УДК 627.13

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ВОЛОГОНАКОПИЧЕННЯ В ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЯХ ДРЕНАЖНИМИ ШАРАМИ

Кватадзе А.І., *молодший науковий співробітник відділу нормативно-технологічного забезпечення дорожніх робіт*

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна (ДП «ДерждорНДІ»)

Постановка проблеми

Невідповідність постійно зростаючої вантажонапруженості та швидкості руху наявним міцнісним та геометричним параметрами автомобільної дороги призводить до накопичення вологи у нижніх шарах дорожнього одягу та робочій зоні земляного полотна. В результаті, волога від дощу, що потрапила через дефекти покриття, не сплановані або пошкоджені узбіччя, розділювальну смугу, призводять до порушення стійкості і утворення деформацій дорожніх одягів. Стан дорожнього одягу та термін його служби залежить від особливостей водно-теплового режиму, а саме вологості та міцності ґрунту земляного полотна. Адже вищеназвані характеристики ґрунту полотна змінюються протягом року, тому проектування ґрунтової основи дорожнього одягу вимагає правильної інженерної оцінки кліматичних, ґрунтових і гідрологічних умов, які визначають розрахунковий стан ґрунту. Необхідно призначати такі технологічні і конструктивні заходи з регулювання водно-теплового режиму, які б забезпечували невеликий вибраний діапазон коливань вологості ґрунту, раніше прийнятий розрахунковий модуль. Однак, на теперішній час розрахунок дренажних споруд для регулювання водно-теплового режиму на ділянках автомобільних доріг ведеться з використанням застарілих даних та нормативів ще Радянського Союзу. Проблема врахування змін кліматичних показників при проектуванні дорожніх конструкцій вимагає оновленого підходу до отримання розрахункових характеристик споруд з метою запобігання вологонакопичення в дорожних конструкціях.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

На теперішній час існуючі методи визначення параметрів елементів дренажних систем мілкого закладання в дорожній конструкції носять розрізнений характер. Не повністю враховують дію усіх можливих джерел зволоження, особливості клімату регіону проходження дороги, режими руху води у пористому середовищі дренувального прошарку. Останні експериментальні дослідження дренажних систем проводилися в 90-х роках минулого століття. Основною задачею проектування в дорожньому будівництві є отримання найбільш раціональних конструкцій дренажів мілкого закладання з урахуванням кліматичних та регіональних особливостей, які забезпечуватимуть ефективне та нетривале водовідведення.

Проблема вологонакопичення в дорожніх конструкціях та відповідні наслідки впливу цього складного процесу в зимовий період розглядається в роботах багатьох вчених. Одним із напрямків досліджень є отримання удосконалених дорожніх конструкцій з додатковими дренувальними прошарками для забезпечення оптимальних термінів осушення [1]. Запропонований в роботі [2] підхід до використання системи мобільного лазерного сканування (MLS) дозволяє визначити глибину розподілу водного потоку, виявити умови дренажного та поверхневого стоку, стан дренажної конструкції. Експериментальні дослідження режиму водного потоку в дренажних конструкціях, розподілу швидкісного поля, прогнозування витрати

поверхневого водовідводу представлено в роботі [3]. Методологія гідравлічних розрахунків параметрів цілісної дренажної системи [4] є підґрунтям для розробки ряду ефективних гідротехнічних заходів з розподілу поверхневих вод. Результати числового 3D моделювання гідродинамічних процесів розподілу водного потоку в дренажній системі дозволили врахувати параметри поздовжнього та поперечного профілю, конфігурацію автомобільної дороги в плані [5].

Науково-обґрунтовані пропозиції щодо адаптації дренажних систем на автомобільних дорогах до зміни клімату, до частих випадінь критичних дощів, змін у циклах промерзання та розмерзання представлені в роботі [6]. Підходи щодо постійного врахування динаміки змін кліматичних показників протягом річного циклу, гідрологічні моделі для обчислення стоку з водозбірного басейну, що прилягає до дороги, прогнозування вологонакопичення в дорожніх конструкціях дозволили запропонувати технічні заходи щодо вдосконалення роботи дренажних систем мілкого закладання.

Згідно проведених розрахунків за останні п’ять років середня тривалість: осіннього періоду складає 3 місяці, зимового – до 1,5 місяця, весняного – понад 0,5 місяця, літнього – 7 місяців [8]. У зв’язку з суттєвими змінами термінів розрахункових періодів водно-теплового режиму при визначенні параметрів дренажних конструкцій мілкого закладання слід враховувати питомий надлишок води від злив, зливових та обложних дощів, які характеризуються своєю підвищеною інтенсивністю в літній період, на відміну від існуючих нормативних рекомендацій щодо підбору параметрів дрен в залежності від весняного вологонакопичення.

У зв’язку зі зміною клімату, а саме підвищенням вмісту атмосферної вологи, збільшенням інтенсивності та тривалості опадів, що випадають протягом року, відбувається зміна водно-теплового режиму дорожньої конструкції. При проектуванні елементів дорожньої конструкції, зокрема дренажних систем, виникає необхідність у розрахунку режиму інфільтрації опадів,визначенні притоку води від атмосферних опадів - пікове значення за період та розрахунок надходження води до дренажної системи [7].

Формулювання цілей статті (постановка задачі)

Мета роботи полягає в удосконаленні методу визначення об’єму вологонакопичення в дорожніх конструкціях.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. На основі модифікованої математичної моделі вологонакопичення в дорожніх конструкціях розробити метод розрахунку визначення об’єму вологонакопичення в дренажних системах мілкого закладання
2. Визначити приток води від атмосферних опадів при звичайному режимі опадів.
3. Визначити приток води від атмосферних опадів при піковому значенні за період.

Основний матеріал

Розрахунок величини вологонакопичення дорожньої конструкції розпочинається зі збору необхідних даних, визначення кліматичних та геологічних показників. Виникає необхідність вдосконалити методологію проектних розрахунків відповідно до сучасних вимог та змін кліматичних умов. Для вирішення поставлених задач було виконано збір та обробку статистичних метеорологічних даних Центральної геофізичної обсерваторії України за п’ять років (2013-2017 роки).

Ґрунтуючись на «Методичних рекомендаціях щодо регулювання водно-теплового режиму у межах робочого шару земляного полотна автомобільних доріг» [8] визначення вологонакопичення здійснюється за методом, структурну схему якого наведено на рисунку 1.

Вихідними даними для розрахунків є статистичні дані метеорологічних спостережень району будівництва за період вибраної кількості років $N_{\text{років}}$ для розрахунків приймають, як мінімум, п'ятирічний період. Збільшення кількості років спостереження призводить до підвищення точності виконаних розрахунків. Розрахунок за вищенаведеним методом слід виконувати для кожного певного року окремо.

Для розрахунків необхідно мати показники: середньодобові температури повітря протягом року; середньомісячні температури повітря протягом року; середньодобові температури на поверхні ґрунту протягом року; кількість опадів, інтенсивність опадів; тривалість опадів; дефіцит насичення повітря.

Для визначення розрахунку режиму інфільтрації опадів використано математичну модель питомого надлишку інфільтраційної вологи від атмосферних опадів, що потрапляє через узбіччя, покриття проїзної частини, розділювальну смугу, м^3/добу на 1 м^2[8]:

$$q_{\text{інф}}^{\text{сер}} = \frac{q_{\text{інф}}^{\text{пч}} \times a + q_{\text{інф}}^{\text{у}} \times l + q_{\text{інф}}^{\text{рс}} \times b}{a+b+l} \quad (1)$$

де a – ширина односкатної або половини двоскатної проїзної частини, м;

l – ширина узбіччя, м;

b – ширина розділювальної смуги;

$q_{\text{інф}}^{\text{пч}}$ – питомий надлишок води, що надходить в основу від атмосферних опадів через покриття , м^3/добу на 1 м;

$q_{\text{інф}}^{\text{у}}$ – питомий надлишок води, що надходить в основу від атмосферних опадів через узбіччя , м^3/добу на 1 м;

$q_{\text{інф}}^{\text{рс}}$ – питомий надлишок води, що надходить в основу від атмосферних опадів через неукріплену розділювальну смугу, м^3/добу на 1 м.

Питомий надлишок води, що надходить в основу дорожнього одягу від атмосферних опадів, м^3/добу на 1 м^2:

а) через покриття:

$$q_{\text{інф}}^{\text{пч}} = \frac{H_{\text{вп(п)}}}{1000 \times T''} \quad (2)$$

б) через узбіччя:

$$q_{\text{інф}}^{\text{у}} = \frac{(H_{\text{вп(у)}} - H_{\text{у}})}{1000 \times T''} \quad (3)$$

де T'' – тривалість розрахункового періоду, діб;

$H_{\text{вп(п)}}$ – кількість води, що проникає в покриття, мм;

$H_{\text{у}}$– кількість води, що випаровується з узбічч за розрахунковий період, мм;

$H_{\text{вп(у)}}$– кількість води, що просочується в узбіччя, мм.

Показники випаровування води $H_{\text{у}}$, $H_{\text{вп(у)}}$, $H_{\text{вп(п)}}$ враховують типи укріплення узбіч, інтенсивність проникнення води в узбіччя, розрахунковий період та включають величину змочування поверхні узбіч.

Вихідні дані для розрахунку питомого надлишку інфільтраційної вологи від атмосферних опадів при звичайному режимі наведено в Таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані з розрахунку режиму інфільтрації опадів (звичайного режиму)

Параметр	Визначення	Одиниці виміру	Значення				
			2013	2014	2015	2016	2017
$T_д$	сумарну тривалість опадів 5% забезпеченості	*хв*	531,0883137				
$m_{ср}$	середня кількість дощів		5,38				
$T_{д(ср)}$	середня сумарна тривалість опадів	*хв*	374,8				
m	Кількість дощів 5% забезпеченості		7,623412827				
d	дефіциту вологості повітря 5% забезпеченості	*мбар*	0,152107754				
$H_{д(ср)}$	середньомісячна кількість опадів	*мм*	140				
T'	тривалість розрахункового періоду	*хв*	33120	21600	41760	14400	17280

Для розрахунків пікового значення питомого надлишку інфільтрації води від атмосферних опадів, додатково враховуються річні норми опадів та кількості років, протягом яких злива H_3 повторюється один раз. Також визначення пікового значення притоку води від атмосферних опадів включає максимальну кількість опадів критичного дощу розрахункового періоду та тривалість критичного дощу з кількістю опадів. Врахування цих значень дозволяє визначити тривалість розрахункового періоду критичного дощу (див. Таблиця 2).

Таблиця 2 – Вихідні дані визначення води від атмосферних опадів – пікове значення за період

Параметр	Визначення	Одиниці виміру	Значення				
			2013	2014	2015	2016	2017
$T_д$	сумарна тривалість опадів 5% забезпеченості	*хв*	531,0883137				
$m_{ср}$	середня кількість дощів		5,38				
$T_{д(ср)}$	середня сумарна тривалість опадів	*хв*	374,8				
m	кількість дощів 5% забезпеченості		7,623412827				
d	дефіцит вологості повітря 5% забезпеченості	*мбар*	0,152107754				
$H_{д(ср)}$	середньомісячна кількість опадів	*мм*	140				
H'	річна норма опадів для даної місцевості	*мм*	650				
N	кількість років, протягом яких Нз повторюється один раз		20				
$H_з$		*мм*	9,369363059				
$H_р$	максимальна кількість опадів критичного дощу розрахункового періоду	*мм*	24	44	38	41	32
$t_{спос}$	тривалість критичного дощу розрахункового періоду з кількістю опадів Нр	*годин*	12	12	12	12	12
$i_з$	максимальна кількість опадів за годину	*мм/год*	2	3,6666667	3,1666667	3,416667	2,666667
$T'_з$	тривалість розрахункового періоду	*хв*	4,6846815	2,5552808	2,9587462	2,742253	3,513511

Таким чином, подальші розрахунки виконуються за удосконаленим методом знехтуванням пікових значень за період (рисунок 1).

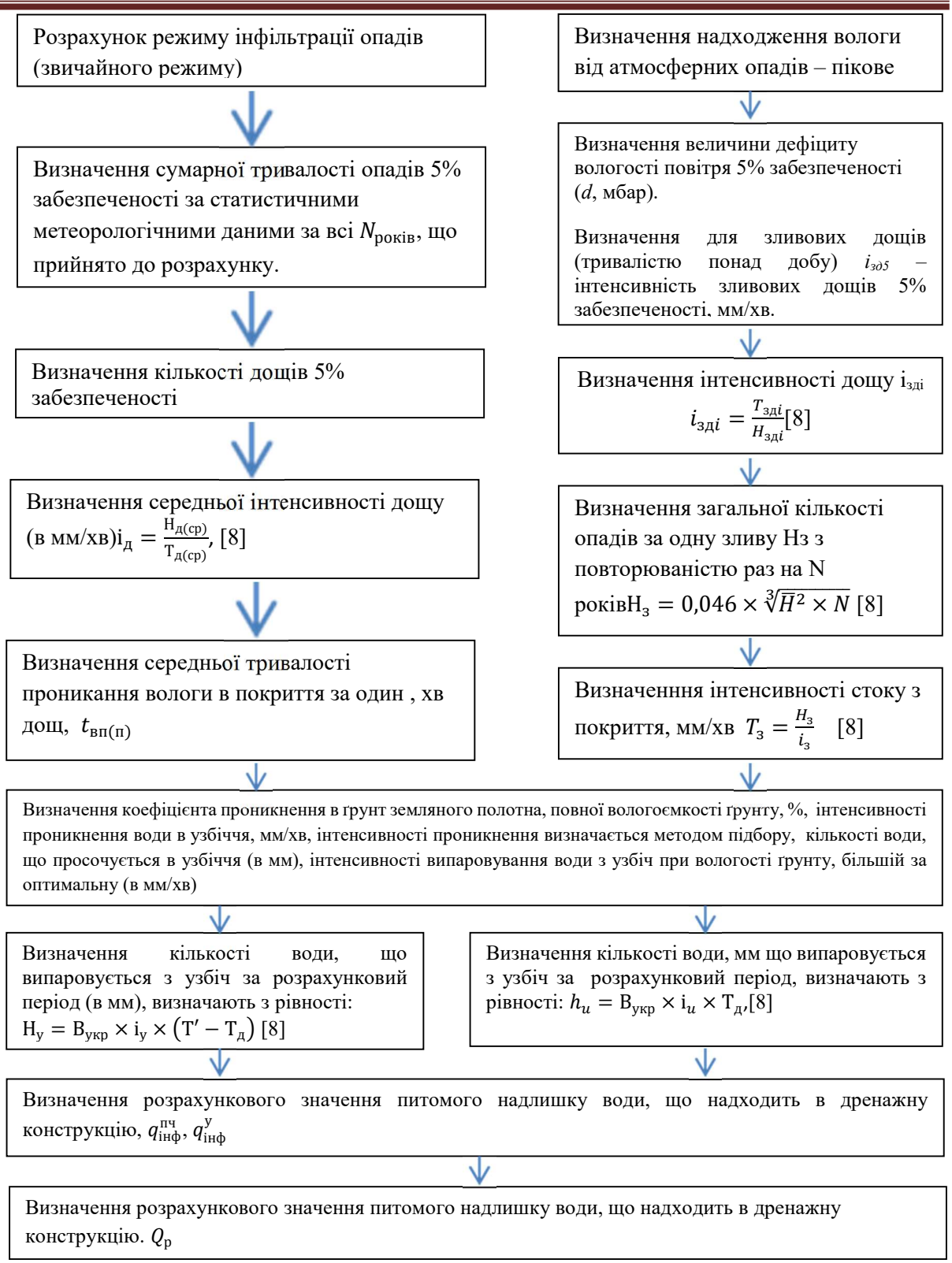

Рисунок 1 – Структурна схема методу визначення питомого надлишку інфільтраційної вологи від атмосферних опадів пікового та звичайного режимів в дренажних конструкціях мілкого закладання [8]

В результаті було отримано: середню тривалість проникання вологи в покриття за один дощ, інтенсивність випаровування води з узбіч при вологості ґрунту, більшу за оптимальну, питомий надлишок води, що надходить в основу від атмосферних опадів через покриття та узбіччя (таблиця 3 та таблиця 4).

Таблиця 3 – Результат розрахунку режиму інфільтрації опадів (звичайного режиму) [8]

Параметр	Визначення	Одиниці виміру	Значення				
			2013	2014	2015	2016	2017
$t_{вп(п)}$	Середня тривалість проникання вологи в покриття за один дощ	*хв*	69,43349	69,46488	69,41458	69,49097	69,47965
$i_у$	Інтенсивність випаровування води з узбіч при вологості ґрунту, більшій за оптимальну	*мм/хв*	0,000150075				
$q_{сер/інф}$	Питомий надлишок інфільтраційної вологи від атмосферних опадів, що потрапляє через узбіччя, покриття проїзної частини, розділювальну смугу	*м3/добу на 1 м2*	0,149575	0,150058	0,149182	0,150316	0,150219

Таблиця 4 – Результат розрахунку води від атмосферних опадів – пікове значення за період [8]

Параметр	Визначення	Одиниці виміру	Значення				
			2013	2014	2015	2016	2017
$t_{вп(п)}$	Середня тривалість проникання вологи в покриття за один дощ	*хв*	4,434682	2,418917	2,800851	2,595911	3,326011
$i_у$	Інтенсивність випаровування води з узбіч при вологості ґрунту, більшій за оптимальну	*мм/хв*	0,000150075				
$q_{сер/інф}$	Питомий надлишок інфільтраційної вологи від атмосферних опадів, що потрапляє через узбіччя, покриття проїзної частини, розділювальну смугу	*м3/добу на 1 м2*	0,248421	0,374638	0,339171	0,357111	0,301866

На підставі попередніх результатів було визначено розрахункове надходження води до дренажної системи, а саме розрахунковий загальний питомий надлишок води (див. рисунок 2 та рисунок 3).

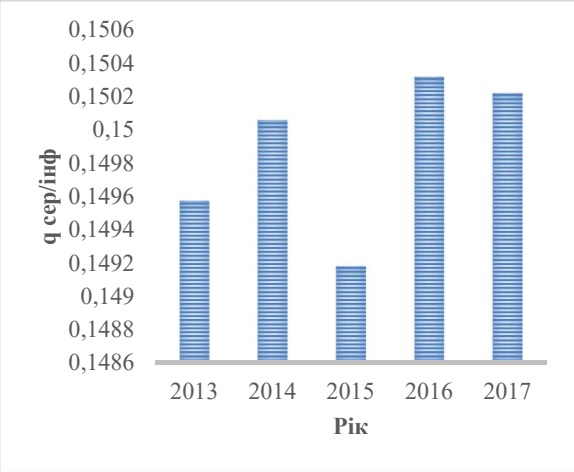

Рисунок 2 – Питомий надлишок інфільтраційної вологи від атмосферних опадів, що потрапляє на проїзну частину, покриття проїзної частини, площа відділення м^3 / добу до 1 м^2 (звичайний режим опадів) [7]

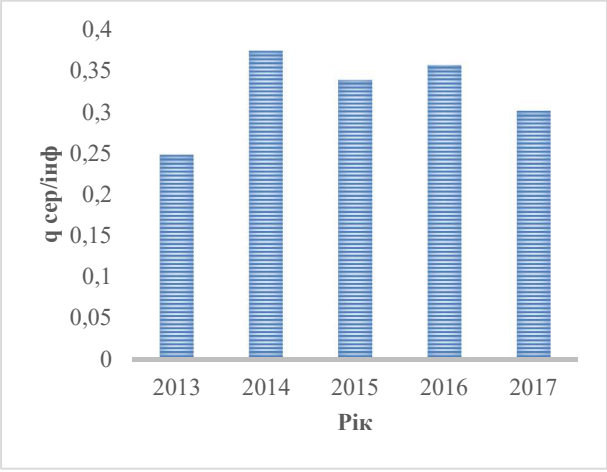

Рисунок 3 – Питомий надлишок інфільтраційної вологи від атмосферних опадів, що потрапляє на проїзну частину, покриття проїзної частини, площа відділення м^3 / добу до 1 м^2 (пікове значення за період) [7]

Порівнюючи результати розрахунків звичайного та пікового (від зливових короткочасних дощів) режимів інфільтрації опадів та визначення відповідного притоку води від атмосферних опадів, представлені на діаграмах, а саме показника питомого надлишку інфільтраційної вологи від атмосферних опадів, що проникають через узбіччя, покриття проїзної частини, розділювальну смугу м3/добу на 1 м^2, можна помітити, що протягом 5 років (з 2013 по 2017 роки) питомий надлишок притоку води пікового значення перевищує в 2,3 рази показник питомого надлишку інфільтраційної вологи у звичайному режимі (рисунок 2 та рисунок 3).

Висновки

Для забезпечення міцності дорожньої конструкції слід передбачати безперервне видалення води з пористих шарів дорожнього одягу. Значні об'єми вологонакопичення зменшують несну здатність основи грунту земляного полотна, і в результаті знижується загальна міцність дорожніх конструкції. Улаштування дренажного шару певної товщини під дорожнім одягом дозволяє зменшити надлишок вологи, яка входить протягом річного циклу. Методи розрахунку дренажних шарів було розроблено з урахуванням кліматичних характеристик тридцятирічної давнини. В результаті запропоновано метод дослідження, що враховує зміни кліматичних умов України та збільшення кількості атмосферної вологи, що обумовлено цими змінами. Поряд із показниками визначення звичайного режиму дощів було запропоновано використовувати дані про пікові навантаження на дренажний шар при високій інтенсивності опадів, таких як зливи та сильні дощі. Врахування істотних кліматичних змін і застосування цього методу дозволяє розробляти вдосконалений метод проектування дренажних систем мілкого закладання.

Література

1. Bressan, Filippo, Wilson, Christopher, Tsakiris, Achilles (2015). Development of a Subgrade Drainage Model for Unpaved Roads. Hydroscience& Engineering Department of Civil & Environmental Engineering, The University of Iowa, Iowa City, IA 52242, 34. http://publications.iowa.gov/id/eprint/20730
2. Lantieri, Claudio, Lamperti, Riccardo, Simone, Andrea, Vignali, Valeria, Sangiorgi, Cesare, Dondi, Giulio (2015). Mobile Laser Scanning System for Assessment of the Rainwater Runoff and Drainage Conditions on Road Pavements. International Journal of Pavement Research and Technology, Volume 8, Issue 1, 1-9. http://dx.doi.org/10.6135/ijprt.org.tw/2015.8(1).1
3. Dianat, M., Skarysz, M., Hodgson, G., Garmory, A. et al. (2017). Coupled Level-Set Volume of Fluid Simulations of Water Flowing Over a Simplified Drainage Channel With and Without Air Coflow. SAE Int. J. Passeng, Cars – Mech, Sys 10(1), 369-377 https://doi.org/10.4271/2017-01-1552.
4. Šaulys, Valentinas, Survilė, Oksana, Klimašauskas, Mindaugas, Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė, Lina, Litvinaitis, Andrius, Stankevičienė, Rasa, Tumavičė,Aja (2017). Assessing the Hydraulic Conductivity of Open Drainage for Surface Water in Road Safety Zones. Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, Volume 12, Issue 3, 174-180. http://www.bjrbe.vgtu.lt/volumes/en/volume12/number3/05.php
5. Chen, Lu, Battaglia, Francine, Flintsch, Gerardo W, Kibler, David (2017). Highway Drainage at Superelevation Transitions by 3-D Computational Fluid Dynamics Modeling. Transportation Research Board 96th Annual Meeting, 14. https://trid.trb.org/View/1437588
6. Kalantari, Zahra (2013). Road Drainage in Sweden: Current Practice and Suggestions for Adaptation to Climate Change. Journal of Infrastructure Systems, Volume 19, Issue 2, 147-156. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000119
7. Кватадзе А І. Метод визначення розрахункових періодів водно-теплового режиму для розрахунку дренажних пристроїв: [Текст] // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип. 98 . К. :НТУ, 2016 С. – 79- 84. (http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/98/079-084.pdf)
8. МР В 2.3-02070915-849:2014 Методичні рекомендації щодо регулювання водно-теплового режиму у межах робочого шару земляного полотна автомобільних доріг