



**О. В. Альбоцій**



**О. В. Білецький**



**С. О. Павленко**

## **ОБґРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОГО ВАРІАНТА ПОСТАЧАННЯ ПИТНОЇ ВОДИ ДО ПІДРОЗДІЛІВ ПРИ ВИКОНАННІ ЗАВДАНЬ ЗА ПРИЗНАЧЕННЯМ**

*У статті досліджено варіанти забезпечення питною водою підрозділів НГУ, що виконують завдання за призначенням поза межами пунктів постійної дислокації, та розроблено теоретичні основи методики обґрунтування оптимального плану такого забезпечення.*

*К л ю ч о в і с л о в а: забезпечення, бутильована питна вода, транспортна задача, оптимальний план.*

**Постановка проблеми.** Важливе значення у тиловому забезпеченні військовослужбовців відіграє забезпечення питною водою. Вона є одним із тих ресурсів, які мають критичний характер. Відсутність питної води протягом певного часу веде до втрати боєздатності військовослужбовців. Особливої уваги потребує організація забезпечення питною водою у польових умовах, коли підрозділи виконують службово-бойові чи бойові завдання поза межами пунктів постійної дислокації. За поглядами військових фахівців армій країн НАТО, вода – один з найважливіших продуктів логістики, необхідний для підтримки військових операцій [6].

У сучасних умовах основним варіантом забезпечення військовослужбовців НГУ питною водою при виконанні завдань у польових умовах (поза межами пунктів постійної дислокації) є постачання бутильованої води у військові частини з центральної бази забезпечення, підвезення її до польових продовольчих пунктів і доведення до кожного військовослужбовця за нормами забезпечення. Такий варіант має низку переваг: зменшення витрат на проведення процедур тендерних закупівель, централізований контроль якості питної води, умов її зберігання тощо. Водночас централізоване постачання має суттєвий недолік – висока вартість доставки води до військових частин. Враховуючи даний недолік, наразі апробується інший варіант забезпечення, який передбачає добування, очищення та бутілювання води на місцевому (регіональному) рівні. Такий варіант передбачає створення власного виробництва з фільтрування та бутілювання питної води. За оцінками фахівців, даний варіант окупається, за наявних потреб (обсягів виробництва), приблизно за рік-півтора, він також є економічно ефективним.

Найбільш відповідальні та складні завдання забезпечення питною водою пов'язані із забезпеченням військовослужбовців під час виконання завдань за призначенням в польових умовах. На сучасному етапі досліджується питання створення виробничих потужностей для фільтрування та бутілювання питної води на мобільних засобах, зокрема на базі штатних автомобілів.

Отже, враховуючи існуючі та перспективні (у близькій перспективі) можливості забезпечення питною водою військовослужбовців при виконанні завдань за призначенням у складі окремих підрозділів, можливі три варіанти забезпечення питною водою.

1. Бутильована вода, централізовано закуплена у виробника, постачається за схемою: виробник – центральна база забезпечення – військова частина – підрозділ.

2. Бутильована вода, виготовлена на власних виробничих потужностях, постачається за схемою: оперативно-територіальне об'єднання (пункт виробництва) – військова частина – підрозділ.

3. Бутильована вода виробляється на базі мобільного комплексу безпосередньо у районі виконання завдань (визначеному районі) та постачається за схемою: пункт виробництва – підрозділ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У статті [3] обґрунтовано якісні вимоги до показників води, що використовується військами в умовах польового розташування. Визначено основні проблемні питання забезпечення питною водою військових підрозділів у польових умовах та запропоновано напрями їх вирішення, враховано досвід бойових дій [5, 6]. Важливим напрямом досліджень залишається логістика забезпечення питною водою військових підрозділів [1, 2, 4, 7].

Проте недостатньо уваги приділяється пошуку шляхів оптимізації польового забезпечення питною водою, що обумовлює актуальність теоретичних досліджень у даному напрямі.

**Метою статті** є обґрунтування теоретичних положень, що можуть бути покладені в основу методики розроблення ефективного плану постачання питної води до підрозділів НГУ, що виконують завдання поза межами пунктів постійної дислокації.

**Виклад основного матеріалу.** Проведені дослідження показали, що забезпечити бутильованою питною водою особовий склад НГУ можна:

- закупаючи бутильовану воду;
- установивши обладнання для фільтрування та бутилювання води;
- влаштувавши джерела для добування води з подальшим її бутилюванням.

Перший варіант широко використовується і додаткових коментарів не потребує.

Базова установка для другого варіанта складається з вузла попереднього очищення, системи зворотного осмосу і вузла розливу очищеної води [9]. Склад вузлів і додаткового обладнання може бути окремо погоджений із замовником. Загальний вигляд базової установки подано на рис. 1.

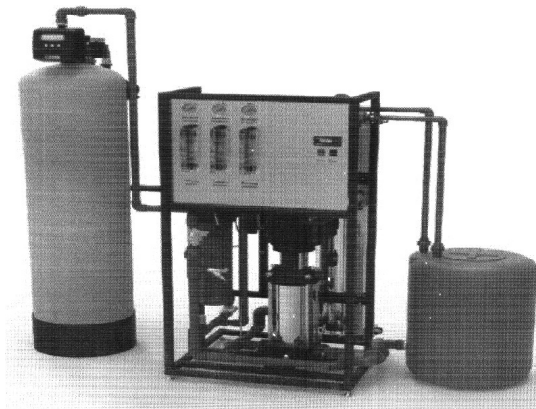


Рисунок 1 – Базова установка для фільтрування води

Для правильного підбору комплекту обладнання необхідно визначити якість води, що буде використовуватися для фільтрування, тобто треба провести її лабораторний аналіз. Загальна схема багатоступеневої системи очищення води, що задовольняє вимоги до якісних параметрів води, наведена на рис. 2.

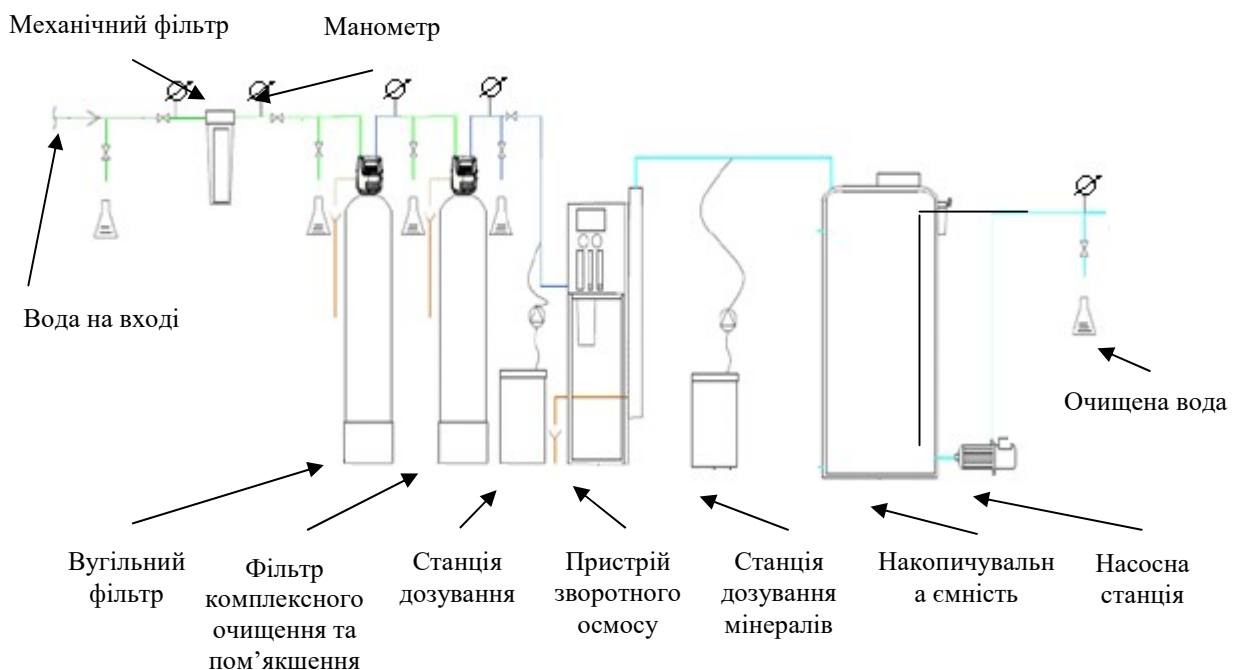


Рисунок 2 – Багатоступенева система очищення води

Перший ступінь – очищення води від механічних домішок, дозволяє зменшити мутність і захистити обладнання і сантехніку від пошкоджень. Другий ступінь – сорбційне очищення води для видалення хлору та побічних продуктів хлорування води і поліпшення органолептичних показників (запах, присмак). Третій ступінь – комплексне очищення води і її пом'якшення (видалення заліза, органіки і солей жорсткості). Четвертий ступінь – доочищення питної води з використанням системи зворотного осмосу, що видаляє з води 98 % забруднень, серед них нітрати і фториди. П'ятий ступінь – знезараження очищеної води за допомогою ультрафіолетової лампи. Відвертає загрозу зараження трубопроводів мікроорганізмами і появи неприємного запаху.

Попередні розрахунки показують, що площа, необхідна для монтажу такого обладнання, складає від 6 кв. м до 10 кв. м.

Дослідження ринку водоочисного обладнання дозволило вибрати можливі варіанти комплектів водоочисного обладнання для пункту розливу води (табл. 1).

Таблиця 1 – Варіанти комплектів водоочисного обладнання для пунктів розливу води

| Склад комплектів   | Варіанти комплектів                  |                                      |                                      |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|  | Точка аква-250                       | Точка аква-500                       | Aqua Point-750                       |
| Продуктивність, л/год  | 250                                  | 500                                  | 750                                  |
| Вузол попереднього очищення (механічна фільтрація)                   | DF1 "130 мкм                         | DF1 "130 мкм                         | DF1 "130 мкм                         |
| Установка адсорбції (авт. за часом на клапанах Clack TC)             | FA 1054 T                            | FA 1252                              | FA 1252                              |
| Установка комплексної очистки (авт. за обсягом на клапанах Clack CI) | FMIX 1054 V                          | FMIX 1252 V                          | FMIX 1252 V                          |
| Установка зворотного осмосу (основний модуль на рамі)                | 140-S                                | 240-S                                | 340-S                                |
| Вузол тонкої фільтрації  | BB20 Slim,<br>від 5 мкм<br>до 20 мкм | BB20 Slim,<br>від 5 мкм<br>до 20 мкм | BB20 Slim,<br>від 5 мкм<br>до 20 мкм |
| Кількість і розмір мембран   | 1 × 4040                             | 2 × 4040                             | 3 × 4040                             |
| Гідравлічна промивка пермеат   | +                                    | +                                    | +                                    |
| Трубна обв'язка  | ПВХ                                  | ПВХ                                  | ПВХ                                  |
| Насос високого тиску   | Grundfos /<br>Ebara                  | Grundfos /<br>Ebara                  | Grundfos /<br>Ebara                  |
| Вузол розливу очищеної води  |                                      |                                      |                                      |
| Накопичувальна вертикальна ємність, л                                | 750                                  | 1000                                 | 1000                                 |
| Автоматична насосна станція Grundfos MQ 3-35                         | +                                    | +                                    | +                                    |
| Механічний картриджний фільтр  | 2,5×10 "                             | 2,5×10 "                             | 2,5×10 "                             |
| Знезараження води  | УФ-лампа                             | УФ-лампа                             | УФ-лампа                             |
| Вартість комплекту, \$   | від 3900,00                          | на запит                             | на запит                             |

Беручи до уваги різні варіанти виробництва та постачання бутильованої питної води, визначимо можливі пункти її постачання. Отже, є  $m$  пунктів постачання питної води: центральна база забезпечення; пункт виробництва води на базі ОТО; мобільні пункти, розгорнуті в районі виконання завдань. Позначимо дані пункти постачання  $P_1, P_2, \dots, P_m$ . На кожному пункті постачання є певні об'єми (запаси) питної води  $V_1, V_2, \dots, V_m$ , які можуть бути поставлені безпосередньо до підрозділів  $p_1, p_2, \dots, p_n$  з потребою у питній воді  $v_1, v_2, \dots, v_n$ . Задача полягає в розробленні ефективного плану забезпечення бутильованою питною водою підрозділів НГУ при виконанні ними завдань за призначенням поза межами пунктів постійної дислокації. Ефективним будемо вважати такий план забезпечення, який повністю задовольняє потреби усіх підрозділів у питній воді та мінімізує сумарні витрати на її доставку.

Нехай  $x_{ij}$  – кількість постачальних одиниць питної води, що відправляють із пункту постачання  $P_i$  до підрозділу  $p_j$ , а  $c_{ij}$  – витрати на перевезення однієї постачальної одиниці питної води із пункту постачання  $P_i$  до підрозділу  $p_j$ . Тоді можемо записати загальні витрати на усі перевезення, що задовольняють потреби, у вигляді подвійної суми, а саме:

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (1)$$

Враховуючи вимоги до ефективності плану забезпечення, визначимо цільову функцію як

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min \quad (2)$$

Для формалізованого опису задачі введемо обмеження, що відповідають фізичному сенсу процесів забезпечення та визначають область пошуку рішення даної оптимізаційної задачі. По-перше, сумарна кількість питної води, що має бути доставлена із кожного пункту постачання до усіх підрозділів призначення, дорівнює запасу води у даному пункті. По-друге, сумарна кількість питної води, яка має бути доставлена до кожного підрозділу із усіх пунктів постачання, дорівнює його замовленій потребі. Подамо дані обмеження у вигляді функцій

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} = V_i; & i = 1, \dots, m; \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = v_j; & j = 1, \dots, n; \\ \forall x_{ij} \geq 0. \end{cases} \quad (3)$$

Маємо лінійну цільову функцію (2) та лінійні обмеження у формі рівностей (3). Коефіцієнти при змінних у рівняннях (3) дорівнюють одиниці. Отже, сформульована задача є транспортною задачею лінійного програмування. Враховуючи те, що сумарні можливості пунктів постачання можуть перевищувати сумарну потребу  $V_{\Sigma} \geq v_{\Sigma}$ , у загальному випадку така задача віднесена до відкритої моделі транспортної задачі. Для її розв'язування необхідно перейти до моделі закритої транспортної задачі, ввівши до розгляду фіктивного споживача, якому постачається весь надлишок води. Разом з тим для змістовної постановки задачі, яку ми розглядаємо, важливо щоб сумарні можливості задовольнили сумарні потреби. Надлишковими запасами води на пунктах постачання можна знехтувати. За такого припущення запишемо

$$\sum_{i=1}^m V_i = \sum_{j=1}^n v_j \quad (4)$$

З урахуванням введеного припущення таку транспортну задачу можна вважати закритою, не розглядаючи фіктивного споживача (додаткового підрозділу) для пошуку її рішення.

Прикладна постановка транспортної задачі, що пропонується, потребує визначення низки параметрів, які у загальній теоретичній постановці вважаються такими, що задані, зокрема витрат на доставку води  $c_{ij}$ .

Для зручності аналізу подамо витрати у вигляді матриці. Кількість рядків  $m$  матриці визначається кількістю наявних пунктів постачання питної води, а кількість стовпців  $n$  – кількістю підрозділів, що потребують забезпечення питною водою. Тоді маємо матрицю розмірності  $m \times n$ .

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{pmatrix}.$$

Елемент даної матриці  $c_{ij}$  є вартістю перевезення однієї постачальної одиниці води з  $i$ -го пункту постачання до  $j$ -го підрозділу. Усі елементи матриці необхідно визначити.

У загальному випадку вартість бутильованої води буде різною для кожного варіанта її виготовлення. Вартість першого варіанта (або вартість 1 л води) визначається за умов договору поставки від постачальника. Вартість самостійного виготовлення води можна оцінити за формулою

$$F_w = \frac{V_{\text{вх}} \cdot (C_{\text{цв}} + C_{\text{сток}}) + \sum_{i=1}^n (P_i \cdot t_i) \cdot C_{\text{ел}} + \sum_{k=1}^m Z_k}{V_{\text{вих}}}, \quad (5)$$

де  $F_w$  – вартість фільтрованої води, грн/л;

$V_{\text{вх}}$  – об’єм води на вході у фільтрувальну станцію за добу, л;

$C_{\text{цв}}$  – вартість послуг з централізованого водопостачання 1 л води, грн;

$C_{\text{сток}}$  – вартість послуг з централізованого водовідведення 1 л води, грн;

$V_{\text{вих}}$  – об’єм отриманої фільтрованої води за добу, л;

$C_{\text{ел}}$  – вартість 1 кВт електричної енергії, грн;

$P_i$  – споживана потужність  $i$ -го електрообладнання системи, кВт/год;

$t_i$  – час роботи  $i$ -го електрообладнання системи за добу, год;

$i$  – індекс обладнання,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;

$Z_k$  – витрати на заробітну плату одного працівника за добу, грн;

$k$  – індекс працівника,  $k = 1, 2, \dots, m$ .

Для спрощення попередніх оцінок припустимо, що вартість бутильованої води однакова для всіх пунктів постачання. Тоді можемо враховувати лише вартість доставки води. Вартість перевезення можна обчислити за формулою

$$c_{ij} = S_{ij} \cdot \bar{\Pi}_{ij}^{(1)} \cdot k_{ij}^{(0)}, \quad (6)$$

де  $S_{ij}$  – довжина шляху перевезення вантажу (бутильованої води) з  $i$ -го пункту постачання до  $j$ -го підрозділу, км;

$\bar{\Pi}_{ij}^{(1)}$  – середня вартість перевезення вантажу на відстань один кілометр за нормальних умов руху з  $i$ -го пункту постачання до  $j$ -го підрозділу, грн/км;

$k_{ij}^{(0)}$  – коефіцієнт оперативної обстановки в районі руху з  $i$ -го пункту постачання до  $j$ -го підрозділу.

Коефіцієнт оперативної обстановки враховує складність умов виконання завдання з підвезення вантажу до підрозділу. У загальному випадку  $k_{ij}^{(0)} \geq 1$ . За нормальних умов він дорівнює одиниці.

При ускладненні обстановки – зростає. Оцінюється експертним методом.

Параметрами плану, які необхідно визначити, є кількості вантажу, які треба поставити до підрозділів  $x_{ij}$ , що доставляють мінімальне значення цільової функції. Тобто необхідно визначити кількість постачальних одиниць питної води, що відправляється з кожного пункту постачання до кожного підрозділу, за якої сумарна вартість забезпечення усіх підрозділів буде мінімальною.

Для пошуку оптимального плану складемо транспортну таблицю.

Таблиця 2 – Транспортна таблиця для відображення умов задачі

| Пункти постачання | Підрозділи забезпечення |          |     |          | Об’єми (запаси) води                  |
|-------------------|-------------------------|----------|-----|----------|---------------------------------------|
|                   | $P_1$                   | $P_2$    | ... | $P_n$    |                                       |
| $P_1$             | $c_{11}$                | $c_{12}$ | ... | $c_{1n}$ | $V_1$                                 |
| $P_2$             | $c_{21}$                | $c_{22}$ | ... | $c_{2n}$ | $V_2$                                 |
| ...               | ...                     | ...      | ... | ...      | ...                                   |
| $P_m$             | $c_{m1}$                | $c_{m2}$ | ... | $c_{mn}$ | $V_m$                                 |
| Потреба           | $v_1$                   | $v_2$    |     | $v_n$    | $\sum_{i=1}^m V_i = \sum_{j=1}^n v_j$ |

Існуючі методи розв'язування транспортної задачі лінійного програмування викладені в спеціальній літературі, наприклад у праці [8], і найчастіше не створюють значних труднощів у застосуванні їх на практиці. Тому обмежимося загальним алгоритмом пошуку оптимального плану такої задачі з використанням методу потенціалів.

1. Визначимо початкове рішення (початковий опорний план) методом північно-західного кута [8].

2. Визначимо для початкового опорного плану систему потенціалів, виходячи з умови  $u_i + \vartheta_j = c_{ij}$  для базисних (заповнених після складання опорного плану) клітин  $x_{ij} > 0$ .

3. Для вільних (що залишилися незаповненими після складання опорного плану) клітин підраховуємо так звану псевдовартість, яка дорівнює  $\tilde{c}_{ij} = u_i + \vartheta_j$ . Якщо усі вони не перевищують вартості, тобто  $\tilde{c}_{ij} \leq c_{ij}$ , то план оптимальний. Якщо хоча б одна псевдовартість перевищує вартість, тобто  $\tilde{c}_{ij} > c_{ij}$ , то необхідно виконати наступну ітерацію для покращення плану.

### Висновки

Світовий досвід показує, що важливим напрямком покращення процесів матеріального забезпечення військ є оптимізація логістичних операцій. Одним з головних продуктів логістики, необхідних для підтримання виконання службово-бойових та бойових завдань, є питна вода. В наш час проводиться робота з диверсифікації джерел постачання питної води до військових частин та підрозділів НГУ, зокрема досліджується питання створення мобільних пунктів фільтрування та бутиливання питної води, які можна використовувати безпосередньо у районах виконання підрозділами завдань за призначенням. Виходячи з цього, набуває актуальності задача оптимізації процесів забезпечення підрозділів питною водою. Для оперативного вирішення питань мінімізації витрат на забезпечення підрозділів, що виконують завдання в польових умовах, доцільно опрацювати методику, в основу якої може бути покладена транспортна задача лінійного програмування, базові основи якої викладено в даній статті.

Подальші дослідження пов'язані із уточненням факторів, що впливають на вибір варіантів забезпечення питною водою у різних умовах обстановки, оцінюванням витратних показників вартості води за різними варіантами її забезпечення, розроблюванням методики обґрунтування оптимального плану забезпечення підрозділів питною водою.

### Перелік джерел посилання

1. Про Національну гвардію України : Закон України від 13.03.2014 р. № 876-VII. *Офіційний вісник України*. 2014. № 24.
2. Альбоцій О. В., Каплун С. О., Павленко С. О. Управління ризиками логістичного забезпечення як напрямок удосконалення системи логістики. *Честь і закон*. 2019. № 2 (69). С. 63–68.
3. Бідненко Л. І., Долінський М. А. Гігієнічні вимоги до води, що використовується військами для господарсько-питного водопостачання в умовах їх польового розташування. *Проблеми військової охорони здоров'я* : зб. наук. пр. Української військово-медичної акад. Київ, 2015. Вип. 43. С. 55–63.
4. Обґрунтування концептуальних та наукових підходів щодо розвитку єдиної системи логістики в Збройних Силах України / І. О. Власов та ін. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. Харків, 2020. 2 (64). С. 12–17.
5. Демідчик Ф., Ситнік В., Івах А. Проблемні питання польового водопостачання військ і шляхи їх вирішення. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Військові та технічні науки*. Хмельницький, 2017. № 1 (71). С. 46–62.
6. Король Я., Лісніченко Ю., Бойко Г. Проблемні питання водопостачання підрозділів Сухопутних військ Збройних Сил України в польових умовах. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Військові та технічні науки*. 2019. № 3 (81). С. 376–390.
7. Особливості водозабезпечення військовослужбовців в польових умовах / М. О. Кучер та ін. *Проблеми військової охорони здоров'я* : зб. наук. пр. Української військово-медичної акад. Київ, 2017. Вип. 47. С. 144–148.
8. Таха Х. А. Введение в исследование операций. 7-е изд. ; пер. с англ. Москва : Издат. дом "Вильямс", 2005. 912 с.
9. Промислова система зворотнього осмосу. URL: <https://www.akvantis.com.ua/product/promyshlennaya-sistema-obratnogo-osmosa-si> (дата звернення: 10.02.2021).

Стаття надійшла до редакції 22.02.2021 р.

УДК 355.65

А. В. Альбоцій, А. В. Білецький, С. А. Павленко

### **ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ВАРИАНТА ПОСТАВОК ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗАДАЧ ПО НАЗНАЧЕНИЮ**

*В статье исследованы варианты обеспечения питьевой водой подразделений НГУ, которые выполняют задачи по назначению вне пунктов постоянной дислокации, и разработаны теоретические основы методики обоснования оптимального плана такого обеспечения.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а:* обеспечение, бутилированная питьевая вода, транспортная задача, оптимальный план.

UDC 355.65

О. Alboschiy, O. Bileckiy, S. Pavlenko

### **JUSTIFICATION OF EFFECTIVE WAY OF DRINKING WATER SUPPLY TO UNITS WHEN PERFORMING TASKS AS ASSIGNED**

*The article is devoted to the research of variants of drinking water supply of National Guard of Ukraine units which perform their tasks according to their assignment outside the permanent deployment points. The article also deals with theoretical provisions, which can be taken as a basis for the methodology of substantiation of the optimal plan of such supply.*

*It is noted that drinking water is an important resource in the system of food supply of military units, the lack or shortage of which for a relatively short period of time significantly affects the combat capabilities of the units. Based on this, the possibility of diversifying the sources of drinking water supply for the needs of the troops is studied. Both traditional options of drinking water supply for NGU needs and new ones, which are expected to be implemented in practice in the near future, are considered. Expanding the list of possible sources of potable water supply will contribute to increasing the reliability of water supply and reducing the cost of related logistics operations.*

*Taking into account the presented options for providing drinking water, possible points of delivery of bottled drinking water to units that perform their tasks autonomously in difficult conditions were identified. The presence of several points of drinking water supply to units necessitates the development of a water supply plan. One of the key requirements for such a plan is minimization of total costs. It is shown that the transport problem of linear programming can be used as the basis for developing an optimal plan for supplying drinking bottled water to military units. In this case, the target function is reduced to a minimum of total costs of water delivery. The constraints affecting the processes and determining the search area of the optimal solution are formulated, the general approach to solving the formulated optimization problem is characterized.*

*К e y w o r d s:* provision, bottled drinking water, transportation task, optimal plan.

**Альбоцій Олександр Васильович** – кандидат військових наук, доцент, старший викладач кафедри технічного та тилового забезпечення Національної академії Національної гвардії України  
<https://orcid.org/0000-0001-9329-3698>

**Білецький Олександр В'ячеславович** – кандидат економічних наук, перший заступник директора департаменту логістики – начальник управління тилового забезпечення Головного управління Національної гвардії України  
<http://orcid.org/0000-0002-6032-0677>

**Павленко Сергій Олександрович** – кандидат військових наук, заступник начальника кафедри технічного та тилового забезпечення Національної академії Національної гвардії України.  
<https://orcid.org/0000-0001-5944-8107>