

## ФОРМУВАННЯ МАРШРУТНОЇ МЕРЕЖІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ

Шурупов В.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна

### DESIGNING A ROUTE NETWORK FOR DANGEROUS GOODS SHIPMENTS

Shurupov V.O., National Transport University, Kyiv, Ukraine

### ФОРМИРОВАНИЕ МАРШРУТНОЙ СЕТИ ПЕРЕВОЗОК ОПАСНЫХ ГРУЗОВ

Шурупов В.А., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Постановка проблеми. В Європі для перевезення небезпечних вантажів визначена мережа спеціально облаштованих автомобільних доріг. Аналогічна мережа в Україні була сформована без суттєвого обґрунтування та врахування європейських вимог до її оснащення. Зростання аварійності на дорогах України в сукупності з їхньою непристосованістю до транспортування небезпечних вантажів веде до суттєвого підвищення ризиків нанесення шкоди здоров'ю людей, природному середовищу та економіці. Тому першочерговою проблемою є формування науково обґрунтованої мережі автомобільних доріг пристосованих до перевезень небезпечних вантажів та етапів її модернізації з метою приведення у відповідність до європейських вимог. На актуальність вирішення цієї проблеми вказують положення „Транспортної стратегії України на період до 2020 року” (затверджена Кабінетом Міністрів України від 20.10.10 р.) та Коаліційної угоди ВР України VIII скликання.

Аналіз публікацій. Формуванню мережі автомобільних доріг присвячено багато робіт провідних учених галузі автомобільних перевезень та прикладної математики [1 – 3]. В роботах цих та інших учених були викладені теоретичні основи наукового підходу до формування мережі автомобільних доріг.

Автор роботи [1] вказав, що одним із найбільш вагомих факторів розвитку мережі автомобільних доріг є мінімізація суми витрат на будівництво та експлуатацію доріг і витрат на перевезення за визначений період часу. Такий підхід виправданий при розгляді сумарного потоку автотранспортних засобів. Він не враховує ризики пов'язані із перевезенням небезпечних вантажів, можливі еколого-економічні збитки при аваріях, залежність витрат на перевезення від стану дорожнього покриття тощо. Крім того, принциповою відмінністю є те, що мережу перевезень небезпечних вантажів встановлюють на наявній мережі автомобільних доріг.

У фундаментальних роботах теорії графів та дискретного аналізу [2, 3] розглядають задачу побудови найкоротшої мережі, що з'єднує заданий кінцевий набір точок площини. Однак, ефективного алгоритму, що надає точне рішення не знайдено. Однокритеріальність задачі обмежує її практичне використання на транспорті.

Подібною за змістом до задачі, що розглядається, є проблема формування транспортних мереж міст та регіонів [4]. Її вирішенню присвячено більше сотні дисертаційних робіт, але загально визнаного способу побудови оптимальної мережі не існує. Важливим гносеологічним висновком останніх робіт є відмова від принципу призначення маршрутів на основі найкоротших відстаней між початковим і кінцевим пунктами та вибір маршруту із сукупності шляхів, що відрізняються від найкоротшого на певну величину.

Метою публікації є визначення процедури формування науково обґрунтованої мережі автомобільних доріг необхідної для перевезень небезпечних вантажів та етапів її модернізації.

Виклад основного матеріалу. Конвенція про дорожнє перевезення небезпечних вантажів визначає обмеження які встановлюють компетентні державні органи. Це маршрути руху, обмеження, пов'язані: із проїздом транспортних засобів по тунелях, мостах; із рухом у певні дні тижня або року, у складних кліматичних умовах тощо. В Україні в 2004 році була затверджена маршрутна мережа для перевезень небезпечних вантажів у міжнародному сполученні, проїзд за якими здійснюється без оформлення спеціальних дозволів. Формування мережі було здійснено накладанням окремих маршрутів перевезень на карту дорожньої мережі без урахування особливостей перевезень кожного вантажу. Тобто мережа була розроблена шляхом з'єднання її компонентів, які створюються окремо.

Побудова мережі шляхом переходу від часткового до загального, на відміну від системного підходу, не забезпечує появу загальносистемного ефекту та властивості цілісності (емерджентності).

Згідно міжнародної практики такі мережі потребують додаткового облаштування, яке відсутнє в Україні. Це підвищує ризик виникнення техногенних катастроф у країні. Тому актуальним завданням є встановлення науково обґрунтованої маршрутної мережі перевезень небезпечних вантажів.

Проблема побудови дорожньої мережі турбує вчених із давню. На початку XIX століття Я. Штейнер вивчав задачу побудови найкоротшої мережі, що з'єднує заданий кінцевий набір точок площини. Однак ефективного алгоритму, що дає точне рішення проблеми Штейнера не існує. Наближене рішення дає алгоритм Краскала. Найбільш обґрунтований метод побудови оптимальної дорожньої мережі та удосконалення діючої викладено в роботі Я.В. Хом'яка. Однак, застосувати запропонований ним метод для формування маршрутної мережі перевезень небезпечних вантажів без суттєвого його вдосконалення вбачається недоцільним. По-перше, формування мережі здійснюється на наявній дорожній мережі; по-друге, критерій ефективності повинен включати не тільки питомі дорожньо-транспортні витрати, а й показники безпеки, швидкості та умов руху автотранспортних засобів та облаштування траси; по-третє, загальний принцип побудови оптимальної зв'язуючої мережі, що передбачає досягнення найменших питомих дорожньо-транспортних витрат на переміщення вантажів із цієї точки у всі інші точки мережі потребує заміни на інший, що передбачає мінімізацію критерію ефективності не окремих складових, а всієї мережі; по-четверте, закладене положення в алгоритм вирішення задачі про найкоротшу відстань між кореспондуючими пунктами доцільно замінити вибором шляху із сукупності відстаней близьких до найкоротшої. Крім цього, при формуванні мережі маршрутів перевезень небезпечних вантажів необхідно враховувати дві суперечливі вимоги: мінімізація витрат на утримання мережі та її інфраструктури та надійність сполучень. Перша вимога потребує ліквідацію надлишкових зв'язків, тоді як друга – їх встановлення. Необхідно зазначити, що на відміну від систем передачі інформації, де для забезпечення високої надійності зв'язку вимагають наявності існування не менше двох незалежних шляхів передачі інформації, на транспорті надлишкова кількість зв'язків уводиться з метою скорочення загального пробігу транспортних засобів, а надійність забезпечується інфраструктурними елементами, що забезпечують самовідновлення. Тому надійність на транспорті визначається не кількістю зв'язків, а часовими характеристиками.

У дослідженнях стосовно формування автомобільних маршрутних систем одержали розвиток як традиційні інженерні методи синтезу маршрутної мережі, так і розробляемі методи, орієнтовані на створення інтерактивних систем прийняття рішень і використання математичних методів оптимізації. Серед перших та других пропонуються методи, що направлені на вдосконалення, корегування, незначну модифікацію мереж, що існують, а також методи, які дозволяють проектувати кардинально нові маршрутні мережі, які при необхідності враховують окремі маршрути, що існують за рахунок їх апріорного включення в оптимальну сукупність, або за рахунок введення в перелік аналізуємих маршрутів.

Задача побудови оптимальної маршрутної мережі формулюють у більшості випадків як комбінаторну оптимізаційну задачу з одним або декількома критеріями. В однокритеріальних постановках за критерій оптимізації вибирають або мінімальний пробіг транспортних засобів, при різного роду явних та неявних ресурсних обмеженнях, або сумарні витрати на організацію та функціонування системи перевезень.

Методи рішення сформульованих оптимізаційних задач є евристичними і, у тому або іншому вигляді, включають наступні етапи:

- формування початкової множини маршрутів, що апріорно включають в оптимальну сукупність;
- формування множини можливих маршрутів – маршрутів, що задовольняють деякі необхідні умови;
- формування множини допустимих маршрутів, які утворюють відбором достатньо раціональних маршрутів із множини можливих маршрутів;
- аналіз альтернативних варіантів маршрутної мережі й вибір серед них найбільш раціонального;
- розрахунок вантажопотоків, кількості транспортних засобів і техніко-експлуатаційних показників.

Існує два альтернативних підходи до формування надлишкової сукупності маршрутів. В одному випадку виділяють найкоротші шляхи між пунктами мережі, характеристики яких

відповідають встановленим вимогам. У другому – по інтенсивності обміну відправлень виділяють пункти, що з'єднують потім у маршрут.

Для оптимізації маршрутної мережі перевезень небезпечних вантажів не може бути використана жодна із розглянутих методик без її суттєвої переробки.

У загальному виді задача побудови маршрутної мережі сформульована наступним чином. Задані пункти відправлення та прибуття вантажів та ділянки автотранспортної мережі, що їх з'єднують. Кожній ділянці поставлена у відповідність комплексна її характеристика. Встановлені розміри вантажопотоків між пунктами транспортної мережі. Потрібно визначити таку схему мережі маршрутів, щоб мінімізувати витрати на її облаштування та перевезення, а також можливі збитки від аварій при заданих ресурсних, технологічних і часових обмеженнях.

З математичної точки зору формування маршрутної мережі регіону полягає у покритті графу транспортної мережі системою підграфів, що перетинаються.

Вирішення поставленої задачі ускладнено значною кількістю варіантів маршрутних мереж, рівним  $2^{N(N-1)-1}$ . З цієї причини рішення задачі, що розглядається методом повного перебору варіантів неефективно. Дискретний нелінійний характер зміни значень оціночних критеріїв у залежності від розглядаємої комбінації маршрутів вимагає використання методів динамічного програмування. При встановленому критерії призначення маршруту вирішення задачі можливе на основі евристичного алгоритму з використанням методу направленої відбору варіантів.

Отже, задача синтезу автомобільної мережі для транспортування небезпечних вантажів є багатокритеріальною з можливістю використання на етапі безпосереднього формування мережі відомих математичних методів теорії графів. Тому для оцінки модернізації мережі перевезень небезпечних вантажів, що передбачає приведення її до вимог євростандартів, запропоновано використання комплексного критерію – максимізація різниці оцінки можливих ефектів та витрат на необхідний розвиток дорожньої інфраструктури. При цьому критерій оцінки можливих ефектів визначають згідно положень наведених в роботі [5]. Алгоритм рішення задачі передбачає виключення із мережі автомобільних доріг України заборонених для руху ділянок. Потім виконують процедуру направленої відбору варіантів. Вона на кожному кроці передбачає пошук і виключення із одержаної на попередньому кроці дорожньої мережі ділянки, що збільшує значення комплексного критерію. Ділянка мережі, що порушує зв'язаність графу не підлягає виключенню. Процедура завершується при досягненні критерієм максимального значення. Отримана на останньому кроці дорожня мережа є відправною мережею перевезень небезпечних вантажів для подальшого розвитку. Інтенсивність руху автотранспортних засобів із небезпечними вантажами є визначальною для поетапної черги модернізації автомобільних доріг.

Висновки. Встановлено, що формування автомобільної мережі для транспортування небезпечних вантажів необхідно виконувати з використанням комплексного критерію, який передбачає максимізацію різниці оцінки можливих ефектів та витрат на необхідний розвиток дорожньої інфраструктури. Оцінка можливих ефектів передбачає врахування транспортних витрат, дорожніх умов, безпеки руху, оцінку можливих еколого-економічних збитків у разі настання аварій.

Алгоритм формування автомобільної мережі для транспортування небезпечних вантажів забезпечує отримання прийняттого рішення з урахуванням встановлених обмежень на рух автотранспортних засобів та величину інвестицій у розвиток інфраструктури.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Хомяк Я.В. Проектирование оптимальных сетей автомобильных дорог / Я.В. Хомяк. – М.: Транспорт, 1969. – 144 с.
2. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход / Н. Кристофидес. – М.: Мир, 1978. – 396 с.
3. Романовский И.В. Дискретный анализ. – СПб. : Невский Диалект; БХВ-Петербург, 2008. – 336 с.
4. Сафронов Э.А. Транспортные системы городов и регионов / Э.А. Сафронов. – М.: Издательство АСВ, 2005. – 272 с.
5. Маршрутизація міжнародних автомобільних перевезень небезпечних вантажів / В.О. Шурупов // Вісник Національного транспортного університету. – К., 2014. – Вип. 29. – С.485 – 492.

#### REFERENCES

1. Khomiak Y.V. *Proektirovanie optimalnykh setey avtomobilnykh dorog* [Projecting optimal road networks]. Moscow, Transpory Publ., 1969. 144 p. (Rus)

2. Krestofides N. *Teoriya grafov. Algoritmicheskiy podkhod* [Graph theory. An algorithmic approach]. Moscow, Mir Publ., 1978. 396 p. (Rus)
- 3 Romanovskiy I.V. *Diskretnyy analiz* [Discrete analysis]. Saint-Petersburg, Nevski Dialekt; BHV-Piterburg Publ., 2008. 336 p. (Rus)
4. Safronov E.A. *Transportnye sistemy gorodov i regionov* [Urban and regional transport systems]. Moscow, ASV Publ., 2005. 272 p. (Rus)
5. Shurupov V.O. Marshrutyziatsia mizhnarodnykh avtomobilnykh perevezhen nebezpechnykh vantazhiv [Routing of international road transportation of dangerous goods]. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu* [Bulletin of National Transport University], 2014, issue 29, pp. 485-492. (Ukr)

#### РЕФЕРАТ

Шурупов В.О. Формування маршрутної мережі перевезень небезпечних вантажів / В.О. Шурупов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2015. – Вип. 1 (31).

Стаття присвячена підвищенню ефективності міжнародних автомобільних перевезень небезпечних вантажів та зменшенню господарсько-екологічних збитків у наслідок можливих аварій шляхом оптимізації відповідної маршрутної мережі України.

Об'єкт дослідження – формування маршрутної мережі перевезень небезпечних вантажів.

Мета роботи – визначення процедури формування маршрутної мережі перевезень небезпечних вантажів

Методи дослідження – системний аналіз методів синтезу мережі автомобільних доріг.

Відмічено, що маршрутна мережа перевезень небезпечних вантажів в Україні сформована на основі індуктивного методу без достатнього наукового обґрунтування та її улаштування не відповідає європейським вимогам.

Зазначено, що відомі методики формування мережі автомобільних доріг, які орієнтовані на забезпечення сполучення між населеними пунктами, не враховують особливості та обмеження при організації перевезень небезпечних вантажів.

У загальному виді задача побудови маршрутної мережі сформульована наступним чином. Задані пункти відправлення та прибуття вантажів та ділянки автотранспортної мережі, що їх з'єднують. Кожній ділянці поставлена у відповідність комплексна її характеристика. Встановлені розміри вантажопотоків між пунктами транспортної мережі. Потрібно визначити таку схему мережі маршрутів, щоб критерій ефективності приймав найкраще значення.

Формування автомобільної мережі перевезень небезпечних вантажів запропоновано виконувати на основі комплексного критерію, що максимізує різницю оцінки можливих ефектів та витрат на необхідний розвиток дорожньої інфраструктури. Оцінка можливих ефектів передбачає врахування транспортних витрат, дорожніх умов, безпеки руху, оцінку можливих еколого-економічних збитків у разі настання аварій.

Алгоритм рішення задачі передбачає виключення із мережі автомобільних доріг України заборонених для руху ділянок. Потім виконують процедуру направленої перебору варіантів. Вона на кожному кроці передбачає пошук і виключення із одержаної на попередньому кроці дорожньої мережі ділянки, що збільшує значення комплексного критерію. Ділянка мережі, що порушує зв'язність графу не підлягає виключенню. Процедура завершується при досягненні критерієм максимального значення. Інтенсивність руху автотранспортних засобів із небезпечними вантажами є визначальною для встановлення черговості модернізації автомобільних доріг та їх ділянок.

Результати статті можуть бути впроваджені при плануванні перевезень небезпечних вантажів.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – обґрунтування етапності модернізації мережі перевезень небезпечних вантажів в Україні.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** НЕБЕЗПЕЧНИЙ ВАНТАЖ, ПЕРЕВЕЗЕННЯ, АВТОМОБІЛЬ, МЕРЕЖА ДОРІГ, МАРШРУТИЗАЦІЯ.

#### ABSTRACT

Shurupov V.O. Designing a route network for dangerous goods shipments. *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection.* – Kyiv: National Transport University, 2015. – Issue 1 (31).

This article is dedicated to efficiency improvement of international road shipments of dangerous goods and reduction of economic and ecological losses caused by possible accidents by optimizing the respective route network of Ukraine.

Object of the study – designing a route network for dangerous goods shipments.

Purpose of the study – to define a procedure of designing a route network for dangerous goods shipments.

Methods of the study – system analysis of synthesis methods for road network.

The article points out that the route network for dangerous goods shipments in Ukraine is designed based on inductive method without a sufficient scientific justification and that its arrangement does not correspond to European requirements.

The article indicates that the known methodologies for designing a road network oriented towards ensuring connections between settlements do not consider specifics and limits in organization of dangerous goods shipments.

In general aspect, the task of route network arrangement is formulated as follows. Points of arrival and departure, legs of the road network that link them are defined. Every leg has a corresponding complex characteristic. Freight flows rates between points of the transport network are defined. It is necessary to determine a route scheme that ensures the best value for efficiency criterion.

Designing a road network for dangerous goods shipments is proposed to perform on a basis of complex criterion that maximizes the margin between rate of possible effects and costs for road infrastructure development. Estimation of possible effects includes consideration of transport costs, road conditions, traffic security, and valuation of possible economic and ecological losses in case of accidents.

The solving algorithm provides for exclusion of prohibited for traffic legs from the road network of Ukraine. Then the procedure of enumeration of possibilities is performed. On every stage, it provides for searching and excluding a road network leg derived on the previous stage that increases the value of complex criterion. A network leg that does not interrupt the graph cohesion is not subject to exclusion. The procedure ends when the criterion reaches its maximal value. Traffic intensity of vehicles that ship dangerous goods is decisive for queuing the roads modernization.

The results of the article can be introduced in planning for dangerous goods shipments.

Forecast assumptions about the object of study – justification of staging in modernization of network for dangerous goods shipments in Ukraine.

KEY WORDS: DANGEROUS GOODS, SHIPMENTS, ROAD VEHICLE, ROAD NETWORK, ROUTING.

#### РЕФЕРАТ

Шурупов В.А. Формирование маршрутной сети перевозок опасных грузов / В.А. Шурупов // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2015. – Вып. 1 (31).

Статья посвящена повышению эффективности международных автомобильных перевозок опасных грузов и уменьшению хозяйственно-экологического ущерба в следствие возможных аварий путем оптимизации соответствующей маршрутной сети Украины.

Объект исследования – формирование маршрутной сети перевозок опасных грузов.

Цель работы – определение процедуры формирования маршрутной сети перевозок опасных грузов

Методы исследований – системный анализ методов синтеза сети автомобильных дорог.

Отмечено, что маршрутная сеть перевозок опасных грузов в Украине сформирована на основе индуктивного метода без достаточного научного обоснования и ее обустройство не отвечает европейским требованиям.

Указано, что известные методики формирования сети автомобильных дорог, которые ориентированы на обеспечение сообщения между населенными пунктами, не учитывают особенности и ограничения при организации перевозок опасных грузов.

В общем виде задача построения маршрутной сети сформулирована следующим образом. Заданы пункты отправления и прибытия грузов, а также участки автотранспортной сети, которые их соединяют. Каждому участку поставлена в соответствие комплексная ее характеристика. Установлены размеры грузопотоков между пунктами транспортной сети. Нужно определить такую схему сети маршрутов, чтобы критерий эффективности принимал наилучшее значение.

Формирование автомобильной сети перевозок опасных грузов предложено осуществлять на основе комплексного критерия, который максимизирует разность оценки возможных эффектов и затрат на необходимое развитие дорожной инфраструктуры. Оценка возможных эффектов предусматривает учет транспортных затрат, дорожных условий, безопасности движения, оценку возможного эколого-экономического ущерба в случае возникновения аварий.

Алгоритм решения задачи предусматривает исключение из сети автомобильных дорог Украины запрещенных для движения участков. Затем выполняют процедуру направленного перебора вариантов. Она на каждом шаге предусматривает поиск и исключение из полученной на предыдущем шаге дорожной сети участка, который увеличивает значение комплексного критерия. Участок сети, которая нарушает связанность графа не подлежит исключению. Процедура завершается при достижении критерием максимального значения. Интенсивность движения автотранспортных средств с опасными грузами является определяющей для установления очередности модернизации автомобильных дорог и их участков.

Результаты статьи могут быть использованы при планировании перевозок опасных грузов.

Прогнозные предположения относительно развития объекта исследования – обоснование этапности модернизации сети перевозок опасных грузов в Украине.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ОПАСНЫЙ ГРУЗ, ПЕРЕВОЗКА, АВТОМОБИЛЬ, СЕТЬ ДОРОГ, МАРШРУТИЗАЦИЯ.

**АВТОР:**

Шурупов Василь Олександрович, Національний транспортний університет, асистент кафедри транспортні системи та безпека дорожнього руху, e-mail: vs@avs-trans.com.ua, тел. +380674430888, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 435.

**AUTHOR:**

Shurupov Vasyl O. National Transport University, assistant lecturer department transport systems and road safety, e-mail: vs@avs-trans.com.ua, tel. +380674430888, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 435.

**АВТОР:**

Шурупов Василий Александрович, Национальный транспортный университет, ассистент кафедры транспортные системы и безопасность дорожного движения, e-mail: vs@avs-trans.com.ua, тел. +380674430888, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 435.

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Воркут Т.А. доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри транспортного права та логістики, Київ, Україна.

Заславський В.А. доктор технічних наук, професор, Київський національний університет ім. Т. Шевченка, професор кафедри математичної інформатики, Київ, Україна..

**REVIEWER:**

Vorkut T.A., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, head of department of transport law and logistics, Kyiv, Ukraine.

Zaslavskiy V.A., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, Taras Shevchenko National University of Kyiv, head of department for mathematical informatics, Kyiv, Ukraine.