – Вольтерри відтворює автоколивальний графік, тобто показує ситуацію, коли оперативно-рятувальний підрозділ ліквідує надзвичайну ситуацію або її наслідки, але надзвичайна ситуація знов розростається, якщо сили оперативно-рятувального підрозділу критично знижуються. Фактично це відображає реалістичний стан світу, адже в реальному світі так все і є, тобто оперативно-рятувальний підрозділ використовує свої ресурси для ліквідації надзвичайної ситуації або її наслідків, але після того, як надзвичайна ситуація була ліквідована, завжди з'являється інша. Це відображає глобальну ситуацію: якщо треба розглянути одну окрему операцію з ліквідації надзвичайної ситуації, то необхідно взяти тільки першу частину коливання, тобто тоді, коли потужність надзвичайної ситуації набуває нульового значення або наближеного до цього значення.

Доволі часто можна помітити, що потужність надзвичайної ситуації більша за можливості оперативно – рятувальних підрозділів. Використання розробленої моделі дає змогу з'ясувати: як саме зміна числових значень параметрів рівнянь досліджуваної системи, зокрема, методів і засобів проектно – орієнтованого управління, впливає на результативність ліквідації надзвичайної ситуації або її наслідків.

Розв'язками системи диференціальних рівнянь першого порядку (1) є інтегральні криві $x=x(t)$ та $y=y(t)$, представлені у площинах проєкцій Oxt та Oyt (рис.1). Проекціюванням цих кривих на площину Oxy одержуємо їх проєкцію, криву $y=y(x)$, яка є фазовою траєкторією дуальної системи у фазовій площині Oxy .

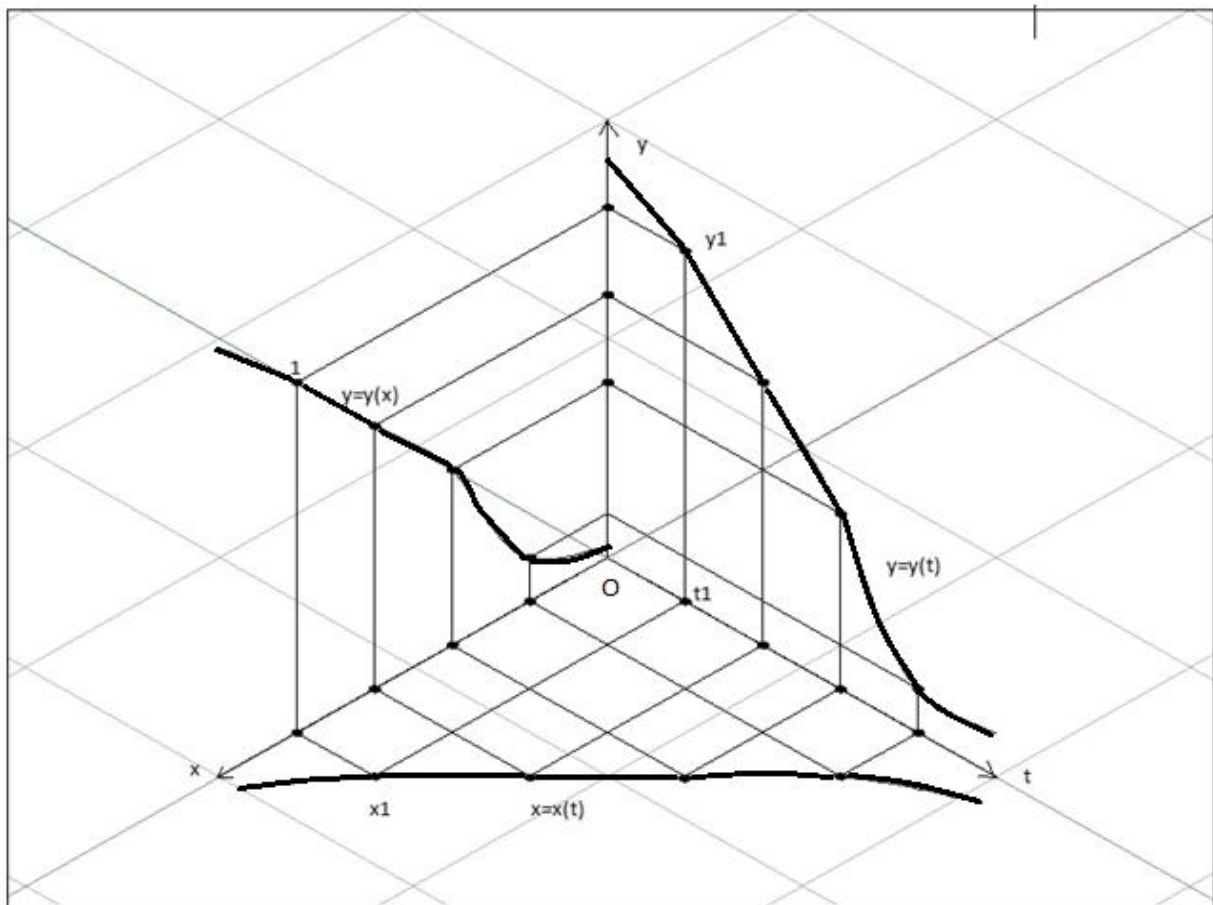


Рисунок 1 – Простір стану та фазовий простір дуальної системи «оперативно-рятувальні підрозділи – надзвичайні ситуації»

Для довільного значення часу, наприклад t_1 , знаходимо значення x_1 та y_1 , для яких будемо точку 1 фазової траєкторії.

Розглянемо комп'ютерну реалізацію моделі дуальної системи в офісному пакеті **Microsoft Office**, а саме в **EXCEL**.

В табличному процесорі **EXCEL** використовуються рівняння досліджуваної системи, записані для певних умов створеної таблиці даних «покоління». В нашому випадку це час ліквідації надзвичайної ситуації або її наслідків.

Побудуємо графіки рівнянь дуальної системи. Створюємо основу для таблиці даних. Оскільки у системі три змінних параметри, то обираємо клітинку E2 та вписуємо туди, наприклад, «Сила оперативно – рятувального підрозділу», у G2 – «Сила надзвичайної ситуації» та B2 – «Час».

Обираємо параметри системи, наприклад, 100 одиниць (для надзвичайної ситуації це умовне позначення її 100% потужності), а для оперативно – рятувального підрозділу – 100 одиниць (умовне позначення для 100% готовності оперативно – рятувального підрозділу); прийmemo параметри рівняння: $\alpha = 0.01$, $\beta = 0.001$, $\gamma = 0.005$, $\delta = 0.0001$. Для того, щоб одержати графіки системи рівнянь, у вкладці **Вставка** обираємо дію **Графік** з можливістю вибрати числові значення параметрів з таблиці даних.

Далі вибираємо для параметрів x , y , t три стовпчики зліва і залучаємо додаткову вісь для зручності відображення графіків. Таке відображення допомагає більш точно визначати модельні дані параметрів при різних значеннях коефіцієнтів. Змінюючи значення чотирьох коефіцієнтів, проаналізуємо графіки.

Зауважимо, що для аналізу обираємо лише перший цикл моделі, коли графік $x = x(t)$ набуває нульового значення або наближеного до нього (рис. 2).

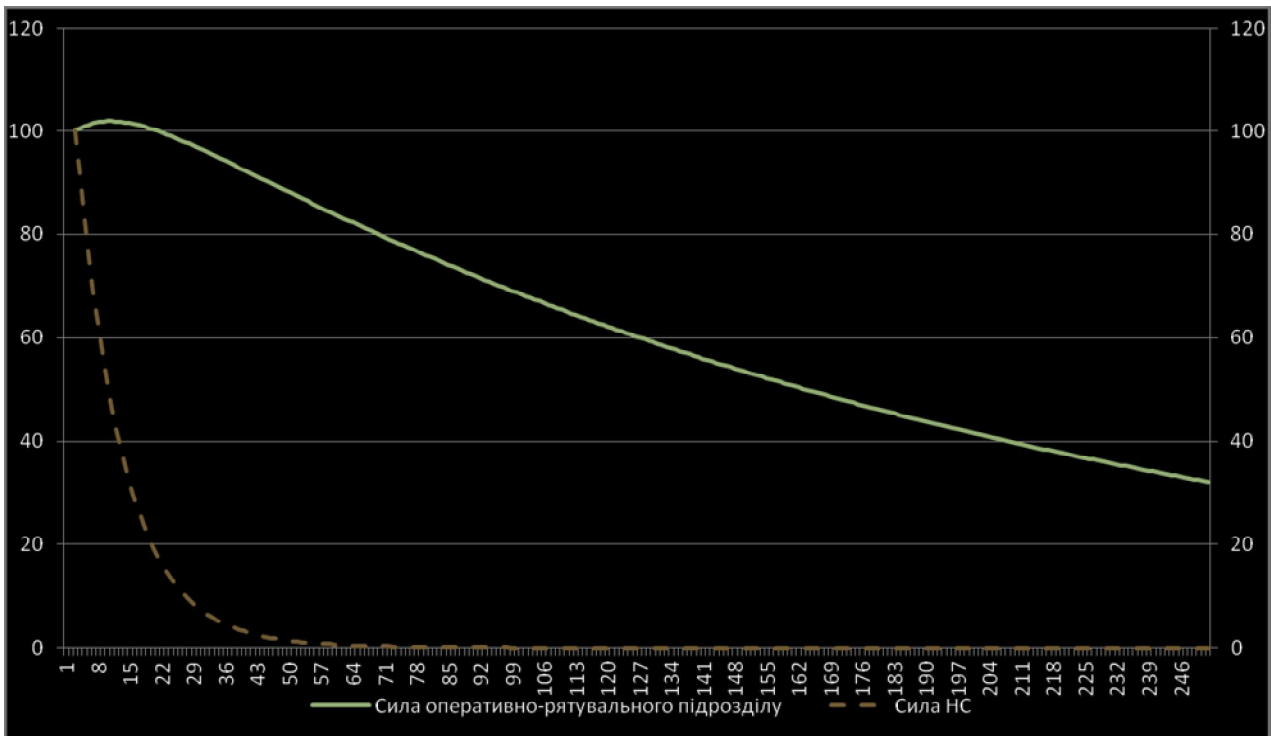
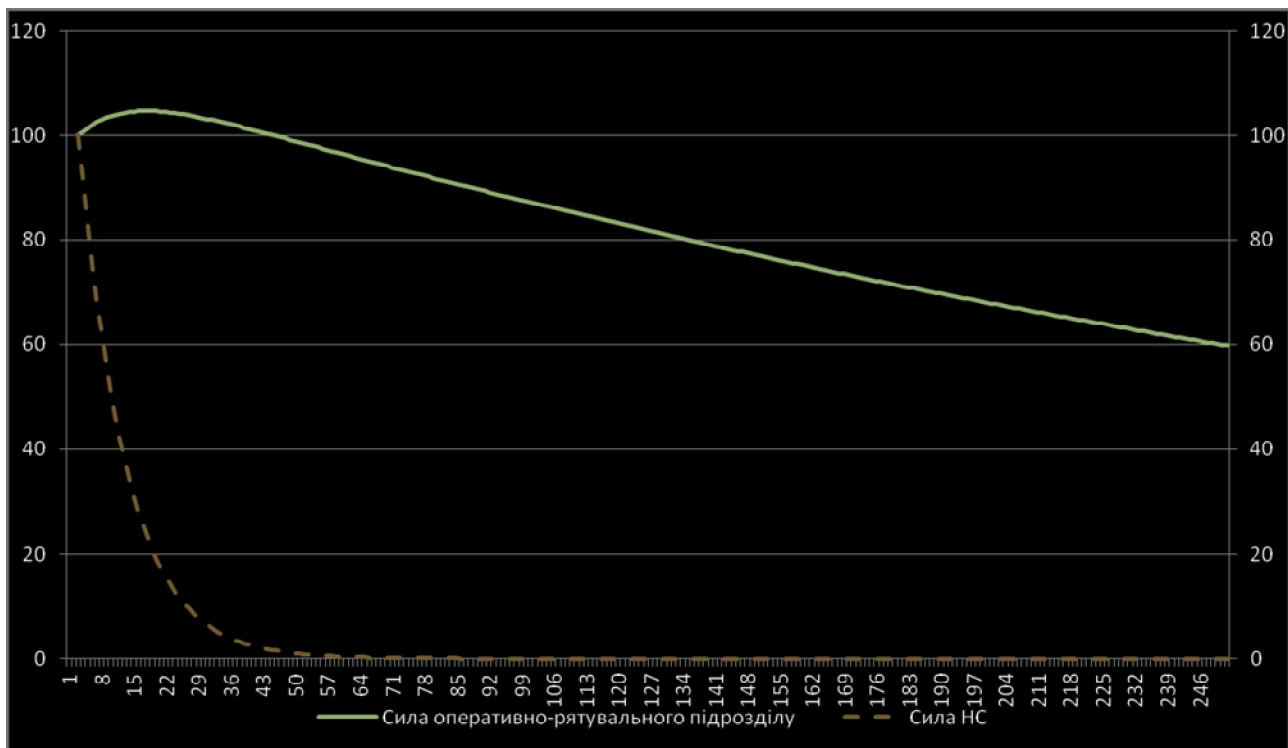


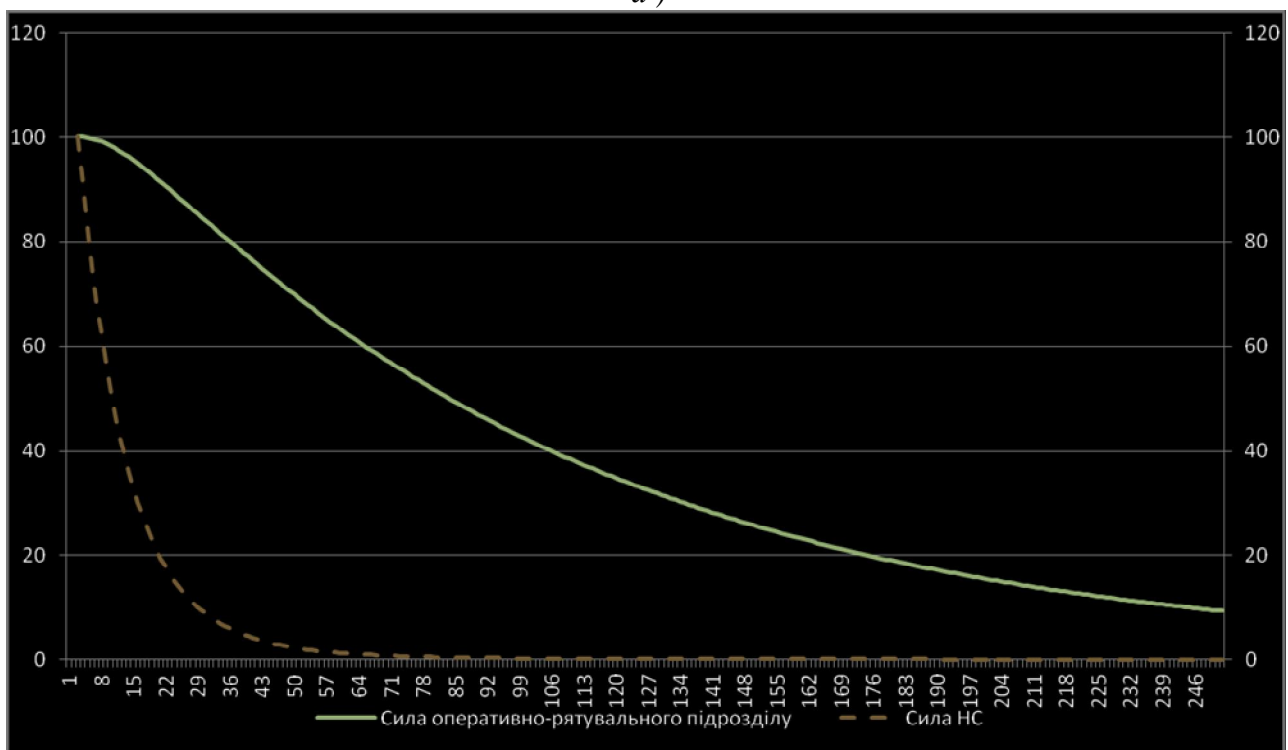
Рисунок 2 – Графік моделі дуальної системи при $\beta = 0,001$, $\alpha = 0.01$, $\gamma = 0.005$, $\delta = 0.0001$

Змінюючи числові значення коефіцієнтів рівнянь, одержуємо характер перебігу процесів у дуальній системі. Зокрема, коефіцієнт γ відображає вплив сил і засобів як технічних, так і засобів проектно – орієнтованого управління на взаємодію елементів дуальної системи.

З'ясуємо вплив коефіцієнта γ , сили та засоби оперативно – рятувального підрозділу, на час ліквідації надзвичайної ситуації, наприклад, при коефіцієнтах моделі $\gamma = 0,0025$ (рис.3а) та $\gamma = 0.01$ (рис.3б), враховуючи, що зменшення коефіцієнта γ вказує на більш якісні сили та засоби, через що вони використовуються ефективніше.



а)



б)

Рисунок 3 – Графіки моделі дуальної системи при $\gamma = 0.0025$ (а) та при $\gamma = 0.01$ (б)

Проаналізувавши графіки з використанням таблиці даних для приведених значень коефіцієнта γ , з'ясуємо його вплив на час ліквідації надзвичайної ситуації: зменшення коефіцієнта γ у два рази (з $\gamma = 0.005$ до $\gamma = 0.0025$) забезпечує зменшення часу ліквідації надзвичайної ситуації з 61 пункту часу до 56-го пункту часу, тобто на 8%. Збільшення коефіцієнта γ у два рази (з $\gamma = 0.005$ до $\gamma = 0.01$) забезпечує збільшення часу ліквідації надзвичайної ситуації з 61 пункту часу до 78-го пункту часу, тобто на 28%. Відповідно зменшення коефіцієнта α у два рази (з $\alpha = 0.01$ до $\alpha = 0.005$) забезпечує зменшення часу ліквідації надзвичайної ситуації з 61 пункту часу до 58-го пункту часу, тобто на 5%, а збільшення коефіцієнта α у два рази (з $\alpha = 0.01$ до $\alpha = 0.02$) забезпечує збільшення часу ліквідації надзвичайної ситуації з 61 пункту часу до 71-го пункту часу, тобто на 16%. Зменшення коефіцієнта β у два рази (з $\beta=0.001$ до $\beta=0.0005$) забезпечує збільшення часу ліквідації надзвичайної ситуації з 61 пункту часу до 165-го пункту часу, тобто майже на 170%, а збільшення коефіцієнта β у два рази (з $\beta=0.001$ до $\beta=0.002$) забезпечує зменшення часу ліквідації надзвичайної ситуації майже на 55%. Зменшення коефіцієнта δ у два рази (з $\delta = 0.0001$ до $\delta = 0.00005$) забезпечує ліквідацію надзвичайної ситуації на 61 пункті часу, тобто впливає неістотно, а збільшення коефіцієнта δ у два рази (з $\delta = 0.0001$ до $\delta = 0.0002$) забезпечує зменшення часу ліквідації надзвичайної ситуації з 61 пункту часу до 55-го пункту часу, тобто на 10%.

Таким чином, зміна коефіцієнтів системи диференціальних рівнянь моделі дуальної системи допомагає визначити найбільш оптимальний варіант розвитку подій, зокрема, при використанні методів та засобів проектно – орієнтованого управління.

Висновки

Аналіз результатів дослідження моделі дуальної системи «оперативно – рятувальні підрозділи – надзвичайні ситуації» вказує таке:

1. Зміни числових значень параметрів рівняння моделюють різноманітні ситуації на пожежах, враховуючи, що кожна надзвичайна ситуація має свою особливість. За допомогою цих моделей можна побудувати відносно точну статистику ефективності ліквідації надзвичайних ситуацій або наслідків.

2. Використовуючи різні умови взаємодії оперативно – рятувального підрозділу і надзвичайної ситуації, задані коефіцієнтами рівнянь (1), можна побудувати графіки рівняння системи «транскордонні оперативно – рятувальні підрозділи – надзвичайні ситуації». Вони відображають процеси перебігу надзвичайної ситуації, враховуючи змінені коефіцієнти системи.

3. Встановлено вплив коефіцієнтів диференціальних рівнянь дуальної системи на її поведінку. Зокрема, показано належний вплив сил і засобів транскордонних оперативно – рятувальних підрозділів, у тому числі проектно – орієнтованого управління на результативність їх реагування на надзвичайні ситуації (пожежі).

4. Проведені дослідження засвідчують нелінійність впливу коефіцієнтів α , β , γ , δ на перебіг процесів у дуальній системі і є підставою встановити правдоподібний робочий діапазон їх зміни щодо побудови гіперповерхні як образної геометричної моделі процесів взаємодії її елементів.

Список літератури:

1. Зачко О. Б. Формування проектних команд в системі цивільного захисту на основі тимчасових віртуальних структур / О. Б. Зачко, Ю. В. Баришева // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. – Л.:ЛДУБЖД, 2013. – №7. – С. 87– 91.

2. Rak Yu. Project – Oriented Management of Industrial Production of Fire and Rescue Equipment by Means of Geometric Modelling / Yu. Rak, V. Bondarenko // ВіТР Vol.32 Issue 4, Wydawnictwo CNBOP–PIB, 2013, pp.25–30.

3. The European Community Civil Protection Mechanism Training Programme. Luxembourg: Office for Official publications of the European Communities. – 2009. – 20 p.

4. Ляковська С. Є. Дослідження моделей процесів проектно–орієнтованого управління дуальними системами / С. Є. Ляковська, Є. В. Мартин, П. Хмель // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. – Л.:ЛДУБЖД, 2014. – № 10. – С. 99 – 105.
5. Chmiel Pjotr. Metody reprezentacji modeli w zarzadzaniu zorientowanym projektowo transgra–nicznych jednostek operacyjno – ratowniczych / Pjotr Chmiel, Juri Olenjuk, Ya. Pidgorodecky // Technika, Informatyka, Inzynieria bezpieczenstwa.– Czestochowa 2014.– P.31 – 48.
6. Хмель П. Моделювання процесів проектно–орієнтованого управління пожежно–рятувальними підрозділами транскордонних територій / П. Хмель, Є. В. Мартин // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. –2014. – №9. – С.123–129.
7. Хмель П. Геометричні засоби багатовимірного простору в проектно–орієнтованому управлінні транскордонними оперативно–рятувальними підрозділами / П.Хмель, Є. В. Мартин // Математика. Геометрія. Інформатика. – Мелітополь: МДПУ, 2014. – Том 1. – С.231 – 239.
8. Горбань В. Б. Проектно – орієнтоване управління процесами розвитку дуальних систем / В. Б.Горбань, П. Хмель, Є. В. Мартин, С. Є. Ляковська // Вісник ЛДУБЖД. – Л.: ЛДУБЖД, 2015. – № 11. – С.72 – 79.

References

1. Zachko O. B., Barysheva Y. V. (2013). Forming of project commands of civil defence system on basis of temporal virtual structures. Visnyk L'vivs'koho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttyediyal'nosti (Bulletin of the Lviv State University of Life Safety), 7, 87 – 91. (in Ukr.).
- 2.Rak Yu. Bondarenko V. (2013). Project – Oriented Management of Industrial Production of Fire and Rescue Equipment by Means of Geometric Modelling. BiTP Vol.32 Issue 4, Wydawnictwo CNBOP–PIB, pp.25–30.
3. The European Community Civil Protection Mechanism Training Programme (2009). Luxembourg: Office for Official publications of the European Cimmunities.
4. Ljaskovska, S. E., Chmiel P. & Martyn, E. V. (2014). Study of models of project – oriented management of technical systems. Visnyk L'vivs'koho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttyediyal'nosti (Bulletin of the Lviv State University of Life Safety), 10, 99–105. (in Ukr.).
5. Chmiel Pjotr. Metody reprezentacji modeli w zarzadzaniu zorientowanym projektowo transgra–nicznych jednostek operacyjno – ratowniczych / Pjotr Chmiel, Juri Olenjuk, Ya. Pidgorodecky // Technika, Informatyka, Inzynieria bezpieczenstwa.– Czestochowa 2014.– P.31 – 48.
6. Chmiel P. & Martyn, E. V. (2014). Modeling of project–oriented management of fire and rescue units cross – border regions. Visnyk L'vivs'koho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttyediyal'nosti (Bulletin of the Lviv State University of Life Safety), 9, 123–129. (in Ukr.).
7. Chmiel P. & Martyn, E. V. (2014). Geometric means of the multidimensional space of design–oriented management of transboundary Rescue units. Matematyka. Heometriya. Informatyka (Mathematics. Geometry. Informatics), 231–239. (in Ukr.).
8. Horban V. B. , Ljaskovska, S. E., Chmiel P. & Martyn, E. V. 2015). Project – oriented management processes of the respiratory system Visnyk L'vivs'koho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttyediyal'nosti (Bulletin of the Lviv State University of Life Safety), 11, 72–79. (in Ukr.).

