

УДК 629.1-46

doi:10.20998/2413-4295.2021.01.08

РОЗРАХУНОК ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ АВТОМОБІЛЬНОГО ПОТОКУ НА ТРАНСПОРТНІЙ РОЗВ'ЯЗЦІ

О. О. СОЛАРЬОВ^{1*}, М. О. МІКУЛІНА², О. В. ТАЦЕНКО²

¹кафедра тракторів, сільськогосподарських машин та транспортних технологій, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, УКРАЇНА

² кафедра експлуатації техніки, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, УКРАЇНА

*e-mail: lmcspan@i.ua.

АНОТАЦІЯ Пропускна здатність ділянки дороги є ключовим елементом та залежить від багатьох факторів, таких як: ширина проїжджої частини, допустимої видимості, уклонів, радіусів поворотів, складу автомобілів, можливості маневрів та конструкції автомобілів. Розвиток автомобілебудування призводить до покращення експлуатаційних можливостей автомобілів та покращенню показників пропускної здатності. Зміна усіх цих складових призводить до зміни пропускної здатності. Склад транспортного потоку під час розрахунку пропускної здатності є одним з ключових факторів. Рухомий транспортний потік характеризується складом в ньому різних (за віком та призначенням) транспортних засобів. Склад транспортного потоку відображається в процентному відношенні. Отримання та аналіз алгоритму визначення пропускної здатності транспортного потоку на певній ділянці дороги (розв'язці). Зроблено аналіз існуючого стану автомобіле-використання в Україні та вибір оптимального алгоритму для отримання реальних даних потоку на ділянці дороги. Основною задачею інженера під час проектування певної ділянки дороги є забезпечення максимальної пропускної здатності ділянки дороги. Максимальна пропускна здатність досягається шляхом покращення дорожнього покриття, розширення дорожнього полотна (збільшення кількості рухомих смуг та встановленні відповідних знаків), виділення реверсивних смуг руху та встановлення реверсивних світлофорів. Під час розрахунку пропускної здатності необхідно враховувати характеризуючий взаємозв'язок між автомобілями у потоці в різних дорожніх умовах. Інтервали між автомобілями в потоці можуть змінюватися навіть при високій інтенсивності руху, що в свою чергу досить коректує показник пропускної здатності. Досить суттєво інтервали змінюються при появі у потоці вантажних автомобілів, спец техніки, або автобусів.

Ключові слова: автомобільний потік; пропускна здатність; транспортний потік; транспортна розв'язка

CALCULATION OF CAR TRAFFIC CAPACITY AT THE CROSSROAD

O. SOLAROV, M. MIKULINA², O. TATSENKO²

¹Department of Tractors, Agricultural Machinery and Transport Technologies, Sumy National Agrarian University, Sumy, UKRAINE.

² Department of Engineering Operation, Sumy National Agrarian University, Sumy, UKRAINE.

ABSTRACT The capacity of a road section depends on many factors, such as the width of the carriageway, the permissible visibility, the slopes, the turning radii, the composition of the cars, the maneuverability and the design of the cars. The development of the automotive industry leads to improved performance of cars and improved throughput. Changing all of these components changes the bandwidth. When the capacity is calculating the composition of the traffic flow became one of the key factors. Mobile traffic is characterized by the composition of different (by age and purpose) vehicles. The composition of the traffic flow is displayed as a percentage. Obtaining and analyzing the algorithm for determining the capacity of traffic flow on a particular section of road (interchange). The analyze of the current state of car use in Ukraine and select the optimal algorithm for obtaining real flow data on the road section was made. The main task of the engineer during the design of a certain section of the road is to ensure the maximum capacity of the road section. Maximum throughput is achieved by improving the road surface, widening the roadway (increasing the number of lanes and installing appropriate signs), allocating reversing lanes and installing reversing traffic lights. When calculating the capacity, it is necessary to take into account when characterizing the relationship between cars in the flow in different road conditions. Intervals between cars in a stream can change even at high intensity of movement that in turn quite corrects a capacity indicator. Quite significantly, the intervals change when there is a flow of trucks, special equipment, or buses.

Keywords: car flow; bandwidth; traffic flow; traffic interchange

Вступ

Важливим завданням для інженера під час розрахунку пропускної здатності ділянки дороги є правильний вибір методики розрахунку. Існуючі методики не завжди дають змогу отримати необхідні дані пропускної здатності через свою складність, або

відсутністю важливих факторів, які саме і є ключовими.

Аналіз питання та мета роботи

Пропускна здатність автомобільних доріг залежить від багатьох факторів. У першу чергу це такі

фактори як: дорожні умови (ширина проїзної частини, покриття, місця можливих роз'їздів, необхідної видимості в зустрічному напрямі та ін.), можливого потоку автомобілів, погодно-кліматичних умов та частоти їхньої зміни, можливості утворення заторів, необхідних засобів регулювання руху та інших [1–3]. Особливу увагу слід приділити такому фактору, як можливість утворення заторів у разі дорожньо-транспортних пригод [4,5]. Так як, у сучасних реаліях кількість автомобілів у нашій країні стрімко збільшується і у результаті автомобільні дороги постійно перенасичуються транспортними засобами, які по них переміщуються. На рис. 1, 2 наведено графік збільшення кількості автомобілів на дорогах України в період з 2016 по 2020 роки та кількість проданих автомобілів за 2018–2020 рік [6,7].

Важливим фактором під час розрахунку пропускної здатності є також конструкція автомобілів та їх технічні особливості. В свою чергу розвиток технічної складової автомобілів та значно менший вік зменшує кількість відмов автомобілів та кількості дорожньо-транспортних пригод, що в свою чергу призводить до заторів на дорогах та ускладнень руху. На рис. 3. Наведено графік з кількістю автомобілів певних вікових груп. З графіка ми бачимо, що переважна кількість автомобілів близько 45 % середнього віку 20 років.

Вклад основного матеріалу

Основні фактори, які впливають на визначення пропускної здатності розв'язки це: годинна інтенсивність руху автомобілів, коефіцієнт нерівномірності розподілення інтенсивності руху, який в середньому складає 0,6. Таким чином розрахункова пропускна здатність розраховується наступним чином:

$$N_q = 0,075N_{\text{авто/добу}}; \quad (1)$$

де 0,75 – розрахунковий коефіцієнт інтенсивності руху; $N_{\text{авто/добу}}$ – середньодобова завантаженість ділянки, кількість автомобілів за добу.

Розраховуючи пропускну здатність транспортної розв'язки слід також враховувати такий фактор, як місце розташування (підйом, спуск, ділянка з обмеженою видимістю на під'їзді та інші) [8–11]. Коефіцієнт нерівномірності розподілу руху становить у межах 0,6, таким чином розрахункова годинна інтенсивність руху буде визначатися в одну та іншу сторону:

$$N_a = 0,045N_{\text{авто/добу}}; \quad (2)$$

$$N_b = 0,03N_{\text{авто/добу}}. \quad (3)$$

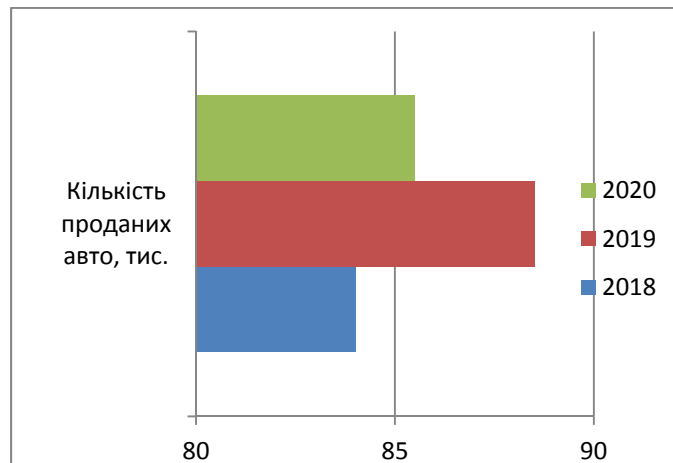


Рис. 1 – Кількість проданих авто в Україні



Рис. 2 – Тенденція збільшення автомобілів на дорогах України

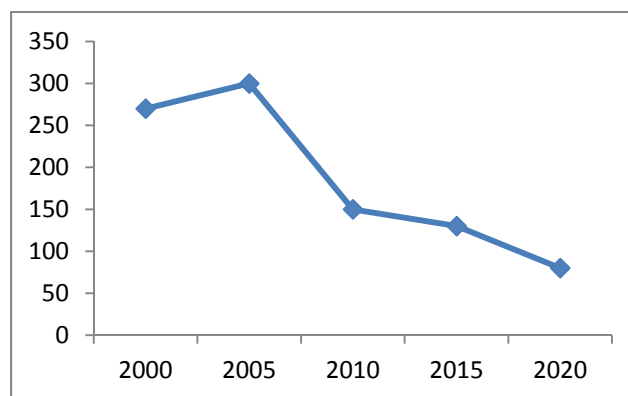


Рис. 3 – Середній вік автомобілів на території України

Важливим етапом під час проектування транспортної розв'язки та визначення її пропускної здатності є прогнозування динаміки руху на даній ділянці дороги. Цей показник необхідно обов'язково враховувати аналізуючи дані завантаження автомобільним транспортом регіону за останні 10–15 років. Закономірності зміни інтенсивності руху розраховуються наступним чином:

$$N_p = N_1 + \Delta N_i \text{ – інтенсивність по рокам.}$$

$$N_p = N_1 \left(\frac{P_n}{100} + 1 \right)^{t-1}$$
 – при зміні інтенсивності за законом геометричної прогресії.

Для доріг, які мають тенденцію до зменшення інтенсивності руху, пропускна здатність розраховується наступним чином:

$$N_p = N_1 \left(1 + 0,01(a(t-1) + \sum_{t=2}^T b(t-1)^{-1,3}) \right); \quad (4)$$

де N_1 – інтенсивність руху у першому році з вибраного періоду; P_n – середній річний приріст інтенсивності руху у відсотках; ΔN_i інтенсивність руху автомобілів за добу; T – термін перспективи; a і b – імпіричні коефіцієнти, які мають залежність від початкового темпу відносно приросту інтенсивності руху.

Важливим показником при визначенні пропускної здатності певної ділянки дороги є дистанція між автомобілями, які рухаються по ділянці дороги. Частіше всього використовують таке поняття, як «динамічний габарит» рис. 4. Динамічний габарит включає в себе різницю гальмівного шляху, який проходить автомобіль при гальмуванні, габаритні розміри (довжина бази автомобіля) [12–15]. Динамічний габарит визначається наступним чином:

$$L_d = \frac{v^2}{2} \left(\frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} \right); \quad (5)$$

де v – швидкість руху автомобілів, м/с; f_1 і f_2 – коефіцієнт максимального уповільнення руху автомобілів, м/с².

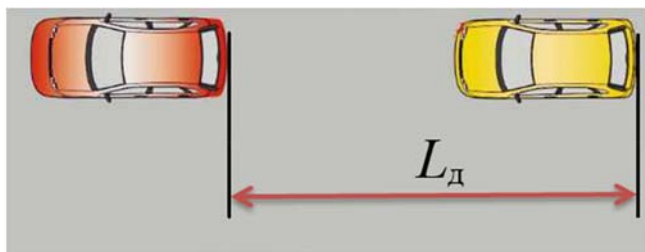


Рис. 4 – Динамічний габарит

Погодні умови є також значним фактором, що впливає на завантаженість та пропускну здатність дороги, так як, при ожеледиці дистанція між автомобілями значно збільшується і пропускна

здатність та завантаженість ділянки дороги зменшується.

Висновки та обговорення

Таким чином, на пропуску здатність впливає велика кількість факторів, найчастіше це фактори, що залежать від технічних параметрів автомобіля, дорожнього покриття та характеристики транспортного потоку. Характеристики взаємодії між автомобілями у дорожньому потоці дають дані для визначення пропускної здатності певної ділянки дороги чи розв'язки.

Основними характеристиками транспортного потоку є склад рухомого складу, інтенсивність руху, що визначаються на основі автоматизованого обліку руху автомобільного транспорту, або шляхом спостереження та підрахунку. Менш достовірними будуть результати, якщо проводити розрахунки із використанням середньодобової інтенсивності руху.

Швидкість руху є також важливим фактором, який краще визначати одним з експериментальних методів: 1) за рахунок фіксації швидкості руху спеціальної лабораторії в середині транспортного потоку; 2) спеціальних сигнальних датчиків, які закріплюються на узбіччі дороги, дослідної ділянки дороги.

Інтервал руху автомобілів у транспортному потоці визначається між передніми бамперами, або будь якими, симетричними точками на автомобілях. Саме інтервал руху це той фактор, який найбільше характеризує пропуску здатність полоси руху.

Список літератури

1. Державні будівельні норми України: Містобудування. *Планування і забудова міських і сільських поселень*. ДБН 360-92**. Київ, 2002. 140 с.
2. Державні будівельні норми України: *Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів*. ДБН В.2.3-5-2001. Київ: Держбуд України, 2001. 51 с.
3. Савенко В. Я., Губа В. В. Визначення пропускної здатності автомобільної дороги. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2013. Вип. 90. С. 210-217.
4. Михайлов А. Ю., Попова Е. Л., Гайворонский И. Л. Анализ методик расчета пропускной способности пересечений в одном уровне. *Вестник Иркутского государственного технического университета*, 2018. 22. 12 (143). С. 231-238.
5. Пугачев И. Н. *Организация и безопасность дорожного движения: Учеб. Пособие*. Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. Ун-та, 2004. 232 с.
6. Стало відомо, скільки українці витратили на імпортні авто у 2019 році. 2020. URL: <https://hromadske.ua/posts/stalo-vidomo-skilki-ukrayinci-vitratili-na-importni-avto-u-2019-roci>. (Дата звернення 27 січня 2021).
7. Названа точна кількість автомобілів в Україні та їх середній вік. 2018. URL: https://auto.24tv.ua/nazvana-tochna-kilkist-avtomobiliv-v-ukraini-ta-yikh-serednij-vik_n6262. (Дата звернення 27 січня 2021).

8. *Руководство по оценке пропускной способности автомобильных дорог.* 1982. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/8/8535/index.htm>. (Дата звернення 27 січня 2021).
9. Васильев А. П., Сиденко В. М. *Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения.* М.: Транспорт, 1990. 304 с.
10. Булавина Л. В. *Расчет пропускной способности магистралей и узлов.* Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ, 2009. 44 с.
11. Лобашов А. О. О прогнозировании скорости транспортных потоков на городских улицах. *Вестник ХГАДТУ.* Харьков : ХГАДТУ, 1999. С. 91–93.
12. Пропускная способность дороги. 2012. URL: <https://www.drivingplus.ru/driving/doroghoe-dvighenie/propusknaya-sposobnost-dorogi.html>. (Дата звернення 27 січня 2021).
13. Сильянов В. В., Домке Э. Р. *Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: учебник для студ. высш. учеб. заведений.* Москва: Издательский центр «Академия», 2009. 352 с.
14. Білятинський О. А., Заворицький В. Й., Старовойда В. П. та ін. *Проектування автомобільних доріг.* Київ: Вища школа, 1997. 528с.
15. Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. [та ін.] *Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху.* Київ : Знання України, 2007. 452 с.
16. *hosudarstvennoho tekhnicheskoho unyversyteta,* 2018, 22, 12 (143), 231-238.
17. Puhachev Y. N. *Orhanyzatsiya y bezopasnost dorozhnoho dvyzheniya: Ucheb. Posobye.* Khabarovsk. Yzd-vo Khabar. hos. tekhn. Un-ta, 2004. 232 s.
18. Stalo vidomo, skilky ukrainsi vytratyly na importni avto u 2019 rotsi. 2020. Available at: <https://hromadske.ua/posts/stalo-vidomo-skilki-ukrayinci-vitratili-na-importni-avto-u-2019-roci>. (accessed 27.01.2021).
19. Nazvana tochna kilnist avtomobiliv v Ukraini ta yikh serednii vik. 2018. Available at: https://auto.24tv.ua/nazvana-tochna-kilnist-avtomobiliv-v-ukraini-ta-yikh-serednii-vik_n6262. (accessed 27.01.2021).
20. *Rukovodstvo po otsenke propusknoi sposobnosti avtomobilnykh doroh.* 1982. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data1/8/8535/index.htm>. (accessed 27.01.2021).
21. Vasylev A. P., Sydenko V. M. *Ekspluatatsiya avtomobilnykh doroh y orhanyzatsiya dorozhnoho dvyzheniya.* M. Transport, 1990. 304 s.
22. Bulavyna L. V. *Raschet propusknoi sposobnosti mahystralei y uzlov.* Ekaterenburh. HOU VPO UHTU, 2009. 44 s.
23. Lobashov A. O. O prohozyrovanyu skorosty transportnykh potokov na horodskykh ulytsakh. *Vestnyk KhHADTU.* Kharkov, KhHADTU, 1999, 91–93.
24. Propusknaia sposobnost dorohy. 2012. Available at: <https://www.drivingplus.ru/driving/doroghoe-dvighenie/propusknaya-sposobnost-dorogi.html>. (accessed 27.01.2021).
25. Sylianov V. V., Domke E. R. *Transportno-ekspluatatsyonnye kachestva avtomobilnykh doroh y horodskykh ulyts: uchebnyk dlia stud. vissh. ucheb. zavedeniya.* Moskva. Yzdatelskiy tsentr «Akademyia», 2009. 352 s.
26. Biliatynskiy O. A., Zavorytskyi V. Y., Starovoida V. P. Et al. *Proektuvannia avtomobilnykh dorih.* Kyiv. Vyshcha shkola, 1997. 528 s.
27. Havrylov E. V., Dmytrychenko M. F., Dolia V. K. [ta in.] *Sistemolohiia na transporti. Orhanizatsiia dorozhnoho rukhu.* Kyiv. Znannia Ukrainy, 2007. 452 s.

References (transliterated)

1. Derzhavni budivelni normy Ukrainy. Mistobuduvannia. *Planuvannia i zabudova miskyykh i silskykh poselen.* DBN 360-92**. Kyiv, 2002. 140 s.
2. Derzhavni budivelni normy Ukrainy: *Sporudy transportu. Vulytsi ta dorohy naselenykh punktiv.* DBN V.2.3-5-2001. Kyiv: Derzhbud Ukrainy, 2001. 51 s.
3. Savenko V. Ya., Huba V. V. *Vyznachennia propusknoi zdatnosti avtomobilnoi dorohy. Avtomobilni dorohy i dorozhne budivnytstvo,* 2013, Vyp. 90, S. 210-217.
4. Mykhailov A. Yu., Popova E. L., Haivoronskiy Y. L. *Analyz metodyk rascheta propusknoi sposobnosti peresecheniy v odnom urovne.* *Vestnyk Yrkutskoho*

Відомості про авторів (About authors)

Соларьов Олександр Олексійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри тракторів, сільськогосподарських машин та транспортних технологій, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна, ORCID: 0000-0002-1485-0685; e-mail: lmcsan@i.ua.

Oleksandr Solarov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Tractors, Agricultural Machinery and Transport Technologies, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine, ORCID: 0000-0002-1485-0685; e-mail: lmcsan@i.ua.

Мікуліна Марина Олександрівна – кандидат економічних наук, доцент кафедри експлуатації техніки, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна, ORCID: 0000-0002-6918-5192; e-mail: marinamikulina1@ukr.net.

Маруна Мікуліна – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Operation, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine, ORCID: 0000-0002-6918-5192; e-mail: marinamikulina1@ukr.net.

Тащенко Олександр Володимирович – старший викладач кафедри експлуатації техніки, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна, ORCID: 0000-0003-1762-8219, e-mail: alexatatsenko@ukr.net.

Olexandr Tatsenko – Senior Lecturer of the Department of Equipment Operation, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine, ORCID: 0000-0003-1762-8219, e-mail: alexatatsenko@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Соларьов О. О., Мікуліна М. О., Таценко О. В. Розрахунок пропускної здатності автомобільного потоку на транспортній розв'язці. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2021. № 1 (7). С. 54-58. doi:10.20998/2413-4295.2021.01.08.

Please cite this article as:

Solarov O., Mikulina M., Tatsenko O. Calculation of car traffic capacity at the crossroad. *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*. Series: New solutions in modern technology. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2021, no. 1 (7), pp. 54-58, doi:10.20998/2413-4295.2021.01.08.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Соларев А. А., Микулина М. А., Таценко А. В. Расчет пропускной способности автомобильного потока на транспортной развязке. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2021. № 1 (7). С. 54-58. doi:10.20998/2413-4295.2021.01.08.

АННОТАЦИЯ Пропускная способность участка дороги является ключевым элементом и зависит от многих факторов, таких как: ширина проезжей части, допустимой видимости, уклонов, радиусов поворотов, состав автомобилей, возможности маневров и конструкции автомобилей. Развитие автомобилестроения приводит к улучшению эксплуатационных возможностей автомобилей и улучшению показателей пропускной способности. Изменение всех этих составляющих приводит к изменению пропускной способности. Состав транспортного потока при расчете пропускной способности является одним из ключевых факторов. Подвижной транспортный поток характеризуется составом в нем различных (по возрасту и назначению) транспортных средств. Получение и анализ алгоритма определения пропускной способности транспортного потока на определенном участке дороги (развязке). Сделан анализ существующего положения автомобиле-использования в Украине и выбор оптимального алгоритма для получения реальных данных потока на участке дороги. Основной задачей инженера при проектировании определенного участка дороги является обеспечение максимальной пропускной способности участка дороги. Максимальная пропускная способность достигается путем улучшения дорожного покрытия, расширение дорожного полотна (увеличение количества подвижных полос и установке соответствующих знаков), выделение реверсивных полос движения и установления реверсивных светофоров. При расчете пропускной способности необходимо учитывать взаимосвязь между автомобилями в потоке в различных дорожных условиях. Интервалы между автомобилями в потоке могут меняться даже при высокой интенсивности движения, что в свою очередь достаточно корректирует показатель пропускной способности. Достаточно существенно интервалы изменяются при появлении в потоке грузовых автомобилей, спецтехники, или автобусов.

Ключевые слова: автомобильный поток; пропускная способность; транспортный поток; транспортная развязка.

Надійшла (received) 19.02.2021