

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ ФОРМУВАННЯ СКЛАДУ ТРАНСПОРТНОЇ КОЛОНИ ПРИКОРДОННОЇ КОМЕНДАТУРИ ШВИДКОГО РЕАГУВАННЯ ТА ЇЇ ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

У статті представлено математичну модель оптимізаційної задачі формування складу транспортної колони для вирішення завдань оперативно-службової діяльності прикордонною комендатурою швидкого реагування органу охорони державного кордону Державної прикордонної служби України. В якості критеріїв у математичній моделі виступають максимізація рівня готовності транспортних засобів зі складу колони та мінімізація марочного складу колони і кількості транспортних засобів у ній. Система обмежень математичної моделі містить обмеження щодо: не перевищення нормативно встановленого часу, за який колона має досягти пункту призначення; не зниження мінімально допустимого рівня коефіцієнта готовності кожного зразка транспортного засобу кожної марки і типу зі складу колони; можливості забезпечення перевезення колоною вантажу заданої маси та об'єму; можливості забезпечення перевезення особового складу, заданої кількості; не перевищення витрат пального транспортними засобами зі складу колони за видами; не зниження запасу ходу по моторесурсу кожного транспортного засобу зі складу колони заданої величини. Також у статті наведено можливий алгоритм автоматизації вирішення досліджуваної задачі та відповідне програмне забезпечення. Здійснено дослідження моделі на різних наборах початкових умов і зроблено висновки щодо застосування різних критеріїв. Обґрунтована математична модель і її програмно-алгоритмічне забезпечення дозволяють здійснювати оптимальний підбір техніки для складу колони за різними критеріями.

Ключові слова: математична модель, алгоритм, оптимізація, прикордонна комендатура швидкого реагування, транспортний засіб, колона.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Обстановка на державному кордоні, специфіка виконання завдань підрозділами охорони кордону завжди передбачали необхідність переміщення значної кількості особового складу та вантажів. Досвід останніх років, зокрема, свідчить про наявність потреби у подібних переміщеннях на значні відстані, які в межах України складають до 1000 км, а іноді і більше. Переміщення на такі відстані можуть здійснюватися різними видами транспорту (залізничним, повітряним, морським) або своїм ходом (маршем). Прикордонна комендатура швидкого реагування (ПКШР) є структурним підрозділом прикордонного загону, призначеним для захисту та посилення охорони визначеної ділянки державного кордону [1]. ПКШР, відповідно до визначених у наказі [1] завдань, повинна оперативно здійснювати передислокацію власних сил і засобів. На сухопутних ділянках кордону мобільність ПКШР забезпечується за рахунок використання транспортних засобів. Обмеженість часових показників, великі відстані, значна кількість зразків транспортних засобів, їх марок і типів у ПКШР, при вирішенні завдання переміщення створюють багатоваріантність підбору та збільшують ймовірність прийняття хибного рішення щодо складу колони. Останнє може призвести до негативних наслідків: від перевитрат коштів і матеріальних засобів до несвоечасного прибуття особового складу та вантажів, а отже, до невиконання задачі в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми. Питанням формування складу колони транспортних засобів для ефективного переміщення вантажів приділялась увага у ряді робіт, зокрема [2-6].

Так, у роботі [2] у методиці тактичних розрахунків з визначення кількості транспортних засобів для перевезення вантажів приймалися до уваги характеристики вантажів, вантажопідйомність і швидкість руху транспортних засобів, дальність переміщення, терміни завантаження, розвантаження, заправлення, відпочинку водіїв між рейсами (якщо це передбачено), а також терміни переміщення вантажів.

У праці [3] відображені питання прогнозування ефективності маршу військового формування за надійністю зразків озброєння та військової техніки, а також впливу на ефективність маршу кількості ремонтних відділень, технічного стану техніки за показником безвідмовності, рівня оперативності ремонтних органів у проведенні ремонтних робіт та працезатрат на проведення робіт відновлення озброєння та військової техніки.

У роботі [4] наведено варіант моделі вантажоперевезень для знаходження у транспортній мережі оптимального маршруту перевезення вантажів від одного відправника декільком споживачам.

Питанням, пов'язаним із змістом роботи начальника автомобільної служби військової частини під час планування та організації автотехнічного забезпечення маршу присвячена праця [5]. У ній відображені питання оцінки стану служби за укомплектованістю та справністю транспортних засобів, їх технічною готовністю, розглянуті можливості ремонтних засобів, підготовки пропозицій на марш.

У наказах [6-7] визначено, що основним показником технічного стану парку машин (автомобільної техніки) підрозділу, частини, з'єднання є коефіцієнт технічної готовності $K_{\text{ТГ}}$, який визначається при інспектуванні (перевірках) військової частини як відношення кількості справних машин до їх списочної чисельності, а при підведенні підсумків експлуатації за період – як відношення кількості машино-днів знаходження в справному стані до списочної кількості машино-днів.

Однак у проаналізованих роботах [2-7] залишилися поза увагою такі вимоги до формування оптимального складу колони транспортних засобів, як рівень готовності, запас ходу по моторесурсу, кількість марок та зразків, наявність пального для заправлення тощо.

Необхідність формування оптимального складу колони транспортних засобів для вирішення завдань оперативно-службової діяльності ПКШР органу охорони державного кордону Державної прикордонної служби України та відсутність відповідного інструментарію і визначає необхідність розробки математичної моделі відповідної задачі.

Метою даної роботи є обґрунтування математичної моделі задачі формування складу транспортної колони ПКШР, яка б враховувала характеристики, обмеження та критерії, що визначаються особливостями задач оперативно-службової діяльності ПКШР.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для досягнення визначеної мети вбачається за доцільне здійснити змістовний опис задачі, її формалізацію, а також дослідження моделі на основі її автоматизації.

На змістовному рівні досліджувана задача виглядає так. Необхідно сформувати склад колони, яка повинна вибути з пункту відправлення (точки А) та прибути з максимальним рівнем готовності транспортних засобів у пункт призначення (точку В). При формуванні складу колони слід мінімізувати як загальну кількість транспортних засобів, так і її марочний склад. Час прибуття транспортних засобів зі складу колони у точку В повинен бути не більшим нормативно встановленого часу, за який колона має досягти пункту призначення. Коефіцієнт готовності кожного транспортного засобу не повинен знизитися допустимого рівня. Сумарна вантажопідйомність та об'єм кузовів транспортних засобів зі складу колони повинні дозволити перевезти вантаж, а їх пасажиромісткість – особовий склад. Сумарна витрата пального транспортними засобами зі складу колони має бути не більшою наявної кількості пального на марш за видами пального, а запас ходу по моторесурсу – не меншим

відстані перевезення.

Для формалізації задачі введемо наступні позначення.

Нехай

i - номер типу транспортного засобу, з якого формується колона $\left(i = \overline{1, n} \right)$;

n - кількість типів транспортних засобів, з яких формується колона;

j - номер марки транспортного засобу i -го типу, з якого формується колона

$$\left(j = \overline{1, m_i} \right);$$

m_i - кількість марок транспортних засобів i -го типу, з яких формується колона;

k - номер зразка транспортного засобу j -ї марки i -го типу, який може увійти до складу

колони $\left(k = \overline{1, s_{ij}} \right)$;

s_{ij} - кількість зразків транспортних засобів j -ї марки i -го типу, які можуть увійти до складу колони;

x_{ijk} - умовне позначення k -го зразка транспортного засобу j -ї марки i -го типу

$$\left(i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, k = \overline{1, s_{ij}} \right);$$

$a^{\text{вст}}$ - кількість чоловік особового складу підрозділу, які мають бути доставленими у точку призначення транспортними засобами зі складу колони;

a_{ij} - кількість чоловік, які можуть перевозитись транспортним засобом j -ї марки i -го типу $\left(i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i} \right)$;

$m^{\text{вст}}$ - маса корисного вантажу, який має бути доставленим у точку призначення транспортними засобами зі складу колони;

m_{ij} - маса корисного вантажу, який може перевозитись транспортним засобом j -ї марки i -го типу $\left(i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i} \right)$;

$V^{\text{вст}}$ - об'єм (габарити) корисного вантажу, який має бути доставленим у точку призначення транспортними засобами зі складу колони;

V_{ij} - об'єм (габарити) корисного вантажу, який може перевозитись транспортним засобом j -ї марки i -го типу $\left(i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i} \right)$;

$t^{\text{вст}}$ - нормативно встановлений час, за який колона має досягти пункту призначення;

$L^{\text{вст}}$ - відстань між пунктами відправлення та призначення, для додання якої формується колона;

$u_{ДП}^{вст}$ - наявна кількість дизельного пального, яке виділяється на здійснення маршруту та може бути використане для заправки відповідних транспортних засобів зі складу колони;

$u_{ij}^{ДП}$ - витрати дизельного пального на 100 км транспортним засобом j -ї марки i -го типу $\left(i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i} \right)$;

$u_{A-80}^{вст}$ - наявна кількість пального марки А-80, яке виділяється на здійснення маршруту та може бути використане для заправки відповідних транспортних засобів зі складу колони;

u_{ij}^{A-80} - витрати пального марки А-80 на 100 км транспортним засобом j -ї марки i -го типу $\left(i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i} \right)$;

$u_{A-92}^{вст}$ - наявна кількість пального марки А-92, яке виділяється на здійснення маршруту та може бути використане для заправки відповідних транспортних засобів зі складу колони;

u_{ij}^{A-92} - витрати пального марки А-92 на 100 км транспортним засобом j -ї марки i -го типу $\left(i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i} \right)$;

$u_{A-95}^{вст}$ - наявна кількість пального марки А-95, яке виділяється на здійснення маршруту та може бути використане для заправки відповідних транспортних засобів зі складу колони;

u_{ij}^{A-95} - витрати пального марки А-95 на 100 км транспортним засобом j -ї марки i -го типу $\left(i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i} \right)$;

$K_{Г.ijk}^{вст}$ - мінімально допустимий рівень коефіцієнта готовності k -го зразка транспортного засобу j -ї марки i -го типу $\left(i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, k = \overline{1, s_{ij}} \right)$, який дозволяє транспортний засіб включати до складу колони;

$K_{Г.ijk}$ - наявний коефіцієнт готовності k -го зразка транспортного засобу j -ї марки i -го типу $\left(i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, k = \overline{1, s_{ij}} \right)$, або такий, що може бути забезпеченим на момент формування складу колони;

$v_{ij}^{сеп}$ - середня швидкість руху транспортного засобу j -ї марки i -го типу $\left(i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i} \right)$;

$3X_{ijk}^M$ - запас ходу по моторесурсу k -го зразка транспортного засобу j -ї марки i -го типу $\left(i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, k = \overline{1, s_{ij}} \right)$;

t_{ijk}^{np} - середній час знаходження в працездатному стані k -го зразка транспортного засобу j -ї марки i -го типу $\left(i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, k = \overline{1, s_{ij}} \right)$;

t_{ijk}^B - середній час відновлення k -го зразка транспортного засобу j -ї марки i -го типу $\left(i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, k = \overline{1, s_{ij}} \right)$.

За умовою досліджуваної задачі відомими є наступні величини:

$n, m_i, s_{ij}, a^{вст}, a_{ij}, m^{вст}, m_{ij}, V^{вст}, V_{ij}, t^{вст}, L^{вст}, u_{ДП}^{вст}, u_{ij}^{ДП}, u_{A-80}^{вст}, u_{ij}^{A-80}, u_{A-92}^{вст}, u_{A-95}^{вст}, u_{ij}^{A-95}, K_{\Gamma}^{вст}, K_{\Gamma,ijk}, v_{ij}^{сеп}, 3X_{ijk}^M, t_{ijk}^{np}, t_{ijk}^B$.

Шуканими величинами є $x_{ijk} \left(i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, k = \overline{1, s_{ij}} \right)$. Вважається, що якщо відповідний транспортний засіб x_{ijk} відповідає вищезазначеним вимогам і входить до складу колони, то $x_{ijk} = 1$, у протилежному випадку $x_{ijk} = 0$.

Слід зазначити, що при формуванні складу колони необхідно враховувати і доцільність підбору спеціальних транспортних засобів, завдання яких полягає у забезпеченні охорони, розвідки та технічного замикання колони. У досліджуваній задачі це враховуватиметься у випадку, коли спеціальні транспортні засоби будуть відноситись до основних марок транспортних засобів, тобто тих, з яких формуватиметься склад колони.

У моделі також слід прийняти до уваги, що рівень технічної готовності парку техніки варто оцінювати на основі коефіцієнта готовності [8, 9]:

$$K_{\Gamma,ijk} = \frac{t_{ijk}^{np}}{t_{ijk}^{np} + t_{ijk}^B}. \quad (1)$$

З урахуванням введених позначень та прийнятих допущень математична модель досліджуваної задачі набуде наступного вигляду.

У якості критеріїв виступають:

забезпечення максимального рівня готовності транспортних засобів зі складу колони;

мінімізація кількості транспортних засобів у складі колони;

мінімізація марочного складу колони.

Отже, задача є багатокритеріальною, цільові функції якої мають наступний вигляд:

$$\min \left\{ K_{\Gamma,111}, \dots, K_{\Gamma,11s_1}, \dots, K_{\Gamma,1m_1}, \dots, K_{\Gamma, nm_n s_{nm_n}} \right\} \rightarrow \max, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{s_{ij}} x_{ijk} \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} \rightarrow \min . \quad (4)$$

Слід зауважити, що задачу можна розглядати як однокритеріальну, в якості критеріїв якої можуть виступати вирази (2)-(4). Також задача може бути зведена до однокритеріальної.

Урахування умови задачі дозволяє обмеження математичної моделі представити так.

Обмеження щодо не перевищення нормативно встановленого часу, за який колона має досягти пункту призначення:

$$\max \left\{ \frac{L^{вст}}{V_{11}^{сеп}}, \dots, \frac{L^{вст}}{V_{1m_1}^{сеп}}, \dots; \frac{L^{вст}}{V_{n_1}^{сеп}}, \dots, \frac{L^{вст}}{V_{nm_n}^{сеп}} \right\} \leq t^{вст} . \quad (5)$$

Обмеження щодо не зниження мінімально допустимого рівня коефіцієнта готовності кожного k -го зразка транспортного засобу j -ї марки і -го типу зі складу колони:

$$\min \left\{ K_{\Gamma.11s_1}, \dots, K_{\Gamma.11s_1}, \dots; K_{\Gamma.1m_n 1}, \dots, K_{\Gamma.nm_n s_{nm_n}} \right\} \geq K_{\Gamma}^{вст} . \quad (6)$$

Обмеження щодо можливості забезпечення перевезення колоною вантажу, заданої маси:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{s_{ij}} x_{ijk} m_{ij} \geq m^{вст} . \quad (7)$$

Обмеження щодо можливості забезпечення перевезення колоною вантажу, заданого об'єму:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{s_{ij}} x_{ijk} V_{ij} \geq V^{вст} . \quad (8)$$

Обмеження щодо можливості забезпечення перевезення особового складу, заданої кількості:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{s_{ij}} x_{ijk} a_{ij} \geq a^{вст} . \quad (9)$$

Обмеження щодо не перевищення витрат пального транспортними засобами зі складу колони за видами:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{s_{ij}} x_{ijk} \frac{L^{вст} u_{ij}^{ДП}}{100} \leq u_{ДП}^{вст} , \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{s_{ij}} x_{ijk} \frac{L^{вст} u_{ij}^{A-80}}{100} \leq u_{A-80}^{вст} , \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{s_{ij}} x_{ijk} \frac{L^{вст} u_{ij}^{A-92}}{100} \leq u_{A-92}^{вст} , \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{s_{ij}} x_{ijk} \frac{L^{вст} u_{ij}^{A-95}}{100} \leq u_{A-95}^{вст} . \quad (13)$$

Обмеження щодо не зниження запасу ходу по моторесурсу кожного транспортного засобу зі складу колони заданої величини:

$$x_{ijk} 3X_{ijk}^M \geq L^{вст} . \quad (14)$$

У математичній моделі (1)-(14) $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m_i}$, $k = \overline{1, s_{ij}}$.

Таким чином, модель (1)-(14) цілком відповідає змістовному опису задачі.

З метою автоматизації вирішення задачі розроблений алгоритм, фрагмент якого представлений на рис. 1.

В основу алгоритму покладено перебір всіх можливих варіантів використання автомобільної техніки у складі колони. Оскільки величини x_{ijk} є двійковими, то вектор X , що описує варіанти використання техніки (набори транспортних засобів у складі колони),

кодується цілим числом $I = 0; 2^N - 1$, де N – загальна кількість транспортних засобів, з яких може формуватися колона. Окремі біти цього числа відповідають використанню відповідного транспортного засобу.

У циклі здійснюється перебір значень I від 0 до $2^N - 1$. Для кожного значення проводиться визначення вектору X шляхом розкладу I на окремі біти та здійснюється перевірка обмежень (5)-(14). Якщо обмеження виконуються, проводиться обчислення цільових функцій (2)-(4) для визначення оптимального варіанту використання техніки за окремими критеріями. Окрім цього, у циклі визначається оптимальний варіант за комплексним показником на основі мультиплікативного поєднання нормованих виразів (2)-(4). Цей показник визначається наступним чином:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{s_{ij}} x_{ijk} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} \cdot \left(1 + \min \left\{ K_{\Gamma.1.11}, \dots, K_{\Gamma.1.1s_1}, \dots; K_{\Gamma.1.m_n.1}, \dots, K_{\Gamma.nm_n.s_{nm_n}} \right\} \right)^{-1} \cdot N^{-1} M^{-1}, \quad (15)$$

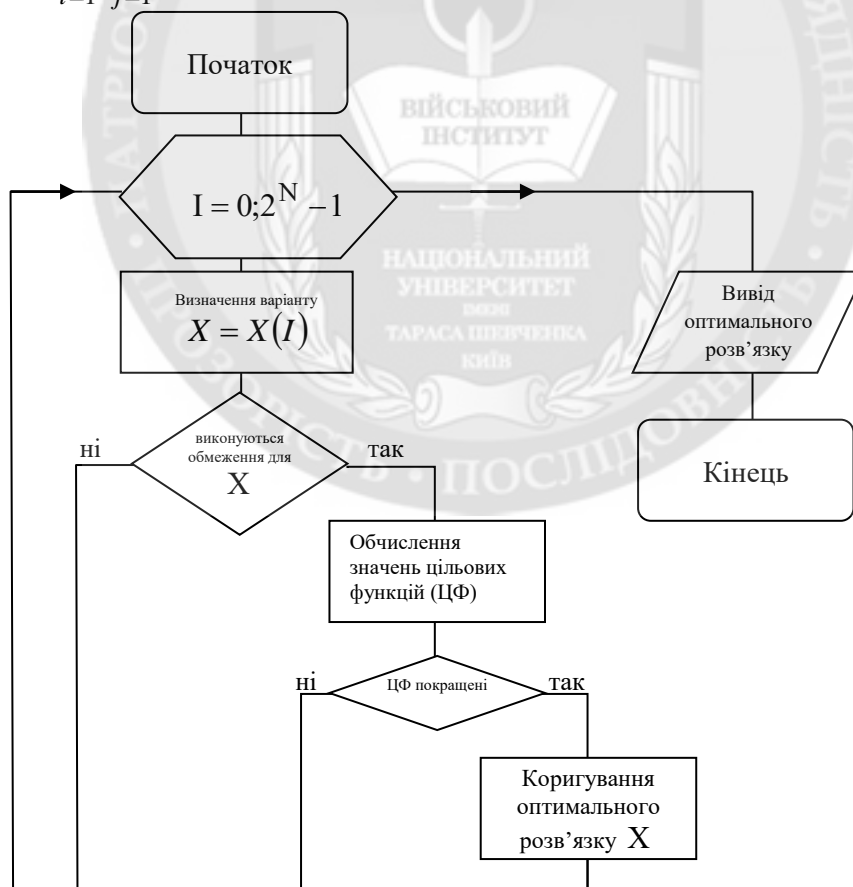


Рис. 1. Фрагмент алгоритму вибору складу колони

де $N = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} s_{ij}$ – загальна кількість транспортних засобів;

$M = \sum_{i=1}^n m_i$ – загальна кількість марок автотранспорту.

З метою реалізації алгоритму рис. 1 у MS Visual Studio Express Edition з використанням мови C# розроблене відповідне програмне забезпечення (рис. 2).

У головному вікні програми передбачена можливість введення списку транспортних засобів з заданням усіх необхідних параметрів. Також реалізовані функції зберігання та зчитування цього списку з використанням формату xml. У відповідних полях передбачено введення параметрів обмежень. Після пошуку оптимальних варіантів формування колони відображаються результати за окремими критеріями та за комплексним критерієм. Результати інтерпретуються побітно, починаючи з першого автомобіля у списку (1 відповідає використанню відповідного автомобіля).

Слід відмітити, що при $N > 35$ число варіантів перебору (2^N) є суттєвим і процес пошуку оптимального рішення є тривалим. Додавання до парку транспортних засобів кожного автомобіля призводить до збільшення кількості можливих варіантів і, відповідно, часу обробки вдвічі.

У випадку $N > 35$ застосування існуючого алгоритму обмежене обчислювальними можливостями ЕОМ. Можливими шляхами вирішення цієї задачі в таких випадках є:

- застосування технології паралельної обробки інформації (кластерні обчислення; використання потужностей графічного процесора тощо);
- застосування методів імітаційного моделювання для визначення раціонального розв'язку в умовах обмежених обчислювальних і часових характеристик;
- застосування суперкомп'ютера;
- пошук нових алгоритмів, які, можливо, ґрунтуються на початковій обробці вхідних даних (вилучення з розгляду наперед невігідних альтернативних варіантів окремих ТЗ конкретної марки).

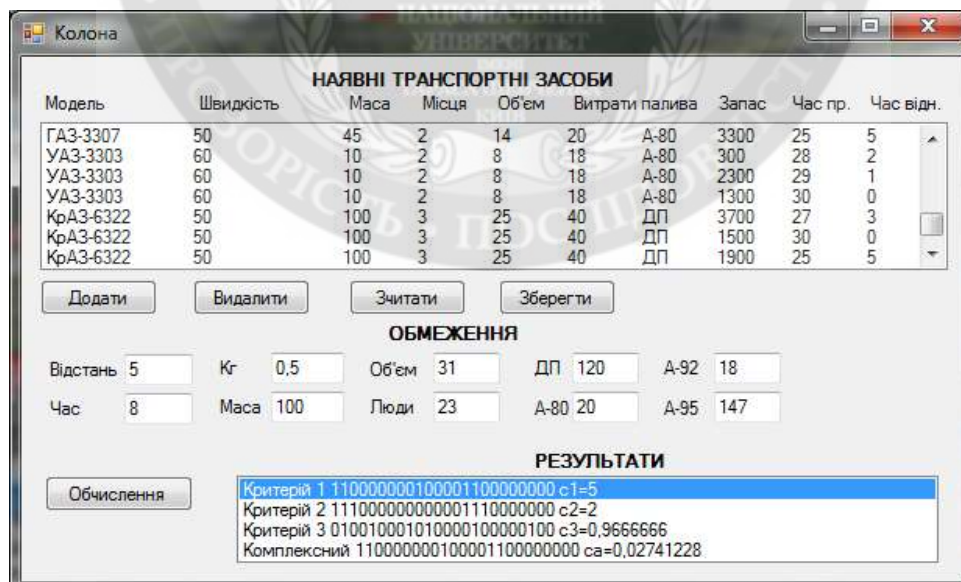


Рис. 2. Робоче вікно програми визначення оптимального складу колони

Розглянемо приклад розв'язання задачі оптимізації складу колони для автомобільного парку, до складу якого входить 30 автомобілів. Їх характеристики наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку (характеристики автотранспорту)

№	Марка т/з	$v_{ij}^{сер}$, км/год	m_{ij} , центнер	a_{ij} , чол.	V_{ij} , м ³	c_{ij} , л/100км	Тип палива	$3X_{ijk}^M$, км	$t_{ijk}^{пр}$, доба	t_{ijk}^B , доба
1	УАЗ-315195	60	0	7	0	14	А-92	1500	27	3
2	УАЗ-315195	60	0	7	0	14	А-92	2500	30	0
3	УАЗ-315195	60	0	7	0	14	А-92	500	25	5
4	УАЗ-315195	60	0	7	0	14	А-92	3500	28	2
5	УАЗ-315195	60	0	7	0	14	А-92	200	20	10
6	ВАЗ-21230	70	0	5	0	11	А-95	2500	29	1
7	ВАЗ-21230	70	0	5	0	11	А-95	3500	25	5
8	ВАЗ-21230	70	0	5	0	11	А-95	500	27	3
9	ВАЗ-21230	70	0	5	0	11	А-95	900	30	0
10	Land Rover	60	5	5	1	12	ДП	3800	28	2
11	Land Rover	60	5	5	1	12	ДП	3200	29	1
12	Land Rover	60	5	5	1	12	ДП	1300	30	0
13	Volkswagen Amarok	70	12	5	3	10	А-95	800	26	4
14	Volkswagen Amarok	70	12	5	3	10	А-95	3800	29	1
15	Volkswagen Amarok	70	12	5	3	10	А-95	3200	25	5
16	ГАЗ-66	40	20	2	12	32	А-80	1900	25	5
17	ГАЗ-66	40	20	2	12	32	А-80	650	28	2
18	ГАЗ-66	40	20	2	12	32	А-80	1650	20	10
19	ГАЗ-3307	50	45	2	14	20	А-80	3500	17	13
20	ГАЗ-3307	50	45	2	14	20	А-80	3200	30	0
21	ГАЗ-3307	50	45	2	14	20	А-80	3300	25	5
22	ГАЗ-3307	50	45	2	14	20	А-80	200	21	9
23	УАЗ-3303	60	10	2	8	18	А-80	300	28	2
24	УАЗ-3303	60	10	2	8	18	А-80	2300	29	1
25	УАЗ-3303	60	10	2	8	18	А-80	1300	30	0
26	УАЗ-3303	60	10	2	8	18	А-80	3500	30	0
27	КрАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	3700	27	3
28	КрАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	1500	30	0
29	КрАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	1900	25	5
30	КрАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	2600	28	2

Обчислення будемо проводити при наступних початкових умовах: $L^{вст} = 200\text{км}$, $t^{вст} = 4\text{год}$, $K_{Г}^{вст} = 0.5$, $m^{вст} = 100\text{центн.}$, $V^{вст} = 31\text{м}^3$, $a^{вст} = 23$, $u_{ДП}^{вст} = 120\text{л}$, $u_{А-80}^{вст} = 20\text{л}$, $u_{А-92}^{вст} = 18\text{л}$, $u_{А-95}^{вст} = 147\text{л}$.

Аналіз 2³⁰ варіантів складу колони в ході вирішення даної задачі на комп'ютері з процесором Intel Core 2 Duo 1,86 ГГц зайняв близько 15 хвилин. Швидкість перебору при цьому складала трохи більше мільйона ітерацій за секунду. Результати обчислень представлені на рис. 3.

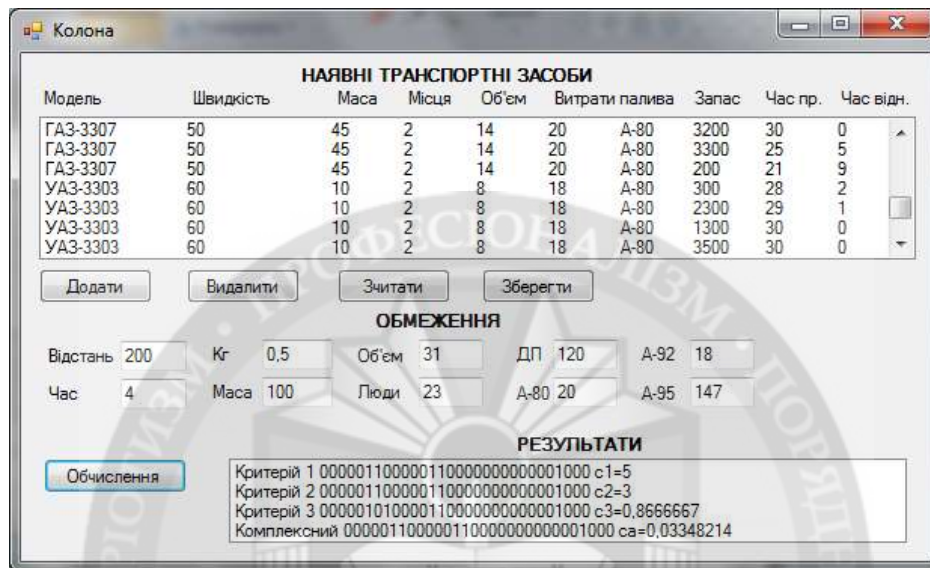


Рис. 3. Застосування програмного забезпечення визначення складу колони

Як видно з рис. 3, при оптимізації за першим, другим і комплексним критерієм отримані однакові результати. При цьому до складу колони увійшли автомобілі з номерами 6,7,13,14 та 27 (відповідно до табл. 1). Неважко перекопатись, що умови (5)-(14) при цьому виконуються (табл. 2).

Таблиця 2

Виконання обмежень для варіанту оптимального складу колони

№	Марка т/з	$V_{ij}^{сер}$, км/год	m_{ij} , центнер	a_{ij} , чол.	V_{ij} , м ³	u_{ij} , л/100км	Тип палива	$3X_{ijk}^M$, км	$t_{ijk}^{пр}$, доба	$t_{ijk}^в$, доба	КГ
6	ВАЗ-21230	70	0	5	0	11	А-95	2500	29	1	0,96
7	ВАЗ-21230	70	0	5	0	11	А-95	3500	25	5	0,83
13	Volkswagen Amarok	70	12	5	3	10	А-95	800	26	4	0,86
14	Volkswagen Amarok	70	12	5	3	10	А-95	3800	29	1	0,96
27	КрАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	3700	27	3	0,9
Сумарно (мін)		50	124	23	31	А-95 84	ДП 80	800			0,83
Вимоги (наяв.)		200/4-50	100	23	31	А-95 147	ДП 120	200			0,5

Однак, за критерієм максимізації коефіцієнта готовності було знайдено інший оптимальний розв'язок. При цьому до складу колони включено автомобілі з номерами 6,8,13,14 та 27 (відповідно до табл. 1). Обмеження в цьому випадку також виконуються (табл. 3).

Таблиця 3

Виконання обмежень для другого варіанту оптимального складу колони

№	Марка т/з	$v_{ij}^{сер}$, км/год	m_{ij} , центнер	a_{ij} , чол.	V_{ij} , м ³	q_{ij} , л/100км	Тип палива	$3X_{ijk}^M$, км	$t_{ijk}^{пр}$, доба	t_{ijk}^B , доба	КГ
6	ВАЗ-21230	70	0	5	0	11	А-95	2500	29	1	0,96
8	ВАЗ-21230	70	0	5	0	11	А-95	500	27	3	0,9
13	Volkswagen Amarok	70	12	5	3	10	А-95	800	26	4	0,86
14	Volkswagen Amarok	70	12	5	3	10	А-95	3800	29	1	0,96
27	КрАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	3700	27	3	0,9
Сумарно (мін)		50	124	23	31	А-95 84	ДП 80	500			0,86
Вимоги (наяв.)		200/4=50	100	23	31	А-95 147	ДП 120	200			0,5

Слід відмітити, що для другого варіанту складу колони дійсно забезпечується більше значення коефіцієнту готовності ($0.86 > 0.83$).

Висновки. Отже, у результаті проведеного дослідження запропоновано математичну модель задачі формування складу колони транспортних засобів ПКШР, яка дозволяє здійснити оптимальний підбір техніки для вирішення завдань оперативно-службової діяльності ПКШР за різними критеріями окремо та за комплексним критерієм. Також здійснено автоматизацію розв'язання досліджуваної задачі.

Напрямами подальших досліджень авторам вбачається пошук методів дослідження сформованої математичної моделі для довільних значень N та її апробація на початкових умовах, які відповідають реальним практичним задачам, що вирішуються ДПСУ на даний момент і які можуть потребувати свого вирішення в майбутньому.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Наказ Міністерства Внутрішніх справ України “Про затвердження Положення про прикордонну комендатуру швидкого реагування Державної прикордонної служби України” № 190 від 21.03.2016 р. – К.: МВСУ, 2016. – 8 с.
2. Вайнер А.Я. Тактические расчёты / Вайнер А.Я. – М.: Воениздат, 1982. – 176с.
3. Чорний М.В. Прогнозування ефективності маршруту військового формування за надійністю зразків озброєння та військової техніки аналітичним моделюванням / Чорний М.В., Степанов С.С. // Військово-технічний збірник. Львів: АСВУ, 2014. – № 2(14). – С. 64-69.
4. Матвейчук Т.А. Моделювання та програмна реалізація процесу планування вантажоперевезень у військовій логістиці / Матвейчук Т.А. // Військово-технічний збірник. Львів: АСВУ, 2016. – № 14. – С. 18–25.
5. Кривоусов П.Ф. Содержание работы начальника автомобильной службы части (подразделения) при планировании и организации автотехнического обеспечения марша: учебное пособие / Кривоусов П.Ф. – Омск: СибАДИ, 2010. – 77 с.
6. Приказ Комитета Госбезопасности СССР “Об утверждении Наставления по танко- и автотехническому обеспечению войск КГБ СССР” №175 от 17.09.1980 г. – М.: КГБ СССР, 1980. – 288 с.
7. Наказ Голови Держкомітету – командуючого Прикордонними військами України “Про

затвердження Інструкції про порядок проведення комплексних перевірок (інспектування) озброєння, техніки й особового складу технічних служб, підрозділів, частин, з'єднань Прикордонних військ України” № 300 від 25.07.1995 р. – К.: ДККУ, 1995. – 120 с.

8. Експлуатація та ремонт військової техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 3576-97. – [Чинний від 01.01.1996]. – К.: Держспоживстандарт України, 1998. – 36 с.

9. Надійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860-94. – [Чинний від 01.01.1996]. – К.: Держспоживстандарт України, 1994. – 94 с.

REFERENCES:

1. Nakaz Ministerstva Vnutrishnikh sprav Ukrainy “Pro zatverdzhennia Polozhennia pro prykordonnu komendaturu shvydkoho reahuvannia Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy” № 190 vid 21.03.2016 r. – K.: MVSU, 2016. – 8 s.

2. Vainer A.Ia. Taktycheskyeraschëty / Vainer A.Ia. – M.: Voennydat, 1982. – 176s.

3. Chornyi M.V. Prohnozuvannia efektyvnosti marshu viiskovoho formuvannia za nadiinistiu zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki analitychnym modeliuvanniam / Chornyi M.V., Stepanov S.S. // Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk. Lviv: ASVU, 2014. – № 2(14). – S. 64–69.

4. Matveichuk T.A. Modeliuvannia ta prohramna realizatsiia protsesu planuvannia vantazhoperevezen u viiskovii lohistytsi / Matveichuk T.A. // Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk. Lviv: ASVU, 2016. – № 14. – S. 18–25.

5. Kryvousov P.F. Soderzhanye raboty nachalnyka avtomobylnoi sluzhby chasty (podrazdeleniya) pry planirovaniy u orhanyzatsyy avtotekhnicheskoho obespecheniya marsha / Kryvousov P.F. // Uchebnoe posobyе – Omsk: SybADY, 2010. – 77 s.

6. Prykaz Komyteta Hosbezopasnosti SSSR “Ob utverzhdenyy Nastavleniya po tanko- y avtotekhnicheskomu obespecheniyu voisk KHB SSSR” №175 ot 17.09.1980 h. – M.: KHB SSSR, 1980. – 288 s.

7. Nakaz Holovy Derzhkomitetu – komanduiuchoho Prykordonnymy viiskamy Ukrainy “Pro zatverdzhennia Instruksii pro poriadok provedennia kompleksnykh perevirok (inspektuvannia) ozbroiennia, tekhniki y osobovoho skladu tekhnichnykh sluzhnb, pidrozdiliv, chastyn, ziednan Prykordonnnykh viisk Ukrainy” № 300 vid 25.07.1995 r. – K.: DKKU, 1995. – 120 s.

8. Експлуатация та ремонт военной техники. Термины та вызначення: DSTU 3576-97. – [Чинний від 01.01.1996]. – К.: Держспозживстандарт України, 1998. – 36 с.

9. Надійність техніки. Термины та вызначення: DSTU 2860-94. – [Чинний від 01.01.1996]. – К.: Держспозживстандарт України, 1994. – 94 с.

Рецензент: д.т.н., проф. Ленков С.В., начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

д.т.н. Боровик О.В., к.т.н. Рачок Р.В., к. психол. н. Боровик Л.В., Купельський В.В.
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА ТРАНСПОРТНОЙ КОЛОННЫ РЕЗЕРВОВ ОРГАНА ОХРАНЫ
ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАНИЦЫ**

В статье представлена математическая модель оптимизационной задачи формирования состава транспортной колонны для решения задач оперативно-служебной деятельности пограничной комендатурой быстрого реагирования органа охраны государственной границы Государственной пограничной службы Украины. В качестве критериев математической модели выступают максимизация уровня готовности транспортных средств из состава колонны и минимизация марочного состава колонны и количества транспортных средств в ней. Система ограничений математической модели содержит ограничения относительно: не превышения нормативно установленного времени, за которое колонна должна достичь пункта назначения; не снижения минимально допустимого уровня коэффициента готовности каждого образца транспортного средства каждой марки и типа из состава колонны; возможности

обеспечения перевозки колонной груза заданной массы и объема; возможности обеспечения перевозки личного состава, заданного количества; не превышения расхода топлива транспортными средствами из состава колонны по видам; не снижения запаса хода по моторесурсу каждого транспортного средства из состава колонны заданной величины. Также в статье приведен возможный алгоритм автоматизации решения исследуемой задачи и соответствующее программное обеспечение. Проведено исследование модели на различных наборах начальных условий и сделаны выводы по применению разных критериев. Обоснованная математическая модель и ее программно-алгоритмическое обеспечение позволяют осуществлять оптимальный подбор техники для состава колонны по разным критериям.

Ключевые слова: математическая модель, алгоритм, оптимизация, пограничная комендантура быстрого реагирования, транспортное средство, колонна.

**Dr.Sc. Borovyk O.V., Ph.D. Rachok R.V., Ph.D. Borovyk L.V., Kupelskiy V.V.
THE MATHEMATICAL MODEL OF THE PROBLEM OF FORMATION OF THE CONVOY OF
FRONTIER COMMANDANT RAPID RESPONSE AND ITS SOFTWARE-ALGORITHMIC
IMPLEMENTATION**

The article presents a mathematical model of the optimization problem of formation of the convoy of frontier commandant rapid response of the State border service of Ukraine. The mathematical model contains the criteria: maximize the level of readiness of the vehicles of the convoy, minimizing brands of transport of the convoy, minimizing the number of vehicles in the convoy. The system of constraints of the mathematical model includes: not exceeding the specified time to the destination; ensuring the required level of availability of vehicles of the convoy; ensure the transport convoy of the cargo of a given mass and volume; possibility of transporting a specified number of personnel; not to exceed the fuel consumption; do not reduce the power reserve for the lifespan of each vehicle. The article presents a proposed algorithm for the automation solutions of the investigated problem. The authors have developed the appropriate software. The article deals with the study model for different initial conditions, the conclusions on the application of different criteria. The mathematical model and its algorithmic and software implementation allow optimal selection technique for the composition of the convoy according to different criteria.

Keywords: mathematical model, algorithm, optimization, frontier commandant rapid response, vehicle, convoy.

