

**Гадецька С. В.¹,
Дубницький В. Ю.²,
Кушнерук Ю. І.³,
Ходирєв О. І.²,
Черепньов І. А.⁴**

¹Харківський національний
автомобільно-дорожній
університет,

м. Харків, Україна

²Харківський національний
університет імені

В. Н. Каразіна,

м. Харків, Україна

³Харківський національний
університет Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба,

м. Харків, Україна

⁴Державний

біотехнологічний

університет,

м. Харків, Україна

E-mail: svgadetska@ukr.net

kyshneryk_ui@ukr.net

dubnitskiy@gmail.com

khodyrevmjk3758@gmail.com

voenpred314@ukr.net

**КОМПЛЕКСНЕ ВИРІШЕННЯ
ЛОГІСТИЧНОЇ ЗАДАЧІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ НАСЕЛЕННЯ
В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

DOI: <https://doi.org/10.31359/2311-441X-2025-26-8-24>

УДК 613.2+519.8

*Гадецька С.В., Дубницький В.Ю., Кушнерук Ю.І., Ходирєв О.І., Черепньов І.А.
Комплексне вирішення логістичної задачі забезпечення життєдіяльності
населення в умовах надзвичайних ситуацій.*

Анотація. В роботі розглянуто актуальну проблему своєчасного та ефективного забезпечення продовольством населення та персоналу Державної служби надзвичайних ситуацій які перебувають на територіях, потерпілих від надзвичайних ситуацій. На підставі аналізу ряду публікацій показано, що велика частина смертей в процесі природних катастроф викликана не прямими вражаючими чинниками, а голодом і епідеміями, які виникають на відповідній території. Також відомі численні факти про негативні наслідки для здоров'я найуразливіших категорій населення (діти, літні люди, особи, які страждають на хронічні захворювання та ін.) тривалого, більше двадцяти одного дня, харчування високоенергетичними фруктовими пастами, печивом, а також стандартними армійськими харчовими раціонами, що містять консерви і сублімовані продукти. На прикладі США і Японії наведено випадки виявлення значних запасів продовольства на складах магазинів, які не були використані в процесі ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Для запобігання цього явища запропоновано

використовувати централізоване приготування і харчування населення із використанням армійських польових кухонь. Для їх використання необхідно мати достатню кількість продуктів та рецептуру для приготування гарячих страв. В узагальненому вигляді ця задача отримала назву задачі лінійного програмування про дієту. Наведено чисельний приклад її розв'язання. Такий підхід надає можливість для виконання нормативних розрахунків, необхідних для визначення обсягу запасів продуктів на випадок надзвичайних ситуацій. Розроблена дієта використовує лише місцеві та загальнодоступні продукти. Оскільки в умовах надзвичайних ситуацій рішення приймають в умовах неповної інформації, то для оптимізації логістичних процесів використано методи стохастичного лінійного програмування. Для розв'язання задачі дієти прийнято, що розподіл параметрів задачі рівномірний. Для оптимізації за критерієм витрат пального, необхідного для доставки продуктів споживання, була розв'язана транспортна задача лінійного програмування в детермінованому та стохастичному варіантах.

Ключові слова: надзвичайні ситуації, забезпечення продуктами харчування в умовах надзвичайних ситуацій, лінійне програмування, стохастичне лінійне програмування, задача дієти, транспортна задача.

Gadetska S.V., Dubnitskiy V.Y., Kushneruk Y.I., Khodyrev O.I., Cherepnov I.A. Comprehensive solution of logistics problem of ensuring the life of population in emergency situations.

Abstract. *The work considers the urgent problem of timely and effective provision of food and staff of the State Emergency Service in the territories that are victims of emergencies. On the basis of an analysis of a number of publications, it is shown that most deaths in the process of natural catastrophes are caused not by direct striking factors, but by hunger and epidemics that occur in the respective territory. There are also many facts about the negative effects on the health of the most vulnerable categories of the population (children, elderly, people suffering from chronic diseases, etc.) of long, more than twenty -one days, nutrition with high -energy fruit pastes, cookies, and standard army diet. The example of the US and Japan shows cases of detection of significant food reserves in stores warehouses that have not been used in the process of eliminating the consequences of emergencies. To prevent this phenomenon, it is proposed to use centralized preparation and nutrition of the population using army field kitchens. To use them, you need to have enough products and recipe for hot dishes. Generally, this task was called linear programming problem. A numerical example of its solution is given. This approach provides an opportunity to make regulatory calculations necessary to determine the amount of inventories of products in case of emergencies. The developed diet uses only local and public products. Since, in emergency situations, decisions are made in conditions of incomplete information, the methods of stochastic linear programming were used to optimize logistics processes. To solve the problem of the diet, it is accepted that the distribution of the parameters of the problem is uniform. To optimize the fuel costs required for the delivery of consumption products, a linear programming transportation problem was solved in deterministic and stochastic variants.*

Key words: *emergency situations, food provision in emergency foods, linear programming, stochastic linear programming, diet task, transport problem.*

Постановка проблеми

Статистика надзвичайних ситуацій (НС) свідчить про те, що починаючи з 1970 року спостерігається вельми тривожна тенденція збільшення середньорічного числа стихійних лих, викликаних небезпечними природними явищами, що відмічене в роботі

[1]. Порівняння показників кількості НС 2021 і 2022 років дозволяє зробити висновок про те, що в кількісному виразі НС, ініційовані кліматичними змінами, набагато перевищували аналогічні показники катастроф техногенного характеру. За інформацією Всесвітньої метеорологічної організації за останні 50 років екстремальні погодні явища привели до 2 мільйонів смертей і економічних втрат у розмірі більше 4 мільярдів доларів США. За період з 1970 по 2021 рік відбулося близько 12 000 стихійних лих [2]. На рис. 1 представлені дані по глобальній смертності, викликаній цими лихами [3].

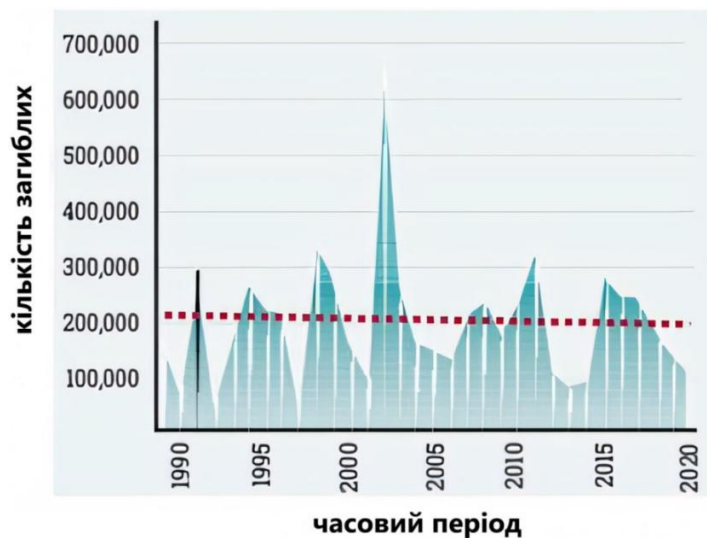


Рис. 1. Глобальна смертність, пов'язана зі стихійними лихами за 1989-2020 роки.

Нерідкі випадки, коли віддалені негативні наслідки НС є більш смертоносними, ніж прямі вражаючі чинники. Найбільш яскравим прикладом такої катастрофи, яка відбулася відносно недавно за історичними мірками, служить прорив дамби Баньцяо в Китаї 8 серпня 1975 року. Повені, викликані проливними дощами, привели безпосередньо до загибелі 26 000 чоловік і залишили близько 10 мільйонів чоловік без належного житла. Голод і хвороби, викликані цією повинню, привели до загибелі ще приблизно 100 000 чоловік [4]. Незалежно від типу природного катаклізму безпека харчових продуктів завжди є серйозною проблемою при таких інцидентах. Запаси продовольства і води, необхідні для життєдіяльності, повинні бути забезпечені до того, як відбудеться цей інцидент. Під час або після стихійних лих продукти харчування в постраждалих районах можуть бути забруднені мікробіологічними та іншими агентами. В результаті населення відповідних територій голодуватиме або піддаватиметься ризику захворювань харчового походження [5]. Часті й інтенсивні стихійні лиха представляють серйозну загрозу для виживання людини і суспільства, а також ставлять під загрозу можливості державних органів в області реагування на НС і порятунку людей. У цих умовах захист людського життя є пріоритетом при реагуванні на ці події. Екстрене постачання продовольства є основним механізмом реагування, який може забезпечити виживання людей і задоволення основних потреб постраждалого населення у разі стихійного лиха [6]. За даними ООН, представленими в доповіді у 2022 році, майбутнє людства, поза сумнівом, пов'язане з урбанізацією. Ми є свідками того, що протягом наступних трьох десятиліть урбанізація в світі продовжуватиметься – з 56% в 2021 році до 68% в 2050 році. Це приведе до збільшення числа міських жителів на 2,2 мільярда чоловік в основному в Африці й Азії [7]. Існують численні дані, які доводять підвищену уразливість більшості міських співтовариств з погляду

забезпечення продовольством в умовах НС. Зокрема, в роботі [8] на підставі аналізу літературних джерел сформульовані наступні основні тенденції в міських співтовариствах, що підвищують уразливість у разі стихійного лиха:

1. Жителі міст у масових масштабах вживають в їжу свіжі фрукти й овочі місцевого походження. Як результат, велика частина домашніх продуктів зберігається в холодильниках.

2. Городяни часто харчуються поза межами будинку. Внаслідок цього домашні запаси продуктів порівняно невеликі.

3. Дуже часто в їжу використовують напівфабрикати. Внаслідок цього велика частина домашніх продуктів зберігається в морозильних камерах, тому в наявності є обмежений простір для зберігання продуктів.

З цього випливає, що в половині випадків, для зберігання запасу продуктів потрібний холодильник і (або) морозильна камера, що у свою чергу припускає централізоване і регулярне електропостачання. В роботі [9] наведено результати загальнонаціонального опитування, метою якого було дізнатися, наскільки споживачі обізнані з рекомендованими методами зберігання продуктів під час тривалих відключень електроенергії й інших НС. Тільки 15% респондентів повідомили, що вони повністю готові забезпечити збереження продуктів харчування під час тривалого відключення електроенергії. Стихійні лиха, наприклад, землетруси, лісові пожежі, урагани й інші події, які можуть привести до довготривалої відсутності електроенергії, можуть поставити під загрозу безпеку харчових продуктів і викликати підвищений ризик захворювань харчового походження. Крім того, слід врахувати й економічний аспект. Далеко не всі сім'ї здатні виділити необхідну суму грошей для придбання набору продуктів тривалого зберігання. Дослідження, проведені в США в період 2006-2010 років, показали, що більше 80% населення повідомили про наявність в їх будинках запасів продовольства, яких вистачило б на рекомендовані три дні. Дозволити собі закласти продукти харчування на 8 днів могли переважно в домогосподарствах із середнім і високим соціально-економічним статусом [10]. Безумовно, проведення евакуації, аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт і забезпечення продовольством населення в зоні НС є функцією держави і здійснюється спеціалізованими службами, а у разі потреби залучається армія і поліція. Нажаль, досить часто виникає деякий часовий інтервал, протягом якого все населення постраждалої території або деяка її частина не отримує своєчасної допомоги, у тому числі і продовольчої. Наведемо декілька прикладів.

1. Японія, землетруси 1995 і 2011 рр. [11, 12]:

– великий землетрус Хансин-авадзі (17 січня 1995 року). Значна частина населення навіть через місяць не була забезпечена достатньою кількістю харчових пайків;

– великий східно-японський землетрус (11 березня 2011 року). Навіть після завершення основних робіт по відновленню міських комунікацій доставка і розподіл продовольства здійснювалися вкрай незадовільно.

2. США, 23 грудня 2014 року. Торнадо в штат Міссісіпі [13]. Звернення президента з обіцянкою надання допомоги було оприлюднене лише через 15 днів.

Проте, навіть у разі своєчасного розподілу продовольства серед населення був відсутній єдиний підхід до вибору продуктів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У роботі [14] приведено огляд різних підходів до вибору продуктів харчування, які використовують в умовах НС. Як правило – це спеціальні фруктові пасти і печиво з

підвищеним вмістом цукру і збагачені вітамінами або стандартні армійські харчові раціони, що містять консерви, концентрати і сублімовані продукти. Традиційні консерви і харчові концентрати дуже часто багаті сіллю і цукром, але бідні клітковиною, що при тривалому вживанні можуть викликати серйозні розлади здоров'я у літніх людей, дітей, а також у людей, хворих діабетом і гіпертонією. Сублімовані продукти, які входять до складу армійських раціонів коштують більше, ніж звичайні продукти. Наприклад, значна частина населення Японії не має можливості їх купувати [1]. Не дивлячись на це, в роботі [14] приводиться наступна думка фахівців у сфері гігієни харчування. Вони пропонують ввести в повсякденне вживання населенням продукти тривалого зберігання для того, щоб знизити їх ціну, збільшити виробництво для формування як державних запасів продовольства, так і запасів домогосподарств. Проте, як показало опитування осіб, які вижили на території, що постраждала від землетрусу, їм хронічно не вистачало звичайних продуктів харчування. Результат опитування приведено на діаграмі (рис. 2).

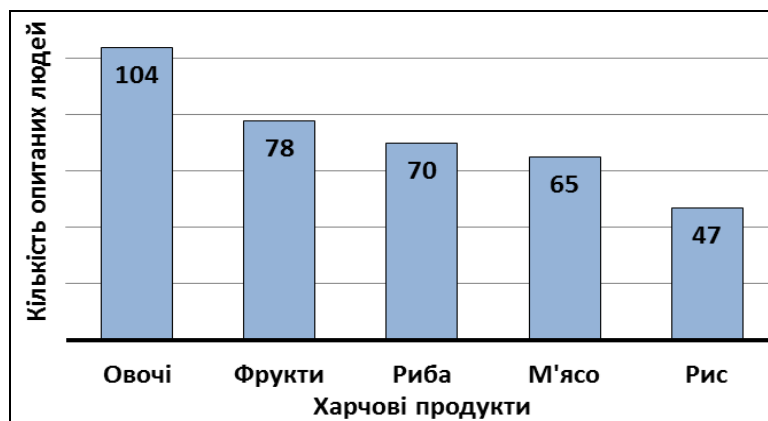


Рис. 2. Харчові продукти, яких не вистачало в раціоні населення в зоні НС (результат опитування за даними [14]).

Як правило, вражаючі фактори НС спричиняють руйнування і порушення комунікацій, а тому дуже часто виникають проблеми з доставкою продовольства на постраждалі території. При цьому немає ніякої гарантії, що склади зберігання з польовими армійськими раціонами опиняться в зоні доступності у необхідній кількості. В [15] наведено дані про те, що на території США і Японії після ліквідації наслідків НС і проведення всебічного аналізу проведених аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, було виявлено парадоксальні факти наявності продуктів у мережі магазинів і на їхніх складах, які з незрозумілих причин залишилися незатребуваними. Тому в цій ситуації необхідно організувати пункти централізованого розподілу харчів. Існують два способи вирішення цієї задачі. Перший полягає у використанні заздалегідь розфасованих і придатних для вживання наборів продуктів. До недоліку цього способу слід віднести те, що його використання вимагає деяких навичок для застосування. Якщо учасники рятувальних робіт можуть бути навчені цьому в процесі їх професійної підготовки, то громадяни, що опинилися в епіцентрі НС і знаходяться в стресовому стані, просто не зможуть ними скористатися. Крім того, в перші години проведення рятувальних робіт кількість рятувальників та постраждалих буде безперервно змінюватись, тому неминуче виникнення нерівномірного розподілу продовольчих комплектів. Другий спосіб полягає у використанні польових кухонь для приготування їжі на об'єктах в зоні НС. Для цього необхідно мати достатню кількість продуктів та рецептуру для приготування гарячих страв.

В узагальненому вигляді ця задача отримала назву задачі про дієту. У сучасній науковій літературі, наприклад в роботі [16], задача про дієту має такий вигляд.

Припустимо, що в наявності є m продуктів $p_1, p_2, \dots, p_j, \dots, p_m$. Щодобове вживання продукту p_j дорівнює величині x_j . Щодобовою дієтою будемо називати багатовимірний вектор $X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_m)$. Зрозуміло, що замість доби може бути обраний будь який проміжок часу. Заздалегідь відома кількість поживних речовин кожного з продуктів, до складу яких входять білки, жири, вуглеводи, перелік мікроелементів та вітамінів. Припустимо, що величина a_{ij} визначає вміст i -ої поживної речовини ($i = 1, 2, \dots, n$) в одиниці продукту p_j . Для наочності подамо умови задачі у вигляді табл. 1. В цій таблиці величина a_{ij} визначає кількість i -ої поживної речовини у складі j -го продукту в одиницях виміру, які задовольняють фізичному змісту задачі, c_j – узагальнена вартість одиниці продукту p_j в одиницях виміру, які задовольняють фізичному змісту задачі. Наприклад, грошові, енергетичні, або вагові одиниці виміру.

Таблиця 1

Умови задачі про дієту в загальному вигляді

Поживні речовини	Продукти					
	p_1	p_2	...	p_j	...	p_m
a_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}	...	a_{1m}
a_2	a_{21}	a_{21}	...	a_{2j}	...	a_{2m}
...
a_i	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{ij}	...	a_{im}
...
a_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nj}	...	a_{nm}
Узагальнена вартість	c_1	c_2	...	c_j	...	c_m

Тоді загальний вміст i -ої поживної речовини в дієті дорівнює величині:

$$a_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} x_j, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Визначимо мінімальну щодобову потребу у вживанні i -ої поживної речовини як b_i . Звідси буде мати місце нерівність:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \geq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

Обмеження на щодобове вживання кожного продукту мають вигляд:

$$A_j \leq x_j \leq B_j, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

Вартість усієї щодобової дієти дорівнює величині:

$$L = \sum_{j=1}^m c_j x_j. \quad (4)$$

Оптимальною за критерієм узагальненої вартості буде така дієта, яка залежно від конкретних вимог замовника результатів відповідних обчислень мінімізує або максимізує цільову функцію (4) за умов виконання обмежень (1)...(3).

В умовах НС велике значення має не стільки раціонально складена дієта, скільки вирішення проблем логістики, що виникають під час доставки продуктів харчування на постраждалу територію.

Одним з методів оптимізації вирішення цих проблем може бути транспортна задача лінійного програмування. Її розв'язання детально розглянуте в [17]. У [11, 12, 13]

приведені приклади того, як в умовах невизначеності в оцінці ситуації після перших годин і днів НС виникають проблеми, пов'язані із забезпеченням нормальної їжі. Тому важливою є оптимальна організація процесу доставки продуктів від пунктів їх зберігання до основних епіцентрів НС, як правило, особливо в умовах невизначеності оцінки ситуації, що виникла.

Формулювання мети досліджень

Метою даного дослідження є розгляд актуальної проблеми своєчасного та ефективного забезпечення продовольством населення та персоналу ДСНС які перебувають на територіях, потерпілих від надзвичайних ситуацій (НС).

Результати досліджень

Відповідно до табл. 1 в табл. 2 наведено перелік продуктів, які були включені до раціону згідно з роботою [16], а також види та кількість поживних речовин, що входять до їх складу та їх верхні й нижні межі. Одиницею масштабу обрано масу в 100 г., одиницею вартості – одну копійку. Слід ще раз підкреслити, що це, на погляд авторів, не впливає на зміст методики розв'язання задачі. Інші позначення наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Перелік продуктів, включених до раціону військовослужбовців *)

Поживні речовини та їх коди	Продукти та їх коди						
	Хліб жит., обійний x_1 , 100 г	Хліб пшен., x_2 , 100 г	Борошно пшеничне 2-го гатунку, x_3 , 100 г	Крупа різна, x_4 , 100 г	Макарони-вермішель, x_5 , 100 г	М'ясо, x_6 , 100 г	Риба, x_7 , 100 г
Білки, a_{1j} , г	4,5	4,8	7	7,5	17,5	15	19
Жири, a_{2j} , г	0,5	0,5	0,8	1,1	0,2	1,7	3
Вуглеводи, a_{3j} , г	37	55	71	69,2	72	0	0
Вітамін А, a_{4j} , г	0	0	0	0	0	0,0007	0
Вітамін В1, a_{5j} , г	0,0002	7E-05	0,0004	0,0003	0	0,0002	0
Вітамін С, a_{6j} , г	0	0	0	0	0	0,0009	0
Калорійність, a_{7j} , ккал	175	250	330	326	330	75	106
Вартість, c_j , коп. /100г	10	17	11	21	32	53	13
Верхня межа, B_j , 100г	8,4	4,2	0,28	1,96	0,42	2,1	1,4
Нижня межа, A_j , 100г	6	3	0,2	1,4	0,3	1,5	1
Вуглеводи, a_{3j} , г	22	72	0	94	14	4,1	5,7
Вітамін А, a_{4j} , г	0,0003	0	0	0	0	0	0,006
Вітамін В1, a_{5j} , г	0,001	0	0	0	0,0001	0,00005	0,0001
Вітамін С, a_{6j} , г	0	0	0	0	0,01	0,02	0,004

Продовження таблиці 2

Поживні речовини та їх коди	Продукти та їх коди						
	Борошно соєве, x_8 , 100г	Сало, x_9 , 100г	Олія, x_{10} , 100г	Цукор, x_{11} , 100г	Картопля, x_{12} , 100г	Капуста свіжа або квашена, x_{13} , 100г	Морква, x_{14} , 100г
Калорійність, a_{7j} , ккал	330	770	880	400	65	22	27
Вартість, c_j , коп. /100г	66	19	50	38	7	8	8
Верхня межа, B_j , 100г	0,84	0,42	0,28	0,49	7	2,38	0,63
Нижня межа, A_j , 100г	0,6	0,3	0,2	0,35	5	1,7	0,45

Закінчення таблиці 2

Поживні речовини та їх коди	Продукти та їх коди				Мінімальне добове споживання
	Буряк, x_{15} , 100г	Цибуля ріпчаста, x_{16} , 100г	Коріння, зелень, огірки, x_{17} , 100г	Томатна паста, x_{18} , 100г	
Білки, a_{1j} , г	0,6	0,8	0,8	4	95
Жири, a_{2j} , г	0,1	0	0	0	60
Вуглеводи, a_{3j} , г	6,4	4,3	0,6	9	475
Вітамін А, a_{4j} , г	0,00001	0,00002	0	0,002	0,004
Вітамін В1, a_{5j} , г	0,00002	0,00002	3E-05	0,00007	0,0005
Вітамін С, a_{6j} , г	0,008	0,008	0,005	0,07	0,04
Калорійність, a_{7j} , ккал	29	35	17	98	4200
Вартість, c_j , коп. /100г	6	12	6	35	-
Верхня межа, B_j , 100г	0,56	0,42	0,49	0,084	-
Нижня межа, A_j , 100г	0,4	0,3	0,35	0,06	-

*) Таблицю складено згідно з роботою [16].

Припустимо, що відомі наступні харчові продукти: хліб житній, обойний; хліб пшеничний; борошно пшеничне 2-го гатунку; крупа різна; макарони-вермішель; м'ясо; риба; соєве борошно; сало; олія; цукор; картопля; капуста свіжа або квашена; морква; буряк; цибуля; коріння, зелень, огірки; томатна паста, які занумеровані числами $1, 2, \dots, 18$ відповідно, $j = \overline{1, 18}$. Подальші розрахунки виконано для забезпечення життєдіяльності k людей. В нашому випадку $k=1000$. Такий підхід надає можливість виконання нормативних розрахунків, необхідних для визначення обсягу запасів продуктів на випадок НС. Перелік життєво необхідних поживних речовин та їх калорійність наведено в табл. 2. Вони мають номери відповідно як $1, 2, \dots, 7$, тому $i = \overline{1, 7}$. Також відома кількість поживних речовин в 100 г кожного продукту a_{ij}^0 ; $i = \overline{1, 7}$; $j = \overline{1, 18}$ та щодобова мінімальна потреба в кожній поживній речовині b_i^0 ; $i = \overline{1, 7}$. Узагальнену вартість одиниці кожного продукту визначимо як c_j^0 , $j = \overline{1, 18}$.

Також заздалегідь відомі нижні a_j^{0s} ; $j = \overline{1, 18}$ та верхні a_j^{0l} ; $j = \overline{1, 18}$ границі щодо обмежень маси кожного продукту та обмеження щодо сумарної маси всіх продуктів M^0 .

Необхідно скласти дієту, тобто визначити кількості кожного продукту x_1, x_2, \dots, x_{18} , що забезпечувала б не менше мінімальної щодобової потреби в кожній

поживній речовині за критерієм максимуму сумарної калорійності дієти при обмеженнях на маси продуктів, якщо кількість осіб, що забезпечуються, дорівнює k .

Математична модель задачі про дієту має наступний вигляд:

$$L = \sum_{j=1}^{18} c_j x_j \rightarrow \max; \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{18} a_{ij} x_j \geq b_i; i = \overline{1,6}; \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{18} x_j \leq M; \quad (7)$$

$$a_j^s \leq x_j \leq a_j^l; j = \overline{1,18}. \quad (8)$$

де:

$$c_j = ka_{7j}; \quad a_{ij} = ka_{ij}^0; \quad b_i = kb_i^0; \quad a_j^s = ka_j^{0s}; \quad a_j^l = ka_j^{0l}; \quad M = kM^0; \quad i = \overline{1,6}; \quad j = \overline{1,18}. \quad (9)$$

Зауважимо, що значення калорійності обраних продуктів увійшли в коефіцієнти цільової функції, звідси кількість обмежень у співвідношенні (6) дорівнює 6.

Таблиця 3

Вміст продуктів відповідно до розв'язання задачі про щоденну дієту за критерієм максимуму сумарної калорійності для $k = 1000^{*})$

Продукти	Обмеження		Оптимізація
	Верхня границя, $z, 10^3$	Нижня границя, $z, 10^3$	Оптимальний план, $x_j, z, 10^3$
$x1$	840	600	640,4
$x2$	420	300	420
$x3$	28	20	28
$x4$	196	140	196
$x5$	42	30	42
$x6$	210	150	210
$x7$	140	100	140
$x8$	84	60	84
$x9$	42	30	42
$x10$	28	20	28
$x11$	49	35	43,6
$x12$	700	50	500
$x13$	238	170	170
$x14$	63	45	45
$x14$	56	40	40
$x16$	42	30	30
$x17$	49	35	35
$x18$	8,4	6	6
<i>Усього</i>	3235,4	1861	2700

**)* Код продуктів співпадає з кодом, який наведено у табл. 2.

Критерій оптимізації (5) у такому разі набуде вигляду:

$$L = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^{18} c_j x_j \rightarrow \max. \quad (10)$$

Оптимальна розрахункова калорійність такої дієти на одного споживача $L = 4776,4$ ккал.

Для порівняння відзначимо, що калорійність приведеної в [18] дієти, також призначеної для застосування в екстремальних умовах (військові навчання в тропіках) дорівнює 3600 ккал. Слід зазначити, що запропонована в даній роботі дієта використовує лише місцеві і загальнодоступні продукти.

Оскільки в умовах НС рішення приймаються в умовах неповної інформації, то для оптимізації логістичних процесів доцільне застосування методів стохастичного програмування [7, 19].

За змістом нашої задачі будемо вважати, що параметри a_{ij} є детерміновані, решта параметрів c_j, b_i, a_j^s, a_j^l взагалі випадкові величини.

Задачу (1) – (4) з випадковими параметрами зазвичай називають задачею стохастичного програмування. Оскільки параметри c_j, b_i, a_j^s, a_j^l є випадковими величинами, співвідношення (1) – (4) треба розглядати з ймовірнісним змістом. В [7] запропоновано метод зведення задачі лінійного стохастичного програмування до задачі детермінованого лінійного програмування. А саме, цільову функцію Z визначимо шляхом заміни коефіцієнтів цільової функції c_j на їх математичні сподівання:

$$Z = \sum_{j=1}^{18} \bar{c}_j x_j. \quad (11)$$

де \bar{c}_j – математичне сподівання випадкової величини c_j .

Розглянемо тепер обмеження. В задачі стохастичного програмування у нашому випадку найчастіше розглядають наступний варіант обмежень, наприклад для співвідношення (6), [17]:

$$Pr \left[\sum_{j=1}^{18} a_{ij} x_j \geq b_i \right] \geq \alpha_i; i = \overline{1,6}, \quad (12)$$

де α_i – задані рівні ймовірностей; $\alpha_i \geq 0,5; i = \overline{1,6}$.

Для одержання розв'язку співвідношень (12) необхідні відомості про закон розподілу даних випадкових величин. В [17] рекомендовано для цього використовувати закон рівномірного розподілу ймовірностей:

$$F(u) = \begin{cases} \frac{u - u^s}{u^l - u^s}; & \text{якщо } u \in [u^s, u^l]; \\ 0; & \text{якщо } u \notin [u^s, u^l]. \end{cases} \quad (13)$$

У цьому випадку квантиль співвідношення (13) для ймовірності p набуде вигляду:

$$u = F^{-1}(p) = u^s + p(u^l - u^s). \quad (14)$$

У нашому випадку в [19] рекомендовано при відсутності інформації про закони розподілу випадкових величин застосовувати рівномірний розподіл, тому, що він має найбільшу ентропію на множині можливих законів розподілу випадкових величин. Такий підхід дозволяє отримати детермінований аналог задачі стохастичного лінійного програмування у вигляді задачі лінійного програмування. В табл. 4 показано відповідні співвідношення задачі визначення оптимальної дієти в детермінованому варіанті й у варіанті детермінованого аналогу стохастичного лінійного програмування.

У нашому випадку на випадкові параметри задачі накладено такі обмеження:

$$a_j^s \in [a_j^{s1}; a_j^{s2}]; a_j^l \in [a_j^{l1}; a_j^{l2}]; a_j^{s1} < a_j^{s2} < a_j^{l1} < a_j^{l2}. \quad (15)$$

Відповідно до прийнятого на території України порядку існує ряд нормативно-правових актів (НПА), які регулюють порядок розробки планів реагування на НС на всіх рівнях ієрархії країни. До числа вищевказаних НПА, перш за все, відносяться:

- Кодекс цивільного захисту України (ст. 130);
- Постанова Кабінету Міністрів України від 14 березня 2018 р. № 223 «Про затвердження Плану реагування на надзвичайні ситуації державного рівня»;
- Постанова Кабінету Міністрів України від 30 вересня 2015 р. № 775 «Про затвердження Порядку створення та використання матеріальних резервів (крім державних) для запобігання виникненню надзвичайних ситуацій і ліквідації їх наслідків»;
- Наказ ДСНС України № НС-324 від 10.06.2022 р. «Про затвердження методичних рекомендацій з розроблення планів реагування на надзвичайні ситуації територіальної громади, району у м.м. Києві та Севастополі».

Таблиця 4

Математичні моделі задачі визначення оптимальної дієти

Задача лінійного програмування	Задача стохастичного лінійного програмування
$Q = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^{18} c_j x_j \rightarrow \max$	$Q = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^{18} c_j x_j \rightarrow \max$
$\sum_{j=1}^{18} a_{ij} x_j \geq b_j; i = \overline{1,6}$	$\sum_{j=1}^{18} a_{ij} x_j \geq b_j^s + p(b_j^l - b_j^s); i = \overline{1,6}$
$\sum_{j=1}^{18} x_j \leq M$	$\sum_{j=1}^{18} x_j \leq M^l - p(M^l - M^s)$
$a_j^s \leq x_j \leq a_j^l; j = \overline{1,18}$	$a_j^s + p(a_j^l - a_j^s) \leq x_j \leq a_j^l - p(a_j^l - a_j^s); j = \overline{1,18}$

Реалізація цих планів здійснюється по ряду напрямків, у тому числі й організацією основних видів забезпечення під час проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт і ліквідації НС. У цьому документі (незалежно від території на яку він поширюється) є ряд обов'язкових розділів, в яких визначається: НС, які гіпотетично можуть статися на конкретній території й можливі негативні наслідки (у тому числі й руйнування мостів, доріг та інших комунікацій), кількість людей, які можуть опинитися в зоні НС, а також наявність і матеріальних резервів (у тому числі й продовольчих), які слід використовувати в процесі проведення евакуації та аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт. Безумовно, місце розміщення матеріальних резервів відповідного рівня є конфіденційною інформацією. На підставі вищевказаних даних необхідно вирішити логістичну задачу з оптимізації доставки продовольства у постраждалі від НС райони.

Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України №775 від 30 вересня 2015 р. в усіх територіальних громадах України необхідно створити «План реагування на надзвичайні ситуації». У цьому плані в розділі «Матеріально-технічне забезпечення» передбачено, що для забезпечення їжею під час НС слід використовувати як підприємства із зберігання продовольства (елеватори, бази хлібопродуктів, холодильники), підприємства харчової та легкої промисловості, їхні бази і склади (склади першого типу) так і підприємства громадського харчування (їдальні, ресторани, кафе, склади, бази), хлібозаводи (склади другого типу). Відмінність між цими типами в тому, що в складах першого типу зберігається, як правило, заздалегідь відома кількість споживчих продуктів, в складах другого типу кількість продуктів споживання є випадковою величиною. Також випадковою величиною буде кількість продовольства,

необхідна для кожного місця його централізованого розподілу. Розгляд правових питань, пов'язаних з використанням ресурсів підприємств різної форми власності, виходить за рамки даного повідомлення.

Для оптимізації процесу доставки продуктів харчування від місць їх зберігання до місць їх розподілу використана транспортна задача лінійного програмування [17]. Можливість використання такої моделі покажемо на такому прикладі. Припустимо, що необхідно забезпечити їжею 26 000 осіб [4]. Тоді мінімальна маса продуктів споживання, необхідна для забезпечення їх щоденного харчування протягом п'яти днів, становить 242 т., оптимальна маса продуктів споживання становить 351 т.

Прийmemo, що задано Π_i ($i = \overline{1, m}$) міст зберігання продуктів харчування. В кожному з них знаходиться π_i ($i = \overline{1, m}$) продуктів харчування. Одиниці їх виміру залежать від змісту задачі. Також прийmemo що задано Λ_j ($j = \overline{1, n}$) місць їх споживання. Розташування цих місць визначають служби ДСНС після вивчення ситуації в місцях виникнення НС. У кожному з них необхідно забезпечити наявність λ_j ($j = \overline{1, n}$) кількості продуктів харчування. Припустимо, що відома τ_{ij} певна вартість перевезення одиниці вантажу з пункту Π_i у пункт Λ_j . Під час проведення аварійно-рятувальних робіт одним з найважливіших ресурсів буде паливо. В даному випадку метою розв'язання задачі буде визначення такої кількості вантажу χ_{ij} ($i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$), що перевозиться з пункту Π_i ($i = \overline{1, m}$) в пункт споживання Λ_j ($j = \overline{1, n}$), при якому загальні витрати пального будуть мінімальними при забезпеченні місць споживання продуктами харчування не менше потрібного. Для цього необхідно розв'язати так звану транспортну задачу, яка визначена співвідношеннями:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tau_{ij} \chi_{ij}; \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^m \chi_{ij} \geq \lambda_j; \quad j = \overline{1, n}; \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^n \chi_{ij} \leq \pi_i; \quad i = \overline{1, m}; \quad (18)$$

$$\chi_{ij} \geq 0; \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}, \quad (19)$$

Відповідно до наведеного раніше розділення складів на типи прийmemo, що $\Pi_i^{(1)}$ ($i = \overline{1, w}$) – склади першого типу, $\Pi_i^{(2)}$ ($i = \overline{w+1, m}$) – склади другого типу. Звідси співвідношення (18) не змінюються для продуктів харчування зі складів першого типу. Для складів другої групи кількість продуктів харчування π_i – рівномірно розподілена на проміжку $[\pi_i^s; \pi_i^l]$ випадкова величина, і аналогічно співвідношенням, приведеним в табл. 4, отримаємо детермінований аналог співвідношення (18) для рівня значущості p у вигляді:

$$\sum_{j=1}^n \chi_{ij} \leq \pi_i^l - p(\pi_i^l - \pi_i^s); \quad i = \overline{w+1, m}, \quad (20)$$

де:

$$\pi_i \in [\pi_i^s; \pi_i^l]; \quad \pi_i^s < \pi_i^l; \quad i = \overline{w+1, m}. \quad (21)$$

Аналогічно, кількість продуктів харчування для всіх споживачів λ_j також буде рівномірно розподіленою вже на проміжку $[\lambda_j^s; \lambda_j^l]$ випадковою величиною. Звідси, отримаємо співвідношення (17) у вигляді:

$$\sum_{j=1}^n \chi_{ij} \geq \lambda_j^s + p(\lambda_j^l - \lambda_j^s); \quad j = \overline{1, n}, \quad (22)$$

де:

$$\lambda_j \in [\lambda_j^s; \lambda_j^l]; \lambda_j^s < \lambda_j^l; j = \overline{1, n}. \quad (23)$$

Таким чином, детермінований аналог стохастичної транспортної задачі (16) ... (19) може бути представлений такою задачею лінійного програмування:

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{r}_{ij} \chi_{ij} \rightarrow \min; \quad (24)$$

$$\sum_{j=1}^n \chi_{ij} \geq \lambda_j^s + p(\lambda_j^l - \lambda_j^s); j = \overline{1, n}; \quad (25)$$

$$\sum_{j=1}^n \chi_{ij} \leq \pi_i; i = \overline{1, w}; \quad (26)$$

$$\sum_{j=1}^n \chi_{ij} \leq \pi_i^l - p(\pi_i^l - \pi_i^s); i = \overline{w+1, m}; \quad (27)$$

$$\chi_{ij} \geq 0 \quad i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, \quad (28)$$

і яка має розв'язок, якщо виконується співвідношення:

$$\sum_{i=1}^w \pi_i + (1-p) \sum_{i=w+1}^m \pi_i^l + p \sum_{i=w+1}^m \pi_i^s \geq (1-p) \sum_{j=1}^n \lambda_j^s + p \sum_{j=1}^n \lambda_j^l. \quad (29)$$

Розглянемо випадок, коли запасів продуктів харчування недостатньо для даного періоду їх розподілу і не всі споживачі отримують продукти споживання у повному обсязі.

Звідси, задача (16)...(19) має бути розглянута у вигляді:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_{ij} \chi_{ij}; \quad (30)$$

$$\sum_{i=1}^m \chi_{ij} \leq \lambda_j; j = \overline{1, n}; \quad (31)$$

$$\sum_{j=1}^n \chi_{ij} = \pi_i; i = \overline{1, m}; \quad (32)$$

$$\chi_{ij} \geq 0; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}. \quad (33)$$

Детермінований аналог для співвідношення (31) наступний:

$$\sum_{i=1}^m \chi_{ij} \leq \lambda_j^l - p(\lambda_j^l - \lambda_j^s); j = \overline{1, n}. \quad (34)$$

Щодо співвідношення (32) для складів другої групи, на наш погляд, при плануванні розподілу харчових продуктів слід орієнтуватись на гарантований їх запас, тобто $\pi_i = \pi_i^s; i = \overline{w+1, m}$.

Таким чином, детермінований аналог стохастичної транспортної задачі (30) ... (33) має вигляд:

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{r}_{ij} \chi_{ij} \rightarrow \min; \quad (35)$$

$$\sum_{i=1}^m \chi_{ij} \leq \lambda_j^l - p(\lambda_j^l - \lambda_j^s); j = \overline{1, n}; \quad (36)$$

$$\sum_{j=1}^n \chi_{ij} = \pi_i; i = \overline{1, w}; \quad (37)$$

$$\sum_{j=1}^n \chi_{ij} = \pi_i^s; i = \overline{w+1, m}; \quad (38)$$

$$\chi_{ij} \geq 0; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}. \quad (39)$$

Обговорення

Оскільки розв'язок задачі (35)...(39) може мати окремі нульові значення (тобто окремі споживачі нічого не отримують), необхідно здійснити поставку кожному із споживачів хоча б на мінімальному рівні $\lambda_j^{min}; j = \overline{1, n}$, що забезпечить життя людей:

$$\sum_{i=1}^m \chi_{ij} \geq \lambda_j^{min}; j = \overline{1, n}. \quad (40)$$

У цьому випадку отримаємо наступну математичну модель транспортної задачі для детермінованого аналогу:

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{r}_{ij} \chi_{ij} \rightarrow \min; \quad (41)$$

$$\sum_{i=1}^m \chi_{ij} \leq \lambda_j^l - p(\lambda_j^l - \lambda_j^s); j = \overline{1, n}; \quad (42)$$

$$\sum_{j=1}^n \chi_{ij} = \pi_i; i = \overline{1, w}; \quad (43)$$

$$\sum_{j=1}^n \chi_{ij} = \pi_i^s; i = \overline{w+1, m}; \quad (44)$$

$$\sum_{i=1}^m \chi_{ij} \geq \lambda_j^{\min}; j = \overline{1, n}. \quad (45)$$

$$\chi_{ij} \geq 0; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}. \quad (46)$$

Задача (k21)...(k26) має розв'язок, якщо виконується співвідношення:

$$\sum_{i=1}^w \pi_i + \sum_{i=w+1}^m \pi_i^s \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^{\min}. \quad (47)$$

Запропоновані в даному повідомленні методики надають можливість визначити оптимальні раціони, необхідні для забезпечення життєдіяльності як особового складу ДСНС, так і осіб, що постраждали в результаті НС, а також створити план перевезення продуктів харчування, який забезпечує мінімальні витрати пального.

Висновки

1. Як правило, зокрема в економічно розвинених країнах і таких, що володіють розгалуженою високопрофесійною рятувальною службою, існує період від декількох днів до місяців, коли спостерігається дефіцит продовольства на всій території або деяких її районах, що постраждала від НС.

2. Найуразливішим з погляду забезпечення продуктами харчування в умовах НС є міське населення.

3. Тривале вживання населення, потерпілого від НС регіонів в їжу спеціалізованих високоенергетичних продуктів і стандартних армійських раціонів призводить до значного погіршення здоров'я осіб, що відносяться до категорії найуразливіших. Це викликає необхідність організації пунктів централізованого приготування і годування населення гарячою їжею.

4. При складанні й реалізації планів ліквідації НС слід використовувати не тільки продовольчі резерви, які знаходяться на спецзберіганні в складах ДСНС, але й запаси продуктів харчування що є на складах і сховищах торгової мережі.

5. Для розв'язання задач забезпечення продуктами харчування використано наступні задачі лінійного програмування: задача дієти та транспортна задача.

6. Оскільки в умовах НС рішення приймають в умовах неповної інформації, то для оптимізації логістичних процесів використано методи стохастичного лінійного програмування. Для розв'язання задачі дієти прийнято, що розподіл параметрів задачі рівномірний. Це дало можливість визначити необхідну кількість продуктів із задалегідь визначеним рівнем забезпеченості.

Список використаних джерел

1. Чумаченко С. М., Канаяма Рене, Винник-Чаплинський М. О., Черепньов І. А. Продовольчі запаси домогосподарств як фактор виживання в надзвичайних ситуаціях. обґрунтування підбору продуктів харчування. Молодь і технічний прогрес в АПВ: зб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф. 23-24 листопада 2023 р. Харків: ДБТУ, 2023. С. 301-302.

2. Extreme weather caused two million deaths, cost \$4 trillion over last 50 years. United Nations: веб-сайт. URL: <https://news.un.org/en/story/2023/05/1136897> (дата звернення: 03.02.2025).

3. Our World At Risk: Transforming Governance for a Resilient Future. United Nations Office for Disaster Risk Reduction: веб-сайт. URL: <https://www.undrr.org/gar/gar2022-our-world-risk-gar> (дата звернення: 03.02.2025).

4. Yang L., Liu M., Smith J. A., Tian F. Typhoon Nina and the August 1975 Flood over Central China. Journal of Hydrometeorology. 2017. № 18(2). P. 451-472. doi:10.1175/jhm-d-16-0152.1.

5. Marzban A., Emem P. The Importance of Food Safety in Disasters – A Glance at the Recent Flood in Iran (July 2022). *Novelty in Clinical Medicine*. 2022. № 1(4). P. 204-205. doi.org/10.22034/NCM.2022.353717.1054.
6. Liu S., Li Y., Fu S., Liu X., Liu, T., Fan H., Cao C. Establishing a Multidisciplinary Framework for an Emergency Food Supply System Using a Modified Delphi Approach. *Foods*. 2022. № 11. 1054. doi.org/10.3390/foods11071054.
7. World Cities Report 2022. Envisaging the Future of Cities. Un-habitat: веб-сайт. URL: <https://unhabitat.org/wcr/2022/> (дата звернення: 03.02.2025).
8. Wien M, Sabatї J. Food selection criteria for disaster response planning in urban societies. *Nutrition Journal*. 2015. № 14(1), pp.14:47. doi: 10.1186/s12937-015-0033-0.
9. Kosa K., Cates S., Goodwin S., Coppings R., Speller-Henderson L. Most Americans are not prepared to ensure food safety during power outages and other emergencies. *Food Prot Trends*. 2011. Vol. 31, № 7. P. 428-436. URL: https://www.researchgate.net/publication/267218792_Most_Americans_are_Not_Prepared_to_Ensure_Food_Safety_during_Power_Outages_and_Other_Emergencies/
10. Golem D., Hallman W., Cuite C., Bellows A., Byrd-Bredbenner C. Food Supplies of Immigrant and Minority Households. *Topics in Clinical Nutrition*. 2016. Vol. 31, № 3, P. 213-221. doi:10.1097/tin.0000000000000074.
11. Takashi Nakazawa, Shigeru Beppu. Shifting from Emergency Food to Disaster Preparation Food to Help Disaster Survivors. *Quarterly Review*. 2012. № 44. P. 36-52.
12. Miho Nozue, Kazuko Ishikawa-Takata, Nobuko Sarukura, Kazuko Sako, Nobuyo Tsuboyama-Kasaoka. Stockpiles and food availability in feeding facilities after the Great East Japan Earthquake. *Asia Pac J Clin Nutr*. 2014. № 23(2), pp. 321-330. doi: 10.6133/apjcn.2014.23.2.14.
13. Devon L Golem, William Hallman, Cara Cuite, Carol Byrd-Bredbenner. Food Supplies of Immigrant and Minority Households: How Prepared Are They for Disaster Emergency Conditions? *Topics in Clinical Nutrition*. 2016. Vol. 31, № 3, pp. 213-221. doi: 10.1097/TIN.0000000000000074.
14. Денисенко С. А., Попко С. О., Черепньов І. А. Підходи до формування вимог до характеристик продуктів харчування в надзвичайних ситуаціях. Безпека людини у сучасних умовах: зб. доп. XV Міжнародної науково-методичної конференції Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» та Міжнародної наукової конференції Європейської Асоціації наук з безпеки (EAS) «Безпека людини у сучасних умовах», 7-8 грудня 2023 р. Харків: НТУ «ХПІ», 2023. С. 65-67.
15. Попко С. О., Черняк Ю. Д., Шубний В. В., Пісня Л. А., Черепньов І. А. Використання запасів комерційної торговельної мережі для вирішення проблем постачання в умовах катастроф. Молодь і технічний прогрес в АПВ: матеріали Міжнар. наук-практ. конф., 26-27 лист. 2024 р. Харків: ДБТУ, 2024. С. 376-380.
16. Гадецька С. В., Дубницький В. Ю., Кушнерук Ю. І., Філатова Л. Д., Черепньов І. А. Багатокритеріальна (векторна) оптимізація раціону військовослужбовців, розташованих в стаціонарних і польових умовах. Системи озброєння і військова техніка. 2019. № 2(58). С. 152-167. doi: 10.30748/soivt.2019.58.18. URL: https://www.researchgate.net/publication/230873347_Stochastic_Programming_Handbook_in_Operations_Research_and_Management_Science
17. Зайченко Ю. П. Дослідження операцій. Підручник. Київ: Видавничий дім «Слово», 2006. 816 с.
18. Christine K. Booth; Ross F. Coad; Christopher H. Forbes-Ewan; Gary F. Thomson; Philip J. Niro. *The Physiological and Psychological Effects of Combat Ration*

Feeding during a 12-Day Training Exercise in the Tropics. *MILITARY MEDICINE*. 2003, (168(1)). P. 63-70. URL: <https://doi.org/10.1093/milmed/168.1.63/>

19. Ruszczyński A., Shapiro A. *Stochastic Programming*. Handbooks in Operations Research and Management Science Elsevier Science, 1st edition. Amsterdam. 2003. 700 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/230873347_Stochastic_Programming_Handbook_in_Operations_Research_and_Management_Science.

References

1. Chumachenko, S. M., Kanayama, Rene, Vynnyk-Chaplinsky, M. O. and Cherepnyov, I. A. (2023), Household food reserves as a survival factor in emergency situations. justification for the selection of food products. Youth and technical progress in the APV, collection of materials of the International Scientific-Practical Conference, November 23-24, 2023, DBTU, Kharkiv, pp. 301-302.

2. Extreme weather caused two million deaths, cost \$4 trillion over last 50 years. United Nations: веб-сайт. URL: <https://news.un.org/en/story/2023/05/1136897> (accessed: 03.02.2025).

3. Our World At Risk: Transforming Governance for a Resilient Future. United Nations Office for Disaster Risk Reduction: веб-сайт. URL: <https://www.undrr.org/gar/gar2022-our-world-risk-gar> (accessed: 03.02.2025).

4. Yang, L., Liu, M., Smith J. A. and Tian F., (2017), Typhoon Nina and the August 1975 Flood over Central China, *Journal of Hydrometeorology*, No.18(2), pp. 451-472. doi:10.1175/jhm-d-16-0152.1.

5. Marzban, A. and Emem, P., (2022), [The Importance of Food Safety in Disasters – A Glance at the Recent Flood in Iran (July 2022)], *Novelty in Clinical Medicine*, No.1(4) pp. 204-205. doi.org/10.22034/NCM.2022.353717.1054.

6. Liu, S., Li, Y., Fu, S., Liu, X., Liu, T., Fan H. and Cao C. (2022), [Establishing a Multidisciplinary Framework for an Emergency Food Supply System Using a Modified Delphi Approach] *Foods*, No.11, 1054. doi.org/10.3390/foods11071054.

7. World Cities Report (2022), *Envisaging the Future of Cities*. Un-habitat: веб-сайт. URL: <https://unhabitat.org/wcr/2022/> (accessed: 03.02.2025).

8. Wien M, and Sabatї J. (2015), Food selection criteria for disaster response planning in urban societies, *Nutrition Journal*. No.14(1) pp. 14:47. doi: 10.1186/s12937-015-0033-0.

9. Kosa, K., Cates S, Goodwin, S., Coppings R. and Speller-Henderson L. (2011), [Most Americans are not prepared to ensure food safety during power outages and other emergencies] *Food Prot Trends.*, Vol. 31, No.7, pp. 428-436. URL: https://www.researchgate.net/publication/267218792_Most_Americans_are_Not_Prepared_to_Ensure_Food_Safety_during_Power_Outages_and_Other_Emergencies.

10. Golem, D., Hallman, W., Cuite, C., Bellows A. and Byrd-Bredbenner C., (2016), [Food Supplies of Immigrant and Minority Households], *Topics in Clinical Nutrition*. Vol. 31, No.3, pp. 13-221. doi:10.1097/tin.0000000000000074

11. Takashi Nakazawa and Shigeru Beppu. (2012), [Shifting from Emergency Food to Disaster Preparation Food to Help Disaster Survivors], *Quarterly Review*, No.44, pp. 36-52.

12. Miho, Nozue, Kazuko, Ishikawa-Takata, Nobuko, Sarukura, Kazuko, Sako and Nobuyo, Tsuboyama-Kasaoka. (2014), Stockpiles and food availability in feeding facilities after the Great East Japan Earthquake. *Asia Pac J Clin Nutr*. No.23(2), pp. 321-330. doi: 10.6133/apjcn.2014.23.2.14.

13. Devon, L, Golem, William Hallman, Cara Cuite and Carol Byrd-Bredbenner, (2016), *Food Supplies of Immigrant and Minority Households: How Prepared Are They for*

Disaster Emergency Conditions?, Topics in Clinical Nutrition. No.3(31), pp. 213-221. doi: 10.1097/TIN.0000000000000074.

14. Denisenko, S. A., Popko, S. O., Cherepnev, I. A. (2023), Approaches to the formation of requirements for the characteristics of food products in emergency situations. Human safety in modern conditions: collection of proceedings of the 15th International Scientific and Methodological Conference of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" and the International Scientific Conference of the European Association of Security Sciences (EAS) "HUMAN SAFETY IN MODERN CONDITIONS", December 7-8, Kharkiv NTU "KhPI" Kharkiv, pp. 65-67.

15. Popko, S. O., Chernyak Yu. D., Shubnyi, V. V., Pisnya L. A. and Cherepnyov I. A. (2024), Using commercial trade network reserves to solve supply problems in disaster conditions Youth and technical progress in the APV: materials of the International Scientific and Practical. Conference, November 26-27, DBTU, Kharkiv, pp. 376-380.

16. Gadetska, S., Dubnitskiy, V., Kushneruk, Y., Filatova, L. and Cherepnev, I. (2019), Multi-criteria (vector) optimization of military rations under presidial and field conditions, SYSTEMS OF ARM AND MILITARY EQUIPMENTS, No.2 (58), pp. 152-166. doi: 10.30748/soivt.2019.58.18.

17. Zaichenko Yu. P. (2006). Operations research. Textbook, Word Publishing House, Kyiv, 2006, 816 p. URL: <https://science.kpi.ua/konk-pidr-2004/pidruchnik-doslidzhennya-operatsij-avtor-zajchenko-yu-p>.

18. Christine K. Booth; Ross F. Coad; Christopher H. Forbes-Ewan; Gary F. Thomson; Philip J. Niro. The Physiological and Psychological Effects of Combat Ration Feeding during a 12-Day Training Exercise in the Tropics. MILITARY MEDICINE. 2003, (168(1), pp. 63-70. URL: <https://doi.org/10.1093/milmed/168.1.63>.

19. Ruszczyński A., Shapiro A. Stochastic Programming. Handbooks in Operations Research and Management Science Elsevier Science, 1st edition. Amsterdam. 2003. 700 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/230873347_Stochastic_Programming_Handbook_in_Operations_Research_and_Management_Science