

ФОРМАЛІЗОВАНА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ МАРШРУТИЗАЦІЇ ТА РОЗПОДІЛУ НАЯВНОГО ТРАНСПОРТНОГО РЕСУРСУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСТРЕНОЇ ЕВАКУАЦІЇ СПЕЦКОНТИНГЕНТУ ОДНОЧАСНО З КІЛЬКОХ УСТАНОВ ВИКОНАННЯ ПОКАРАНЬ ПРИ ВИНИКНЕННІ МАСШТАБНОЇ АВАРІЇ НА ОБ'ЄКТІ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Формалізовано задачі маршрутизації та розподілу наявного транспортного ресурсу, які розв'язуватимуться органами військового управління Національної гвардії України у ході вироблення раціонального варіанту екстреної евакуації спецконтингенту одночасно з кількох установ виконання покарань при виникненні масштабної аварії на об'єкті хімічної промисловості.

В статті проведено формалізацію загальних умов екстреної евакуації спецконтингенту, задачі зосередження потрібного автомобільного ресурсу на межі зони забруднення, задачі маршрутизації для екстреної евакуації спецконтингенту із зони забруднення та задачі розподілення спецконтингенту між установами виконання покарань, що знаходяться поза межами зони забруднення.

Ключові слова: спецконтингент, установа виконання покарань, надзвичайна ситуація техногенного характеру, транспортний ресурс, зона забруднення, евакуація.

Постановка проблеми. Україна третій рік потерпає від повномасштабного вторгнення з боку російської федерації. Воєнні дії, що ведуться на території країни провокують виникнення значної кількості надзвичайних ситуацій воєнного та техногенного характеру. В умовах насиченості території України потенційно-небезпечними об'єктами, насамперед хімічної промисловості, виникає велика небезпека розповсюдження хімічно-небезпечних речовин на значній території країни внаслідок аварій та катастроф на таких об'єктах.

Авторами у статті [1] відзначено велику насиченість території нашої країни установами виконання покарань (УВП), які розташовані на відносно малій відстані від цих об'єктів і можуть потрапити під вплив наслідків надзвичайних ситуацій такого характеру. Тому виникають великі ризики ураження персоналу і спецконтингенту УВП хімічно-небезпечними продуктами і речовинами.

Держава відповідно до статей 3, 27 Конституції України [2], гарантує збереження життя та здоров'я всіх своїх громадян, тому обов'язковою умовою для забезпечення безпеки ув'язнених – є якнайшвидша їх евакуація з УВП за межі зони забруднення (ЗЗ).

Для реагування на такі надзвичайні ситуації та проведення евакуації спецконтингенту створюватиметься угруповання сил і засобів Національної гвардії України (НГУ), яка відповідно до прикінцевих та перехідних положень Закону України [3] є основним суб'єктом, що приймає участь в евакуаційних заходах, оскільки має для цього потрібну кількість підготовлених сил і засобів.

Таким чином, виникає багатоетапний процес залучення сил та засобів НГУ до виконання евакуаційних заходів, зосередження сил та засобів НГУ на межі ЗЗ, всередині ЗЗ і вивезення спецконтингенту за межі ЗЗ. Варто зазначити, що проведення евакуаційних заходів у ЗЗ буде покладене саме на військові частини НГУ з конвоювання, екстрадиції та охорони підсудних (ВЧКЕОП), що дислоковані в безпосередній близькості до зони забруднення. Однак, в той же час ВЧКЕОП виконують щоденні планові завдання з конвоювання, внаслідок чого існує невизначеність на певний час складу сил та засобів (транспортного ресурсу типу автозак «АЗ»), готових до виконання завдань з евакуації спецконтингенту із УВП. В зв'язку з цим додатково можуть залучатись ВЧКЕОП із інших регіонів України.

Крім того, потрібно звернути увагу на характерні особливості умов при яких, органам військового управління (ОВУ) НГУ прийдеться виробляти варіанти евакуаційних дій і оперативно приймати рішення, зокрема:

- неможливість завчасного і точного визначення розмірів зони забруднення;
- можливі зміни у структурі транспортних комунікацій в межах адміністративних одиниць на території яких розташовані УВП, а також у пропускну здатності цих комунікацій на певний час;
- територіальна розосередженість ВЧКЕОП відносно УВП, що потребує витрачання часу на здійснення маршру до відповідних УВП;

– можливість потрапляння у зону забруднення УВП з різними за категорією і умовами утримання спецконтингентом (неповнолітні, жінки, довільно ув'язнені тощо), що накладає додаткові вимоги до процесу евакуації.

Наведені аспекти приводять до неможливості завчасного складання планів евакуаційних заходів на певний строк. Отже, ОВУ прийдеться вирішувати завдання евакуації в умовах, що будуть актуальними на певний час. Тут потрібно відзначити, що діяти прийдеться оперативно (швидко). Таким чином, набуває актуальність доробок у вигляді математичних моделей з обґрунтування та вироблення раціонального варіанту плану екстреної евакуації спецконтингенту одночасно з кількох УВП при виникненні масштабної аварії на об'єкті хімічної промисловості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженнями у питаннях евакуації цивільного населення в умовах виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру займалися вітчизняні вчені, такі, як Беляєв В.Ю [4], Бірюков Д.С. [5], Тарасенко О.А., [6], та багато інших.

Так, у статті [4] формалізовано задачу пошуку оптимальних наземних маршрутів евакуації населення у разі поширення області ураження внаслідок надзвичайних ситуацій природно-техногенного характеру. Автор зазначає, що в літературі відсутні моделі евакуації населення при загрозі з боку динамічної області дії небезпечних чинників надзвичайних ситуацій, що підкреслює актуальність задачі пошуку оптимальних маршрутів евакуації населення по мережі доріг з динамічною топологією.

Авторами у статті [5] запропонована постановка задачі оптимізації, яка полягає у визначенні плану перевезення осіб при евакуації населення автомобільними транспортними засобами з населених пунктів, що знаходяться в зоні ураження під час надзвичайної ситуації.

В своїй статті [6] авторами запропоновано процедуру знаходження оптимального маршруту евакуації населення за існуючою мережею автомобільних доріг загального користування у разі загрози ураження хімічно-небезпечними речовинами з можливістю реалізації такої процедури із застосуванням геоінформаційних систем (при наявності електронних карт місцевості).

Нормативно-правовою базою України [7-9] визначаються механізми залучення та порядок виконання завдань з конвоювання ВЧКЕОП НГУ, зокрема: під час виконання планових завдань в звичайних умовах обстановки, у разі введення правового режиму воєнного стану та у разі загрози виникнення або виникненні надзвичайних ситуацій різного характеру походження. Аналіз чинної законодавчої бази дозволяє зробити висновок, що вона є надмірно декларативною, зокрема – у тих випадках, коли вимагається оперативна послідовність узгоджених дій, налагоджена взаємодія кількох силових відомств, визначення потрібної кількості сил і засобів, які повинні забезпечити ефективну та екстрену евакуацію. Отже, можна констатувати, що наразі розроблені нормативні акти, які лише в загальних рисах визначають порядок евакуації спецконтингенту із УВП, що потрапили у ЗЗ і що його слід реалізовувати за окремим планом.

Аналіз наведених та деяких інших джерел показав, що значна увага приділяється питанням маршрутизації та розподілу транспортних ресурсів під час екстреної евакуації цивільного населення в умовах надзвичайних ситуацій, зокрема аварій на хімічно небезпечних об'єктах. Виходячи з цього, отримати рекомендації щодо порядку виконання завдання з евакуації спецконтингенту одночасно з кількох УВП, що потрапили у ЗЗ в результаті аварії на об'єкті хімічної промисловості, не можливо.

Метою статті є формалізація задач знаходження оптимальних (найшвидших) маршрутів евакуації та розподілу наявного транспортного ресурсу для проведення екстреної евакуації спецконтингенту одночасно з кількох установ виконання покарань при виникненні масштабної аварії на об'єкті хімічної промисловості.

Виклад основного матеріалу. В рамках проведення дослідження, було здійснено формалізовану постановку задач маршрутизації та розподілу наявного транспортного ресурсу ВЧКЕОП для проведення екстреної евакуації спецконтингенту із ЗЗ. Крім того, при проведенні розрахунків використовувались показники та критерії [10], які задовольняють потреби у вхідних (початкових) даних та характеризують проведення евакуаційних заходів. Виходячи з цього формалізація процесу евакуації спецконтингенту передбачатиме вирішення наступних задач:

Задача 1. Формалізація загальних умов екстреної евакуації спецконтингенту.

Сутність задачі полягає в моделюванні межі ЗЗ, формуванні множини точок-входу (виходу) в (із) ЗЗ, знаходженні потреби у транспортному ресурсі типу автозак «АЗ» для евакуації спецконтингенту та певний його розподіл за всіма УВП всередині ЗЗ.

Нехай область Θ із критичним рівнем концентрації хімічно-небезпечної речовини (ХНР) має деяку площу S_Θ . Рівень (значення) концентрації Q в будь-якій точці області Θ описується регресійною моделлю $Q = f(x, y, t)$, де x та y координати точки, t – поточний час.

Межа області Θ , встановлюється у відповідності із критерієм:

$$Q(x, y) \leq Q^{kp}, \quad (1)$$

де, Q^{kp} – критичне значення хімічно-небезпечної речовини у повітрі.

Перетин транспортної мережі (шосейні і ґрунтові дороги) всередині та ззовні області Θ , визначають множину $H = \{h_i\}_{i=\overline{1, m}}$ точок-входу (виходу) в цю область (з області).

Транспортна мережа всередині області Θ моделюється зваженим неорієнтованим графом $G = (P, E)$, де $P = \{p_i\}_{i=\overline{1, n}}$ – множина, що містить вузли графа (моделюють перехрестя доріг), причому $H \subset P$, $E = \{e_{ij}\}_{i=\overline{1, n}, j=\overline{1, n}}$ – множина, що містить ребра графа. Вагова оцінка

$t(e_{ij})$ деякого ребра e_{ij} кількісно характеризує час $t = \frac{l_{ij}}{v_{ij}}$ руху відповідною ділянкою дороги.

Всередину області Θ одночасно потрапили кілька установ виконання покарань (УВП), що моделюються множиною $\hat{U} = \{\hat{u}_j\}_{j=\overline{1, p_1}}$. В кожній $\hat{u}_j$, що відрізняються контингентом утримуваних ($r_{u_j}^\wedge = \overline{1, 3}$; 1 – неповнолітні, 2 – жінки; 3 – чоловіки), відбувають покарання $N_{u_j}^\wedge$ осіб спецконтингенту відповідно. Поза межами області Θ знаходяться УВП, що моделюються множиною $\check{U} = \{\check{u}_j\}_{j=\overline{1, p_2}}$, причому $p_2 \gg p_1$. Кожна з них на певний момент часу t характеризується обсягом $\chi_{u_j}^\vee$ спецконтингенту, який може бути додатково розміщений в цій УВП, причому $\sum_j \chi_{u_j}^\vee > \sum_j N_{u_j}^\wedge$.

ВЧКЕОП територіально дислоковані поза межами області Θ і моделюються множиною $V = \{v_i\}_{i=\overline{1, k}}$. Кожна v_i на певний момент часу t може виділити λ_{v_i} автомобілів типу “АЗ” (не задіяних у виконанні планових завдань) для перевезення підсудних та засуджених із середньою кількістю посадкових місць $\bar{\xi}$ в кожному з них.

Потреба у транспортному ресурсі НГУ, для евакуації спецконтингенту із області Θ , обумовлює певний розподіл ресурсу за всіма УВП, за виразом

$$R_{A, \hat{U}} = A_{u_1}^\wedge \cup A_{u_2}^\wedge \cup \dots \cup A_{u_{p_1}}^\wedge, \left| A_{u_j}^\wedge \right|_{j=\overline{1, p_1}} > 0, \quad (2)$$

при обмеженнях

$$\bar{\xi} \cdot \left| A_{u_j}^\wedge \right| \geq N_{u_j}^\wedge, \quad j = \overline{1, p_1}, \quad (3)$$

$$\Delta_{\%} = \frac{\left| A_{u_j}^{\wedge} \right| - \frac{N_{u_j}^{\wedge}}{\xi}}{\left| A_{u_j}^{\wedge} \right|} \cdot 100\%, \quad j = \overline{1, p_1}, \quad (4)$$

де $\left| A_{u_j}^{\wedge} \right|$ – кількість автомобілів типу “АЗ”, що потрібно зосередити в $u_j^{\wedge}$ УВП для евакуації з області Θ спецконтингент у кількості $N_{u_j}^{\wedge}$ осіб; $\Delta_{\%}$ – директивно встановлений відсоток резерву транспортного ресурсу.

Задача 2. Зосередження потрібного автомобільного ресурсу на межі зони забруднення.

Особливістю задачі є вибір маршрутів руху, що забезпечать мінімальний час прибуття спецтранспорту від військових частин НГУ до межі ЗЗ. Сукупність таких маршрутів руху складатимуть маршрутний план зосередження автомобільного ресурсу НГУ на межі ЗЗ. Таке зосередження обумовлюватиме певне розподілення транспортного ресурсу між точками-входу в ЗЗ.

В силу різної віддаленості елементів множини $V = \{v_i \}_{i=\overline{1,k}}$ від області Θ , до процесу евакуації залучатиметься транспортний ресурс лише тих V_i для яких виконуватиметься критерій:

$$T_{v_i \rightarrow \Theta} \leq T^{dup}, \quad i = \overline{1, k}, \quad (5)$$

де $T_{v_i \rightarrow \Theta}$ – оцінка часу руху колони автомобілів типу “АЗ” від пункту постійної дислокації деякої військової частини V_i до області Θ ; T^{dup} – директивно встановлений час.

Отже, базова задача зосередження потрібного автомобільного ресурсу на межі зони забруднення запишеться наступним чином. Для всіх V_i знайти такі маршрути руху $\tilde{P}_{v_i \rightarrow h_i}$ на яких досягається:

$$T_{v_i \rightarrow h_i} = \min_{\tilde{P}(v_i, h_i)} T_{h_i}, \quad (6)$$

де T_{h_i} – оцінка часу руху від військової частини V_i до деякої h_i точки-входу в область Θ ; $\tilde{P}(v_i, h_i)$ – множина всіх маршрутів руху від військової частини V_i до всіх h_i точок-входу на межі області Θ .

Тут потрібно відмітити, що в силу виразу (5) цілком можливі ситуації, коли умова (3) не буде виконана. У таких випадках процес евакуації спецконтингенту здійснюватиметься в умовах нестачі транспортного ресурсу, що ускладнюватиме планування і проведення евакуаційних заходів та впливатиме на сам їх хід.

Сукупність V_i , що приймуть участь у проведенні евакуації, кількість λ_{v_i} автомобілів типу “АЗ”, виділених кожною з них, та найкоротші маршрути руху до відповідних точок-входу h_i складатимуть план зосередження автомобільного ресурсу НГУ на межі області Θ , а саме:

$$PL_{зос, Н} = \{ \lambda_{v_i} \}_{i=\overline{1,k}} \xrightarrow{T \rightarrow \min} \{ h_i \}_{i=\overline{1,m}}, \quad \lambda_{v_i} > 0. \quad (7)$$

В результаті розв'язання розглянутої базової задачі утворюється (визначається) певне розподілення транспортного ресурсу, виділеного від множини $V = \{v_i\}_{i=\overline{1,k}}$ військових частин КЕОП НГУ, між точками-входу з множини $H = \{h_i\}_{i=\overline{1,m}}$, розташованих на межі зони забруднення, за виразом

$$R_{A,H} = A_{h_1} \cup A_{h_2} \cup \dots \cup A_{h_m}, \quad |A_{h_i}|_{i=\overline{1,m}} \geq 0, \quad (8)$$

де $|A_{h_i}|$ – кількість автомобілів типу “АЗ”, що зосереджуватимуться в h_i точці-вході в область Θ ; m – кількість таких точок.

Задача 3. Маршрутизація для екстреної евакуації спецконтингенту із зони забруднення.

Сутність задачі полягає у виборі для кожної УВП такого евакуаційного маршруту руху, який забезпечує мінімальний час евакуації.

Після завершення зосередження потрібного транспортного ресурсу на межі області Θ , постає питання найскорішого вивезення (евакуації) всієї маси спецконтингенту, територіально розподіленого в цій області, за її межі. Процедурно ця операція ділиться на два етапи: етап 1 –

зосередження потрібної кількості транспортного ресурсу в кожній УВП $\{\hat{u}_j\}_{j=\overline{1,p_1}}$, що розташовані всередині області Θ ; етап 2 – вивезення всієї маси спецконтингенту УВП за межі області Θ .

Загальний час зосередження транспортного ресурсу у відповідних УВП всередині області Θ буде визначатися (обмежуватися) найбільшим часом зосередження потрібного ресурсу для деякої $\hat{u}_j$, тобто:

$$T_{\text{зос}, \hat{U}} = \max \left\{ t_{\hat{u}_j} \right\}_{j=\overline{1,p_1}}. \quad (9)$$

Оскільки всередині області Θ діє певна концентрація (Q) ХНР, що негативно впливає на організм людини, і існує певна транспортна мережа $G = (P, E)$ на якій визначена множина шляхів

$\tilde{P}(h_i \times \hat{u}_j)$, то виникає наступна базова задача – знайти такий план зосередження транспортного ресурсу в $\{\hat{u}_j\}_{j=\overline{1,p_1}}$, відповідно до розподілення (2), для якого загальний час $T_{\text{зос}, \hat{U}}$ буде мінімальним, тобто:

$$T_{\text{зос}, \hat{U}} = \max \left\{ t_{\hat{u}_j} \right\}_{j=\overline{1,p_1}} \rightarrow \min. \quad (10)$$

З урахуванням контингенту утримуваних, шуканий план зосередження транспортного ресурсу формалізовано запишеться у вигляді наступного виразу:

$$PL_{\text{зос}, \hat{U}} = |A_{h_i}|_{i=\overline{1,m}} \xrightarrow[r_{\hat{u}_j}]{T \rightarrow \min, T \rightarrow \min} \{\hat{u}_j\}_{j=\overline{1,p_1}}, \quad (11)$$

при обмеженнях:

$$\sum_{i=1}^m |A_{h_i}| = \sum_{j=1}^{p_1} |A_{u_j}^{\wedge}|, \quad (12)$$

$$\forall |A_{u_j}^{\wedge}|_{j=1, p_1} > 0, \quad (13)$$

де $|A_{h_i}|$ та $|A_{u_j}^{\wedge}|$ – кількість транспортного ресурсу, що зосереджується у відповідних місцях.

З метою зменшення часу дії хімічно-небезпечних речовин на організм ув'язнених, вивезення (евакуація) спецконтингенту з УВП (з області Θ) відбуватиметься за найкоротшим шляхом. Отже виникає наступна базова задача – для кожної $u_j^{\wedge} \in \hat{U}$ знайти такі маршрути руху $\tilde{P}_{u_j^{\wedge} \rightarrow h_i}$ на яких досягається:

$$T_{u_j^{\wedge} \rightarrow h_i}^{\wedge} = \min_{\tilde{P}(u_j^{\wedge}, h_i)} T_{h_i}, \quad (14)$$

де T_{h_i} – оцінка часу руху від $u_j^{\wedge}$ УВП до деякої h_i точки-виходу з області Θ ; $\tilde{P}(u_j^{\wedge}, h_i)$ – множина всіх маршрутів руху від $u_j^{\wedge}$ УВП до всіх h_i точок-виходу з області Θ .

Зазвичай потрібно планувати (виділяти) такий обсяг транспортного ресурсу, щоб евакуація спецконтингенту з кожної $u_j^{\wedge}$ УВП здійснювалась за один рейс. У разі невиконання для деякої $u_j^{\wedge}$ УВП умови (3) її спецконтингент буде евакуйований групами з $\bar{\xi} \cdot |A_{u_j^{\wedge}}|$ осіб за певну кількість рейсів, яка визначається за наступним виразом:

$$\rho_{u_j^{\wedge}} = \left\lceil \frac{N_{u_j^{\wedge}}}{\bar{\xi} \cdot |A_{u_j^{\wedge}}|} \right\rceil. \quad (15)$$

Кожен рейс відбуватиметься протягом $2T_{u_j^{\wedge} \rightarrow h_i}^{\wedge}$ одиниць часу (власне $T_{u_j^{\wedge} \rightarrow h_i}^{\wedge}$ одиниць часу на вивезення спецконтингенту за межі області Θ , і такий ж час на повернення до $u_j^{\wedge}$ УВП за наступною групою ув'язнених). Беручи до уваги те обмеження, що швидкість V_{ij} руху автоколон в області Θ під час евакуації залишатиметься постійною, стає зрозумілим, що для вивезення всієї маси ув'язнених з деякої $u_j^{\wedge}$ УВП за межі зони забруднення знадобиться час, який дорівнюватиме:

$$\bar{T}_{u_j^{\wedge}} = 2T_{u_j^{\wedge} \rightarrow h_i}^{\wedge} \cdot \rho_{u_j^{\wedge}} - T_{u_j^{\wedge} \rightarrow h_i}^{\wedge}. \quad (16)$$

Формалізовано план вивезення спецконтингенту з області Θ запишеться у вигляді наступного виразу:

$$PL_{\text{еу},H} = \{ N_{u_j}^{\wedge} \}_{j=\overline{1,p_1}} \xrightarrow{T \rightarrow \min} \{ h_i \}_{i=\overline{1,m}}. \quad (17)$$

Реалізація зазначеного плану обумовлюватиме деяке розподілення спецконтингенту всіх УВП за h_i точками-виходу з області Θ у такому вигляді:

$$R_{N,H} = N_{h_1} \cup N_{h_2} \cup, \dots, \cup N_{h_m}, \quad |N_{h_i}|_{i=\overline{1,m}} \geq 0, \quad (18)$$

при обмеженні

$$\sum_{j=1}^{p_1} N_{u_j}^{\wedge} = \sum_{i=1}^m |N_{h_i}|, \quad (19)$$

де $|N_{h_i}|$ – кількість ув'язнених, що вивозиться (евакуюється) з області Θ через h_i точку-виходу з цієї області.

Задача 4. Розподілення спецконтингенту між установами виконання покарань, що знаходяться поза межами зони забруднення.

Задача зводиться до розв'язання класичної транспортної задачі Монжа-Контаровича [11], що обумовлюватиме розподілення ув'язнених за УВП, що розташовані за межами ЗЗ.

Отримавши розподілення (18) спецконтингенту за точками-виходу з області Θ постає питання його розподілення між УВП, що розташовані за межами цієї області, із подальшим доставлянням спецконтингенту за місцями призначення. Оскільки ув'язнені на даному етапі перебувають поза межею дії хімічно-небезпечних речовин, подальшу їх евакуацію доцільно проводити за певним варіантом, який забезпечуватиме найменші загальні витрати державних коштів. Звідси виникає наступна задача. Для всієї сукупності спецконтингенту, що евакуйований із області Θ і

розподілений за h_i точками-виходу з цієї області, знайти такий план перевезень до $\{ u_j^{\vee} \}_{j=\overline{1,p_2}}$ УВП, який задовольнятиме цільовій функції:

$$F(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{p_2} c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min, \quad (20)$$

при обмеженнях:

$$\sum_{j=1}^{p_2} x_{ij} = |N_{h_i}|, \quad i = \overline{1, \dots, m}, \quad (21)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = \chi_{u_j}^{\vee}, \quad j = \overline{1, \dots, p_2}, \quad x_{ij} \geq 0, \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^m |N_{h_i}| = \sum_{j=1}^{p_2} \chi_{u_j}^{\vee}. \quad (23)$$

де C_{ij} – транспортні витрати (тариф) на перевезення одного ув'язненого певним видом транспорту з i -го пункту відправлення (точки-виходу з області Θ) до j -го пункту призначення (УВП, що перебувають за межами області Θ); X_{ij} – кількість ув'язнених, що спрямовуються з i -го пункту відправлення (точки-виходу з області Θ) до j -го пункту призначення (УВП, що перебувають за межами області Θ); $|N_{h_i}|$ – кількість ув'язнених, що вивозиться (евакуюється) з області Θ через h_i точку-виходу з цієї області.

Задача (20)-(23) представляє собою класичну транспортну задачу [11], яка є оптимізаційною. За результатами її розв'язання визначається (отримується) доцільне розподілення ув'язнених за УВП, що розташовані за межами області Θ , за виразом:

$$R_{N, \check{U}} = N_{u_1} \cup N_{u_2} \cup \dots \cup N_{u_j}, \left| N_{u_j} \right|_{j=\overline{1, p_2}} \geq 0, \quad (24)$$

де $|N_{u_j}|$ – кількість спецконтингенту, що планується до переміщення у $\check{u}_j$ УВП, що розташовані поза межами Θ

Формалізовано шуканий план доставляння ув'язнених до відповідних (призначених) УВП запишеться у вигляді наступного виразу:

$$PL_{\partial oc, \check{U}} = \left| N_{h_i} \right|_{i=\overline{1, m}} \xrightarrow{W \rightarrow \min} \{ \check{u}_j \}_{j=\overline{1, p_2}}, \quad (25)$$

де W – сукупні витрати коштів держави на доставляння ув'язнених до призначених їм УВП.

Отже, сукупність планів представлених виразами (7), (11), (17), (25) складатимуть зміст загального плану евакуації спецконтингенту УВП із зони забруднення Θ , який у формалізованому вигляді представлятиметься наступним виразом:

$$PL_{EBK} = \left(PL_{зoc, H}; PL_{зoc, \hat{U}}; PL_{виб, H}; PL_{\partial oc, \check{U}} \right). \quad (26)$$

За результатами розв'язання вищезазначених задач посадові особи ОВУ НГУ складають раціональний (доцільний) варіант плану евакуації спецконтингенту.

Висновки

Формалізація задач евакуації спецконтингенту із УВП дозволяє органам військового управління НГУ, у ході проведення планувальних заходів, визначати: оптимальні (найшвидші) евакуаційні маршрути руху, межі і периметр ЗЗ, множину точок-входу (виходу) в (із) ЗЗ, потребу у транспортному ресурсі для евакуації спецконтингенту та раціональний його розподіл: між точками-входу в ЗЗ, за всіма УВП всередині такої зони, за точками-виходу із ЗЗ, далі між УВП, що розташовані за межами ЗЗ.

Запропонований підхід дозволяє в умовах обмеженого часу на прийняття рішення отримати загальний план евакуації спецконтингенту УВП із ЗЗ у формалізованому вигляді.

Напрямами подальших досліджень слід вважати розроблення методики вироблення плану евакуації спецконтингенту одночасно з кількох установ виконання покарань, що потрапили у зону хімічного забруднення, яка має нестационарний характер транспортної мережі.

Перелік джерел посилання

1. Косяк О. Г., Бацамут В. М. Проблемні питання евакуації спецконтингенту із установ виконання покарань, що опинились у зоні зараження унаслідок масштабної аварії на об'єкті хімічної промисловості. *Чесць і закон*. 2020. № 2 (73). С. 52–60.
2. Конституція України: Закон України від 28.06.1996 р. № 254к/96-ВР. URL: <https://surl.li/oixrqp> (дата звернення: 23.01.2025).
3. Про Національну гвардію України: Закон України від 13.03.2014 р. № 876-VII. URL: <https://surl.li/mzyjbr> (дата звернення: 23.01.2025).
4. Беляєв В.Ю. Шляхи підвищення ефективності наземної евакуації населення при надзвичайних ситуаціях. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2010. Вип. 12. С. 37–43.
5. Бірюков Д.С., Заславський В.А., Сідляренко А.І. Критична інфраструктура в умовах надзвичайних ситуацій: на прикладі мережі автомобільних доріг. *Збірник наукових праць. Вісник НТУ ХПІ*. Харків, 2012, № 62 (968). С. 3–7.
6. Тарасенко О.А., Беляєв В.Ю., Туркін І.Б. Знаходження оптимальних маршрутів евакуації населення по існуючій мережі автошляхів. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2011. Вип. 13. С. 39–46.
7. Про затвердження Положення з організації з конвоювання військовими частинами (підрозділами) Національної гвардії України: затвердж. наказом МВС від 24.12.2019 р. № 1090. URL: <https://surl.li/wbwhpu> (дата звернення: 23.01.2025).
8. Про затвердження Порядку проведення обов'язкової евакуації окремих категорій населення в разі введення правового режиму воєнного стану: пост. Каб. Міністрів України від 07.11.2018 р. № 934. URL: <https://surl.li/zhtgpz> (дата звернення: 23.01.2025).
9. Про затвердження Порядку проведення евакуації у разі загрози виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій: пост. Каб. Міністрів України від 30.10.2013 р. № 841. URL: <https://surl.li/djlwvp> (дата звернення: 23.01.2025).
10. Бацамут В.М., Косяк О.Г. Сукупність показників та критеріїв оцінювання різних варіантів плану екстреної та упереджувальної евакуації спецконтингенту з кількох установ виконання покарань при виникненні аварії на об'єкті хімічної промисловості. *Чесць і закон*. 2022. № 4 (83). С. 45–54.
11. Наконечний С.І., Савіна С.С. Математичне програмування: навч. посіб. К. КНЕУ, 2003. 452 с.

Стаття надійшла до редакції 10.02.2025 р.

UDC 351.862.2:355.58

O. Kosiak, V. Batsamut, V. Synytskyi

FORMALIZED STATEMENT OF ROUTING AND ALLOCATION PROBLEM FOR AVAILABLE TRANSPORT RESOURCES DURING EMERGENCY EVACUATION OF SPECIAL CONTINGENT SIMULTANEOUSLY FROM MULTIPLE PENITENTIARY FACILITIES IN CASE OF A LARGE-SCALE ACCIDENT AT A CHEMICAL INDUSTRIAL SITE

The routing and allocation problems of the available transport resources, which will be solved by the military command authorities of the National Guard of Ukraine in the process of developing a rational option for the emergency evacuation of a special contingent from multiple correctional facilities in the event of a large-scale accident at a chemical industry facility, have been formalized.

The article formalizes the general conditions of emergency evacuation of the special contingent, the problem of concentrating the necessary vehicle resources at the boundary of the contaminated zone, the routing problem for emergency evacuation of the special contingent from the contaminated area, and the problem of distributing the special contingent among correctional facilities located outside the contaminated zone.

The formalization of evacuation tasks for special contingents from penal institutions enables the military command bodies of the National Guard of Ukraine to determine, during planning activities, the following: optimal (fastest) evacuation routes, boundaries and perimeter of the contamination zone, the set of entry (exit) points to (from) this zone, the need for transport resources for the evacuation of the special contingent,

and their rational distribution-among entry points into the contamination zone, across all penal institutions within this zone, at exit points from the contamination zone, and further among penal institutions located outside the contaminated area.

To address the task and achieve the goal set in the article, a comprehensive set of scientific research methods has been applied, including:

– analysis and synthesis to examine the legislative framework and departmental regulatory legal acts governing the participation of units and formations of the National Guard of Ukraine in response measures for technological and natural emergencies, as well as to analyze scientific publications on the subject of the study;

– Dijkstra's algorithm (based on the criterion of minimal time) to determine the shortest movement routes from military units to entry points of the contaminated zone, movement routes within this zone, and from exit points of the contamination zone to other detention facilities located in safe areas of the country;

– the double advantage method and the forbidden cells method to determine landing and vehicle resources.

The proposed approach allows, under conditions of limited decision-making time, the development of a comprehensive evacuation plan for the special contingent of penal institutions from the contamination zone in a formalized manner.

Key words: *special contingent, correctional facility, man-made emergency, transport resource, contaminated zone, evacuation.*

Косяк Олександр Геннадійович – доктор філософії, старший викладач кафедри професійної підготовки, Національна академія Національної гвардії України, підполковник
<https://orcid.org/0000-0003-1002-9897>;

Бацамут Володимир Миколайович – доктор військових наук, професор, начальник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України, полковник
<https://orcid.org/0000-0003-2182-6891>;

Синицький Володимир Миколайович – викладач кафедри професійної підготовки, Національна академія Національної гвардії України, підполковник
<https://orcid.org/0009-0006-4777-8006>;