

*М.А. Куценко, канд. екон. наук, А.Г. Алексєєв, канд. хім. наук, доцент,*

*О.С. Алексєєва, канд. техн. наук, доцент*

*В.В. Наконечний, канд. техн. наук, доцент (ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ)*

## ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДРОЗДІЛІВ ДСНС УКРАЇНИ

Досліджено вплив ресурсного забезпечення підрозділів ДСНС України на зниження збитків від пожеж та визначений його оптимальний рівень. Розроблена та реалізована мовою програмування імітаційна модель діяльності підрозділів ДСНС України, визначені параметри моделі, виходячи з середньостатистичних даних та експертних оцінок та досліджений вплив величини ресурсного забезпечення на сумарний рівень втрат від пожеж. Встановлено наявність мінімуму на кривій сум втрат від пожеж та витрат на ресурсозабезпечення підрозділів ДСНС України. Ресурсне забезпечення при такому мінімумі відповідає оптимальному рівню. При його збільшенні втрати знижуються не так швидко, як відбувається зростання витрат, а при зменшенні – втрати зростають більш стрімко.

**Ключові слова:** імітаційне моделювання, ресурсне забезпечення, пожежа.

*Постановка проблеми.* Система цивільного захисту відіграє все більшу роль у забезпеченні національної безпеки європейських країн і стає предметом зростаючої уваги у рамках міжнародних структур європейської безпеки. Однією з найважливіших складових забезпечення ефективного виконання завдань, пов'язаних із запобіганням та ліквідацією надзвичайних ситуацій, є оптимальний рівень забезпечення ресурсами матеріальними та трудовими в тому числі. Одним з методів, що дає змогу оцінити наскільки ресурсне забезпечення наближене до оптимального, є метод моделювання діяльності в сучасних умовах.

*Аналіз останніх досягнень і публікацій.* Значний внесок у вивчення проблеми імітаційного моделювання зробили такі вчені, як М.М. Брушлінський, Ю.М. Глуховенко, В.Б. Коробко, О.В. Матюшин, А.К. Мікеєв, С.В. Соколов. При цьому ряд питань використання ресурсів на забезпечення національної безпеки держави та їх окремих аспектів залишаються маловивченими.

*Постановка задачі ті її розв'язання.* Мета цієї роботи – дослідити вплив ресурсного забезпечення підрозділів ДСНС України на зниження збитків від пожеж та визначити його оптимальний рівень.

*Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.* Для визначення потенційних проблем та можливостей служб, фірм, об'єктів господарювання за кордоном використовують імітаційні моделі, що допомагають прогнозувати результати діяльності [1, с.76-79]. Метод імітаційного моделювання достатньо ефективний при дослідженні саме випадкових процесів, адже виникнення і розвиток пожежі, та інших надзвичайних ситуацій має імовірнісний характер. Суть методу полягає в побудові для досліджуваного процесу (в нашому випадку – процесу функціонування підрозділів ДСНС) сукупності алгоритмів окремих складових зі збереженням їх логічної структури, взаємозв'язку, взаємовпливу і послідовності чергування [2]. Тому, з метою визначення оптимальної чисельності підрозділів служби цивільного захисту, автори пропонують використовувати цей метод.

Процес функціонування підрозділів ДСНС України є складним, стохастичним і має велику кількість елементів, параметрів і співвідношень, які пов'язані між собою і взаємно впливають, тобто є досить складною системою з великою кількістю підсистем. Внаслідок надзвичайної складності при побудові імітаційної моделі необхідно відкинути частину реальних характеристик, які мають незначний вплив і залишити тільки ті, які характеризуються найбільшим впливом на параметри негативного процесу та відтворюють його. Однак при цьому необхідно, щоб у межах поставленої задачі була дотримана відповідність між елементами реальної системи і моделі та збережена взаємодія між ними.

Для оцінки оптимальної чисельності особового складу підрозділів ДСНС України необхідно оцінити залежність двох основних параметрів: площі пожежі чи іншої надзвичайної ситуації (яка пропорційна збиткові від пожежі [3]) і відносної зміни ефективності забезпечення ресурсами (матеріальними, людськими тощо), яке умовно пропорційне витратам.

При побудові імітаційної моделі слід виділити два рівні: функціонування оперативного підрозділу при гасінні одиничної пожежі та функціонування гарнізону міста при гасінні пожежі протягом тривалого періоду часу за рік. Обидва ці рівні мають бути взаємопов'язані.

Побудову імітаційної моделі слід розпочинати з вербального опису, який також є моделлю.

Для функціонування гарнізону міста у випадковий момент часу до чергового надходить виклик (повідомлення про пожежу із зазначенням місця її виникнення). Виклик може бути реальним або помилковим. У кожному разі черговий передає його в оперативний підрозділ, що обслуговує заданий район, або, якщо він у даний момент зайнятий обслуговуванням попереднього виклику, – у найближчий не зайнятий підрозділ. Координати місця виникнення пожежі також є випадковими. При надходженні виклику оперативний підрозділ вважається зайнятим упродовж часу від надходження виклику до моменту повернення в частину.

Для функціонування оперативного підрозділу після надходження виклику підрозділ проводить коротку підготовку, прямування до місця події, розвідку й розгортання, ліквідацію, згортання й повернення в частину.

У пропонованій системі використана детермінована модель міста Манхеттенського типу, тобто міста з вулицями, які перетинаються під прямим кутом. Таке припущення не враховує реальну топографію міста, але значно спрощує розрахунки та при раціональному розташуванні депо оперативно-рятувальної служби не впливає на час слідування підрозділів до місця виклику. За умовну форму зони обслуговування одного депо при раціональному розташуванні, згідно з інженерним підходом 80-х років, прийнятий правильний шестикутник. Депо повинно бути розташовано в його центрі. Кількість і місця розташування депо, середня швидкість руху оперативних автомашин до місця події й назад, середній час підготовки до виїзду, розгортання й згортання, коефіцієнт ефективності ліквідації є детермінованими, але варіабельними характеристиками. Такі характеристики, як час виникнення пожежі, час від початку до виявлення й виклику оперативної служби, координати, зазначені у виклику, коефіцієнт поширення пожежі, є випадковими характеристиками. Причому час виникнення пожежі розподілено рівномірно з імовірністю, яка дорівнює кількості пожеж в одиницю часу, а час від початку пожежі до виклику оперативної служби – рівномірно в заданих змінних інтервалах. Імовірність помилкових викликів оцінюється як відсоток від загальної кількості викликів.

Координати виклику розподілені випадковим чином рівномірно по території міста.

З огляду на основну мету формування моделі (оцінка залежності збитку від зміни ресурсозабезпечення підрозділів) необхідно було розрахувати сумарну максимальну площу всіх пожеж за тривалий період часу при різному ресурсозабезпеченні оперативних підрозділів. Для залежності площі пожежі від часу в системному аналізі використовуються елементарні функції а)  $S_{II} = K \cdot t^2$ , б)  $S_{II} = \pi(v_L \cdot t)^2$  та в)  $S_{II} = A \cdot e^{-C/t}$  [4, с. 134], де  $K$ ,  $\pi$ ,  $A$ ,  $C$  – коефіцієнти поширення пожежі, а  $t$  – час від початку пожежі. Значення цих коефіцієнтів для різних типів споруд і галузей промисловості підпорядковані одному з емпіричних законів розподілення випадкових величин. В статті використана перша елементарна функція а) ( $S_{II} = K \cdot t^2$ ), оскільки, по-перше, її легко перевести в диференціальну форму і таким чином вивчати вплив не тільки розповсюдження пожежі, а і її гасіння, а по-друге, для неї в літературі [4, с.139] наведений коефіцієнт поширення пожежі  $K$  для різних типів приміщень. Для розрахунку використана щільність розподілення коефіцієнта  $K$  за емпіричним законом, наведеним для жилих будівель.

Ліквідація пожежі оперативними підрозділами триває до зменшення площі пожежі до нуля, а збиток від пожежі пропорційний максимальній площі, що була охоплена пожежею.

У моделі використані також пасивні засоби пожежного захисту, що сприяють обмеженню розвитку пожежі: зачинені двері й перекриття із заданим середнім часом затримки збільшення площі пожежі.

Для розробки імітаційної моделі на другому етапі автором побудований алгоритмічний опис процесу функціонування підрозділів ДСНС України (рис. 1).

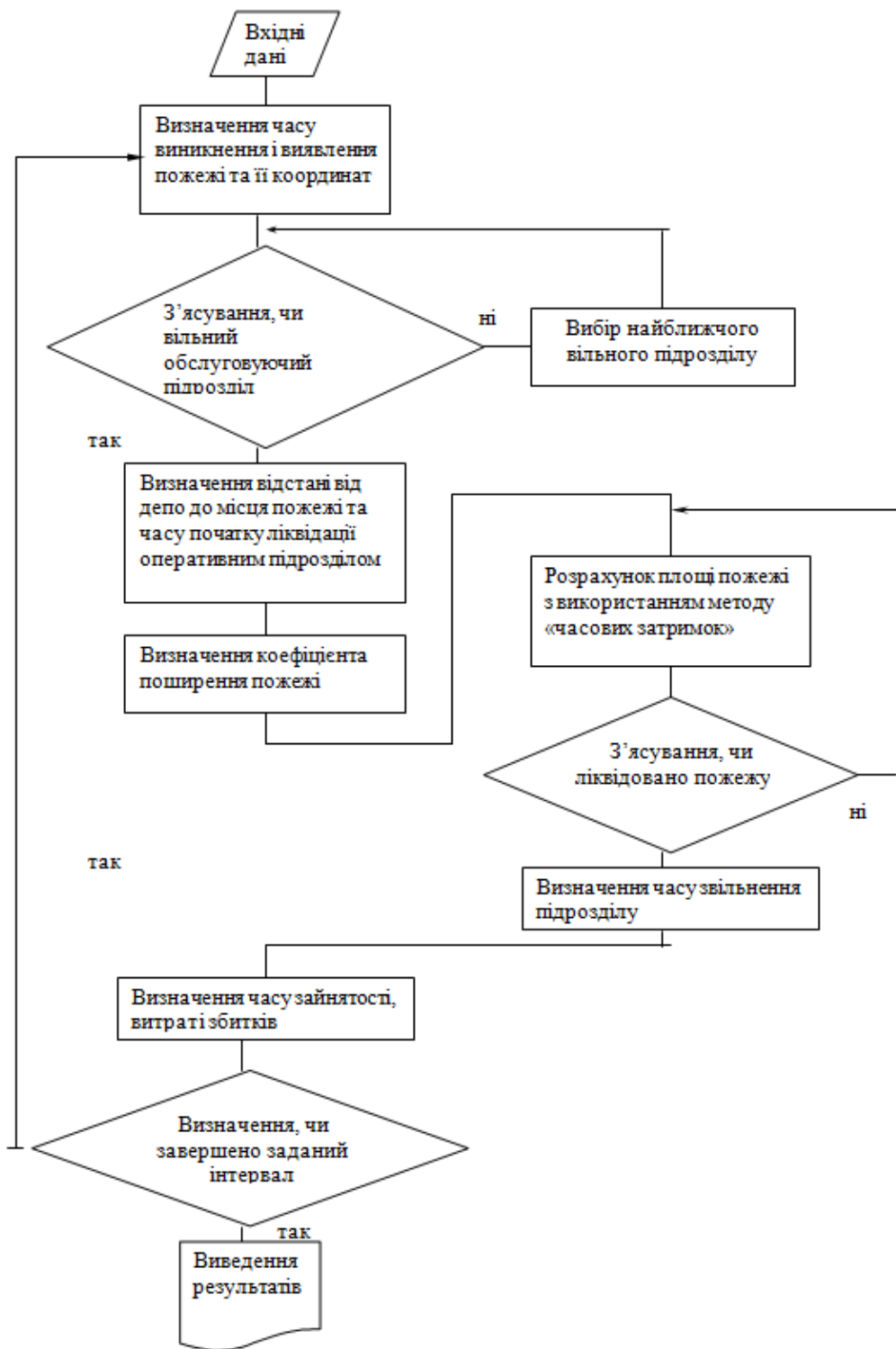


Рис. 1. Функціональна блок-схема імітаційної моделі

Імітаційна модель реалізована в системі Excel з використанням мови програмування Visual Basic for Application. Процедури завдання випадкових величин здійснювалися при звертанні до вбудованої функції мови Visual Basic Rnd(). Треба зазначити, що побудована модель дає можливість оцінити економічну ефективність діяльності підрозділів міста на відміну від вже відомих моделей, які дозволяли досліджувати окремі пожежі або діяльність підрозділів міста методом черг. Перевірка адекватності моделі зроблена за масивом даних роботи гарнізону міста Черкаси, населення якого становить приблизно 284 тис чоловік: кількість викликів, кількість помилкових викликів, середній час гасіння, час прямування на пожежу, площі охоплення пожежі.

У моделі прийнято такі припущення:

- захисна дія пасивних елементів захисту постійна для різних приміщень і дорівнює середньому часу захисту;
- коефіцієнт ліквідації, час підготовки, розгортання, згортання постійні для різних оперативних підрозділів (тобто підрозділи мають однакову оснащеність і кваліфікацію);
- житловий фонд міста не має засобів автоматичної пожежної сигналізації;
- швидкість руху різними вулицями міста однакова й нівелюється до середньої.

Ці допущення прийнятні, оскільки при великій кількості надзвичайних ситуацій за проміжок часу, що досліджується, сумарна площа пожежі (і відповідно, збиток від пожежі) наближується до середнього значення.

Для моделювання використані такі вихідні параметри:

- середня кількість пожеж на рік – 720 (середньостатистична для міста з населенням 320 тис.);
- кількість помилкових викликів – 20% (середньостатистична для міст України);
- середня кількість викликів на рік – 864 (включає пожежі і помилкові виклики);
- виклик надходить від межах від 3 до 20 хв. після початку пожежі;
- середній коефіцієнт поширення – 0,03 (згідно [4, с.138]);
- вогнестійкість перекриттів будинків – 40 хв (виходячи з практики роботи оперативно-рятувальної служби);
- вогнестійкість дерев'яних дверей – 5 хв (виходячи з практики роботи оперативно-рятувальної служби);
- середня швидкість руху оперативних автомашин – 20-30 км/год.;
- середній час підготовки до виїзду – 2 хв;
- середній час розгортання – 3 хв;
- середній час згортання – 10 хв;
- площа приміщення в межах від 20 до 50 м<sup>2</sup>;
- тривалість імітації – 365 днів;
- розташування оперативних підрозділів – раціональне по території міста (за методикою розташування депо в центрах шестикутників);
- коефіцієнт пожежогасіння ( $k_2$ ) варіювався  $0,15 \pm (10, 20, 50) \%$ .

За допомогою такої моделі досліджена очікувана ефективність роботи гарнізону міста протягом 7 років по 12 місяців з різним рівнем ресурсозабезпечення при незмінних інших детермінованих параметрах.

Узагальнені результати розрахунку залежності різних показників роботи гарнізону міста від ефективності ліквідації пожежі, отримані в результаті імітаційних експериментів, наведені в табл. 1.

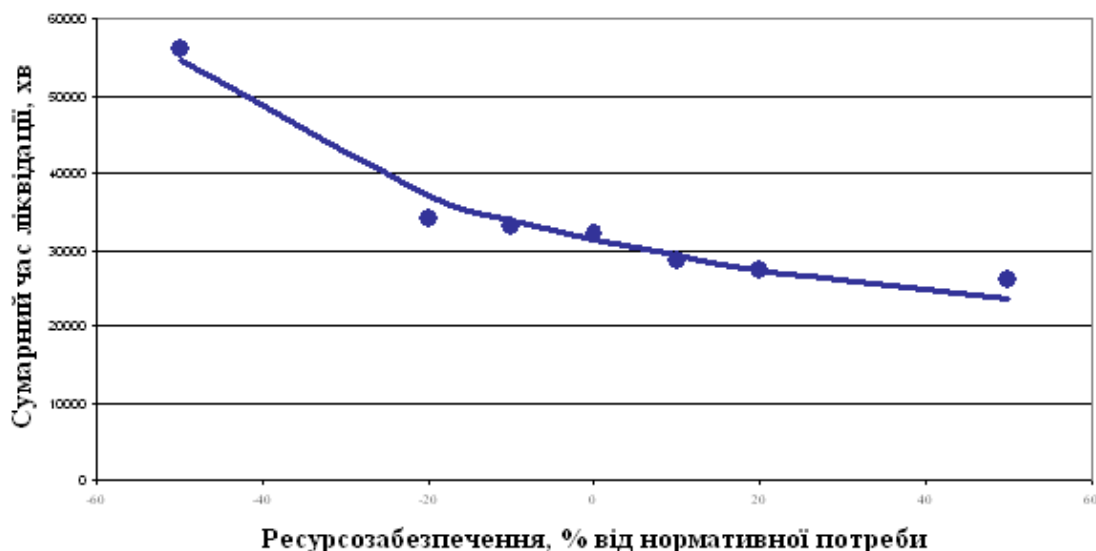
**Таблиця 1**

*Узагальнені результати розрахунку залежності різних показників роботи гарнізону міста від ефективності ліквідації*

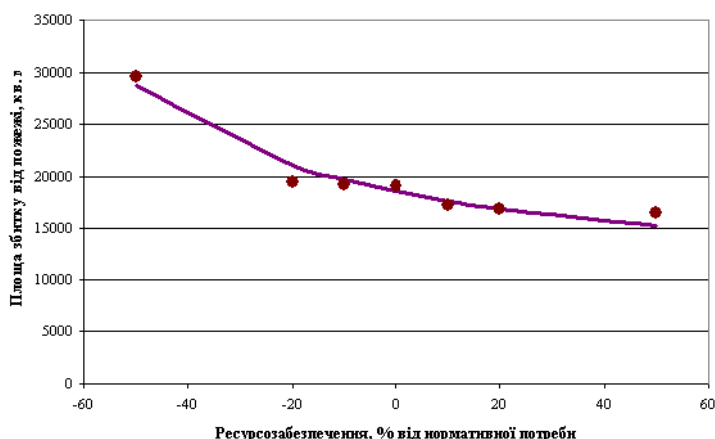
Зміна ресурсозабезпечення, %	$k_2$ , коєф. пожежо- гасіння [2, с.21]	Кількість викликів	Збої	Сумарний час роботи підрозді- лу при гасінні пожеж, хв	Середній час зайнятості, хв	Сумарна площа поже- жі, м <sup>2</sup> /рік
-50	0,075	900	32	56019	56,33	29527,3
-20	0,12	863	22	34032	40,50	19411,1
-10	0,135	906	19	33100	40,45	19180,3
0	0,15	900	26	32200	39,72	19111,1
10	0,165	863	20	28685	36,77	17254,7
20	0,18	823	20	27297	35,08	16939,0
50	0,225	884	14	26051	35,10	16471,6
Середнє		877,0	21,86	33912,000	40,565	19699,291
Стандартне відхилення		29,597	5,728	10207,834	7,34	4496,342
Дисперсія вибірки		876	32,81	104199868,7	53,94	20217089,9
Рівень надійності (95,0%)		27,373	5,297	9440,678	6,793	4158,426

Місце і час пожежі та виклику підрозділів ДСНС (табл. 1) задавалися за ймовірністю генератором випадкових чисел. При цьому число подій при їх великій кількості лише наближується до середнього значення, але не дорівнює йому і від інтервалу до інтервалу коливається в певних межах.

З результатів видно, що сумарний час ліквідації, середній час зайнятості й площа збитку залежить від ресурсозабезпечення й залежності (рис. 2-3) обернено пропорційні.

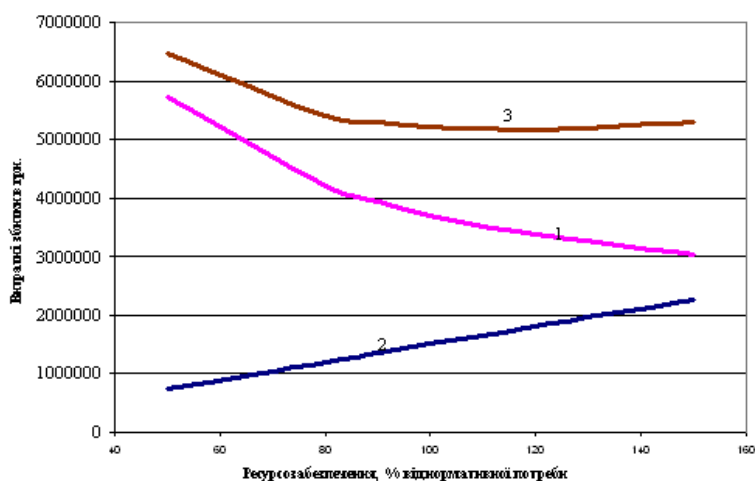


**Рис. 2.** Залежність сумарного часу гасіння пожеж у місті за 365 днів від ресурсозабезпечення



**Рис. 3.** Залежність сумарної площі збитку за 365 днів від ресурсозабезпечення

Для оцінки співвідношення між витратами на ресурсозабезпечення підрозділів та втратами від пожеж експертним шляхом були встановлені питомі коефіцієнти збитку в гривнях від одиниці постраждалої площі у квадратних метрах. Таким коефіцієнтом вважаємо – 1000 грн/м<sup>2</sup>. Сумарні витрати підрозділів ДСНС України та втрати від пожеж наведені на рис. 4.



**Рис. 4.** Залежність збитку від пожежі (1), витрат на оперативно-рятувальні підрозділи ДСНС (2) і їхньої суми (3) за 365 днів від ресурсозабезпечення, % від нормативної потреби

Відповідно, мінімум на графіку (тобто припустимий рівень ризику) займає широкий інтервал (від 80 до 150 % від існуючого в реальності) і зміна витрат у цьому інтервалі не призведе до скільки-небудь значимої зміни рівня ризику.

Одночасно слід зауважити, що скорочення максимального часу виклику оперативної служби з 20 до 5 хв. приводить до скорочення площі пожежі з 19000 м<sup>2</sup> до 5200 м<sup>2</sup>, тобто більш ніж в 3,5 раза, а час зайнятості підрозділу скорочується майже на 20 хв. До такого скорочення може привести використання автоматичних сигналізаторів пожеж.

Похибки розрахунків оптимального рівня ресурсозабезпечення були визначені багаточисельним моделюванням техногенної ситуації населеного пункту протягом 12 місяців. Результати визначення похибок наведені в табл. 2.

*Відносні похибки визначення оптимального рівня методом імітаційного моделювання залежно від кількості пожеж на рік*

Кількість пожеж на рік	800	200	10
Стандартна похибка, %	4,94	9,55	29,1
Рівень надійності (95%), %	10,9	19,8	54,6

Зіставлення свідчить, що для великих населених пунктів похибка від стохастичного характеру виникнення пожеж не перевищує 5%. Але для невеликих населених пунктів вона значно підвищується внаслідок великого внеску кожної окремої пожежі.

*Висновки.* Розроблена та реалізована мовою програмування імітаційна модель діяльності підрозділів ДСНС України. Визначені параметри моделі, виходячи з середньостатистичних даних та експертних оцінок. Досліджений вплив величини ресурсного забезпечення на сумарний рівень втрат від пожеж. Встановлено наявність мінімуму на кривій сум втрат від пожеж та витрат на ресурсозабезпечення підрозділів ДСНС України. Ресурсне забезпечення при такому мінімумі відповідає оптимальному рівню. При його збільшенні втрати знижуються не так швидко, як відбувається зростання витрат, а при зменшенні – втрати зростають більш стрімко.

#### Список літератури:

1. **Фелс Б.** Умные бизнес-показатели: Система измерений эффективности как важный элемент менеджмента / Б. Фелс; [пер. с англ.]. – Днепропетровск: Баланс Бизнес Букс, 2004. – 312с.
2. **Брушлинский Н.Н.** Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы: учебник / Н.Н. Брушлинский. – М.: МИПБ МВД России, 1998. – 255 с.
3. **Методика оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру:** Постанова Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 року №175 // Офіційний вісник України. – 2002. – №8. – Ст. 356.
4. **Системный анализ** и проблемы пожарной безопасности народного хозяйства / [Н.Н. Брушлинский, В.В. Кафидов, В.И. Козлачков и др.]; под ред. Н.Н. Брушлинского. – М.: Стройиздат, 1998. – 413 с.

*М.А. Куценко, А.Г. Алексеев, Е.С. Алексеева, В.В. Наконечный*

#### ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ГСЧС УКРАИНЫ

В статье исследовано влияние ресурсного обеспечения подразделений ГСЧС Украины на снижение ущерба от пожаров и определен его оптимальный уровень. Разработана и реализована на языке программирования имитационная модель деятельности подразделений ГСЧС Украины, определены параметры модели, исходя из среднестатистических данных и экспертных оценок и исследовано влияние величины ресурсного обеспечения на суммарный уровень потерь от пожаров. Установлено наличие минимума на кривой сумм потерь от пожаров и затрат на ресурсное обеспечение подразделений ГСЧС Украины. Ресурсное обеспечение при таком минимуме соответствует оптимальному уровню. При его увеличении потери снижаются не так быстро, как происходит рост расходов, а при уменьшении – потери растут более стремительно.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, ресурсное обеспечение, пожар.

*M.A. Kutsenko, A.G. Alekseev, O.S. Alekseeva, V.V. Nakonechnii.*

## **SIMULATION MODELLING OF THE DEPARTMENTS OF STATE EMERGENCY SERVICE OF UKRAINE WORK**

The influence of the resources' provision of SES departments of Ukraine on the reduction of losses from fire was studied and its optimal level was determined. The simulation modeling of SES work was developed and implemented using the programming language; the parameters of the model, based on average data and expertise were defined and the influence of the resource support on the overall level of losses from fires was investigated. The minimum on the curve of the amounts of losses from fires and the cost of resources' provisions of SES of Ukraine was defined. Resource provision for such minimum corresponds to the optimal level.

**Key words:** simulation modeling, resource security, fire.

