

УДК 004.42:519.85

**RELEVANCE OF FTPL AND MTPL PROBLEMS DURING WARTIME****АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАДАЧ FTPLP ТА MTPLP В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ****Baranovska L.V. / Барановська Л.В.***c.ph.-m.s., as.prof. / к.ф.-м.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-0024-8180

**Brezhenko. N.S. / Бреженко Н. С.***student / студент.**National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",**Kyiv, Prosp. Peremohy, 37, 03056**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут**імені Ігоря Сікорського», Київ, Проспект Перемоги, 37, 03056*

**Анотація.** В роботі розглядається актуальність задач FTPLP та MTPLP в умовах воєнного часу

**Ключові слова:** теорія ігор, задач вибору локації, трансферна точка, FTPLP, MTPLP, логістичний аналіз, військова логістика

**Abstract.** The work examines the relevance of FTPLP and MTPLP tasks in wartime conditions

**Key words:** game theory, location selection problems, transfer point, FTPLP, MTPLP, logistic analysis, military logistics

**Вступ.**

Логістичний аналіз відіграє важливу роль як в повсякденному житті (задача Готелінга про задоволення попиту) так і в роботі екстрених служб (вибір точок розташування закладів екстреної медичної та домедичної допомоги, транспортні хаби) і в роботі військових (логістичне планування, планування наступальних та оборонних операцій). Важливим елементом логістичного аналізу є планування обсягів використання та розташування так званих трансферних точок – «перемичок» між складами та точками попиту, в яких необхідно задовольнити потреби. В даному дослідженні практичне застосування буде цілком присвячено військовим потребам. Буде розглянуто практичне застосування задач FTPLP (facility transfer point location problem) та MTPLP (multiple transfer point location). Будуть розв'язані задачі на мережі, тобто базуючись на попередньо відомих елементах логістичного планування. Таких як транспортні розв'язки. Проведено апроксимаційний аналіз і моделювання пропускної здатності різних типів доріг, зімітовано потреби різних родів військ та вимоги до їх забезпечення

### **Актуальність задач FTPLP та MTPLP в умовах воєнного стану.**

Після взяття на озброєння військами України РСЗВ «HIMARS» ініціатива почала поступово переходити в руки наших захисників. Треба окремо виділити яким саме чином ЗСУ вирішили використовувати «Хаймарси». Вартість пуску однієї ракети – 150 тисяч доларів. Кожен постріл – це 6 ракет. Отже, ціна одного пуску HIMARS – біля 1 мільйона доларів. Зброю, яка має таку високу вартість, потрібно використовувати, добре продумавши усі нюанси. Потрібно враховувати, що один снаряд під час польоту розділяється на 60 вражаючих елементів. Кожен елемент може влучити або у склад противника, або, наприклад, у його гаубицю. Ому, по-перше, потрібно мати координати цих 60-ти цілей, і, по-друге, визначити, які саме цілі для ЗСУ пріоритетні.

Перевага російської артилерії не лише у тому, що її більше у 7-10 разів, ніж є в ЗСУ. Ця артилерія щодня вистрілює величезну кількість снарядів, які безупинно підвозять на позиції. Однак до того, як снаряди опиняться біля гармати, яка стріляє по ЗСУ або по українським міста та селам, вони спершу їдуть залізницею, потім вивантажуються у великі склади біля залізниці, потім ідуть у менші склади підрозділів. А потім їх везуть, наприклад, камазами, безпосередньо до тієї гаубиці, яка ними стрілятиме. І ось ЗСУ має вирішити, куди стріляти: по гаубицям чи по логістиці ворога? Відповідь нам добре відома: командування вирішило використовувати високоточну зброю як належне: для завдання тяжких ударів по логістичних можливостях ворога. Наприклад, мости в Херсонській області, ефективно відділяючи угруповування ворога на правому березі від належного постачання. Приклад на рис. 1.

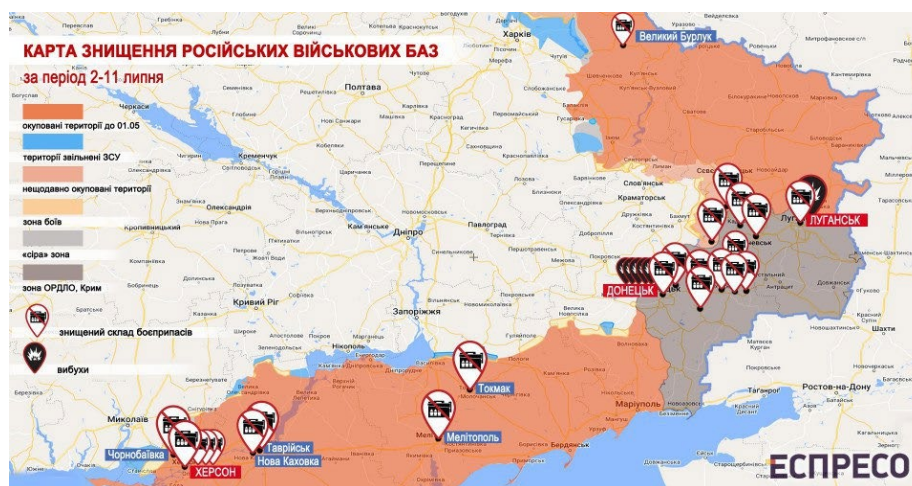
Попередньо до ударів по дорогам\мостам та ЗД сполученню, ЗСУ спочатку вражали саме логістичні центри – локальні склади, ті самі трансферні точки, які ворог застосовував для доставки продовольства безпосередньо до військ на передовій. Саме ці точки і є об'єктом дослідження в задачах типу TPLP. Результати ударів можна спостерігати на рисунку 2.

Результатами таких ударів стало перенесення трансферних точок ворогом у тил що безперечно впливає на два основних фактори в логістиці: швидкість та

ціна. Зважаючи також на те, що за військовими нормами ще існує і третій фактор, а саме область покриття, то ЗСУ завдали руйнівних ударів для військ ЗС РФ. Саме ці удари стали вирішальним фактором для успіху контрнаступальної операції ЗСУ в Харківській області на незабаром призведуть до поразки ЗС РФ в Херсонській та Запорізьській областях.



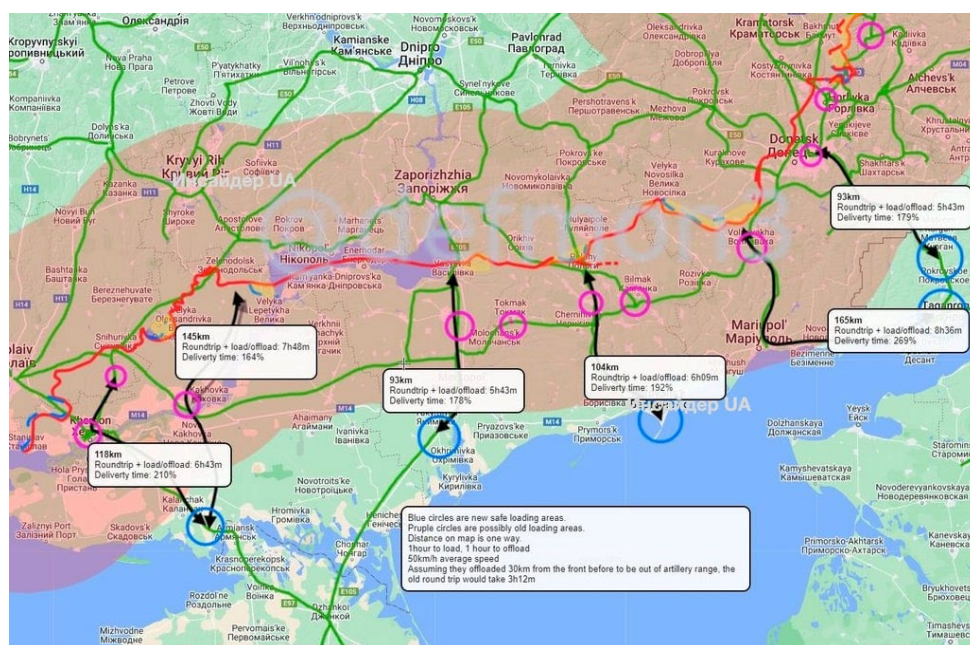
**Рисунок 1 - Зруйновані біля Херсону Дар'ївський міст та понтонна переправа [1]**



**Рисунок 2 - Карта вражених локальних трансфених точок [2]**

Важливість подібного кроку з боку ЗСУ важко переоцінити. Лише за допомогою декількох «пакетів» в день «Хімарс» нанесли дуже тяжкий удар військам супротивника, нанесли втрати як офіцерському складу військ ЗС РФ,

так і знизили великий об'єм паливно-мастильних матеріалів, а також снарядів, амуніції, засобів забезпечення особового складу. Це фактори «в плюс». В купу до цього важливість враження «Хімарсів» військами ЗС РФ неможливо переоцінити: вони готові витратити навіть вартісні ракети «Калібр», приблизна ціна якої 500 тисяч доларів США. Проте вразити вони спромоглись лише дерев'яні макети (насправді біля 10ти з них, за даними Washington Post), які ЗСУ використовує як приманку, в той час як справжні «Хімарси» все ще наносять руйнівну поразку військам супротивника. Ці ракети також могли б бути використані для ударів по інфраструктурі України, тож переоцінити перевагу, яку нам надає використання «Хімарсів» важко.

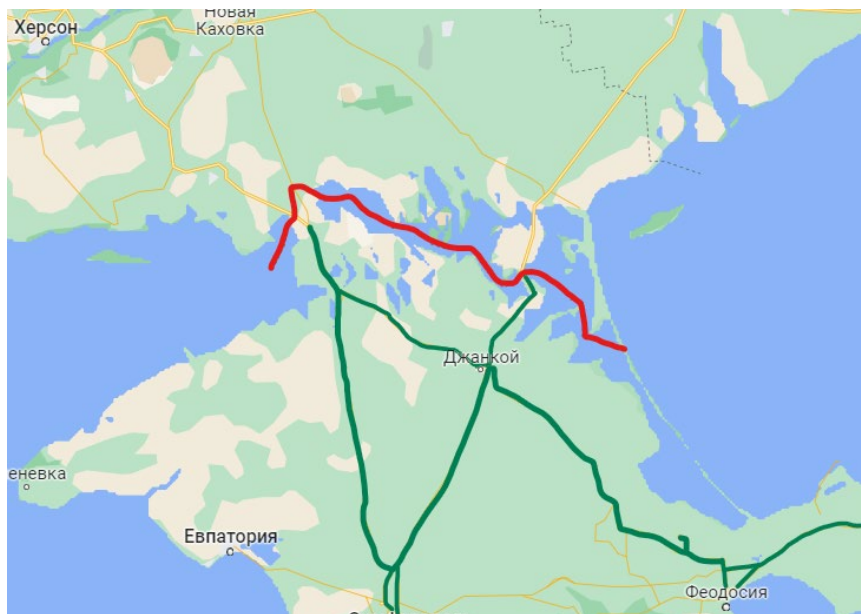


**Рисунок 3 - Карта переміщення логістичних хабів ЗС РФ [3]**

В основній роботі планується розрахування оптимальних цілей для «Хімарсів», зважаючи на постулати рішення задач МТPLP при розгортанні фронту на адміністративному кордоні Херсонської області: планується вирішення задачі «на мережі» для дорожнього сполучення АР Крим, визначити потенційні трансферні точки в межах мережі. Попередньо проведені апросимації з приводу пропускової здатності різних типів доріг, вибрана зона для якої буде розв'язуватись задача, обрано тип задачі. Інструментом розв'язання



задачі обрано мову програмування Python. На рисунку 4 бачимо область, для якої буде розв'язуватись задача за викладених зверху умов. Далі викладено основні принципи роботи із задачами типу FTPLP та MTPLP.



**Рисунок 4 - Область розв'язання задачі**

Одразу зазначимо що TPLP – окремий випадок задачі MTPLP із однією доступною трансферною точкою, а FTPLP – аналог TPLP Іде необхідно не лише знайти оптимальне розташування трансферної точки, а й необхідно визначити точку розташування основного закладу. Для початку ознайомимось із методологією розв'язання задач «на площині», тобто без передбачених маршрутних зв'язків між початковою точкою та точками передачі і попиту.

Нехай задано:  $n$  – кількість точок попиту;  $p$  – кількість доступних трансферних точок;  $\alpha \leq 1$  змінна яка відображає коефіцієнт дистанції між початковою та трансферною точками;  $(a, b)$  – початкова точка;  $(x_j, y_j)$  – трансферна точка з індексом  $j$ , де  $j = 1, \dots, p$ ;  $\omega_i$  – вага точки попиту з індексом  $i$ , де  $i = 1, \dots, n$ ;  $d(x_j, y_j)$  відстань між трансферною точкою  $j$  та початковою точкою;  $D_i$  – відстань між початковою точкою та точкою попиту;  $D_{ij}(x_j, y_j)$  – відстань між точкою попиту  $i$  та трансферною точкою  $j$ . Тоді маємо наступне:

$$\text{SUM} = \min_{(x_j, y_j)} \left\{ \sum_{i=1}^n \omega_i \min\{D_i, [D_{ij}(x_j, y_j) + \alpha d(x_j, y_j)], j = 1, \dots, p\} \right. \quad (1)$$

$$\text{MAX} = \min_{(x_j, y_j)} \left\{ \sum_{i=1}^n \omega_i \min\{D_i, [D_{ij}(x_j, y_j) + \alpha d(x_j, y_j)], j = 1, \dots, p\} \right. \quad (2)$$

Формули (1) та (2) схожі, але виконують дві різні задачі: формула (1) – відображає мінімальну суму, в той час як (2) – мінімакний підхід до розв'язання задачі. Мінісум – закрити всі потреби мінімальною кількістю трансферних точок, мінімакс – закрити максимум потреб мінімальними затратами. Для проблеми з  $n$  точками попиту існує  $2^n - n - 1$  можливих підмножин (не включаючи порожню множину і підмножини з одним елементом). Зменшення витрат (у порівнянні з відсутністю передачі) для кожної підмножини може бути обчислено розв'язанням TPLP. Багато з підмножин не отримують користі від точки передачі і тому їх зниження витрат дорівнює нулю  $i$ , таким чином, вони можуть бути проігноровані. Розглянемо підмножину кардинальності  $2 \leq k \leq n$  і припустимо, що  $(x_j, y_j)$  є оптимальним розташуванням точки передачі, розв'язавши TPLP для цієї підмножини. Перевірку того, чи є вартість за допомогою цієї точки передачі кращою за вартість без неї можна легко провести, потрібно лиш перевірити що ця точка передачі не знаходиться в тому самому місці, що й початкова точка:

$$\alpha \geq \frac{\sqrt{(\sum_{i=1}^k \omega_i (a - x_i)/D_i)^2 + (\sum_{i=1}^k \omega_i (b - y_i)/D_i)^2}}{\sum_{i=1}^k \omega_i} \quad (3)$$

Тепер запишемо розв'язок цієї задачі як задачу цілочисельного програмування. Визначимо змінну в діапазоні 0-1 для кожної підмножини з позитивним зменшенням витрат. Ми максимізуємо загальне зниження витрат. Коефіцієнт об'єктивної функції для кожної змінної є зменшенням витрат для відповідної підмножини. Ми маємо  $n$  обмежень. Для кожної точки попиту перераховуємо всі підмножини, до яких вона належить, і сума змінних для цих підмножин повинна бути меншою або рівною 1. Ця умова приводить до того,

що одна точка попиту не може належати декільком підмножинами одразу. Всі точки попиту, які не знаходяться в об'єднанні вибраних підмножин (тобто їх обмеження дорівнює нулю) є одиничні точки без точки передачі. Такі поодинокі пункти не забезпечують зниження витрат [4].

Нехай  $S$  — множина всіх підмножин з принаймні двома точками. Потужність  $S$  дорівнює  $2^n - n$ . Нехай  $c_j$  для  $j \in S$  — скорочення витрат для підмножини  $j \in S$ . Нехай  $S^+$  — множина всіх підмножин в  $S$  з позитивною значенням скорочення. Визначимо матрицю збігів за її елементами:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо точка попиту належить підмножині } j \in S^+ \\ 0, & \text{в усіх інших випадках} \end{cases} \quad (4)$$

Зведемо це до задачі цілочисельного програмування:

$$\max \left\{ \sum_{j=1}^{n^+} c_j x_j \right\}$$

У випадках:

$$\sum_{j=1}^{n^+} a_{ij} x_j \leq 1, \quad i = 1, \dots, n, \quad x_j \in \{0,1\}, \quad \text{де } j = 1, \dots, n^+. \quad (5)$$

Формулювання рішення задач на мережі (графі) потребує наступних уточень. Нехай  $L$  — довільне додатне число (відстань) і ми хотіли б знайти, якщо чи існує такий розв'язок задачі (1), що максимальна відстань менше або дорівнює  $L$ . Для заданого  $L$ , всі точки, відстань яких від об'єкта менше або дорівнює  $L$ , відкидаються, оскільки вони не вимагають трансферної точки. Ми знаходимо для кожної підмножини, чи максимальна відстань для цієї підмножини (з використанням точки передачі) менша або дорівнює  $L$  чи ні. Множина  $S^+$  і її потужність  $n^+$  однакові. Однак, в даній задачі усі обмеження виглядають як " $=1$ ", а не " $<1$ ". Ми можемо фактично використовувати те ж формулювання, що і (4 – 5), з  $c_j = 1$  і якщо максимальна кількість охоплених точок дорівнює  $n$ , то існує розв'язок в межах відстані  $L$ , в іншому випадку такого рішення не існує. [4]

**Висновки.**

Були розглянуті методи розв'язання локаційних задач, зокрема задач МТРЛР. Проведена адаптація задачі під умови воєнного часу, сформована постановка задачі. Обрано методи та інструменти розв'язання практичного завдання.

## Література:

1. “ЗСУ Знищили Понтонну Переправу Окупантів Біля Дар’ївки На Херсонщині.” *Мілітарний*, [mil.in.ua/uk/news/zsu-znyshhyly-pontonnu-perepravu-okupantiv-bilya-dar-yivku-na-hersonshhyni](http://mil.in.ua/uk/news/zsu-znyshhyly-pontonnu-perepravu-okupantiv-bilya-dar-yivku-na-hersonshhyni).
2. Espresotv. “Карта Уничтожения Российских Военных Баз 2-11 Июля | Новости Эспрессо.” *espresso.tv*, [ru.espresso.tv/karta-unichtozheniya-rossiyskikh-voennykh-baz-2-11-iyulya](http://ru.espresso.tv/karta-unichtozheniya-rossiyskikh-voennykh-baz-2-11-iyulya).
3. Buckby, Jack. “HIMARS: The One U.S. Weapon That Scares Russian General in Ukraine?” *19FortyFive*, 14 July 2022, [www.19fortyfive.com/2022/07/himars-the-one-u-s-weapon-that-scars-russian-general-in-ukraine](http://www.19fortyfive.com/2022/07/himars-the-one-u-s-weapon-that-scars-russian-general-in-ukraine).
4. Hosseiniyou, S.A., Bashiri, M. Stochastic models for transfer point location problem. *Int J Adv Manuf Technol* 58, 211–225 (2012). <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3360-0>

Стаття відправлена: 10.11.2022 р.

© Барановська Л.В., Бреженко Н.С.