

Технічні науки

УДК 625.7

Поліщук Володимир Петрович

*доктор технічних наук, завідувач кафедри
транспортних систем та безпеки дорожнього руху
Національний транспортний університет*

Полищук Владимир Петрович

*доктор технических наук, заведующий кафедрой
транспортных систем и безопасности дорожного движения
Национальный транспортный университет*

Polishchuk Volodymyr

*Doctor of Technical Sciences, Head of the
Department of Transport Systems and Road Traffic Safety
National Transport University
ORCID: 0000-0003-3145-7225*

Виговська Інна Анатоліївна

*завідувач навчальної лабораторії
кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху
Національний транспортний університет*

Выговская Инна Анатольевна

*заведующий учебной лаборатории
кафедры транспортных систем и безопасности дорожного движения
Национальный транспортный университет*

Vyhovska Inna

*Head of the Laboratory of the Department of
Transport Systems and Road Traffic Safety
National Transport University
ORCID: 0000-0003-1426-9863*

Корчевська Аліна Анатоліївна

*старший викладач кафедри
транспортних систем та безпеки дорожнього руху*

Національний транспортний університет

Корчевская Алина Анатольевна

*старший преподаватель кафедры
транспортных систем и безопасности дорожного движения*

Национальный транспортный университет

Korchevska Alina

*Senior Teacher of the Department of
Transport Systems and Road Traffic Safety*

National Transport University

ORCID: 0000-0001-8245-9891

**ДО ПИТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ
ДОРОЖНЬОГО РУХУ З ОБМЕЖЕННЯМИ НА ДОРОЖНІЙ
МЕРЕЖІ**

**К ВОПРОСУ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ
ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ НА ДОРОЖНОЙ
СЕТИ**

**ON THE QUESTION OF DESIGN TECHNOLOGY OF TRAFFIC
ORGANIZATION WITH LIMITATIONS ON THE ROAD NETWORK**

Анотація. Основною функцією автомобільного транспорту є повне і своєчасне задоволення потреб населення в перевезеннях, прискорення доставки вантажів і перевезення пасажирів на основі істотного підвищення потужності і якості роботи всієї транспортної системи, зниження собівартості і підвищення продуктивності праці в здійсненні перевезень. Важливе місце у вирішенні цієї функції належить організації

дорожнього руху, в тому числі здійсненню раціонального розподілу транспортних потоків по дорожній мережі, а також усуненню умов, що призводять до виникнення заторів і невиправданих перепробігів транспортних засобів. Маючи незначні фінансові витрати в порівнянні із заходами щодо удосконалення і перепланування дорожньої мережі, своєчасні заходи для раціональної організації руху дозволяють запобігти заторам транспорту і зменшити час проїзду, і, таким чином, підвищити продуктивність перевезень, їхню економічність, що особливо важливо при існуючій критичній ситуації з паливними ресурсами України. Для обґрунтування критерію оптимальності планування проведення дорожніх робіт необхідно враховувати процес транспортних потоків по дорожній мережі під впливом різного роду переешкод, з різним ступенем впливу, що виникає в різних точках мережі. При обґрунтуванні критерію оптимальності необхідно виходити з того, що кінцевою метою проведених досліджень і запропонованих заходів має бути підтримка ефективності перевезень дорожньою мережею на певному рівні, запобігання зниженню цього рівня в тих випадках, коли цьому зниженню можна запобігти шляхом раціонального планування. Таким чином, оперативне керування ситуацією, що складається на дорожній мережі в результаті дії комплексу факторів різного роду, що впливають на рух транспортних засобів, є актуальною задачею і вимагає розробки наукових основ і практичних методів її рішення.

Ключові слова: дорожня мережа, організація дорожнього руху, пропускна здатність, інтенсивність руху, транспортний потік.

Аннотація. Основной функцией автомобильного транспорта есть полное и своевременное удовлетворение потребностей населения в перевозках, ускорение доставки грузов и перевозки пассажиров на основе существенного повышения мощности и качества работы всей транспортной системы, снижения себестоимости и повышения

производительности труда в осуществлении перевозок. Важное место в решении этой функции принадлежит организации дорожного движения, в том числе осуществлению рационального распределения транспортных потоков по дорожной сети, а также устранению условий, приводящих к возникновению пробок и неоправданных перепробегов транспортных средств. Имея незначительные финансовые затраты по сравнению с мерами по усовершенствованию и перепланировке дорожной сети, своевременные меры для рациональной организации движения позволяют предотвратить пробки транспорта и уменьшить время проезда, и, таким образом, повысить производительность перевозок, их экономичность, что особенно важно при существующей критической ситуации с топливными ресурсами Украины. Для обоснования критерия оптимальности планирования проведения дорожных работ необходимо учитывать процесс транспортных потоков по дорожной сети под влиянием разного рода помех, с разной степенью воздействия, возникающей в разных точках сети. При обосновании критерия оптимальности необходимо исходить из того, что конечной целью проведенных исследований и предложенных мероприятий должна быть поддержка эффективности перевозок дорожной сетью на определенном уровне, предотвращение снижения этого уровня в тех случаях, когда это снижение можно предотвратить путем рационального планирования. Таким образом, оперативное управление ситуацией, складывающейся на дорожной сети в результате действия комплекса разного рода факторов, влияющих на движение транспортных средств, является актуальной задачей и требует разработки научных основ и практических методов ее решения.

Ключевые слова: *дорожная сеть, организация дорожного движения, пропускная способность, интенсивность движения, транспортный поток.*

Summary. *The main function of road transport is the full and timely*

satisfaction of the needs of the population in transportation, the acceleration of cargo delivery and the transportation of passengers based on a significant increase in the capacity and quality of the entire transport system, a reduction in the cost price and an increase in labor productivity in transportation. An important place in solving this function belongs to the organization of road traffic, including the rational distribution of traffic flows on the road network, as well as the elimination of conditions that lead to traffic jams and unjustified overruns of vehicles. Having insignificant financial costs in comparison with measures to improve and re-plan the road network, timely measures for the rational organization of traffic make it possible to prevent traffic jams and reduce travel time, and thus increase the productivity of transportation, their cost-effectiveness, which is especially important in the current critical situation with fuel resources of Ukraine. In order to substantiate the optimality criterion for planning road works, it is necessary to take into account the process of traffic flows on the road network under the influence of various types of obstacles, with different degrees of influence arising at different points of the network. When justifying the criterion of optimality, it is necessary to assume that the ultimate goal of the conducted research and proposed measures should be to maintain the efficiency of road network transportation at a certain level, to prevent a decrease in this level in those cases when this decrease can be prevented through rational planning. Thus, operational management of the situation that develops on the road network as a result of the action of a complex of various factors affecting the movement of vehicles is an urgent task and requires the development of scientific foundations and practical methods of its solution.

Key words: *road network, traffic organization, capacity, traffic intensity, traffic flow.*

Постановка проблеми. Метою даної роботи є розробка методики оцінки стану транспортних потоків при виникненні перешкод руху у різних

точках дорожньої мережі - з метою оперативного впливу на перешкоду. Такий вплив може здійснюватися, наприклад, шляхом розосередження за часом і місцем проведення дорожніх робіт, що призводять до зниження пропускної здатності різних ділянок дорожньої мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми організації дорожнього руху на дорожній мережі наведено у наукових працях Сильянова В.В., Цибенко О.Ю., Кисельов В.Б., Дзюба О.П., Вознюк А.Б та інші.

Основним показником, що характеризує вплив дорожніх умов, навколишнього середовища, технічного стану автомобіля та психофізіологічних факторів на водія, визначено швидкість руху як окремих транспортних засобів, так і транспортного потоку за певний період часу та на певній ділянці автомобільної дороги. Для оцінювання впливу кожного з факторів на швидкість руху, проводились натурні спостереження на автомобільній дорозі М-06 Київ – Чоп. Було проведено кластерний аналіз даних натурних спостережень з використанням програмного комплексу Statistica 12, встановлено зв'язки в середині сукупності даних та організовано отримані дані в певні структури [1, с. 205].

У роботі [2, с. 205] проведено оцінювання доріг державного значення за рівнем безпеки (за визначеними показниками), що дозволяє зробити висновок про відповідність мережі доріг або окремих ділянок доріг умовам руху транспортного потоку і, відповідно, приймати рішення щодо планування та черговості впровадження заходів з безпеки руху.

У праці [3, с. 300] проаналізувати вплив функціонування мережі автомобільних доріг на макродинаміку розвитку країни; визначити співвідношення валового внутрішнього продукту й чистого національного продукту залежно від впливу функціонування мережі автомобільних доріг на макроекономічному рівні; зробити аналіз залежності «інвестиції – функціонування мережі автомобільних доріг – чистий національний

продукт»; розробити дискретну модель макродинаміки розвитку мережі автомобільних доріг.

У роботі [4, с. 225] проаналізовано імовірність безперешкодного вливання автомобіля з другорядної дороги на головну і навпаки, з урахуванням середньої тривалості вільного інтервалу між автомобілями основного потоку та між групами автомобілів. Знайдено залежність тривалості вільних інтервалів, та їх кількості, від інтенсивності руху, складу транспортного потоку, швидкості руху транспортних засобів. Отримано ряд рівнянь для визначення загальної затримки транспорту при виконанні різних видів маневрів залежно від типу пересічення чи примикання.

Формулювання цілей статті(постановка завдання). Розробити науково обґрунтовані принципи розподілу транспортних потоків під впливом перешкод рухові.

Виклад основного матеріалу. Для розробки методів оптимізації планування виконання дорожніх робіт на дорожній мережі з метою створення умов безпечного та безперешкодного та зручного руху транспорту необхідне детальне вивчення та аналіз впливу перешкод руху, що виникають внаслідок проведення робіт, та розподіл транспортних потоків дорожньою мережею.

Планові дорожні роботи істотно впливають на характеристики руху транспорту на магістралях. При цьому сумарний вплив виникаючих перешкод на мережі з оптимальною схемою руху транспорту, нерідко призводить до різкого погіршення умов руху на окремих ділянках мережі: зниження швидкості руху, перевищення допустимих меж загазованості повітря, зростання кількості дорожньо-транспортних пригод як безпосередньо на ділянках де проводяться дорожні роботи , так і на прилеглих до цих ділянок мережі (внаслідок зміни існуючої оптимальної схеми організації руху, а також внаслідок порушень водіями встановленої схеми об'їзду ділянок дорожніх робіт).

Розподіл транспортних потоків, з урахуванням впливу перешкод руху транспорту, повинен передбачати максимально повне використання пропускної спроможності всієї дорожньої мережі, що розглядається, і відповідна побудова математичної моделі розподілу.

При цьому передбачається, що при об'їзді місць виникнення перешкод руху або ділянок заторів водії обиратимуть маршрути руху, виходячи з умов мінімальних перепробігів та втрат часу, тобто оптимальні маршрути. Таким чином, при побудові математичної моделі розподілу транспортних потоків можна використовувати методику оптимізації розподілу потоків по мережі доріг, вирішуючи задачу оптимізації розподілу після введення кожної перешкоди.

Існують різні методики оптимізації розподілу потоків на мережі. Так, у деяких випадках, в основу оптимізації ставиться принцип мінімізації питомих дорожньо-транспортних витрат, а розподіл транспортних потоків здійснюється за найкоротшими маршрутами [5, с. 59].

Здійсненню перевезень при можливо найменших дорожньо-транспортних витратах відповідає скорочення витрат засобів виробництва, що споживаються на транспорті, а прийнятий критерій для оцінки оптимальності полягає у зниженні витрат на перевезення.

Основою низки методів оптимізації розподілу потоків є вибір оптимального варіанта маршрутів, що дає найкращі показники по продуктивності, швидкості доставки та зниження собівартості перевезень. Існують спрощені способи складання маршрутів. Так, топографічний спосіб полягає в нанесенні найбільш раціональних маршрутів руху на постійну схему території, що містить розташування гаражів, пунктів відправлення та призначення, шляхи, що їх з'єднують.

З топограми перевезень отримують маятникові, кільцеві чи збірні маршрути руху. Спосіб використання сейфів полягає в тому, щоб збалансувати прямі та зустрічні перевезення.

Найбільш поширеними є методи лінійного програмування, які на автомобільному транспорті можуть вирішувати такі завдання:

- закріплення споживачів однорідного вантажу за постачальниками, що забезпечує мінімально можливий обсяг перевезень;
- оптимізація обслуговування клієнтури, що забезпечує мінімум нульових пробігів;
- розподіл транспортних засобів за маршрутами з метою їхнього найефективнішого використання;
- знаходження оптимальної кількості поїздок за наявності декількох маршрутів.

Перелічені завдання можна розглядати як окремі випадки так званої транспортної задачі акад. Л. В. Кантаровича.

У випадках застосування схеми розподілу потоків, де як критерій приймається мінімум сумарних витрат часу на пересування, завдання зводиться до визначення найкоротших відстаней між пунктами відправлення та призначення. Це завдання вирішується методами динамічного програмування.

Аналіз зазначених методів розподілу транспортних потоків показує, що незважаючи на оптимальність одержуваних зав'язків між вихідними пунктами на дорожній мережі, транспортні потоки на ділянках цієї мережі залишаються «стихійними», так як не обумовлюється момент появи транспортних засобів на дорожній мережі, а також не враховуються характеристики цієї мережі, і в першу чергу, пропускна здатність. Все це могло спричинити перевантаження окремих маршрутів, а отже - утворення заторів та підвищення собівартості перевезень.

Ця ситуація найімовірніша на дорожній мережі, де пропускну спроможність магістралей визначають пропускні можливості перетинів і примикань. Підхід до вирішення завдань оптимального розподілу

транспортних потоків у різних країнах здебільшого полягає у розробках автоматизованих систем управління рухом на дорожній мережі.

Розроблений у роботі [6] метод базується на статистичній обробці результатів вибіркового підрахунку кількості транспортних засобів, що пройшли через сектор автомагістралі. Кінцевим підсумком є узагальнені гістограми, на яких у відносних одиницях відображається розподіл транспортних засобів, що пройшли через сектор транзитно і цілі поїздки яких розташовані всередині досліджуваного сектора.

У роботі [7] представлені методи, засновані на імітаційному моделюванні та модифікованому евристичному алгоритмі вибору оптимального маршруту проходження по дорожній мережі, описаної графоаналітичною моделлю. Критерієм вибору маршруту прямування є вартість перевезень.

У роботі [6] використовується модифіковане визначення Вардропа (Wardrop) рівноважного розподілу транспортних потоків по дорожній мережі, що ґрунтується на припущенні, що зміна маршруту руху водієм проводиться тільки в тому випадку, якщо новий маршрут характеризується меншими матеріальними витратами та втратами часу.

В окремих роботах, розглядається завдання забезпечення вихідної інформації при виборі маршруту руху, що мінімізує час руху між будь-якою парою вузлів транспортної мережі. Таке завдання трактується стосовно мереж зі змінними параметрами і вимагає як вихідної інформації дані про можливий час проїзду між усіма суміжними вузлами в момент початку руху і протягом всього часу реалізації маршруту. Аналізується можливість виключення низки вимірювань за рахунок досліджень та опису статистичних закономірностей між параметрами транспортних потоків з отриманням рівняння регресії для характерних вузлів транспортної мережі. Слід зазначити, що останній момент є виключно важливим, оскільки

дозволяє не лише скоротити кількість вихідних даних, а й типізувати окремі елементи вулично-дорожньої мережі на основі отриманих рівнянь регресії.

Подані методи розподілу транспортних потоків по дорожній мережі мають досить чітку принципову постановку. Проте чи всі прийняті принципи може бути сформульовані як математичної моделі. Наявність математичної моделі дає можливість формалізувати завдання, оптимізувати рішення і провести детальну оцінку цього рішення.

У роботах [7, с. 60] представлена математична модель розподілу транспортних потоків у системах управління рухом, що забезпечує мінімум загального часу руху транспортних засобів по дорожній мережі відповідно до цільової функції, що враховує інтенсивність рівноважного потоку в момент часу залежно від керування на перегоні, довжина черги в цей момент часу і довжина перегону.

При цьому обмеження функції містить вимогу того, щоб черга автомобілів на даному перегоні не поширювалася на попередні перегони.

Модель, що використовується для аналізу розподілу транспортних потоків при впливі перешкод на проїжджій частині, може враховувати сумарний час руху транспорту по всій дорожній мережі або ділянці мережі як критерій допустимості створення однієї або кількох перешкод у цей проміжок часу. З цієї точки зору цікавить наведена математична модель розподілу транспортних потоків по дорожній мережі, що забезпечує мінімум сумарного часу проїзду всіх транспортних засобів:

$$\begin{aligned} T &= \min \sum N_z t_z(N) \\ AN^k &= N_y^k, \quad (k = 1, n) \\ N_z &= \sum_{k=1}^n N_z^k; \\ N_z &\geq 0; \\ N_z &\leq N_{max,z} \end{aligned} \quad (1)$$

$$A = (a_{z,k})$$

$$a_{z,k} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } z - \text{ а ділянка дороги починається на пересічені } k \\ -1, \text{ якщо } z - \text{ а ділянка дороги закінчується на пересічені } k \\ 0, \text{ якщо } z - \text{ а ділянка дороги не входить у вершину } k \end{cases}$$

де N_z – інтенсивність руху по z – му перегону;

$t_z(N_z)$ - час руху по z – му перегону;

N^k - інтенсивність руху

$N_{max,z}$ - пропускна здатність z – го перегону

Представлені математичні моделі ґрунтуються на єдиному критерії - мінімум сумарного часу руху всіх транспортних засобів по дорожній мережі. Застосування такого критерію дозволяє врахувати характеристики мережі, взаємодію транспортних потоків, залежність характеристик останніх від дорожніх умов.

Представлені моделі, однак, мають різні обмеження. Так, якщо в моделі, описаній у роботах [7, с. 70], обмеження накладаються на довжину черги по перегонах, то в моделі [1] величини інтенсивності руху на перегонах обмежуються їх пропускною здатністю.

Оптимізація розподілу транспортних потоків на основі зазначеного вище критерію можлива в умовах незмінної за накресленням та геометричними параметрами дорожньої мережі.

Застосування цього критерію не виключає виникнення перепробігів окремої частини розподіленої сукупності транспортних засобів, і така ситуація виникатиме на тих мережах, де на перегонах буде перевищено пропускну здатність перегону, що є найбільш характерним для місць проведення дорожніх робіт. У разі наявності значного резерву пропускної спроможності всіх перегонів і всіх вузлів мережі, мінімум часу руху обумовлюватиме мінімальний пробіг транспортних засобів, тобто завдання зводиться до визначення найкоротших маршрутів. Таким чином, можна

стверджувати, що розглянуті вище моделі в зазначених умовах дають ідентичні рішення.

Разом з тим, обмеження, що накладаються на критеріальну функцію, значно впливають на ступінь надійності одержуваного результату розподілу потоків, оскільки обмеження виражають суть фізичного процесу руху транспорту, що розподіляється. Тому, наприклад, обмеження черг довжиною перегону не враховуючи часу існування черги може призвести до порушення функціонування всієї системи, тобто невідповідності отриманого рішення фактичному перебігу процесу.

Обмеження тільки за пропускну здатністю перегонів без урахування пропускну здатністю вузлів, так само як і обмеження лише за часом проїзду, може сприяти переповненню окремих перегонів мережі та освіті заторів. Щоб уникнути таких ситуацій, а також для можливості аналізу впливу перешкод руху транспорту на характеристики руху, математична модель повинна враховувати пропускну здатність перегонів та перехресть об'їзних маршрутів для проїзду додаткових потоків транспортних засобів, що здійснюють об'їзд ділянки впливу перешкоди.

У розглянутих вище моделях, орієнтованих на облік часу проїзду, немає обмеження повернення транспортних засобів на вже пройдені ділянки дороги. В результаті, хоч і досягається мінімальний сумарний час руху по мережі, але не забезпечується мінімальний час знаходження всіх транспортних засобів на мережі, оскільки сам факт повернення несе в собі невизначеність, оскільки виникає неузгодженість появи транспортних засобів на пройдених ділянках дороги.

На дорожній мережі початковими та кінцевими пунктами руху фактично є не перехрестя мережі, як це представлено в моделях, а точки відправлення та призначення на перегонах. У зв'язку з цим на мережі з'являються транспортні потоки, що проходять початкове перехрестя перегону, але не доходять до кінцевого. Таким чином, з'являється місцева

інтенсивність руху, яка не може розподілятися, але повинна враховуватися при аналізі пропускної здатності маршрутів об'їзду. У зазначених же моделях розподіляються тільки транзитні потоки і лише між перехрестями мережі, і реалізація цих моделей можлива лише при застосуванні автоматизованих систем управління рухом, оскільки основною метою цих систем є забезпечення процесу руху по мережі, а не формування транспортних потоків.

Таким чином, для аналізу сумарного впливу на транспортні потоки перешкод, розташованих у різних точках мережі, необхідно розробити нову модель, яка б задовольняла наступним вимогам:

- виключення повернення транспортних засобів на пройдену частину дороги;
- облік обсягу транспорту, що не підлягає розподілу;
- виключення можливості заторних ситуацій у мережі, не пов'язаних із впливом перешкод руху;
- мінімізація часу проїзду транспорту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

а) вибір та обґрунтування критерію оптимальності розподілу транспортних потоків по дорожній мережі та допустимості наявності конкретної перешкоди на даній ділянці мережі;

б) розробка загальної математичної моделі розподілу транспортних потоків по дорожній мережі за відсутності перешкод руху та впливу перешкод на окремих ділянках мережі;

в) розробка теоретичних основ та практичних методів реалізації математичної моделі розподілу транспортних потоків при впливі перешкод руху на мережі;

г) дослідження загальної математичної моделі розподілу транспортних потоків при впливі перешкод руху для вирішення завдання упорядкування створюваних планових перешкод на дорожній мережі;

д) розробка алгоритму та програми аналізу перешкод руху на дорожній мережі для машинної реалізації розробленої моделі;

е) застосування розробленої методики для практичної оцінки впливу перешкод руху на реальній дорожній мережі.

Висновки. Розподіл транспортних потоків по дорожній мережі під впливом перешкод руху на її ділянках впливає на характеристики транспортних потоків на перегонах і перехрестях мережі і є важливим показником, що дозволяє вчасно прогнозувати умови дорожнього руху, що виникають в результаті виробництва дорожніх робіт та вживати необхідних заходів по недопущенню виникнення заторів і збоїв у русі транспорту.

Література

1. Каськів В.І., Шапенко Є.М., Гульчак О.Д., Вознюк А.Б. Обґрунтування факторів впливу на безпеку руху. *Збірник наукових праць «Дороги і мости»*. 2022. Вип. 23. С. 205-213. doi: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.222>
2. Беленчук О.В., Бондар Т.В., Попович Н.І., Теплюк Є.Ф. Визначення рейтингу безпеки автомобільних доріг для обрання пріоритетності проведення їх перевірки безпеки. *Збірник наукових праць «Дороги і мости»*. 2022. Вип. 25. С. 222-230. doi: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.222>
3. Кисельов В.Б., Лановий О.Т., Кошарний О.М. Математичне моделювання впливу функціонування мережі автомобільних доріг на економіку України. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2022. Том 33(72). №1. С. 300-307. doi: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/46>
4. Пальчик А.М., Соколенко Т.В. Підвищення ефективності функціонування перехрещень і примикань в одному рівні без зміни геометричних параметрів. *Збірник наукових праць «Дороги і мости»*.

2020. Вип. 22. С. 225-233. doi:
<https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.22.225>

5. Хояк Я. В. Проектування автомобільних доріг. М. : Транспорт, 1993. 207 с.
6. Gaczorek J., Nawarrecki E. Zmodyfikowany heurystyczny algorytm wyboru drogi optimalnej. “Cas techn.”. 1978. 82. № 6, 8. Р. 12-7.
7. Полищук В.П. Основные направления деятельности по организации дорожного движения. Безопаска дорожнього руху України: Наук.-техн. вісник. К., 2004. № 1-2. С. 69-71.