

## ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 656.051

**Горбачов П. Ф.**

*доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри транспортних систем і логістики  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
Харків, Україна  
E-mail: gorbachov.pf@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-8180-4072*

**Пронін С. В.**

*кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри комп'ютерних систем  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
Харків, Україна  
E-mail: sergiy9977@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-7475-621X*

**Чижик В. М.**

*кандидат технічних наук,  
асистент кафедри транспортних систем і логістики  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
Харків, Україна  
E-mail: chyzhyk88@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-0518-5246*

**Токмиленко Т. Т.**

*старший викладач кафедри транспортних систем і логістики  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
Харків, Україна  
E-mail: tetyana@tokmylenko.com  
ORCID: 0009-0006-2542-1452*

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ СМУГИ РУХУ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ ПРИ РУСІ БЕЗ ОБГОНІВ

**Анотація**

Дослідження умов, які виникають при русі групи автомобілів по смузі руху без обгонів показало, що загальноприйняте визначення пропускної спроможності, як максимально можливої кількості транспортних засобів, що може пройти через поперечний переріз смуги автодороги за одиницю часу, недостатньо інформативно. Це призводить до того, що фактична інтенсивність транспортних потоків перевищує пропускну спроможність на багатьох ділянках автомобільних доріг різних країн, чого не має бути, виходячи з її формулювання. У такому вигляді цей показник також не відображає якість обслуговування учасників руху на ділянці, досягнення високого рівня якого є основною метою створення і функціонування автомобільних доріг.

За допомогою методу ідеалізації показано, що загальний час подолання цільною групою транспортних засобів деякої односмугової ділянки автомобільної дороги ненульової довжини без обгонів і випереджень, який починається з моменту перетину початку ділянки першим транспортним засобом групи і закінчується перетином початку ділянки останнім з них, залежить лише від швидкості найповільнішого члена групи. При цьому передбачається, що у вільних умовах ці транспортні засоби рухалися би з різною швидкістю обраною кожним водієм індивідуально, виходячи з технічних характеристик керованого ним засобу, дорожніх умов і власних побажань, що цілком відповідає реальному стану руху на ділянках доріг у багатьох країнах, де проводились відповідні дослідження.

У роботі обґрунтовується необхідність обліку довжини ділянки при визначенні її пропускної спроможності, як такої інтенсивності руху, при якій на ділянці забезпечуються задані на певному рівні якості умови руху транспортних засобів. Як основний показник, що відображає ці умови, запропоновано використовувати швидкість вільного руху, яка відображає переваги водіїв у транспортному потоці.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, закон розподілу швидкості, інтенсивність руху, пропускна спроможність, смуга руху, транспортний потік.

**Вступ.** Основою для розрахунків у математичних моделях багатьох об'єктів зі сфери організації дорожнього руху (ОДР) нині є пропускна спроможність (ПС) смуги руху (СР) на автомобільних дорогах (АД) або міських вулицях. На її основі визначається потрібна потужність проєктованих транспортних об'єктів, моделюються процеси функціонування транспортних мереж, прогнозуються транспортні потоки (ТП) на мережі, оцінюється вартість поїздок тощо.

Значення ПССР є визначальним для оцінки обсягу інвестицій у будівництво АД і, враховуючи виключно високу вартість такого будівництва, значимість правильних орієнтирів з ПС СР, для виконання розрахунків на етапі проєктування складно переоцінити. Для розрахунку параметрів АД, що проєктуються, необхідно мати надійну оцінку ПС, яка відображає суттєві особливості процесу дорожнього руху (ДР), чого існуючий рівень знань у цій сфері поки що не забезпечує.

Нині найчастіше використовуються значення ПС СР, які наводяться у нормативній літературі, як вітчизняної [5], так і іноземної [7, 9]. Більшістю інженерів вони сприймаються як цілком прийнятні, проте їх порівняння з фактичною інтенсивністю руху на АД у різних місцях та багатьох країнах показує, що інтенсивність ТП у багатьох випадках перевищує нормативну ПС СР [4].

У цьому не було нічого незвичайного, якби під ПС СР не розумілася би максимально можлива кількість транспортних засобів (ТЗ), яка може пройти через поперечний переріз смуги АД за одиницю часу [4]. При такому її визначенні, випадки перевищення фактичної інтенсивності ТП пропускної спроможності СР, безумовно, викликають сумніви у правильності як нормативних значень ПС, так й власне самого визначення.

Це вимагає проведення досліджень ПС СР на об'єкті, який допоможе висвітлити специфічні особливості процесу обслуговування учасників руху автомобільними дорогами.

**Огляд існуючих підходів до оцінки ПС АД.** Хоча деякі вчені намагались пояснити випадки невідповідності загальноприйнятого визначення ПС реальним даним, або хоча б надати їм сенсу, в основному вони сходяться до того, що це стани, в яких скупчення ТЗ заважає їх нормальному руху, тобто зменшує швидкість руху (ШР).

Однак, при фіксації на автомагістралях США та Австралії значень інтенсивності ТП, що перевищують 2000 од./год [7, 9], жодного скорочення (ШР) ТЗ не відзначалося. Тобто умови руху там не були занадто ускладнені, що не свідчить про подолання проблеми суперечливості визначення ПС.

Добре вивченою величиною, яка пройшла багаторазову практичну перевірку, є потік насичення, тобто ПС СР на регульованому перехресті. Зараз загальним консенсусом для руху ТЗ в нормальних умовах, є значення потоку насичення у 1900 од./год, що відображено в багатьох нормативних документах різних країн, наприклад, [10]. Така визначеність обумовлена циклічним характером руху ТЗ на регульованих перехрестях і простотою фіксації їх кількості, яка залишає перехрестя протягом дозволяючого сигналу світлофора. Завдяки цьому завжди можна отримати достатньо велику кількість значень інтенсивності роз'їзду автомобілів на перехресті. Це дозволяє отримувати статистично надійні оцінки потоку насичення, за наявності не пустої черги ТЗ перед перехрестям наприкінці дозволяючого сигналу, а черга ТЗ забезпечує наявність максимально щільного потоку на під'їзді до перехрестя, що відповідає умовам, за яких оцінюється ПС СР.

Інша справа – ділянка АД з однаковими умовами руху по ній, на яку не накладається інших обмежень. Тут можна зафіксувати лише кількість ТЗ, які проїхали ділянкою за деякий період часу, що найчастіше робиться в якійсь одній її точці. При цьому спеціальні засоби забезпечення щільного потоку, такі як світлофор на регульованому перехресті, на ділянці АД відсутні, виходячи з умови сталості його характеристик по всій довжині. А така умова є очевидною априорі, оскільки різні транспортні характеристики ділянки, також означатимуть і різну ПС на її довжині.

У посібнику [7] при розгляді міських вулично-дорожніх мереж сформульовано положення про те, що ПС вулиці визначається ПС регульованих перехресть, які на ній знаходяться. Щодо цілої вулиці, як елемента міської транспортної мережі, це твердження не викликає жодного сумніву. Але якщо від міської вулиці перейти до ділянки вулично-дорожньої мережі, яка має однакоє значення, як у містах, так і за їх межами, то це поняття необхідно уточнити. У роботі [1] таке уточнення зроблено, для тих самих міських умов – ділянкою вулиці (дороги) необхідно вважати перегін між двома перехрестями чи іншими місцями зміни характеристик фрагмента транспортної мережі.

Тоді виходить, що кожна ділянка дороги в переважній більшості випадків починається з перехрестя або іншого джерела руху, інтенсивність ТП через які дуже далека від ПС АД через переривчастий характер обслуговування або з інших причин. Тобто навантаження на ділянку, близьку до ПС, не виникає автоматично. На наш погляд, високе навантаження на ділянку АД може з'являтися лише як результат поступового наповнення нещільного ТП попутними автомобілями. Такі процеси характерні для міжміських АД, що проходять, у тому числі, і по міських територіях. На таких ділянках АД зазвичай існують численні бічні примикання (рампи) другорядних доріг, які не змінюють транспортних характеристик АД, проте забезпечують притік додаткових ТЗ на неї (як і відтік ТЗ з неї) протягом ділянки або АД в цілому. ТЗ, що прибувають на АД, ущільнюють ТП при русі до великого центру тяжіння поїздок, найчастіше – великого міста. За відсутності на дорозі перешкод руху, які змінюють ШР ТП, такі умови можуть приводити до поступового наближення інтенсивності ТП до ПС СР і АД загалом.

Цим можна пояснити появу в [7, 9] значення інтенсивності руху значно вище 2000 од./год. на СР, з максимумом у 5301 од./год. на двосмуговій АД. Жоден керівний документ у світі не дає таких значень ПС СР. Більш високі значення можна знайти в іноземній літературі, наприклад – 2300 од./год [8], але тут вони відразу ж визнаються теоретичними, оскільки рідко досягаються в практиці і є нестійкими у разі їх реалізації.

Такий рівень формалізації поняття ПС ділянки АД чи СР не можна вважати задовільним [3], що зумовлює доцільність найретельнішого вивчення самого поняття ПС, розпочати що необхідно з найпростішого об'єкта – одної СР.

У роботі [4] авторами було запропоновано одне з можливих пояснень значних коливань фактичної інтенсивності ТП та невідповідності їм ПС СР – індивідуальна поведінка водіїв, які обирають дистанцію до наступного перед ним ТЗ відповідно до своїх уявлень про комфорт та безпеку руху. Завдяки цьому було розроблено інструмент для опису індивідуальної поведінки водіїв через закон розподілу мінімальної дистанції у щільному потоці заданої швидкості. Однак у роботі [4] не розглядалися питання власне виникнення та формування ТП і не ставилася мета отримання конкретного значення ПС СР.

Ще одне питання, яке не знайшло відображення в роботі [4] є той факт, що насправді водії не дотримуються, певної загальної швидкості ТП, так як зовсім не зобов'язані цього робити, і тому зазвичай і ШР ТЗ також є випадковою величиною. Докладний аналіз цих закономірностей можна знайти у роботі [2], присвячених вивченню ШР у складних – міських умовах руху. Список перелічених в них джерел з емпіричним підтвердженням нормальності ШР в них дуже широкий. Настільки багаторазове і різнобічне не спростування гіпотези про нормальність ШР ТЗ на міжміських АД може вважатися її практичним підтвердженням, яке вимагає свого врахування при оцінці ПС СР.

**Метою дослідження** є визначення об'єктивних властивостей АД з точки зору їх ПС та формування нового її поняття, яке повною мірою відобразить ці властивості на основі прогнозу параметрів ТП на виході з ділянки СР без можливості здійснення на ній обгонів.

**Постановка задачі.** Роль об'єкту дослідження має виконувати ділянка односмугової СР з рухом ТЗ без обгонів, яка з одного боку є найпростішою дорожньою спорудою, а з іншого – надає мінімальні можливості для маневрів учасникам руху. Такі умови в реальному житті зустрічаються не дуже часто, наприклад, на мостах чи в тунелях. Вони також можуть тимчасово виникати на звичайних АД при ДТП або ремонтах проїзної частини, а на двосмугових дорогах із зустрічним рухом ще можуть з'являтися в періоди пікових навантажень, коли зустрічний потік не дає можливості для обгонів. Але ці, нехай і рідкі умови, створюють найкращу основу для розуміння процесів, які відбуваються на АД, з точки зору ПС СР.

Під СР слід розуміти еталонну смугу, характеристики якої наведені, зокрема, в [4], але з винятком – ця смуга має мати кінцеву, а не нескінченну, як і в стандартному варіанті, довжину. Такий виняток доцільно зробити на самому початку дослідження, щоб в результаті отримати саме ПС ділянки СР з однаковими умовами руху, а не ПС поперечного перерізу СР. Виходячи з мети руху його учасників – мінімізації часу поїздки, саме така ПС цікава з інженерного погляду тому, що важливим тут є час подолання якогось фрагмента дорожньої мережі, а не перерізу АД.

Не менш цікавою ПС ділянки СР є і з наукової точки зору, оскільки потенційно може розширити поняття ПС на задану довжину ділянки, в якій переріз смуги або дороги є просто окремим випадком, з нульовою довжиною відрізка. Ця відмова від актуалізації нескінченності для довжини еталонної смуги вимагає натомість інших абстракцій, пов'язаних з обраною водіями ШР. Але для отримання аналітичної оцінки ПС СР априорі потрібен високий рівень абстрагування, тому така заміна є природною частиною процесу моделювання об'єкту дослідження.

З практичної точки зору, коли розрахункові формули невідомі, визначити ПС будь-якого об'єкта (приладу), в якому здійснюється якесь обслуговування заявок, можна, якщо подати на його вхід надлишкове навантаження. Тоді ПС приладу дорівнює інтенсивності потоку заявок на виході з нього. Саме так розраховується потік насичення, за наявності черги ТЗ перед перехрестям, що відбиває наявність надлишкового навантаження на напрямок. Така сама ситуація, з надлишковим навантаженням (всі лінії обслуговування постійно зайняті), використовують у теорії масового обслуговування, для максимізації ПС багатолінійної системи, шляхом вибору оптимальної дисципліни обслуговування [6]. Метод створення на вході в об'єкт надлишкового навантаження також є ефективним засобом експериментальної перевірки теоретичних моделей.

Але цей метод працює лише за умови, що надлишкове навантаження на вході в прилад не змінює звичайну тривалість обслуговування заявок. Тобто надлишкове навантаження не створює на вході додаткових затримок, пов'язаних як із початком, так і власне із самим процесом обслуговування заявки.

Така умова в реальних обставинах, що існують на АД або СР, не може бути виконана, оскільки надмірне навантаження на транспортну інфраструктуру в процесах ДР завжди призводить до зниження ШР ТЗ і, відповідно, до збільшення тривалості їх обслуговування. Насправді, надлишкове навантаження на вході в СР завжди означає наявність черги з повільних ТЗ і це не відповідає умовам руху, які настають після в'їзду на ділянку, де швидкість може бути значно вищою, ніж у «вузькому місці».

Тобто виходить, що через фактичні властивості ТП неможливо провести реальний експеримент для перевірки існуючих моделей ПС СР. Але сам спосіб подачі надлишкового навантаження на вході в СР можна використовувати як базу для побудови аналітичної моделі ПС СР, припустивши, що існування умов руху, при яких на вході в ділянку СР є щільний потік ТЗ, все-таки можливо.

Основними параметрами ТП, з погляду на його щільність, є ШР ТЗ у ньому і дистанція між суміжними ТЗ. Щільний ТП виникає тоді, коли кожен водій у потоці, у будь-який момент часу, для поточної ШР його ТЗ, дотримується мінімально припустимої, з його точки зору, дистанції до ТЗ який рухається перед ним. Оскільки кожен водій має власні уявлення про безпеку руху, мінімальна дистанція априорі є випадковою величиною. Тому на стадії обчислень розумним виглядає припущення, зроблене в [4], про можливість її опису якимось законом розподілу з параметрами, що залежать від ШР.

Швидкість проїзду через переріз СР на самому початку ділянки, яка розглядається, буде вважатися, що повністю визначається водієм ТЗ. При русі ділянкою СР, бажана для водія ШР залишається незмінною, але вибір фактичної швидкості обмежується неможливістю обгону передніх ТЗ. Відповідно до накопичених у вільних умовах руху спостереженнями, швидкість руху, що вибирається водіями різних ТЗ, розподіляється нормально, в межах між  $V_{min}$  і  $V_{max}$ . При цьому обов'язковою є умова, що водії проїжджають вхідний переріз ділянки СР з мінімальною дистанцією до переднього ТЗ та на бажаній ШР. Виконання таких умов означатиме, що на вході в ділянку СР без обгонів створено максимально щільний потік.

При визначенні ПС можливий пошук відповіді на два питання: скільки заявок обслуговується об'єктом за заданий проміжок часу або за який час буде обслуговано задану кількість заявок? У сфері ОДР зазвичай використовується перший підхід, проте у цій роботі доцільно використовувати другий, вважаючи при цьому, що інтенсивність вхідного потоку є постійною величиною.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Відповідно до прийнятої постановки задачі, припустимо, що на СР розташовані два вертикальні зрізи на відстані  $L$  один від одного – на початку та наприкінці ділянки СР з однаковими характеристиками по всій довжині. На першому з них, у напрямку руху ТП, спостерігається щільний потік ТЗ, в якому кожен ТЗ перетинає перший зріз з бажаною для його водія швидкістю і на мінімально прийнятній для водія дистанції  $d_i$  до наступного автомобіля. Разом із довжиною ТЗ, дистанція  $d_i$  складає його динамічний габарит

$$D_i = l_i + d_i, \quad (1)$$

де  $l_i$  – довжина ТЗ.

Величина  $D_i$  через наявність у ній дистанції  $d_i$  є функцією швидкості  $V_i$ , але обидві ці величини повністю визначаються водієм ТЗ і, відповідно, є для нього константами. Необхідно визначити ПС ділянки СР довжиною  $L$ , якщо для кожного водія в аналізованому ТП вважати величини  $D_i$  і  $V_i$  заданими.

Для цього потрібно оцінити час подолання ділянки групою з  $N$  ТЗ, що позначається як  $T$ . Цей час дорівнюватиме різниці між моментом виїзду з ділянки останнього ТЗ групи,  $i=N$ , і моментом в'їзду на ділянку першого ТЗ,  $i=1$ .

Відповідно до прийнятої постановки задачі, із щільним потоком на вході в ділянку, після проїзду повз перший зріз з бажаною ШР і на мінімально допустимій дистанції до переднього ТЗ, водій продовжує рух ділянкою до другого зрізу з тією ж ШР, якщо його швидкість менша ніж швидкість переднього ТЗ. В іншому випадку він знижує швидкість до ШР переднього ТЗ і приймає відповідну цій швидкості мінімально прийнятну дистанцію до лідера.

Для ТЗ, повільніших, ніж попередній ТЗ, які до кінця ділянки постійно відстають від лідера, дистанція до нього перстає бути мінімально прийнятною на самому початку ділянки і збільшується до самого її кінця. Тобто, за наявності різних побажань стосовно ШР серед водіїв, у загальному випадку потік по ділянці вже не буде щільним. Це означає, що тривалість проїзду всієї групи ТЗ повз другий зріз буде більшою, ніж повз перший, а це означає, що виїзд з ділянки СР має меншу ПС, ніж її в'їзд.

Кількість розривів між ТЗ у ТП визначатиметься перевагами водіїв та порядком розташування ТЗ у потоці. Порядок розташування ТЗ у реальній ситуації є випадковим, що робить завдання оцінки часу подолання ділянки всією групою дуже непростою. Тому спочатку доцільно розглянути лише крайні випадки розташування ТЗ у групі, коли вони йдуть через ділянку в порядку спадання ШР

$$V_N(V_{min}) \dots \leq V_i \leq V_{i-1} \leq \dots \leq V_1(V_{max}), \quad (2)$$

або зростання

$$V_N(V_{\max}) \dots \geq V_i \geq V_{i-1} \geq \dots V_1(V_{\min}) \quad (3)$$

бажаної ШР.

У першому випадку жоден водій не змінює ШР протягом усієї ділянки. Загальний час  $T_{\downarrow}$  подолання ділянки групою з  $N$  ТЗ дорівнюватиме сумі часу їх щільного проїзду повз перший зріз, часу прибуття останнього ТЗ у групі до другого зрізу, на виході з ділянки, та часу його проїзду повз цей зріз:

$$T_{\downarrow} = \sum_{i=1}^N \frac{D_i}{V_i \leq V_{i-1}} + \frac{L}{V_{\min}} + \frac{D_{N\downarrow}}{V_{\min}}. \quad (4)$$

У другому випадку, у всій групі лише один, перший водій не змінює ШР протягом усієї ділянки. Всі інші водії, після проїзду першого зрізу, змушені знижувати швидкість до  $V_{\min}$  та загальний час  $T_{\uparrow}$  подолання ділянки групою з  $N$  ТЗ у порядку (3), дорівнюватиме сумі часу їх щільного проїзду повз перший зріз і часу прибуття останнього ТЗ у групі до другого зрізу, на виході з ділянки:

$$T_{\uparrow} = \sum_{i=1}^N \frac{D_i}{V_i \geq V_{i-1}} + \frac{L}{V_{\min}} + \frac{D_{N\uparrow}}{V_{\min}}. \quad (5)$$

Виходячи з умов проїзду першого зрізу всіма ТЗ у складі щільного потоку, на бажаній швидкості та з мінімально прийнятною дистанцією, перші доданки формул (4) і (5) будуть рівні між собою:

$$\sum_{i=1}^N \frac{D_i}{V_i \leq V_{i-1}} = \sum_{i=1}^N \frac{D_i}{V_i \geq V_{i-1}} = \sum_{i=1}^N \frac{D_i}{V_i}. \quad (6)$$

Другі доданки у формулах (4) і (5) також однакові, а щодо третіх доданків, то різниця між ними міститься тільки в чисельнику. Так як під номером у першому та другому випадках йдуть різні ТЗ, то в загальному випадку  $D_{N\downarrow} \neq D_{N\uparrow}$ . Однак реальна довжина ділянки значно більша за довжину будь-якого ТЗ у групі і ця різниця не може бути суттєвою. Нею можна знехтувати без будь-якої помітної втрати спільності результатів, а чисельник останнього доданку замінити на середній динамічний габарит ТЗ групи. Тоді виходить, що час подолання ділянки групою ТЗ є практично однаковим для умов (2) і (3)

$$T_{\downarrow} \approx T_{\uparrow} \Rightarrow T \approx const. \quad (7)$$

Це обумовлене неможливістю здійснення обгонів на ділянці СР, через що в процесі руху нею формуються пачки ТЗ з однаковою ШР в них. При цьому швидкість кожної наступної пачки нижча, ніж попередньої, а ШР останньої завжди дорівнює  $V_{\min}$ . У крайніх випадках (2) та (3), ці пачки протилежні за своїм складом, а у всіх інших випадках пачки прийматимуть якісь проміжні стани, але повний час проїзду всієї групи залишиться незмінним у всіх випадках і є постійним для кожного набору ТЗ. Відповідно і ПС ділянки СР, для заданих умов не залежить від порядку проходження ТЗ в пачці. Вона визначається лише бажаннями водіїв ТЗ у ній і дорівнює

$$\bar{I} C = \frac{N}{T}. \quad (8)$$

З врахуванням попередніх міркувань щодо різниці в габаритах ТЗ відносно довжини ділянки можливо записати остаточну модель ПС СР без обгонів:

$$\bar{I} C = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \frac{D_i}{V_i} + \frac{L}{V_{\min}} + \frac{\bar{D}}{V_{\min}}}, \quad (9)$$

де  $\bar{D}$  – середній динамічний габарит ТЗ у групі.

Для її використання потрібно задати характеристики кожного ТЗ в аналізованому потоці,  $D_i$  і  $V_i$  для обмеженого набору з  $N$  ТЗ. Від (9) можна перейти до безперервного випадку, якщо задати функції розподілу для  $D$  і  $V$ .

Модель (9) є узагальненням поняття ПС поперечного перерізу СР, яке використовується для опису властивостей ділянки СР в цілому. Вона враховує довжину ділянки, що оцінюється, і не залежить від порядку прямування ТЗ в потоці, а визначається тільки його складом.

Остання властивість об'єктивно властива аналізованому об'єкту, але вона вказує на серйозний недолік, який існує у звичайного способу визначення ПС СР, як максимальної кількості ТЗ, яка може бути обслуговувана смугою за певний проміжок часу. Цей недолік полягає в тому, що за однієї і тієї ж ПС, якість обслуговування учасників руху може бути різною.

Найвищим рівнем якості обслуговування водіїв на ділянці доцільно вважати можливість її подолання на бажаній ШР. До цього критерію, напевно, можна додати й інші фактори, але основна мета водіїв при здійсненні більшості поїздок – це мінімізація часу пересування, при дотриманні обмежень на безпеку та комфорт руху,

з урахуванням чинних правил та характеристик ТЗ, дорожніх та погодних умов. Всі ці, дуже різноманітні, цілі зважуються водієм при виборі найбільш підходящої для нього ШР, тому вона є комплексним показником, який максимально повно відображає якість руху по ділянці для водіїв.

Якщо повернутися до різних випадків упорядкування ТП, то у разі зменшення швидкостей, всі водії з групи обслуговуються на найвищому рівні, оскільки вони долають ділянку на бажаній ними ШР. У разі зростання швидкості, ситуація прямо протилежна – тільки один водій із групи може вважати хорошими умови проїзду ділянкою СР без обгонів. Це водій ТЗ, що йде з мінімальною ШР, а так як такий ТЗ буде присутнім у будь-якому варіанті прямування обмеженого ТП вздовж СР без обгонів, ця ситуація визначає найгірший рівень якості обслуговування водіїв.

Тобто, за однієї і тієї ж ПС, ділянка СР забезпечує протилежні умови руху, які визначаються виключно властивостями ТП. Така ситуація залишиться актуальною, навіть якщо зняти обмеження щодо обгону – вона просто пом'якшиться і перестане бути такою екстремальною. Тому при оцінці ПС необхідно використовувати інші показники, які максимально відображають умови руху на ділянці, з точки зору водіїв ТЗ. А так як процеси, що відбуваються на автошляхах при русі ТП, априорі носять випадковий характер, описувати умови руху необхідно прийнятими в теорії ймовірності індикаторами, спираючись на такі показники, як час поїздки і швидкість руху по ділянці.

**Висновки.** Значення ПС СР, що використовуються в сучасній інженерній практиці не відповідають максимальній інтенсивності ТП на АД, зафіксованій у багатьох випадках у різних місцях і країнах, що свідчить про необхідність розробки нового підходу до її визначення.

Застосований підхід з ідеалізованим створенням щільного потоку на вході до ділянки СР без обгонів дозволив одержати аналітичну модель для оцінки її ПС, яка узагальнює поняття ПС поперечного перерізу СР, що зараз використовується для опису властивостей ділянок в цілому. Отримана залежність дозволяє врахувати довжину ділянки, що оцінюється, не залежить від порядку прямування ТЗ в потоці, а визначається тільки його складом.

Під ПС ділянки СР слід розуміти таку інтенсивність руху, коли для учасників ТП забезпечуються такі умови руху протягом усієї ділянки, що перевищують задані на певному рівні. Як основний показник, що відображає умови руху ТП по ділянці, доцільно використовувати швидкість вільного руху, яка відображає бажання водіїв ТЗ.

Практична неможливість створити на вході в ділянку СР щільний потік ТЗ, що рухаються з різними ШР, які відповідають бажанням водіїв, диктує необхідність продовжити аналіз умов руху на СР без обгонів з найпростішим ТП на вході. Такий аналіз дозволить отримати більш загальні оцінки ПС СР та сформулювати основи для проведення розширених досліджень, аж до багатосмугових АД.

#### Список використаних джерел

1. Ву Д. М., Горбачов П. Ф., Колій О. С., Свічинський С. В. Розподіл по-токів індивідуального автотранспорту в міських мережах на основі затримок на перехрестях. *Автомобільний транспорт*. 2020. № 46. С. 47–62.
2. Горбачов П. Ф., Ву Д. М., Штанько І. І. Закономірності розподілу швидкості руху транспортних засобів на міських вулицях. *Сучасні інформаційні системи* : зб. наук. пр. / НТУ ХП. Харків, 2020. Т. 4. С. 163–169.
3. Запорожцева О. В. Удосконалення принципів визначення пропускної спроможності багатосмугових автомагістралей : дис. ...канд. техн. наук : М-во освіти і науки України, ХНАДУ. Харків, 2016. 23 с.
4. Наглюк І. С., Макарічев О. В., Горбачов П. Ф., Горбачова О. О. Визначення пропускної спроможності смуги руху на автомобільних дорогах і міських вулицях. *Автомобільний транспорт*. 2018. № 42. С. 89–97.
5. Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів : ДБН В.2.-3-5-2001. [Чинний від 2001-10-01]. Київ: Держбуд України, 2001. 51 с. (Державні будівельні норми України).
6. A Course in Probability Theory, Third Edition / Kai Lai Chung – Academic Press; 3rd edition, 2020. 419 p.
7. Highway Capacity Manual. TRB, National Research Council, Washington, D. C., 2000. 1207 P.
8. Morgante M. Motorway design guide. Capacity and flow analysis. NSW Government, Roads and Maritime Services. 2017. 58 P. URL: <https://roads-waterways.transport.nsw.gov.au/business-industry/partners-suppliers/documents/motorway-design/motorway-design-guide-capacity-flow-analysis.pdf>.
9. NSW Roads and Traffic Authority "Traffic Volume Data for Sydney Region 1999 : Volume 1", RTA Traffic and Transport Directorate, Sydney 2000. 639 p.
10. TRB, 2010. Highway Capacity Manual, Washington : National Research Council. Washington, D. C., 2010. 1650 P.

#### Horbachov P. F.

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of the Department of Transport Systems and Logistics,  
Kharkiv National Automobile and Highway University  
Kharkiv, Ukraine

E-mail: [gorbachov.pf@gmail.com](mailto:gorbachov.pf@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-8180-4072

**Pronin S. V.**

*PhD in Engineering, Associate Professor,  
Associate Professor of the Department of Computer Systems,  
Kharkiv National Automobile and Highway University  
Kharkiv, Ukraine*

**E-mail:** sergiy9977@ukr.net  
**ORCID:** 0000-0002-7475-621X

**Chyzhyk V. M.**

*Candidate of technical sciences,  
Assistant of the Department of Transport Systems and Logistics,  
Kharkiv National Automobile and Highway University  
Kharkiv, Ukraine*

**E-mail:** chyzhyk88@gmail.com  
**ORCID:** 0000-0003-0518-5246

**Tokmylenko T. T.**

*Senior Lecturer at the Department of Transport Systems and Logistics,  
Kharkiv National Automobile and Highway University  
Kharkiv, Ukraine*

**E-mail:** tetyana@tokmylenko.com  
**ORCID:** 0009-0006-2542-1452

## RESEARCH OF THE TRAFFIC CAPACITY OF A HIGHWAY LANE WHEN DRIVING WITHOUT OVERTAKING

### Abstracts

*The study of the conditions that arise when a group of cars moves along a lane without overtaking has shown that the generally accepted definition of capacity as the maximum possible number of vehicles that can pass through the cross-section of a roadway lane per unit of time is not sufficiently informative. This leads to the fact that the actual intensity of traffic flows exceeds the capacity on many sections of highways in different countries, which should not be the case, based on its wording. In this form, this indicator also does not reflect the quality of service for road users on the section, the achievement of a high level of which is the main purpose of the creation and operation of highways.*

*Using the method of idealization, it is shown that the total time for a dense group of vehicles to overcome a certain single-lane section of a highway of non-zero length without overtaking and overtaking, which begins when the first vehicle of the group crosses the beginning of the section and ends when the last of them crosses the beginning of the section, depends only on the speed of the slowest member of the group. It is assumed that in free conditions these vehicles would move at different speeds chosen by each driver individually, based on the technical characteristics of the vehicle, road conditions and their own wishes, which is fully consistent with the real traffic conditions on road sections in many countries where the relevant studies were conducted.*

*The paper substantiates the need to take into account the length of the section when determining its capacity, as the traffic intensity at which the traffic conditions set at a certain level of quality are ensured on the section. As the main indicator that reflects these conditions, it is proposed to use the free movement speed, which reflects the preferences of drivers in the traffic flow.*

**Key words:** highway, law of speed distribution, traffic intensity, capacity, traffic lane, traffic flow.

### References

1. Vu, D.M., Horbachov, P.F., Koli, O.S., & Svichynskyi, S.V. (2020). Rozpodil potokiv individualnoho avtotransportu v miskykh merezhakh na osnovi zatrymok na perekhrestyakh [Distribution of individual vehicle flows in urban networks based on delays at intersections]. D.M. Vu (Eds.), *Avtomobilnyi transport – Automobile transportation*, 46, 47–62 [in Ukrainian].
2. Horbachov, P.F. Vu, D.M., & Shtanko, I.I. (2020). Zakonomirnosti rozpodilu shvydkosti rukhu transportnykh zasobiv na miskykh vulytsiakh [Distribution patterns of vehicle speeds on city streets]. P.F. Horbachov (Eds.), *Suchasni informatsiini systemy – Modern information systems*, Vols 4, 163–169 [in Ukrainian].
3. Zaporozhtseva, O.V. (2016) Udoskonalennia pryntsyypiv vyznachennia propusknoi spromozhnosti bahatosmuhovykh avtomahistranei [Improving the principles of determining the capacity of multi-lane highways]. *Candidate's thesis*. Kharkiv : KHNADU [in Ukrainian].
4. Nahliuk, I.S., Makarichev, O.V., Horbachov, P.F., & Horbachova, O.O. (2018). Vyznachennia propusknoi spromozhnosti smuhy rukhu na avtomobilnykh dorohakh i miskykh vulytsiakh [Determination of lane capacity on highways and city streets]. I.S. Nahliuk (Eds.), *Avtomobilnyi transport – Automobile transportation*, 42, 89–97 [in Ukrainian].
5. Sporudy transportu. Vulytsi ta dorohy naselenykh punktiv [Transportation facilities. Streets and roads of settlements]. (2001). DBN V.2.-3-5-2001 from 10 January 2001. Kyiv: Derzhbud Ukraine [in Ukrainian].
6. A Course in Probability Theory, Third Edition / Kai Lai Chung – Academic Press; 3rd edition, 2020. 419 p.
7. Highway Capacity Manual. TRB, National Research Council, Washington, D. C., 2000. 1207 P.

8. Morgante M. Motorway design guide. Capacity and flow analysis. *NSW Government, Roads and Maritime Services*. 2017. 58 P. Retrieved from: <https://roads-waterways.transport.nsw.gov.au/business-industry/partners-suppliers/documents/motorway-design/motorway-design-guide-capacity-flow-analysis.pdf>.
9. NSW Roads and Traffic Authority «Traffic Volume Data for Sydney Region 1999 : Volume 1», RTA Traffic and Transport Directorate, Sydney 2000. 639 p.
10. TRB, 2010. Highway Capacity Manual, Washington : National Research Council. Washington, D. C., 2010. 1650 P.