

УДК 625.7
UDC 625.7

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-154-162

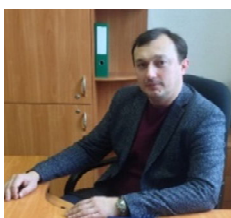
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОГОДНО-КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ НА
ПРОПУСКНУ ЗДАТНІСТЬ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ТА МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ

STUDY OF THE INFLUENCE OF WEATHER AND CLIMATE FACTORS ON THE CAPACITY
OF ROADS AND BRIDGE CROSSINGS



Савенко В'ячеслав Якович, Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: svi1310@ukr.net, тел. +380504713399

<https://orcid.org/0000-0001-8174-7728>



Бубела Андрій Володимирович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, тел. +380505535594

<https://orcid.org/0000-0002-5619-003X>



Чечуга Олександр Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: chchuga77@gmail.com, тел. +380662019442

<https://orcid.org/0000-0003-1643-6354>



Фещенко Анна Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: fanna17@ukr.net, тел. +380677441754

<https://orcid.org/0000-0002-8212-5362>



Воронцов Ярослав Сергійович, аспірант кафедри залізничної колії та колійного господарства, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, Україна, e-mail: voroncov.yaroslav@gmail.com, тел. +380932535533

<https://orcid.org/0009-0000-8178-5468>

Анотація: В роботі розглянуто основні показники пропускну здатності, які залежать від великої кількості чинників: дорожніх умов (ширини проїжджої частини, поздовжнього ухилу, радіусу кривих у плані, відстані видимості тощо), складу потоку автомобілів, можливості маневрування автомобілів по ширині проїжджої частини, психофізіологічних особливостей водіїв, особливо погодно-кліматичних умов. Визначено, що зміна з цих чинників призводить до суттєвих коливань пропускну спроможності протягом доби, місяця, сезону та року. Зниження пропускну здатності автомобільних доріг та мостових переходів призводить до збільшення концентрації дорожно-транспортних подій (ДТП) та збільшенню нещасних випадків.

Визначення пропускну здатності необхідне не тільки для виявлення ділянок, що потребують поліпшення умов руху, а й для оцінювання економічності та зручності руху всього потоку автомобілів за маршрутом, вибору ефективних засобів організації руху.

Ключові слова: автомобільна дорога, автомобільний транспорт, безпека дорожнього руху, дорожніх умови, дорожно-транспортні події (ДТП), мостовий перехід, організація руху, погодні умови, погодно-кліматичні фактори, пропускну здатність.

Вступ. Пропускну спроможність залежить від великої кількості чинників: дорожніх умов (ширини проїжджої частини, поздовжнього ухилу, радіусу кривих у плані, відстані видимості тощо), складу потоку автомобілів, наявності засобів регулювання, погодно-кліматичних умов, можливості маневрування автомобілів по ширині проїжджої частини, психофізіологічних особливостей водіїв та конструкції автомобілів. Зміна з цих чинників призводить до суттєвих коливань пропускну спроможності протягом доби, місяця, сезону та року. При частому розташуванні перешкод на дорозі відбуваються значні коливання швидкості, що призводять до появи великої кількості автомобілів, що рухаються в групах, а також зниження середньої швидкості всього потоку [1].

Пропускну спроможність автомобільних доріг найпомітніше знижується в періоди дії несприятливих погодно-кліматичних чинників: дощів, снігопадів, ожеледиці, туману тощо. Це пояснюється тим, що такі чинники суттєво впливають на стан дороги, автомобіля і водія, на взаємодію автомобіля з дорогою і сприйняття водієм дороги та навколишнього оточення. У результаті знижується швидкість, збільшуються інтервали в транспортному потоці і, як наслідок, знижується пропускну спроможність, утворюються затори і зупинки.

Тому пропускну спроможність обов'язково перевіряють для стану дороги та погодних умов у найважчі періоди року – зимовий та осінньо-весняний.

Залежно від категорії дороги та її значення, утримання, клімату району під час оцінки пропускну спроможності можуть бути прийняті такі розрахункові стани поверхні дороги.

а) Зимовий період:

1) шар пухкого снігу на покритті та узбіччях лежить тільки під час снігопаду і хуртовин у перервах між проходами снігоочисних машин;

2) проїжджа частина чиста, ущільнений сніг і лід є на прикромочних смугах, а пухкий сніг на узбіччях;

3) на проїзній частині шар щільного снігового накату, на узбіччях пухкий сніг;

4) поверхня дороги вкрита ожеледицею;

5) покриття вологе, є пухкий шар снігу і льоду, розчиненого хлоридами.

Характерні умови погоди: снігопад без вітру або з вітром швидкістю до 3 м/с, хуртовина (низова, верхова, загальна), сильний вітер.

б) Осінньо-весняний перехідний період:

- 1) уся поверхня дороги мокра, чиста;
- 2) проїжджа частина мокра, чиста, прикромочні смуги забруднені;
- 3) проїжджа частина мокра, забруднена.

Виклад основного матеріалу. Пропускну спроможність смуги руху двосмугових доріг в реальних дорожніх умовах для цілей організації руху з урахуванням їхнього стану та погодно-кліматичних умов доцільно визначати за формулою (1).

$$P = \omega a V_0 q_{max}, \quad (1)$$

де ω – коефіцієнт, що залежить від завантаження зустрічної смуги руху ($\omega = 1,3$ за малого завантаження зустрічної смуги $z \leq 0,4$; $\omega = 1$ за рівного розподілу інтенсивності по зустрічних смугах; $\omega = 0,99$ за високого завантаження зустрічної смуги $z \geq 0,4$);

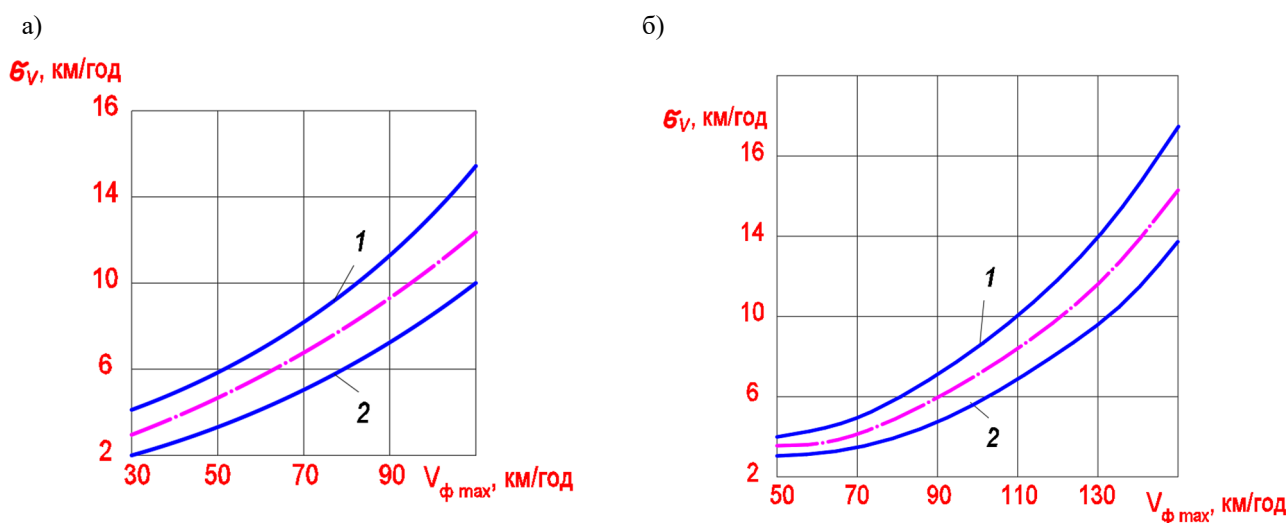
a – коефіцієнт, який залежить від дорожніх умов і типу доріг;

V_0 – швидкість руху у вільних умовах на ділянці, що розглядається, км/год;

$q_{max} = L/l$ – максимальна щільність руху на ділянці, що розглядається, авт/км;

L – довжина ділянки;

l – інтервал між автомобілями.



а – для двосмугових доріг; б – для доріг із кількістю смуг більше двох;
1 – максимальне значення; 2 – мінімальне значення.

Рисунок 1 – Залежність середньоквадратичного відхилення від максимальної швидкості.

а – for two-lane roads; б – for roads with more than two lanes;
1 – maximum value; 2 – minimum value.

Figure 1 – Dependence of the standard deviation on the maximum speed.

Середня швидкість вільного руху для розрахунку пропускної спроможності з урахуванням стану дороги та погодно-кліматичних умов може бути визначена:

$$\bar{V}_0 = V_{\phi \max} - 3\sigma_V, \quad (2)$$

або

$$V_0 = K_{p.ш} V_{e \max} - 3\sigma_V,$$

де $V_{\phi \max}$ – максимально можлива за динамічними характеристиками або умовами безпеки швидкість легкового автомобіля за розрахункових погодних умов на даному елементі дороги;

$V_{e \max}$ – максимальна швидкість за еталонних умов руху на даній ділянці дороги, але не більш як V_p , км/год;

σ_V – середнє квадратичне відхилення швидкості руху вільного транспортного потоку, км/год; приймають за даними рис. 1 для швидкості:

$$V_{\phi \max} = K_{p.c} V_{e \max}; \quad (3)$$

$$K_{p.ш} = \omega \frac{V_{\phi \max}}{V_{e \max}}, \quad (4)$$

де $K_{p.ш}$ - коефіцієнт забезпеченості розрахункової швидкості.

За еталонну приймають горизонтальну пряму ділянку з сухим, чистим, шорстким покриттям і укріпленими узбіччями. За еталонні умови погоди приймають суху літню пору, з температурою повітря 20°C, за відсутності дощу, вітру і туману.

Для спрощення розрахунків $V_{e \max}$ може бути прийнятою рівною 120 км/год, після чого весь розрахунок пропускної спроможності за несприятливих умов погоди та несприятливого стану доріг зводиться до визначення $V_{\phi \max}$ та $K_{p.ш}$.

Таблиця 1 – Коефіцієнт, що враховує вплив завантаження рухом зустрічної або попутної смуг у різних погодно-кліматичних умовах.

Table 1 – A coefficient that takes into account the impact of oncoming or passing traffic in different weather and climate conditions.

Умови	Еталонні	Нормальні	Важкі
$K_{p.ш}$	1	0,75-1,00	0,75
ω для двосмугових доріг	0,9	0,8	0,7
ω для багатосмугових доріг	0,9	0,9	0,8

Коефіцієнт a , що враховує дорожні умови та максимально можливу або максимально допустиму швидкість:

– для двосмугових доріг із зустрічним рухом:

$$a = 0,65 - 0,00425V_{\phi \max}; \quad (3)$$

– для багатосмугових доріг із попутним рухом:
при максимальних швидкостях до 110 км/год

$$a = 0,68 - 0,003V_{\phi \max}; \quad (4)$$

за максимальних швидкостей від 110 до 130 км/год

$$a = 0,43 - 0,00275V_{\phi \max}; \quad (5)$$

Фактичну максимально можливу або максимально допустиму швидкість легкового автомобіля під час проектування нових доріг можна визначити аналітичним шляхом, виходячи зі схем розрахунку, вимог до геометричних параметрів і транспортно-експлуатаційних характеристик. Основним завданням при цьому є обов'язкове врахування впливу метеорологічних факторів на дорогу, взаємодії автомобіля з дорогою та сприйняття водієм умов руху.

Для визначення пропускної спроможності доріг $V_{\phi \max}$ та V_0 можна визначити розрахунком або за даними спостережень за швидкостями вільного руху легкових автомобілів за несприятливих погодних умов на всіх характерних ділянках дороги за всіх розрахункових швидкостей.

Максимально можливу швидкість у період снігопаду або за наявності снігу на горизонтальних ділянках чи на підйомах визначають з основного рівняння руху, підставляючи до нього відповідні значення опору коченню та коефіцієнта зчеплення (див. рис. 2).

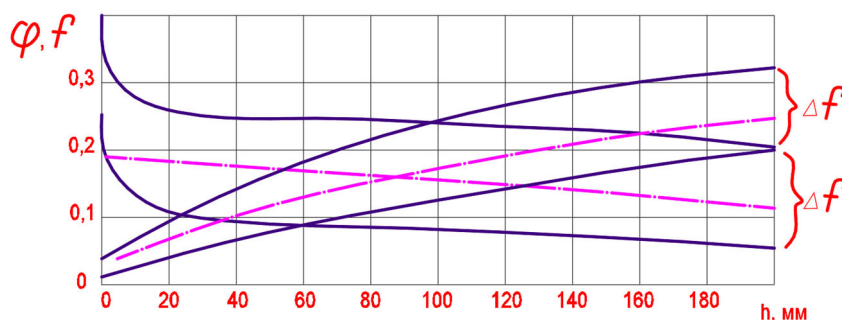


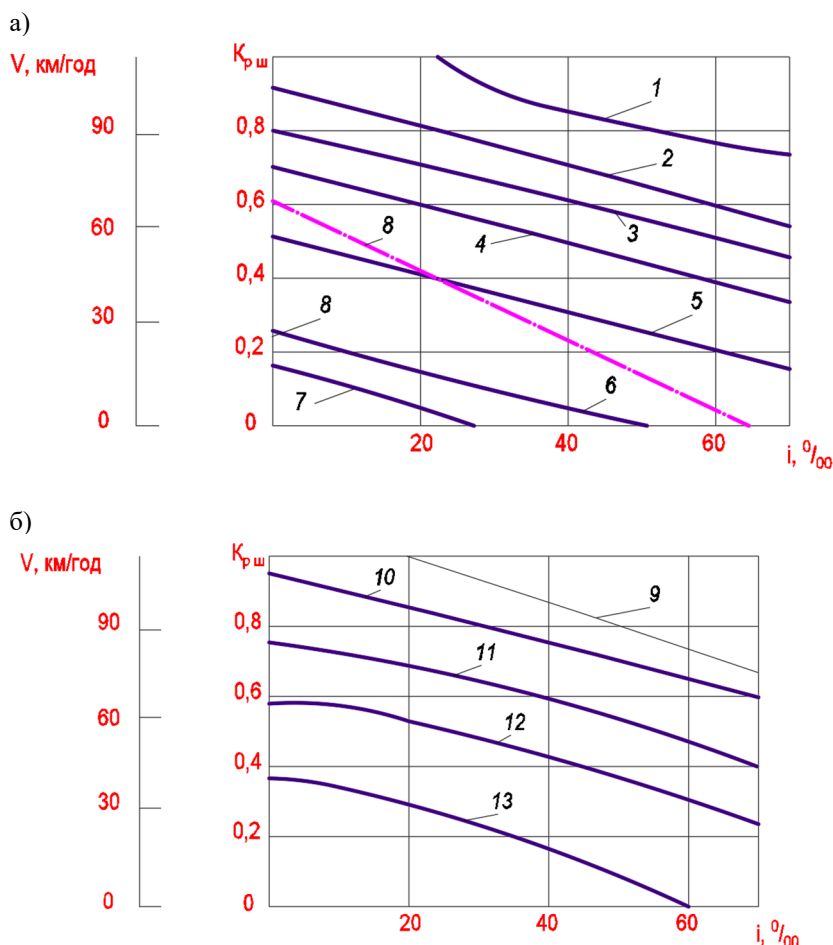
Рисунок 2 – Залежність коефіцієнтів зчеплення ϕ і опору коченню f від товщини неуцільненого снігу $h_{сн}$ на покритті.

Figure 2 – Dependence of the coefficients of adhesion ϕ and rolling resistance f on the thickness of uncompacted snow h_{sn} on the pavement.

Максимально допустиму швидкість на спуску визначають з умови гальмування перед перешкодою на покритті, яка раптово виникла, а коефіцієнт забезпеченості розрахункової швидкості знаходять, виходячи з рівності шляхів зупинки за еталонного стану і покриття, характерного для розрахункового періоду.

Значення коефіцієнтів забезпеченості розрахункової швидкості за різних станів покриття та на ділянках з різними поздовжніми ухілами наведено на рис 2.4.

Проаналізуємо один із найгірших випадків погодних умов. Як вихідні приймемо: прямолінійна горизонтальна ділянка двосмугової автомобільної дороги. Проїзна частина покрита щільним шаром снігового накату (коефіцієнт зчеплення дорівнює 0,2); слабкий туман (видимість зустрічного автомобіля 345 м); довжина ділянки аналізу 800 м; завантаження дороги рухом рівномірне в обох напрямках та відстань між атомобілями 25 м.



а – на підйомі; б – на спуску;

1 – сухе чисте покриття $f = 0,015$; 2 – шар пухкого снігу $h_{сн} = 25$ мм, $h_{сн} = 0,02$; 3 – ущільнений шар снігу $f = 0,04$; 4 – шар пухкого снігу $h_{сн} = 20$ мм; $f = 0,09$; 5 – те саме, $h_{сн} = 40$ мм, $f = 0,40$; 6 – те саме, $h_{сн} = 80$ мм; $f = 0,15$; 7 – те саме, $h_{сн} = 10$ мм; $f = 0,17$; 8 – ожеледь на покритті; $f = 0,09$; 9 – сухе чисте, $\varphi = 0,5-0,6$; 10 – мокре чисте, $\varphi = 0,4$; 11 – мокре, $\varphi = 0,3$; 12 – сніговий накат, $\varphi = 0,2$; 13 – ожеледь $\varphi = 0,1$.

Рисунок 3 – Вплив поздовжнього ухилу і стану покриття на швидкість руху.

а – on the rise; б – downhill;

1 – dry, clean finish $f = 0,015$; 2 – layer of loose snow $h_{sn} = 25$ мм, $h_{sn} = 0,02$; 3 – compacted layer of snow $f = 0,04$; 4 – layer of loose snow $h_{sn} = 20$ мм; $f = 0,09$; 5 – same, $h_{sn} = 40$ мм, $f = 0,40$; 6 – same, $h_{sn} = 80$ мм; $f = 0,15$; 7 – same, $h_{sn} = 10$ мм; $f = 0,17$; 8 – ice on the pavement; $f = 0,09$; 9 – dry clean, $\varphi = 0,5-0,6$; 10 – wet clean, $\varphi = 0,4$; 11 – wet, $\varphi = 0,3$; 12 – snow drift, $\varphi = 0,2$; 13 – ice $\varphi = 0,1$.

Figure 3 – Effect of longitudinal slope and pavement condition on driving speed

Для початку $K_{р,ш}$ визначаємо за рис. 3,б для коефіцієнта зчеплення $\varphi = 0,2$ і видимості зустрічного автомобіля 345 м, то $K_{р,ш} = 0,59$.

Максимальну швидкість в еталонних умовах $V_{e\ max}$ прийmemo рівною 120 км/год.

Максимальну швидкість у фактичних умовах визначаємо за формулою 3:

$$V_{\phi \max} = K_{p,c} V_{e \max} = 0,59 \cdot 120 = 70,8 \text{ км/год.}$$

Середнє квадратичне відхилення визначають за рис. 1 а для $V_{\phi \max} = 70,8$ км/год: $\sigma_V = 7,6$ км/год.

Середню швидкість руху визначають за формулою 2:

$$\bar{V}_0 = V_{\phi \max} - 3\sigma_V = 70,8 - 3 \cdot 7,6 = 48 \text{ км/год.}$$

Коефіцієнт $\omega = 0,7$ згідно з табл. 1.

Коефіцієнт a обчислюють за формулою 4:

$$a = 0,65 - 0,00425V_{\phi \max} = 0,65 - 0,00425 \cdot 70,8 = 0,349$$

Максимальна щільність для заданого складу руху:

$$q_{\max} = \frac{L}{l} = \frac{800}{25} = 32.$$

Підставляючи отримані значення у формулу 1 пропускної спроможності, отримаємо:

$$P = \omega a V_0 q_{\max} = 0,7 \cdot 0,349 \cdot 48,0 \cdot 32 = 375 \text{ авт/год.}$$

Пропускна спроможність дялянки, що розглядається складе 375 авт/год.

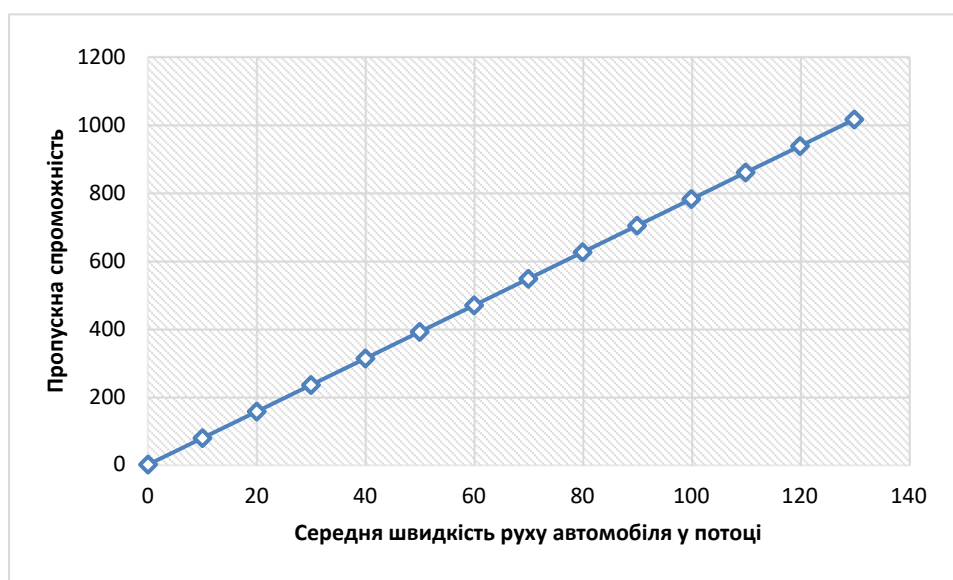


Рисунок 4– Залежність зміни пропускної спроможності від середньої швидкості руху автомобіля у потоці.

Figure 4 – Dependence of the change in throughput on the average speed of a vehicle in the flow..



Рисунок 5 – Залежність зміни пропускної спроможності від відстані між автомобілями.
Figure 5 – Dependence of the coefficients of adhesion φ and rolling resistance f on the thickness of unconsolidated snow h_{sn} on the pavement.

Підставивши у розрахунок різні середні швидкості руху автомобіля у потоці отримаємо залежність зміни пропускної спроможності рис. 4.

Підставивши у розрахунок різні відстані між автомобілями у потоці отримаємо залежність зміни пропускної спроможності рис. 5.

При збільшенні середньої швидкості руху автомобіля у потоці та зменшенні відстані між автомобілями у потоці пропускна спроможність ділянки автомобільної дороги, що розглядається значно зростає, але це буде призводити до збільшення кількості ДТП та погіршуватиме безпеку дорожнього руху [2].

Висновки. Визначення пропускної спроможності необхідне не тільки для виявлення ділянок, що потребують поліпшення умов руху, а й для оцінювання економічності та зручності руху всього потоку автомобілів за маршрутом, вибору ефективних засобів організації руху. Будь-яка дорога може працювати при завантаженнях різної інтенсивності. При цьому граничною буде інтенсивність, що відповідає пропускній здатності дороги. Ефективність транспортної роботи дороги може характеризуватися як пропускною спроможністю, так і інтенсивністю, за якої рух дорогою найекономічніший та найоптимальніший за умовами роботи водія.

Перелік посилань

1. Закон України від 19.11.1992 № 2801XII «Основи законодавства України про охорону здоров'я» – Доступ з інтернету. –www.rada.gov.ua
2. ДСТУ 3587:2022 Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги. Вимоги до експлуатаційного стану
3. М 218-02070915-674:2010 Методика визначення рівня завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг. Київ, 2010. 23с.

STUDY OF THE INFLUENCE OF WEATHER AND CLIMATE FACTORS ON THE CAPACITY OF ROADS AND BRIDGE CROSSINGS

Vyacheslav Savenko, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Transport Construction and Property Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: svi1310@ukr.net, tel.+380506572008, <https://orcid.org/0000-0001-8174-7728>.

Andriy Bubela, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Professor of the Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, tel.+380505535594, <https://orcid.org/0000-0002-5619-003X>

Oleksand Chechuha, Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: chchuga77@gmail.com, tel. +380662019442, <https://orcid.org/0000-0003-1643-6354>

Anna Feschenko, Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: fanna17@ukr.net, tel. +380677441754, <https://orcid.org/0000-0002-8212-52>

Yaroslav Vorontsov, PhD student at the Department of Railway Track and Track Management, State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, Ukraine, e-mail: voroncov.yaroslav@gmail.com, tel. +380932535533, <https://orcid.org/0009-0000-8178-5468>

Summary. The paper considers the main indicators of traffic capacity, which depend on a large number of factors: road conditions (roadway width, longitudinal slope, radius of curves in the plan, visibility distance, etc.), composition of the traffic flow, the ability to maneuver cars along the width of the roadway, psychophysiological characteristics of drivers, especially weather and climatic conditions. It has been determined that changes in these factors lead to significant fluctuations in traffic capacity during the day, month, season, and year. Reducing the capacity of roads and bridge crossings leads to an increase in the concentration of road traffic accidents (RTAs) and an increase in accidents.

Determination of the traffic capacity is necessary not only to identify areas requiring improvement of traffic conditions, but also to assess the efficiency and convenience of the entire traffic flow along the route, and to select effective means of traffic management.

Keywords: highway, road transport, road safety, road conditions, road traffic accidents (RTAs), bridge crossing, traffic management, weather conditions, weather and climate factors, traffic capacity..

References

1. Law of Ukraine dated November 19, 1992 No. 2801XII "Basics of Ukrainian legislation on health care" - Access from the Internet. – www.rada.gov.ua. [in Ukrainian].
2. DSTU 8745:2017 Avtomobil'ni dorohy. Metody vymiryuvannya nerivnostey osnovy i pokryttya dorozhn'oho odyahu
M 218 – 02070915 – 674: 2010 Metodyka vyznachennya rivnya zavantazhenosti ta propusknoyi zdatnosti avtomobil'nykh dorih. Kyiv, 2010. 23s.