УДК 656.13.05

**О. В. Толок, канд. техн. наук, доц.**

**Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Горлівка**

# ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В МІСТАХ

*Практична задача визначення оптимальної послідовності реалізації проектів організації дорожнього руху виникає тоді, коли реальні фінансові можливості в місті не дозволяють одночасно реалізувати всі проекти організації дорожнього руху, що розроблені для різних фрагментів вулично-дорожньої мережі міста.*

*В Україні відсутній нормативний документ, в якому була б закріплена методика визначення послідовності реалізації проектів організації дорожнього руху на вулично-дорожній*
*мережі міст. Методи, які розроблені для умов автомобільних доріг, мають обмежене застосування в містах.*

*Запропоновано науковий підхід до визначення оптимальної послідовності реалізації проектів організації дорожнього руху в містах. Суть цього підходу полягає в наступному: оптимальною визначається та послідовність реалізації проектів організації дорожнього руху в місті, при якій може бути отримана максимальна сума вигод від реалізації й за строк реалізації всіх проектів організації дорожнього руху.*

## *Вступ*

Проект організації дорожнього руху (ПОДР) – це спеціалізований проект, який відноситься до системи містобудівного проектування та який, як правило, розвиває й деталізує
відповідні положення комплексної схеми організації дорожнього руху. ПОДР орієнтований на застосування методів організації дорожнього руху локального характеру на порівняно невеликих фрагментах вулично-дорожньої мережі (ВДМ). Наприклад, об'єктом проектування для ПОДР може бути перехрестя, вулиця, маршрут руху на ВДМ, невеликий планувальний район (центральне міське ядро, мікрорайон, зона торгового центру й т. д.).

Практичне завдання визначення оптимальної послідовності реалізації проектів організації дорожнього руху виникає тоді, коли реальні фінансові можливості в місті не дозволяють одночасну реалізацію всіх ПОДР, що розроблені для різних фрагментів ВДМ міста.

## *Аналіз публікацій*

В Україні до цього часу відсутній нормативний документ, в якому була б закріплена методика визначення послідовності реалізації проектів організації дорожнього руху на ВДМ міст. Жодних публікацій за темою статті в наукових виданнях автором не виявлено. Методи й відповідні їм методики, які розроблені для визначення умов автомобільних доріг (наприклад, метод вартісних коефіцієнтів аварійності [1]), мають обмежене застосування в містах.

Таким чином, практичне завдання, що полягає у визначенні оптимальної послідовності реалізації проектів організації дорожнього руху в містах не має відповідного наукового забезпечення. Тому необхідні дослідження в напрямку розробки наукових підходів до визначення оптимальної послідовності реалізації ПОДР у містах і методів, що дозволять ці підходи реалізувати.

© Толок О. В., 2013

***Мета статті***

Розробити науковий підхід до визначення оптимальної послідовності реалізації проектів організації дорожнього руху в містах.

***Основна частина***

Суть підходу полягає в наступному: оптимальною вважається та послідовність реалізації ПОДР у місті, при якій може бути отримана максимальна сума вигід від реалізації й за строк реалізації всіх проектів організації дорожнього руху.

Вигоди від реалізації ПОДР отримуються за рахунок зменшення втрат у дорожньому русі. Під терміном «втрати в дорожньому русі» розуміють соціально-економічну вартість необов'язкових витрат у процесі дорожнього руху [2]. Втрати в дорожньому русі умовно можна розділити на чотири види: економічні, екологічні, аварійні й соціальні.

Для розуміння сутності наукового підходу, що пропонується, розглянемо приклад визначення оптимальної послідовності реалізації ПОДР у місті. У наступній статті викладемо відповідний цьому підходу метод визначення оптимальної послідовності реалізації ПОДР у місті в узагальненій математичній формі.

Нехай для трьох фрагментів ВДМ міста розроблено ПОДР. Потрібно визначити порядок реалізації цих проектів, що забезпечує максимальні загальні вигоди за рахунок зменшення втрат у дорожньому русі ($\Delta U \rightarrow \max$).

Варіанти розвитку ситуації «без реалізації ПОДР» і «із реалізацією ПОДР» для кожного із трьох фрагментів ВДМ представлено на рисунку 1.

На рисунку 1 наведено дисконтовані вигоди $\Delta U_j^i$, що отримані як різниця втрат у дорожньому русі між ситуаціями «без реалізації ПОДР» і «із реалізацією ПОДР» (далі за текстом відповідно «без проекту» і «із проектом»), для кожного *i*-того фрагмента ВДМ ($i$ = 1, 2, 3) та для кожного *j*-того року строку перспективи проекту ОДР ($j$ = 1, 2, …, 5).

Таким чином, вигоди за рахунок зменшення втрат від ДТП, які можуть бути отримані при ситуації «із проектом», на кожному із фрагментів ВДМ наступні:

– фрагмент 1: $\Delta U^1 = \Delta U_1^1 + \Delta U_2^1 + \Delta U_3^1 + \Delta U_4^1 + \Delta U_5^1$;

– фрагмент 2: $\Delta U^2 = \Delta U_1^2 + \Delta U_2^2 + \Delta U_3^2 + \Delta U_4^2 + \Delta U_5^2$;

– фрагмент 3: $\Delta U^3 = \Delta U_1^3 + \Delta U_2^3 + \Delta U_3^3 + \Delta U_4^3 + \Delta U_5^3$;

– загальні вигоди від реалізації всіх ПОДР: $\Delta U = \Delta U^1 + \Delta U^2 + \Delta U^3$.

Однак такі загальні вигоди можуть бути отримані тільки тоді, коли проекти ОДР реалізуються одночасно за однаковий строк, і строк реалізації цих проектів не враховується.

Якщо ж ці умови не виконуються, та існує якась послідовність реалізації проектів ОДР, то за час реалізації ПОДР на одному фрагменті ВДМ, на іншому фрагменті ВДМ виникають збитки, які дорівнюють тим вигодам, які могли б бути отримані під час реалізації ПОДР на цьому фрагменті ВДМ. Проілюструємо це на нашому прикладі.

Розглянемо варіант, коли проекти ОДР реалізуються в такій послідовності: фрагмент 1 – фрагмент 2 – фрагмент 3. Для простоти викладення приймемо наступні припущення:

– реалізація одного проекту ОДР здійснюється протягом одного року (у цей час може входити й сама розробка ПОДР);

– за час реалізації ПОДР втрати в дорожньому русі такі ж, як і при ситуації «без реалізації проекту»;

– вважаємо, що початок реалізації ПОДР на наступному фрагменті ВДМ можливий тільки після закінчення реалізації ПОДР на попередньому фрагменті.

Варіанти розвитку ситуації при послідовності реалізації проектів ОДР 1 – 2 – 3 для кожного із трьох фрагментів ВДМ представлено на рисунку 2.

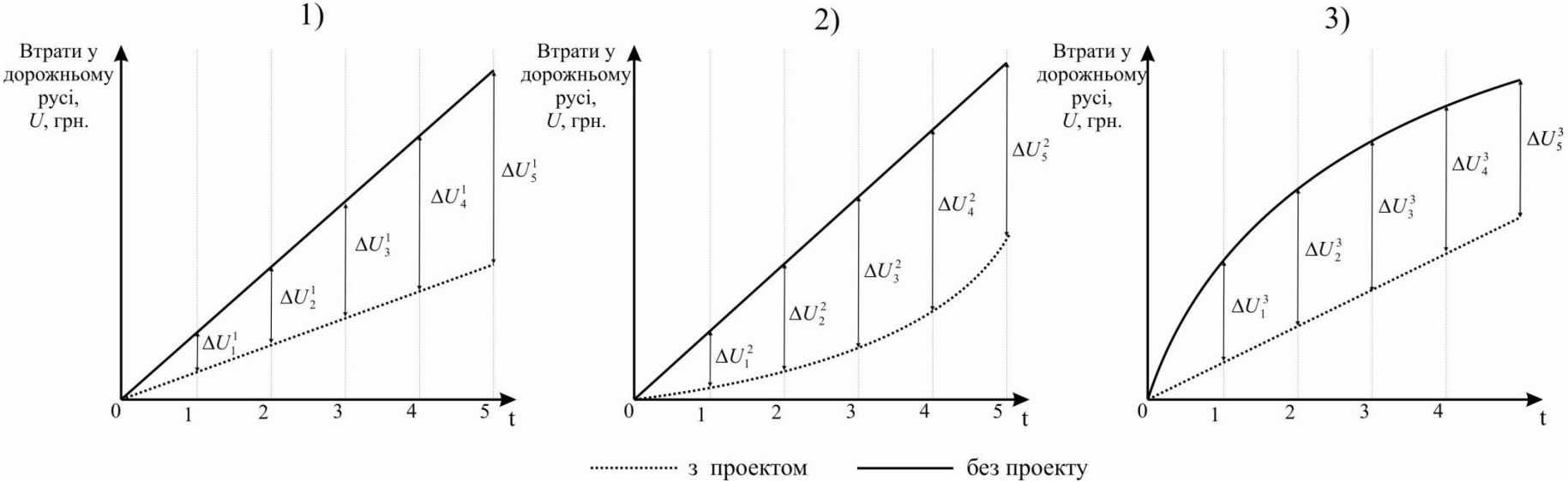


Рисунок 1 – Прогнозовані втрати в дорожньому русі на першому (1), другому (2) і третьому (3) фрагментах ВДМ

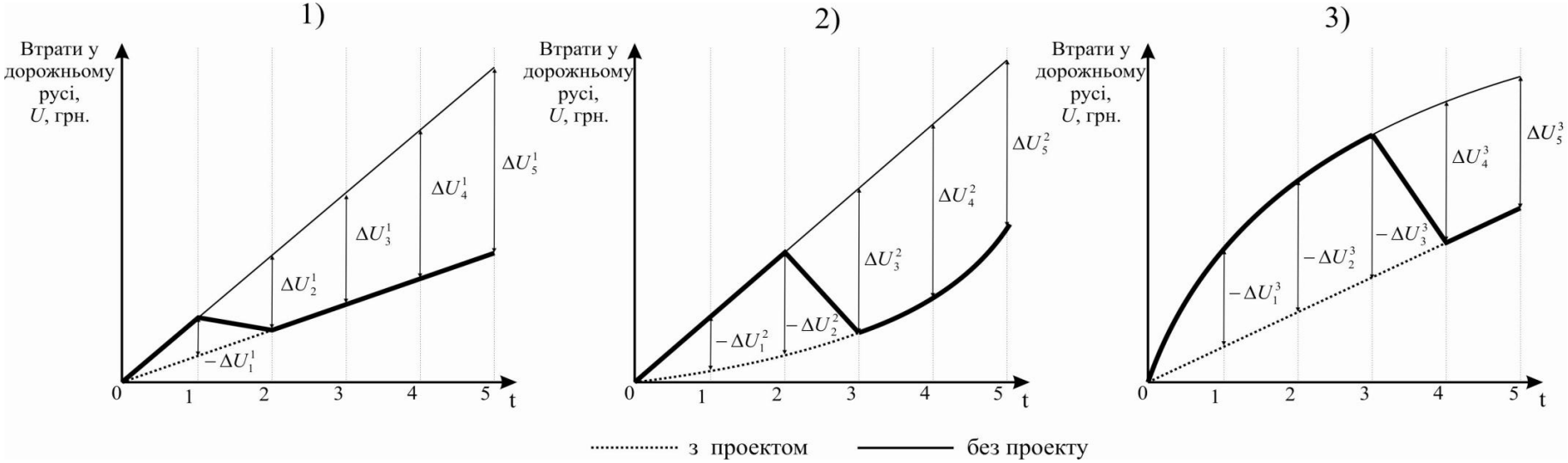


Рисунок 2 – Вигоди, що можуть бути отримані при послідовності реалізації проектів ОДР – 2 – 3

Вигоди на кожному із фрагментів ВДМ при послідовності реалізації проектів ОДР 1 – 2 – 3 будуть такі:

– фрагмент 1: $\Delta U^1 = -\Delta U_1^1 + \Delta U_2^1 + \Delta U_3^1 + \Delta U_4^1 + \Delta U_5^1$;

– фрагмент 2: $\Delta U^2 = -\Delta U_1^2 - \Delta U_2^2 + \Delta U_3^2 + \Delta U_4^2 + \Delta U_5^2$;

– фрагмент 3: $\Delta U^3 = -\Delta U_1^3 - \Delta U_2^3 - \Delta U_3^3 + \Delta U_4^3 + \Delta U_5^3$;

– загальні вигоди від реалізації всіх ПОДР: $\Delta U^{1-2-3} = \Delta U^1 + \Delta U^2 + \Delta U^3$.

Легко показати, що для іншої послідовності реалізації проектів ОДР кінцевий результат буде відрізнятися. Отже, необхідно знайти такий варіант послідовності реалізації проектів ОДР, при якому загальні вигоди від реалізації всіх ПОДР будуть максимальними.

Визначимо, що загальні вигоди за період часу після реалізації всіх проектів ОДР не залежать від послідовності реалізації цих проектів.

Таким чином, завдання, що полягає у визначенні оптимальної послідовності реалізації проектів ОДР, можна звести до знаходження такого варіанта, при якому за час реалізації всіх проектів ОДР (у наведеному прикладі – 3 роки) будуть отримані максимальні вигоди.

Для подальших розрахунків уведемо показник $Z_{ik}$, який назвемо оцінкою черговості реалізації ПОДР. Наприклад, якщо ПОДР для першого фрагмента ВДМ ($i$ = 1) реалізувати першим ($\kappa$ = 1), то $Z_{11} = -\Delta U_1^1 + \Delta U_2^1 + \Delta U_3^1$.

Розраховані $Z_{ik}$ для всіх можливих варіантів послідовності реалізації проектів ОДР (таблиця 1) можна записати компактно у вигляді матриці (таблиця 2).

Таблиця 1 – Оцінка черговості реалізації ПОДР для прикладу, що розглядається

| $i$ | $\kappa$ | Рік 1 | Рік 2 | Рік 3 | $Z_{ik}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | $-\Delta U_1^1$ | $\Delta U_2^1$ | $\Delta U_3^1$ | $Z_{11}$ |
| | 2 | $-\Delta U_1^1$ | $-\Delta U_2^1$ | $\Delta U_3^1$ | $Z_{12}$ |
| | 3 | $-\Delta U_1^1$ | $-\Delta U_2^1$ | $-\Delta U_3^1$ | $Z_{13}$ |
| 2 | 1 | $-\Delta U_1^2$ | $\Delta U_2^2$ | $\Delta U_3^2$ | $Z_{21}$ |
| | 2 | $-\Delta U_1^2$ | $-\Delta U_2^2$ | $\Delta U_3^2$ | $Z_{22}$ |
| | 3 | $-\Delta U_1^2$ | $-\Delta U_2^2$ | $-\Delta U_3^2$ | $Z_{23}$ |
| 3 | 1 | $-\Delta U_1^3$ | $\Delta U_2^3$ | $\Delta U_3^3$ | $Z_{31}$ |
| | 2 | $-\Delta U_1^3$ | $-\Delta U_2^3$ | $\Delta U_3^3$ | $Z_{32}$ |
| | 3 | $-\Delta U_1^3$ | $-\Delta U_2^3$ | $-\Delta U_3^3$ | $Z_{33}$ |

Таблиця 2 – Матриця оцінок черговості реалізації проектів ОДР

| $\kappa$ / $i$ | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 1 | $Z_{11}$ | $Z_{12}$ | $Z_{13}$ |
| 2 | $Z_{21}$ | $Z_{22}$ | $Z_{23}$ |
| 3 | $Z_{31}$ | $Z_{32}$ | $Z_{33}$ |

Тепер задача визначення оптимальної послідовності реалізації проектів ОДР зводиться до знаходження такого набору елементів матриці, сума яких є максимальною. При цьому повинна виконуватися умова: у кожному рядку й стовпці повинен перебувати тільки один з $n$ елементів набору, тобто в рядку й стовпці обраний елемент є єдиним.

Одним з алгоритмів вирішення цієї задачі є прямий перебір варіантів. Для нашого прикладу таких варіантів шість:

$\Delta U^{1-2-3} = Z_{11} + Z_{22} + Z_{33}$; $\Delta U^{2-1-3} = Z_{21} + Z_{12} + Z_{33}$; $\Delta U^{3-1-2} = Z_{31} + Z_{12} + Z_{23}$;

$\Delta U^{1-3-2} = Z_{11} + Z_{32} + Z_{23}$; $\Delta U^{2-3-1} = Z_{21} + Z_{32} + Z_{13}$; $\Delta U^{3-2-1} = Z_{31} + Z_{22} + Z_{13}$;

Оптимальним варто визнати той варіант послідовності реалізації проектів ОДР, при якому $\Delta U \to \max$.

Обсяг обчислень значно зростає при збільшенні кількості проектів ОДР, оптимальну послідовність реалізації яких потрібно визначити. Наприклад, при наявності 5 ПОДР, маємо $5! = 120$ варіантів послідовності їхньої реалізації. Тому для вирішення завдання, що розглядається, необхідно використовувати різні обчислювальні алгоритми, наприклад, алгоритм послідовного поліпшення плану [3].

Наведено елементарний приклад застосування наукового підходу, що пропонується нами для визначення оптимальної послідовності реалізації ПОДР у місті. Але цей підхід можна використовувати й при більш складних ситуаціях, наприклад, при одночасній реалізації декількох проектів ОДР або при різних строках реалізації проектів ОДР.

Метою наступної статті автора буде виклад відповідного цьому підходу методу визначення оптимальної послідовності реалізації ПОДР у місті в узагальненій математичній формі.

### *Висновки*

Запропоновано науковий підхід до визначення оптимальної послідовності реалізації проектів організації дорожнього руху в містах. Суть підходу полягає в наступному: оптимальною вважається та послідовність реалізації ПОДР у місті, при якій може бути отримана максимальна сума вигод від реалізації й за строк реалізації всіх проектів організації дорожнього руху.

### *Список літератури*


1. Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах: ВСН 25-86. – [Действующие с 1986-01-29]. – М.: Транспорт, 1988. – (Стандарт Минавтодор РСФСР).

Ukazaniya po obespecheniyu bezopasnosti dvizheniya na avtomobilnykh dorogakh: VSN 25-86 (Directions for Prevention of Road Traffic Accidents on Highways: Industrial Construction Standards 25-86 (VSN 25-86). – [Deystvuyushchiye s 1986-01-29]. – M.: Transport, 1988. – (Standart Minavtodor RSFSR).

2. Капский Д. В. Разработка системы принципов и методов повышения безопасности дорожного движения в очагах аварийности населенных пунктов / Д. В. Капский // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 2010. – Вып. 95. – С. 193–198. – (Сер. «Технические науки и архитектура»).

Kapskiy D. V. Razrabotka sistemy printsipov i metodov povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v ochagakh avariynosti naselennykh punktov (The Development of the System of Approaches and Methods for Improving Road Traffic Safety in Accident Clusters of Populated Areas) / D. V. Kapskiy // Kommunalnoye khozyaystvo gorodov: nauch.-tekhn. sb. – K.: Tekhnika, 2010. – Vyp. 95. – S. 193–198. – (Ser. “Tekhnicheskiye nauki i arkhitektura”).

3. Цой С. Прикладная теория графов / С. Цой, С. М. Цхай. – Алма-Ата: Наука, 1971. – 500 с.

Tsoy S. Prikladnaya teoriya grafov (The Applicable Graph Theory) / S. Tsoy, S. M. Tskhay. – Alma-Ata: Nauka, 1971. – 500 s.

4. Врубель Ю. А. Определение потерь в дорожном движении: монография / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский, Е. Н. Кот. – Минск: БНТУ, 2006. – 240 с.

Vrubel Yu. A. Opredeleniye poter v dorozhnom dvizhenii: monografiya (The Determination of Road Traffic Losses: Monograph) / Yu. A. Vrubel, D. V. Kapskiy, Ye. N. Kot. – Minsk: BNTU, 2006. – 240 s.

5. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения / В. Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.

Babkov V. F. Dorozhnyye usloviya i bezopasnost dvizheniya (Road Conditions and Road Traffic Safety) / V. F. Babkov. – M.: Transport, 1993. – 271 s.



Рецензент: канд. екон. наук, доц. Т. Є. Василенко, АДІ ДонНТУ

Стаття надійшла до редакції: 15.11.2013