

*А.С. Рогозін, к.т.н., доцент, нач. НДЛ, НУЦЗУ,  
О.В. Пирогов, к.т.н., викладач, НУЦЗУ,  
Є.А. Яровий, викладач, НУЦЗУ*

## **ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ СИЛ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ ПО РЕГІОНАМ УКРАЇНИ**

(представлено д-ром техн. наук Комяк В.М.)

В статті представлено результати оптимізації сил цивільного захисту по регіонах країни на основі врахування стохастичної природи виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій та можливої участі в процесі ліквідації НС сил цивільного захисту з інших регіонів.

**Ключові слова:** модель, оптимізація, сили, цивільний захист, розподіл, регіони.

**Постановка проблеми.** Загострення проблем пов'язаних з кризовими процесами в економіці країни, обумовлює актуальність питань оптимізації витрат на виконання основних функцій держави. Однією з основних функцій держави є забезпечення цивільного захисту населення та територій.

Більша частина ресурсів, яка виділяється на забезпечення цивільного захисту, витрачається на утримання сил цивільного захисту. Ефективність реалізації функції цивільного захисту потрібно розглядати за критерієм відповідності кількісних параметрів сил цивільного захисту рівню реалізації небезпек на території.

Отже оптимізація розподілу сил цивільного захисту по території країни є актуальною нетривіальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В [1-3] розглянуті питання використання методів математичного програмування для оптимізації розподілення сил та засобів.

Формалізація процесу реалізації загроз природного та техногенного характеру в регіонах України присвячені роботи [4-6]. Формалізації залучення сил цивільного захисту для ліквідації надзвичайних ситуацій на території України присвячена робота [7]. Питання визначення оптимальної кількості сил цивільного захисту та їх розподіл по регіонах країни, як задача математичного програмування, не розглядалась.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою статті є оприлюднення результатів оптимізації розміщення сил цивільного захисту по регіонах.

Досвід ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій (НС) регіонального та державного рівня, обумовлює при визначенні чисельності сил цивільного захисту, враховувати необхідність залучення до ліквідації

наслідків НС підрозділів з різних регіонів.

При розподілі сил цивільного захисту по регіонах країни необхідно враховувати:

- інтенсивність реалізації загроз на території;
- інтенсивність ліквідації наслідків НС;
- очікувану кількість залучених сил до ліквідації наслідків НС;
- можливість залучення до ліквідації наслідків НС з інших регіонів.

Оптимізація розміщення сил цивільного захисту здійснювалась виходячи з математичного очікування знаходження сил цивільного захисту регіонів в стані ліквідації НС, які знаходилися на основі розгляду виникнення та ліквідації наслідків НС, як дискретного марківського процесу [8] а залучення сил, як випадкової величини розподіленою за показовим законом [7]

$$M[W_i] = M[P_i] \cdot M[L_i], \quad (1)$$

де  $M[P_i]$ ,  $M[L_i]$  – математичні очікування знаходження сил в стані ліквідації НС та кількості сил цивільного захисту, що залучаються до ліквідації НС відповідно.

Результати розрахунку математичного очікування залучення сил цивільного захисту по регіонах України представлено в табл. 1.

**Табл. 1. Математичне очікування залучення сил цивільного захисту по регіонах України**

Область	$M[W_i]$	Область	$M[W_i]$
Вінницька	0,000510134	Полтавська	0,000239983
Дніпропетровська	0,001134693	Рівненська	0,000446243
Донецька	0,001938413	Ар. Крим	0,000912716
Житомирська	0,000235929	Сумська	0,000167172
Запорізька	0,00072277	Тернопільська	0,000354573
Івано-Франківська	0,000113256	Закарпатська	0,000621264
Київська	0,00063242	Харківська	0,000520315
Кіровоградська	0,0002808	Херсонська	0,000601287
Луганська	0,000492434	Хмельницька	0,000222444
Волинська	0,0002939	Черкаська	0,000178171
Львівська	0,000885266	Чернігівська	0,000301987
Миколаївська	0,000620153	Чернівецька	0,000163129
Одеська	0,000551331		

Для спрощення задачі оптимізації розміщення сил на території регіонів, вважалось, що сили цивільного захисту сконцентровані в адміністративному центрі регіону.

Врахування часу слідування сил ЦЗ регіонів здійснювалось на підставі відстані між адміністративними центрами областей.

Внесок сил сусідніх регіонів у ліквідацію надзвичайної ситуації оцінювалось на основі розгляду часу ліквідації НС, як випадкової величини розподілену за показовим законом [9]

$$Q_j = \mu_j e^{-\mu_j \frac{L_j}{v_{cp}}}, \quad (2)$$

$\mu_j$  – параметр закону розподілу часу ліквідації надзвичайної ситуації на території  $j$ -го регіону;  $L$  – відстань між адміністративними центрами регіонів;  $v_{cp}$  – середня швидкість руху сил цивільного захисту регіону.

В ході аналізу часу ліквідації НС було встановлено, що час ліквідації НС по регіонам України підкоряється показовому закону розподілу, параметри закону для областей України представлено в табл. 2.

**Табл. 2. Параметри показового закону розподілу часу ліквідації НС**

Область	$\mu_j$ (діб)	Область	$\mu_j$ (діб)
1. Вінницька	0,15856777	14.Полтавська	0,1741573
2. Дніпропетровська	0,12356687	15.Рівненська	0,160120846
3. Донецька	0,16274752	16. Ар. Крим	0,1536189
4. Житомирська	0,354285714	17. Сумська	0,25806451
5. Запорізька	0,18097014	18. Тернопільська	0,14828897
6. Івано-Франківська	0,444444	19. Закарпатська	0,11067193
7. Київська	0,26215644	20. Харківська	0,2642487
8. Кіровоградська	0,19685039	21. Херсонська	0,21076233
9. Луганська	0,36138613	22. Хмельницька	0,26666666
10. Волинська	0,1559633	23. Черкаська	0,36774193
11. Львівська	0,14619883	24. Чернігівська	0,34821428
12. Миколаївська	0,18260869	25. Чернівецька	0,23140495
13. Одеська	0,22738386		

Результати розрахунку згідно (2) представлено в табл. 3, нумерація регіонів в табл.3 прийнята, як в табл. 2. В таблиці в рядках занесені ймовірності того, що сили  $i$ -го регіону встигнуть прийняти участь у ліквідації НС.

Табл. 3. Ймовірність прийняття силами регіону участі в ліквідації НС

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1,0000	0,0546	0,0535	0,0565	0,0543	0,0554	0,0559	0,0557	0,0529	0,0554	0,0554	0,0550	0,0552
2	0,1588	1,0000	0,1724	0,1564	0,1796	0,1441	0,1626	0,1725	0,1658	0,1465	0,1442	0,1689	0,1632
3	0,3260	0,6343	1,0000	0,3007	0,6396	0,2054	0,3596	0,4740	0,7132	0,2215	0,2063	0,4296	0,3665
4	0,3052	0,2434	0,2176	1,0000	0,2339	0,2628	0,3033	0,2658	0,2074	0,2872	0,2690	0,2476	0,2518
5	0,0615	0,0646	0,0637	0,0610	1,0000	0,0594	0,0618	0,0633	0,0628	0,0596	0,0594	0,0631	0,0623
6	0,1524	0,1333	0,1258	0,1494	0,1313	1,0000	0,1446	0,1414	0,1215	0,1559	0,1609	0,1385	0,1427
7	0,2509	0,2311	0,2098	0,2634	0,2233	0,2206	1,0000	0,2477	0,2013	0,2384	0,2253	0,2277	0,2310
8	0,1805	0,1840	0,1719	0,1748	0,1807	0,1627	0,1814	1,0000	0,1649	0,1629	0,1628	0,1874	0,1795
9	0,2094	0,2708	0,3031	0,2080	0,2717	0,1763	0,2226	0,2424	1,0000	0,1851	0,1767	0,2335	0,2198
10	0,0167	0,0165	0,0164	0,0167	0,0164	0,0167	0,0167	0,0165	0,0163	1,0000	0,0168	0,0165	0,0165
11	0,0494	0,0474	0,0466	0,0493	0,0472	0,0502	0,0488	0,0483	0,0461	0,0502	1,0000	0,0478	0,0479
12	0,0663	0,0671	0,0655	0,0655	0,0670	0,0643	0,0659	0,0681	0,0646	0,0638	0,0639	1,0000	0,0684
13	0,0574	0,0573	0,0561	0,0568	0,0572	0,0564	0,0572	0,0579	0,0554	0,0556	0,0557	0,0588	1,0000
14	0,1205	0,1297	0,1248	0,1224	0,1274	0,1124	0,1259	0,1281	0,1224	0,1166	0,1135	0,1225	0,1201
15	0,1148	0,1055	0,1012	0,1173	0,1040	0,1152	0,1146	0,1091	0,0994	0,1196	0,1167	0,1062	0,1068
16	0,0587	0,0605	0,0599	0,0581	0,0610	0,0571	0,0585	0,0602	0,0591	0,0568	0,0568	0,0611	0,0604
17	0,1265	0,1329	0,1297	0,1298	0,1304	0,1185	0,1336	0,1311	0,1285	0,1233	0,1198	0,1250	0,1224
18	0,0496	0,0476	0,0468	0,0493	0,0474	0,0499	0,0488	0,0484	0,0463	0,0498	0,0499	0,0479	0,0481
19	0,1010	0,0924	0,0889	0,0997	0,0915	0,1057	0,0976	0,0961	0,0869	0,1036	0,1060	0,0939	0,0955
20	0,0748	0,0792	0,0786	0,0755	0,0784	0,0717	0,0768	0,0776	0,0782	0,0734	0,0722	0,0763	0,0751
21	0,1703	0,1807	0,1702	0,1645	0,1819	0,1559	0,1680	0,1840	0,1633	0,1532	0,1536	0,1933	0,1863
22	0,0540	0,0517	0,0507	0,0537	0,0514	0,0535	0,0531	0,0527	0,0501	0,0534	0,0535	0,0521	0,0522
23	0,2535	0,2549	0,2305	0,2523	0,2459	0,2173	0,2681	0,2764	0,2168	0,2273	0,2177	0,2506	0,2422
24	0,0421	0,0407	0,0401	0,0419	0,0405	0,0425	0,0415	0,0413	0,0397	0,0420	0,0422	0,0413	0,0416
25	0,0662	0,0652	0,0637	0,0670	0,0647	0,0641	0,0680	0,0661	0,0634	0,0654	0,0645	0,0647	0,0649

## Продовження табл. 3

	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	0,0545	0,0557	0,0536	0,0544	0,0560	0,0545	0,0539	0,0547	0,0565	0,0556	0,0557	0,0552
2	0,1753	0,1493	0,1635	0,1673	0,1491	0,1362	0,1736	0,1695	0,1536	0,1690	0,1464	0,1582
3	0,5367	0,2418	0,4337	0,4785	0,2407	0,1582	0,6100	0,4526	0,2765	0,4311	0,2207	0,3206
4	0,2587	0,2969	0,2131	0,2598	0,2791	0,2381	0,2426	0,2403	0,2942	0,2758	0,2701	0,2826
5	0,0635	0,0600	0,0630	0,0624	0,0601	0,0582	0,0633	0,0634	0,0607	0,0627	0,0597	0,0613
6	0,1333	0,1552	0,1281	0,1336	0,1609	0,1549	0,1289	0,1363	0,1567	0,1406	0,1607	0,1395
7	0,2435	0,2453	0,2001	0,2439	0,2323	0,2026	0,2304	0,2219	0,2431	0,2573	0,2259	0,2623
8	0,1838	0,1662	0,1706	0,1748	0,1687	0,1532	0,1767	0,1838	0,1742	0,1902	0,1654	0,1747
9	0,2598	0,1914	0,2343	0,2549	0,1873	0,1597	0,2796	0,2382	0,1975	0,2338	0,1813	0,2189
10	0,0165	0,0168	0,0164	0,0165	0,0168	0,0166	0,0165	0,0165	0,0167	0,0166	0,0167	0,0166
11	0,0476	0,0499	0,0467	0,0476	0,0502	0,0497	0,0471	0,0476	0,0498	0,0482	0,0497	0,0483
12	0,0661	0,0643	0,0671	0,0650	0,0647	0,0625	0,0657	0,0688	0,0654	0,0669	0,0652	0,0650
13	0,0566	0,0560	0,0572	0,0558	0,0563	0,0550	0,0562	0,0585	0,0568	0,0573	0,0570	0,0565
14	1,0000	0,1183	0,1193	0,1297	0,1152	0,1078	0,1306	0,1223	0,1177	0,1276	0,1136	0,1243
15	0,1080	1,0000	0,1003	0,1081	0,1178	0,1113	0,1054	0,1050	0,1171	0,1106	0,1145	0,1116
16	0,0596	0,0571	1,0000	0,0587	0,0575	0,0557	0,0595	0,0615	0,0581	0,0595	0,0578	0,0579
17	0,1378	0,1251	0,1216	1,0000	0,1216	0,1134	0,1377	0,1248	0,1245	0,1335	0,1199	0,1336
18	0,0476	0,0498	0,0468	0,0476	1,0000	0,0492	0,0471	0,0477	0,0500	0,0484	0,0498	0,0482
19	0,0924	0,1026	0,0892	0,0925	0,1048	1,0000	0,0904	0,0930	0,1029	0,0958	0,0953	0,1034
20	0,0799	0,0740	0,0754	0,0795	0,0728	0,0700	1,0000	0,0764	0,0738	0,0775	0,0722	0,0765
21	0,1719	0,1563	0,1826	0,1635	0,1592	0,1445	0,1701	1,0000	0,1644	0,1761	0,1621	0,1610
22	0,0517	0,0537	0,0508	0,0517	0,0540	0,0526	0,0511	0,0518	1,0000	0,0526	0,0537	0,0525
23	0,2607	0,2342	0,2238	0,2532	0,2294	0,1989	0,2459	0,2463	0,2405	1,0000	0,2228	0,2565
24	0,0407	0,0420	0,0404	0,0407	0,0424	0,0405	0,0403	0,0411	0,0424	0,0412	1,0000	0,0411
25	0,0663	0,0659	0,0629	0,0668	0,0650	0,0661	0,0656	0,0643	0,0657	0,0669	0,0645	1,0000

Використавши цільову функцію наступного виду

$$f(W) = \sum_{j=1}^{25} \left( \frac{M[W_j]}{W_j + \sum_{i=1}^{24} m \cdot (W_i - M[W_i]) \cdot Q_j} \right) + \sum_{j=1}^{25} \left( \frac{M[W_j]}{W_j - (m(W_j - M[W_j]))} \right) \rightarrow \min, \quad (4)$$

де  $W_j$ ,  $W_i$  – відносна кількість сил цивільного захисту на території  $j$ -го та  $i$ -го регіонів відповідно;  $m$  – коефіцієнт, що враховує, яку частину вільних сил цивільного захисту можна залучати до ліквідації надзвичайної ситуації в інших регіонах.

В табл. 4 представлено результати оптимізації отримані на основі використання методу послідовного квадратичного програмування (SQP, sequential quadratic programming).

**Табл. 4. Результати оптимізації розташування сил по території країни**

Область	$W_i$	Область	$W_i$	Область	$W_i$
Вінницька	0,04173	Волинська	0,03172	Тернопільська	0,03482
Дніпропетровська	0,06195	Львівська	0,05472	Закарпатська	0,04587
Донецька	0,08060	Миколаївська	0,04597	Харківська	0,04214
Житомирська	0,02847	Одеська	0,04336	Херсонська	0,04527
Запорізька	0,04959	Полтавська	0,02872	Хмельницька	0,02765
Івано-Франківська	0,01975	Рівненська	0,03902	Черкаська	0,02478
Київська	0,04642	Ар. Крим	0,05557	Чернігівська	0,03215
Кіровоградська	0,03106	Сумська	0,02399	Чернівецька	0,02369
Луганська	0,04099				

**Висновки.** Отримані результати оптимізації доцільно враховувати при реалізації функцій організації, регулювання та координації в сфері цивільного захисту.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Таха Х.А. Введение в исследование операций / Х.А. Таха. – М.: Вильямс, 2005. – 912 с.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций / Вентцель Е.С. – М.: Советское радио, 2001. – 208 с.
3. Чуев Ю.В. Исследование операций в военном деле / Ю.В. Чуев.

ев. – М.: Воениздат, 1970. – 256 с.

4. Розподіл регіонів України за рівнем реалізації загроз природного, техногенного та соціально-політичного характеру / А.С. Рогозін, В.С. Хоменко, Ю.М. Райз // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2012. – Вип. 16. – С. 95-106.

5. Формалізація реалізації загроз природного та техногенного характеру в регіонах з високим рівнем техногенного навантаження / А.С. Рогозін, В.С. Хоменко, Ю.М. Райз // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2013. – Вип. 17. – С. 138-145.

6. Рогозін А.С. Аналіз реалізації загроз природного та техногенного характеру на території Донецької області / А.С. Рогозін // Зб. наукових праць ХУПС. Вип. 2(35). – 2013. – С. 206-208.

7. Рогозін А.С. Формалізація залучення сил цивільного захисту для ліквідації надзвичайних ситуацій на території України / А.С. Рогозін, С.О. Склярів // Системи обробки інформації. Вип. 1(117). – 2014. – С. 241-243.

8. Рогозін А.С. Аналіз процесу ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій силами цивільного захисту регіонів з високим рівнем техногенного навантаження / А.С. Рогозін // Системи обробки інформації. Вип. 4(120). – 2014. – С. 212-214.

9. Рогозін А.С. Аналіз ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру на території Київської, Харківської, Луганської, Одеської областей / А.С. Рогозін // Зб. наукових праць ХУПС. Вип. 3(40). – 2014. – С. 190-192.

А.С. Рогозин, А.В. Пирогов, Е.А. Яровый

#### **Оптимизация распределения сил гражданской защиты по регионам Украины**

В статье представлены результаты оптимизации сил гражданской защиты по регионам страны полученные на основе учета стохастической природы возникновения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и возможного участия в процессе ликвидации ЧС сил гражданской защиты из других регионов.

**Ключевые слова:** модель, оптимизация, силы, гражданская защита, распределение, регионы.

A.S. Rogozin, A.V. Pirogov, Y.A. Yarovoj

#### **Optimization apportionment of civil protection forces in the regions of Ukraine**

The article presents the results of the optimization of civil protection forces to the regions obtained by taking into account the stochastic nature of occurrence and liquidation of emergency situations and possible participation in the process of liquidation of emergency civil protection forces from other regions.

**Keywords:** model, optimization, forces, civil protection, distribution, regions.