



Публікація є результатом реалізації проекту:  
TEMPUS CERES: Центри передового досвіду для молодих вчених  
This publication is the result of the project implementation:  
TEMPUS CERES: Centers of Excellence for young REsearchers.  
Reg.no.544137-TEMPUS-1-2013-1-SK-TEMPUS-JPHES



УДК 625.7/8

Славінська О.С., д-р техн. наук, Приходько С.І.

### АНАЛІЗ НАДХОДЖЕННЯ ВОЛОГИ В ДРЕНАЖНИЙ ШАР ДОРОЖНЬОЇ КОНСТРУКЦІЇ ТА МЕТОДИ ЙОГО ОСУШЕННЯ

**Анотація:** Наведено аналіз процесів зимового та літнього вологонакопичення в дорожніх конструкціях та викладено основні принципи осушення земляного полотна дренажними системами. Особлива увага приділяється осушенню дренажних шарів трубчастими воронками.

Об'єкт дослідження – дренажний шар.

Мета роботи – проаналізувати надходження вологи до дренажного шару дорожньої конструкції та дослідити методи його осушення.

Методи дослідження – аналітично-розрахунковий.

**Ключові слова:** дренажна конструкція, водно-тепловий режим, дренаж мілкого закладання, дренажний шар, трубчасті воронки.

UDC 625.7/8

Slavinska A.S., D.Sc. in Engineering, Professor, Prikhodko S.I.

### ANALYSIS OF THE FLOW OF WATER DRAINAGE LAYER IN ROAD CONSTRUCTION AND METHODS OF DRYING

**Abstract:** The analysis of processes of winter and summer accumulation of moisture in road constructions and the basic principles draining subgrade drainage systems. Particular attention is paid to drainage tube drainage layers craters.

The object of study – drainage layer.

Purpose - analyze the flow of water to the drainage layer of road construction and explore methods of drying.

Research methods – analytically-rated.

**Keywords:** drainage construction, water-thermal conditions, drainage shallow, drainage layer, tubular funnel.

УДК 625.7/8

Славинская Е.С., д-р техн. наук, Приходько С.И.

### АНАЛИЗ ПОСТУПЛЕНИЯ ВЛАГИ В ДРЕНАЖНЫЙ СЛОЙ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДЫ ЕГО ОСУШЕНИЯ

**Аннотация:** Приведен анализ процессов зимнего и летнего вологонакопичення в дорожных конструкциях и изложены основные принципы осушения земляного полотна дренажными системами. Особое внимание уделяется осушению дренажных слоев трубчатыми воронками.

Объект исследования – дренажный слой.

Цель работы – проанализировать поступления влаги в дренажный слой дорожной конструкции и исследовать методы его осушения.

Методы исследования – аналитически-расчетный.

**Ключевые слова:** дренажная конструкция, водно-тепловый режим, дренаж мелкого заложения, дренажный слой, трубчатые воронки.

### **Вступ**

Дренажні конструкції на автомобільних дорогах влаштовуються для забезпечення стійкості земляного полотна та найкращого захисту від перезволоження основи дорожнього одягу поверхневими та підземними водами. Волога в основу просочується через пори і тріщини покриття та шляхом капілярного підняття, появу яких і розподіл по площині покриття передбачити заздалегідь неможливо. Тому дренаж повинен забезпечити збір і відвід води з будь-якої точки покриття без переривання руху, в будь-який період року. Необхідно щоб дренажна конструкція розповсюджувалась по низу покриття на повну його ширину. На даний момент відсутні водонепроникні покриття, які змогли б попередити надходження вологи в дорожню конструкцію та забезпечити достатню водостійкість. Саме тому проектування дренажної системи потрібно передбачати при будівництві як жорстких, так і нежорстких типів покриття.

### **Основна частина**

Надійність і довговічність автомобільних доріг забезпечується належними конструкціями дорожнього одягу та земляного полотна. Основна причина руйнувань покриттів пов'язана з перезволоженням дорожньої конструкції через незадовільний стан дренажних систем. Ефективність осушення основи покриття залежить від природних умов місцевості, профілю автомобільної дороги, фізико-механічних властивостей піску, дотримання технологій будівництва і конструкції самого дренажу [1]

Дренажі мілкового залягання застосовують на ділянках малих насипів, виїмках, в «нульових» місцях у випадку значного притоку води в активну зону земляного полотна. Конструкції такого типу використовують для відведення вологи з верхньої частини основи автомобільної дороги у теплий період року або в період відтавання. Також вони використовують для просушування дренажного прошарку, який забезпечує фільтрацію капілярної вологи. Дренажні конструкції мілкового залягання потрібно проектувати у випадку, коли кількість води, що надходить до активної зони земляного полотна

### **Introduction**

Drainage construction on highways arranged to ensure the stability of the roadbed and the best protection from waterlogged foundations pavement surface and groundwater. Moisture seeps through the foundation pores and cracks and coating by capillary rise, whose appearance and distribution of the coating plane predict in advance is impossible. Because drainage should ensure the collection and removal of water from anywhere in the coverage without interrupting traffic, in any season. It is necessary to design drainage was spread on the bottom cover to its full width. Currently there are no waterproof coating, which could prevent the flow of water in the road construction and provide sufficient water resistance. That is why the design of the drainage system must provide at building a rigid and non-rigid types of coverage.

### **Main part**

Reliability and durability of roads provided with adequate structures pavement and subgrade. The main cause of damage coverages associated with waterlogged road construction because of the poor state of drainage systems. Efficiency draining foundations coverage depends on natural terrain, road profile, physical and mechanical properties of sand, compliance technology construction and design of the drainage [1].

Drainages shallow bedding areas used for small embankments, excavation, a "zero" in the case of a substantial inflow of water into the core of the roadbed. Structures of this type are used for removal of moisture from the top of the foundations of the highway in the warm season or during thawing. They are also used to dry draining layer, which provides filtering capillary moisture. Drainage structures should be designed shallow occurrence when the amount of water supplied to the core of the roadbed in the fall, spring or summer, more than can be accommodated in the lower

в осінній, весняний чи літній період більша, ніж може розміститися в нижніх шарах дорожнього одягу та підстиляючому ґрунті без втрати стійкості основи автомобільної дороги [2].

У дорожньому одязі і земляному полотні одночасно проходить кілька процесів:

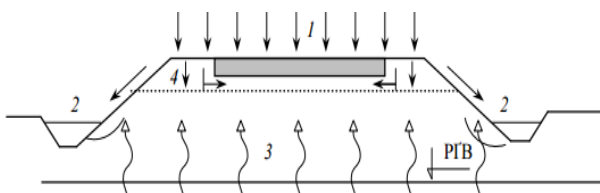
- теплообмін зволоженого матеріалу з приземним повітрям;
- дифузія пари і води в порах матеріалу;
- інфільтрація опадів через тріщини в одязі і полотні;
- інфільтрація води в полотні з боку узбіччя та ін.

Особливості водно-теплого режиму дорожніх конструкцій визначаються джерелами зволоження. (рис. 1).

Короткочасним, але найбільш активним джерелом є атмосферні опади. Вони зволожують шари конструкції при існуванні в дорожньому покритті тріщин внаслідок ненормального утримання доріг або у випадку наявності водопроникних покриттів.

В період інтенсивних дощів, сніготанення або поверхневого стоку в зеленій зоні відбувається промочування ґрунту. Зона максимальної інфільтрації води в ґрунт може досягати 50—100 см.

В результаті створюється певна небезпека бокового капілярного й плівкового зволоження. Джерело 2 короткочасне і при нормально ущільненому ґрунті полотна не являє собою небезпеки.[3,4].



**Рисунок 1** – Основні джерела зволоження дорожнього одягу і земляного полотна:

- 1 - атмосферні опади; 2 - вода в канавах;
- 3 - підземна вода; 4 - пароподібна волога

Питома вага цих джерел зволоження відрізняється в залежності від дорожньо-кліматичних зон, також ефективність дії на дорожню конструкцію різна. На даний час зволоженню дорожньої конструкції атмосферними опадами приділена не достатня увага, хоча саме від цього джерела зволоження

layers of pavement and underlying soil without buckling road foundations [2].

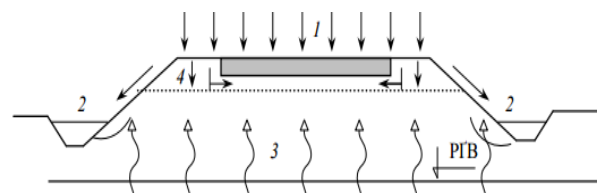
In road robe and roadbed simultaneously through several processes:

- moist heat exchange surface material from the air;
- diffusion of steam and water in the pores of the material;
- rain infiltration through cracks in the clothing and linen;
- infiltration of water into the canvas by the wayside and others.

Features water and thermal regime of road structures defined sources of moisture. (Fig.1).

Short, but the most active source is precipitation. They moisturize layers design for the existence of cracks in road surfaces due to abnormal road maintenance or in case of permeable surfaces.

During the intense rain, snowmelt or runoff in the green zone is soak the soil. The zone of maximum water infiltration into the soil can reach 50-100 cm. This creates a danger of lateral capillary film and moisture. Source 2 short and in fine linen compacted soil is not a danger [3, 4].



**Figure 1** – The main sources of the moisture of the pavement and subgrade: 1 - precipitation; 2 - the water in the ditches; 3 - underground water; 4 - vapor moisture

The weight of these sources of hydration differs depending on traffic and climatic zones; the efficiency impact of road construction is different. Currently, the dampening of road construction atmospheric deposition not given sufficient attention, although it is from this source of

надходить велика кількість вологи. Інформація про надходження вологи від цього джерела не може бути повністю актуально в зв'язку зі змінами клімату, які спостерігаються на території України за останні декілька років.

Перерозподіл вологи в зимовий період і накопичення її в верхніх шарах земляного полотна в кристалічній формі – процес морозного здимання. При промерзанні ґрунту волога, що накопичується в осінній період, перерозподіляється завдяки силам кристалізації. При пониженні межі промерзання відбувається підтягування вологи із нижніх шарів ґрунту. При неглибокому заляганні від поверхні землі ґрунтових вод інтенсивність зимового вологонакопичення особливо зростає, коли фронт промерзання досягає рівня капілярного підняття. Промерзання водонасиченого здимального ґрунту супроводжується утворенням в ньому мерзлих прошарків із вологи, що накопичилася протягом першої стадії, товщина яких збільшується по мірі міграції води із шарів ґрунту, що розташовані нижче рівня ґрунтових вод. Чим глибше промерзання входить в зону капілярного підняття, особливо в її нижню частину, де більша частина вологи перебуває у вільному стані, тим більше зимове вологонакопичення. Ґрунтові води сприяють зволоженню земляного полотна. Чим швидше відбувається зниження температури, тим менше вологи встигає переміститися з нижніх більш теплих шарів у верхню частину земляного полотна. Тому м'яка зима з поступовим і незначним зниженням температури наносить більшу шкоду земляному полотну. [7]

Одночасно з накопиченням вологи відбувається морозне здимання ґрунтів, що супроводжується їх розуцільненням. На інтенсивність зимового вологонакопичення і здимання, окрім швидкості промерзання ґрунту, впливає також швидкість міграції води, яка залежить від виду ґрунту, ступені його ущільнення і від умов підтоку вологи, в тому числі, від наявності ґрунтової води. Найбільш небезпечні пилуваті ґрунти, у яких велика поверхнева енергія поєднується з малим опором підйому води у порах, внаслідок чого швидкість підтоку води в зону

moisture plenty of moisture. Information on the flow of moisture from this source may not be completely true in connection with climate changes, which observed in Ukraine over the past few years.

The redistribution of moisture in the winter and its accumulation in the upper layers of the subgrade in crystalline form – the process of frost heave. When freezing of the soil moisture, which accumulates in the autumn, redistributed due to the force of crystallization. At lower border of freezing is pulling moisture from the lower soil layers. In shallow layers from the ground surface to groundwater, the intensity of the winter accumulation of moisture especially increases when the freezing front reaches the level of capillary rise. Freezing of moisture and swelling soil accompanied by the formation of frozen layers of moisture that had accumulated during the first stage, the thickness of which increases as the migration of water from the soil layers located below the groundwater level. The deeper the frost line is in the zone of capillary rise, especially in its lower part, where most of the moisture is in a free state, especially winter accumulation of moisture. Groundwater contribute to the moistening of the subgrade. The faster the decrease of the temperature, the less moisture manages to move from the lower, warmer layers in the upper part of the subgrade. Therefore, mild winter with a gradual and slight decrease in temperature has a greater effect on the roadbed. [7]

Along with the accumulation of moisture is frosty swelling soils, accompanied by thinning them. The intensity of the winter accumulation of moisture and swelling than the speed of freezing soil also affects the rate of migration of water, depending on the type of soil, degree of compaction and moisture inflow of conditions, including the availability of groundwater. The most dangerous silty soils, where high surface energy combined with low resistance rising water in the pores, resulting in a rate of inflow of water in the area swelling and the formation of large ice lenses in the soil is intensively.

здимання велика і утворення льодяних лінз в ґрунті відбувається інтенсивно.

Зимове накопичення вологи в ґрунтах відбувається шляхом її переміщення за напрямком теплового потоку знизу і з боків, від більш теплих місць до більш холодних, за рахунок перерозподілу внутрішніх запасів вологи і її міграції від рівня підземних вод.[3-5]

Відновлення і поступова нормалізація літнього водного режиму ґрунтового масиву. По мірі прогрівання земляного полотна починається період – просихання ґрунтів, тобто зменшення їх вологості і відновлення щільності і несучої здатності. В цей період джерелом зволоження є атмосферні опади. Висока інтенсивність випадання літніх опадів і великий дефіцит вологості повітря не сприяють утворенню великих запасів вологи у верхній частині земляного полотна. При повному розтаванні земляного полотна в ґрунтах залишається лише капілярно-розімкнута (підвішена) вода. Відбувається інтенсивне випаровування, притік вологи знизу від ґрунтових вод зменшується, а в деяких випадках і зовсім зупиняється, оскільки в цей період відбувається пониження рівня ґрунтових вод.

Знижується вологість та підвищується міцність ґрунту. Для цього періоду характерні мінімальна вологість і максимальна щільність ґрунтів земляного полотна.[5,6]

Дренажна система мілкового закладення може складатися із конструктивних елементів, які в залежності від орієнтації відносно осі дороги можна поділити на три групи:

1) додатковий шар основи дорожнього одягу (дренажний шар);

2) поздовжні елементи дренажу мілкового закладення;

3) поперечні елементи дренажу мілкового закладення.

Параметри додаткового шару основи дорожнього одягу (дренажного шару) розраховують за двома методами:

- осушення – для цілорічного розрахункового періоду;

- поглинання – період розтавання поперечних випусків.

Додатковий шар основи дорожнього одягу,

Winter moisture accumulation in soils occurs by moving it in the direction of heat flow from the bottom and sides, from warmer to colder places, through the reallocation of internal reserves of moisture and migration of groundwater levels [3-5].

Restoration and gradual normalization summer water regime of the soil mass. As the heating period begins roadbed - soil drying, ie reduce their moisture, restore density, and load capacity. During this period, humidification source is precipitation. High intensity loss of summer rainfall and a large deficit humidity contribute to the formation of large reserves of moisture in the top of the subgrade. A full melting of subgrade soils in is only open capillary (suspended) water. There is intensive evaporation of moisture inflow from the bottom of groundwater is reduced, and in some cases stopped altogether because in this period the lowering of groundwater.

Reduced moisture and increases the strength of the soil. This period characterized by minimum and maximum moisture density of soil subgrade [5,6].

The drainage system is shallow may consist of structural elements, which, depending on the orientation of the axis of the road divided into three groups:

1) additional layer of pavement bases (drainage layer);

2) longitudinal elements shallow drainage;

3) transverse elements shallow drainage.

Options additional layer of pavement bases (drainage layer) calculated by two methods:

- draining - for year-round settlement period;

- acquisitions - during thawing cross-releases.

An additional layer of pavement foundations, calculated by the method of absorption used alone, without

розрахований за методом поглинання застосовується самостійно, без поєднання з іншими елементами.

Одним з важливих показників при розрахунку дренажного шару є максимальне значення глибини фільтраційного потоку яке визначається за формулою:

$$h_{\text{нас}} = \frac{Q_p \cdot T_{\text{зап}}}{q_3 - q_1}, \quad (1)$$

де  $Q_p$  – розрахунковий питомий надлишок вільної води з  $1 \text{ м}^2$  дренажного шару,  $\text{м}^3/\text{добу}$ ;

$T_{\text{зап}}$  – час розмерзання випусків та дрен, доба (приймають рівним не менше, ніж три доби, при удосконалених типах покриттів, і не менше, ніж дві, – при перехідних);

$q_3$  – кількість вільної води, яка поглинається дренажним шаром товщиною в 1 см на площі  $1 \text{ м}^2$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^2$  за добу;

$q_2$  – кількість капілярної води, яка поглинається дренажним шаром товщиною в 1 см на площі  $1 \text{ м}^2$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^2$  за добу

Формула (1) дійсна лише при питомому надлишку вологи  $Q_p < 0,003 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2}$  за добу й малих значеннях коефіцієнта фільтрації піску.

Додатковий шар основи дорожнього одягу, розрахований за методом осушення, може застосовуватись як самостійно (з виходом на укоси земляного полотна), так і у поєднанні з поперечними і поздовжніми елементами, призначеними для відведення з нього води.

При розрахунку дренажного шару за методом осушення максимальне значення глибини фільтраційного потоку в дренажному шарі має вигляд:

$$h_{\text{нас}} = l \times \frac{\frac{h_2^2}{l} - i \times \frac{h_2}{l} + C_{\text{зв.}}}{\exp - \frac{i}{2 \times a} \times \frac{\pi}{2} - \arctg \frac{\frac{h_2 - i}{l - 2}}{a}}, \quad (2)$$

де  $i$  – поперечний похил корита, в сотих долях одиниці;

$h_2$  – допустима глибина шару води біля краю корита (зазвичай не перевищує 0,05 м), м;

$l$  – відстань від осі дороги до перерізу, що розглядається, м;

combination with other elements.

One of the important indicators in the calculation of the drainage layer is the maximum depth seepage, which given by:

$$h_{\text{нас}} = \frac{Q_p \cdot T_{\text{зап}}}{q_3 - q_1}, \quad (1)$$

where  $Q_p$  – the estimated proportion of excess free water with of  $1 \text{ m}^2$  drainage layer,  $\text{m}^3/\text{day}$ ;

$T_{\text{зап}}$  – a thawing issue and drains, day (taken as equal to not less than three days, the advanced types of coatings, and at least two - in transition);

$q_3$  – the amount of free water, which is absorbed by draining layer thickness of 1 cm in area  $1 \text{ m}^2$ ,  $\text{m}^3/\text{m}^2$  of day;

$q_2$  – the amount of capillary water that is absorbed driouchi layer thickness of 1 cm square  $1 \text{ m}^2$ ,  $\text{m}^3/\text{m}^2$  of day.

Formula (1) is valid only when the unit excess moisture  $Q_p < 0,003 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2}$  of day small sand filtration coefficient values.

An additional layer of pavement foundations, calculated by the method of drying may be used independently (with access to the slopes of subgrade) and in combination with transverse and longitudinal elements designed to drain water from it.

The calculation method for draining layer draining the maximum depth of seepage into drainage layer is as follows:

$$h_{\text{нас}} = l \times \frac{\frac{h_2^2}{l} - i \times \frac{h_2}{l} + C_{\text{зв.}}}{\exp - \frac{i}{2 \times a} \times \frac{\pi}{2} - \arctg \frac{\frac{h_2 - i}{l - 2}}{a}}, \quad (2)$$

where  $i$  – slope trough in hundredths of units;

$h_2$  – allowable depth of water layer at the edge of the trough (usually no more than 0.05 m), m;

$l$  – distance from axis of road to the section that discusses, m;

$C_{зв.}$  – ступінь зволоження, що дорівнює:

$$C_{зв.} = \frac{Q_p}{K}, \quad (3)$$

де  $Q_p$  – розрахунковий загальний питомий надлишок води, м<sup>3</sup>/добу з 1 м<sup>2</sup> проїзної частини;

$K$  – коефіцієнт фільтрації піску, м/добу;

$a$  – безрозмірна величина, що дорівнює:

$$a = \sqrt{C_{зв.} - \frac{i}{2}}. \quad (4)$$

Додатковий шар основи дорожнього одягу, розрахований за методом осушення, розраховується і за методом поглинання для перевірки можливості його ефективної роботи у період розтавання поперечних випусків. [7,8]

Поздовжнім елементом дренажної системи мілкового закладення є поздовжня дрена (або крупнопористе ядро) для відведення води із піщаного дренаючого шару основи дорожнього одягу.

До поперечних елементів дренажу мілкового закладення належать поперечні випуски із поздовжнього дренажу та поперечні дренажні прорізи.

Також для осушення дренаючого шару використовують трубчасті воронки.

Ефективність осушення дренаючого шару трубчастими воронками залежить від розміру їх приймальної частини та якості фільтру. Чим більший радіус приймальної частини, тим більша ефективність осушення дренажних шарів, але й необхідна більша кількість кам'яного матеріалу для їх влаштування. Відповідно до досліджень, якщо радіус приймальної частини взяти більше 0,5м, то їх пропускна здатність буде збільшуватись не суттєво. При влаштуванні приймальної частини радіусом менше 0,23 їх пропускна здатність суттєво зменшується.[1]

$C_{зв.}$  – the degree of hydration, equal:

$$C_{зв.} = \frac{Q_p}{K}, \quad (3)$$

where  $Q_p$  – the estimated total specific excess water, m<sup>3</sup>/day z 1 m<sup>2</sup> roadway;

$K$  – sand filtration rate, m/day;

$a$  – dimensionless quantity equal:

$$a = \sqrt{C_{зв.} - \frac{i}{2}}. \quad (4)$$

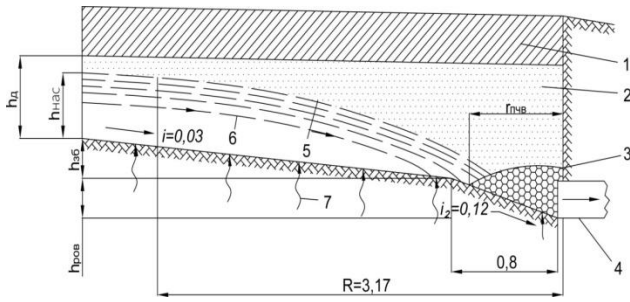
An additional layer of pavement foundations, calculated by the method of drying is calculated and the method of absorption to verify the possibility of its effective work during thawing transversal issues [7,8].

Longitudinal part of the drainage system is shallow longitudinal drains (or coarse-pored core) to drain water from draining sandy layer of pavement bases.

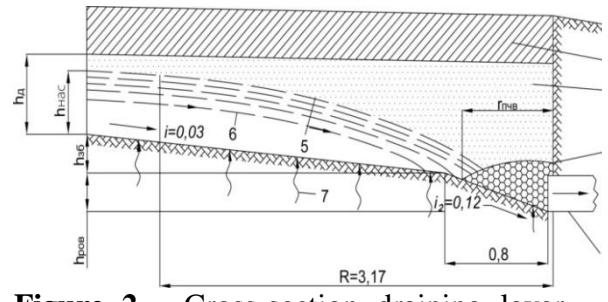
By cross drainage elements are shallow cross drainage issues with the longitudinal and transverse drainage openings.

Also for drainage pipe draining layer using a funnel.

The efficiency of drainage layer tubular draining craters depends on the size of their admissions and quality of the filter. The greater range of the admissions, the greater the efficiency of drainage layers, but need more rock material for their devices. According to research, if the radius of admissions to over 0.5 m, their capacity will not increase significantly. When the device-receiving radius of less than 0.23 of bandwidth is significantly reduced [1].



**Рисунок 2** – Поперечний переріз дренаючого шару, який осушується трубчастими воронками 1 – покриття та основа; 2 – дренаючий шар; 3 – приймальна частина воронки; 4 – воронка; 5 – крива дисперсії; 6 – напрям руху фільтраційного потоку; 7 – надлишок вільної води, яка віджимается;  $h_d$  – товщина дренаючого шару по осі дороги [1,8]



**Figure 2** - Cross-section draining layer, which is dried tubular craters 1 – cover and base; 2 – drainage layer; 3 – acceptance of the funnel; 4 – crater; 5 – dispersion curve; 6 – the direction of movement of filtration stream; 7 – excess free water, which is pressed;  $h_d$  – the thickness of the drainage layer at the axis of the road [1,8]

Також важливим параметром при осушенні дренаючого шару трубчастими воронками є відстань між ними. [8]  
Відстань між трубчастими воронками визначають за формулою:

$$L = L_{кр} + L_{пс} = \frac{3,16 K}{Q_p B \ln \frac{6,34}{2r_{пчв}}} h^2 + \frac{16 K}{Q_p B} \left( 0,04h_{нас} + 0,4h_{нас}^2 + \frac{h_{нас}^3}{0,18} - 0,04h_{зб} + 0,4h_{зб}^2 + \frac{h_{зб}^3}{0,18} \right), \quad (5)$$

де:  $L_{кр}$  – відстань криволінійного руху струминок води, м;  
 $L_{пс}$  – відстань паралельно-струминного руху води, м;  
 $K\phi$  – коефіцієнт фільтрації матеріалу площинного дренажу, м/доб;  
 $Q_p$  – розрахунковий питомий надлишок вільної води з  $1\text{ м}^2$  дренаючого шару,  $\text{м}^3/\text{добу}$ ;  
 $B$  – ширина двоскатної проїзної частини, м;  
 $r_{пчв}$  – радіус приймальної частини воронки за, м;  
 $h_{нас}$  – розрахункове максимальне значення глибини фільтраційного потоку в дренаючому шарі, м;  
 $h$  – глибина фільтраційного потоку відносно відмітки низу приймальної частинки воронки, м;  
 $h_{зб}$  – висота після збільшення похилу по ширині двоскатної проїзної частини, в зоні перед приймальною частиною воронки, м.

Also an important parameter in the drainage of drainage layer tubular funnels is the distance between them. [8]  
The distance between the tubular funnels is determined by the formula:

$$L = L_{кр} + L_{пс} = \frac{3,16 K}{Q_p B \ln \frac{6,34}{2r_{пчв}}} h^2 + \frac{16 K}{Q_p B} \left( 0,04h_{нас} + 0,4h_{нас}^2 + \frac{h_{нас}^3}{0,18} - 0,04h_{зб} + 0,4h_{зб}^2 + \frac{h_{зб}^3}{0,18} \right), \quad (5)$$

where:  $L_{кр}$  – distance curvilinear motion of water jets, m;  
 $L_{пс}$  – parallel-distance jet of water movement, m;  
 $K\phi$  – filtration coefficient of the material plane drainage, m/day;  
 $Q_p$  – pecific estimated excess free water from  $1\text{ m}^2$  draining layer,  $\text{m}^3/\text{day}$ ;  
 $B$  – width of dvocate roadway, m;  
 $r_{пчв}$  – the radius of the receiving side of the funnels for, m;  
 $h_{нас}$  – calculate the maximum depth of seepage into drainage layer, m;  
 $h$  – the depth of flow relative to the height of the bottom of the admissions funnel particles, m;  
 $h_{зб}$  – height after increasing the width dvoskatnoyi inclined roadway in the area before receiving a part of the funnel, m.



Глибину фільтраційного потоку відносно відмітки низу приймальної частинки воронки визначають за формулою

$$h = h_{\text{нас}} + h_{3б}, \quad (6)$$

$$h_{3б} = i B \cdot 2. \quad (7)$$

де:  $i$  – поперечний похил верху земляного полотна, виражений в сотих долях одиниці, найчастіше приймають  $i = 0,03$ , ‰; Необхідне значення коефіцієнта фільтрації дренажного шару можна визначити за формулою

$$K\phi = \frac{Q_p \cdot (B \cdot 2)^2}{0,67 \cdot (h_2 + 2h_1) \cdot (h_1 + iB \cdot 2 - h_2)}, \quad (8)$$

де  $q_p$  – розрахунковий питомий надлишок вільної води з  $1 \text{ м}^2$  дренуючого шару,  $\text{м}^3/\text{добу}$ ;  $h_1$  – глибина фільтруючого потоку вільної води по осі дренуючого шару, приймають  $h_1 = h_{\text{нас}}$ , м;

$h_2$  – глибина фільтруючого потоку вільної води по краю дренуючого шару (зазвичай не перевищує  $0,05$  м), для визначення максимально допустимого коефіцієнта фільтрації  $h_2 = h_{\text{нас}}$ , м.

Проведемо розрахунок відстані між дренажними воронками при розрахунковому питомому надлишку вологи  $Q_p = 0,05 \text{ м}^3 \text{ м}^2$  за добу

Максимальне значення глибини фільтраційного потоку яке визначається за формулою:

$$h_{\text{нас}} = \frac{Q_p \cdot T_{\text{зап}}}{q_3 - q_1} = \frac{0,05 \cdot 3}{0,65} = 0,231 \text{ м},$$

$$h_{3б} = i B \cdot 2 = 0,03 \cdot \frac{7,5}{2} = 0,112 \text{ м}$$

$$h = h_{\text{нас}} + h_{3б} = 0,231 + 0,112 = 0,343 \text{ м},$$

Необхідне значення коефіцієнта фільтрації дренажного шару дорівнює:

$$K\phi = \frac{Q_p \cdot (B \cdot 2)^2}{0,67 \cdot (h_2 + 2h_1) \cdot (h_1 + iB \cdot 2 - h_2)} = \frac{0,05 \cdot (7,5 \cdot 2)^2}{0,67 \cdot (0,231 + 2 \cdot 0,231) \cdot (0,231 + 0,03 \cdot 7,5 \cdot 2 - 0,231)} = \frac{13,474 \text{ м}^3}{13,474 \text{ м}^3 \text{ добу}}$$

Тоді відстань між трубчастими воронками буде дорівнювати:

$$L = L_{\text{кр}} + L_{\text{пс}} = \frac{3,16 K}{Q_p B \ln \frac{6,34}{2r_{\text{пчв}}}} h^2 +$$

The depth of seepage relatively mark the bottom of the receiving hopper particles determined by the formula

$$h = h_{\text{нас}} + h_{3б}, \quad (6)$$

$$h_{3б} = i B \cdot 2. \quad (7)$$

where:  $i$  – top cross slope roadbed, expressed in hundredths of a unit, often taking,  $i = 0,03$ , ‰;

The required values of the drainage layer filtering can be defined by the formula

$$K\phi = \frac{Q_p \cdot (B \cdot 2)^2}{0,67 \cdot (h_2 + 2h_1) \cdot (h_1 + iB \cdot 2 - h_2)}, \quad (8)$$

where  $q_p$  – specific estimated surplus of free water  $1 \text{ м}^2$  draining layer,  $\text{м}^3/\text{day}$ ;

$h_1$  – depth filter flow of free water in the axis draining layer, taking  $h_1 = h_{\text{нас}}$ , м;

$h_2$  – depth filter free water flow through the land draining layer (typically less than  $0,05$  м) to determine the maximum filtration coefficient  $h_2 = h_{\text{нас}}$ , м.

Count the distance between the drainage craters counting the specific excess moisture  $Q_p = 0,05 \text{ м}^3 \text{ m of day}$

Maximum depth seepage determined by the formula:

$$h_{\text{нас}} = \frac{Q_p \cdot T_{\text{зап}}}{q_3 - q_1} = \frac{0,05 \cdot 3}{0,65} = 0,231 \text{ м},$$

$$h_{3б} = i B \cdot 2 = 0,03 \cdot \frac{7,5}{2} = 0,112 \text{ м}$$

$$h = h_{\text{нас}} + h_{3б} = 0,231 + 0,112 = 0,343 \text{ м},$$

The required values of the drainage layer is filtering:

$$K\phi = \frac{Q_p \cdot (B \cdot 2)^2}{0,67 \cdot (h_2 + 2h_1) \cdot (h_1 + iB \cdot 2 - h_2)} = \frac{0,05 \cdot (7,5 \cdot 2)^2}{0,67 \cdot (0,231 + 2 \cdot 0,231) \cdot (0,231 + 0,03 \cdot 7,5 \cdot 2 - 0,231)} = \frac{13,474 \text{ м}^3}{13,474 \text{ м}^3 \text{ добу}}$$

Then the distance between the tubular craters will be equal:

$$L = L_{\text{кр}} + L_{\text{пс}} = \frac{3,16 K}{Q_p B \ln \frac{6,34}{2r_{\text{пчв}}}} h^2 +$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{16 K}{Q_p B} \left( 0,04 h_{\text{нас}} + 0,4 h_{\text{нас}}^2 + \frac{h_{\text{нас}}^3}{0,18} - \right. \\
 & \left. - 0,04 h_{36} + 0,4 h_{36}^2 + \frac{h_{36}^3}{0,18} \right) = \\
 & = \frac{3,16 * 13,474}{0,05 * 7,5 \ln \frac{6,34}{2 * 0,25}} 0,343^2 + \\
 & \quad + \frac{16 * 13,474}{0,05 * 7,5} * \\
 & \quad 0,04 * 0,231 + 0,4 * 0,231^2 + \frac{0,231^3}{0,18} - \\
 & * \\
 & - 0,04 * 0,112 + 0,4 * 0,112^2 + \frac{0,112^3}{0,18} \\
 & = 52,027 \text{ м}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{16 K}{Q_p B} \left( 0,04 h_{\text{нас}} + 0,4 h_{\text{нас}}^2 + \frac{h_{\text{нас}}^3}{0,18} - \right. \\
 & \left. - 0,04 h_{36} + 0,4 h_{36}^2 + \frac{h_{36}^3}{0,18} \right) = \\
 & = \frac{3,16 * 13,474}{0,05 * 7,5 \ln \frac{6,34}{2 * 0,25}} 0,343^2 + \\
 & \quad + \frac{16 * 13,474}{0,05 * 7,5} * \\
 & \quad 0,04 * 0,231 + 0,4 * 0,231^2 + \frac{0,231^3}{0,18} \\
 & * \\
 & - 0,04 * 0,112 + 0,4 * 0,112^2 + \frac{0,112^3}{0,18} \\
 & = 52,027 \text{ м}
 \end{aligned}$$

Отримуємо відстань між трубчастими воронками рівною 52 м. Але проблема полягає в тому, що ці залежності на враховують різку зміну вологонакопичення, яке може сягати 100-120 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> за добу, що спричинено змінами клімату і режиму опадів.

Get the distance between the tubular craters is 52 m. But the problem is that these dependencies account for the sharp change accumulation of moisture, which can reach 100-120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> per day, which is caused by changes in climate and precipitation regime.

### Висновки

Найбільш актуальною проблемою будівництва в дорожній галузі залишається виникнення деформацій та руйнування покриттів дорожніх одягів. Серед причин виникнення деформацій та руйнувань дорожнього одягу є недостатня міцність неукріплених основ дорожніх конструкцій.

Земляне полотно і дорожній одяг у процесі експлуатації зазнають процесів, пов'язаних з тепло-масообмінними явищами, тобто періодично звожуються і просихають, охолоджуються і нагріваються, промерзають і відтають. Сукупність цих процесів визначає ВТР дороги. Небезпечна дія водно-теплових факторів на дорогу виявляється у формуванні процесів зволоження і перезволоження ґрунтів полотна і шарів одягу, наслідком яких є зниження щільності і міцності ґрунтів, виникнення просідання і здимання одягу, втрата суцільності одягів унаслідок тріщиноутворення.

Дренажні системи попереджують надмірне зволоження дорожньої конструкції та підтримують необхідну стійкість земляного полотна. Дренаж повинен забезпечити збір і відвід води з будь-якої точки покриття без переривання руху, в будь-який період року.

Дренажні воронки на автомобільних дорогах

### Conclusions

The most urgent problem in road construction industry is the emergence of deformation and fracture coatings pavements. Among the causes of deformation and destruction of pavement is insufficient strength unfortified fundamentals of road construction.

Roadbed and pavement in service undergo processes related to thermal mass transfer phenomena that occasionally moistened and dries out, cooled and heated, freeze and thaw. The combination of these processes determines ITR road. Dangerous performance water-heating factors on the road turns in forming processes waterlogged soil moisture and leaf and layers of clothing, the result of which is to reduce the density and strength of soil subsidence and emergence swelling clothing garments due to loss of continuity crack.

Drainage systems prevent excess moisture road construction and maintain the necessary stability of the roadbed. Drainage should ensure the collection and removal of water from anywhere in the coverage without interrupting traffic, in

влаштовуються для забезпечення стійкості земляного полотна для максимального захисту від перезволоження основи дорожнього одягу поверхневими та підземними водами. Це в свою чергу дозволяє подовжити експлуатаційний термін автомобільної дороги та її конструктивних елементів. Наступна робота авторів полягає в розробці моделей та методів проектування дренажних конструкцій, які дозволятимуть розподіляти та відводити великі надлишки вологи за короткий час.

#### **Література**

1. Тулаев А.Я. Конструкция и расчет дренажных устройств. – М. Транспорт, 1980. – 191 с. (Тулаев О.Я. Конструкция і розрахунок дренажних пристроїв. - М.: Транспорт, 1980. – 191 с.).
2. Методика визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкового залягання з урахуванням річного циклу роботи М 218-02070915-684:2011.
3. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / Н.А.Пузаков, И.А. Золотарь, В.М. Сиденко, А.Я. Тулаев и др.; Под. ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. М., Транспорт, 1971. 413с.
4. Пузаков Н.А. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог. М: Н-Т изд. Минавтотранса и шос. дорог РСФСР, 1960, 168 с.
5. Сиденко В.М., Расчет и регулирование водно-теплого режима дорожных одежд и земляного полотна, М: Н-Т изд. Минавтотранса и шос. дорог РСФСР, 1962, 116с.
6. Рувинский В.И., Оптимальные конструкции земляного полотна (на основе регулирования водно-теплого режима). - М.: Транспорт, 1982. – 166 с.
7. Методичні рекомендації щодо регулювання водно-теплого режиму у межах робочого шару земляного полотна автомобільних доріг МР В 2.3-02070915-849:2014
8. ДСТУ-Н Б В.2.3-41:2016 Настанова з проектування дренажних конструкцій мілкового закладання на автомобільних дорогах

#### **Рецензенти:**

Савенко В.Я., д-р тех. наук, Національний транспортний університет.  
Гамеляк І.П., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

#### **Reviewers:**

Savenko V.Ya., Dr. Tech. Sci., National Transport University.  
Gameliak I.P., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

any season.

Drainage craters on the roads arranged to ensure the stability of the roadbed for maximum protection from waterlogged foundations pavement surface and groundwater. This in turn can extend the operating time road and its structural elements. Next work of the authors is to develop models and methods for designing drainage structures that allow distribute and allocate large excess moisture in a short time.

#### **Literature**

1. A. J. Tulaev Constructions and calculation drainage devices. - M. Transport, 1980. - 191 p. (OJ Tulayev design and calculation of drainage devices. - M.: Transport, 1980. - 191 p.).
2. Method of determining the capacity of the drainage design shallow occurrence considering the annual cycle of M 218-02070915-684: 2011.
3. Water-thermal treatment of roadbed and road Clothing / N.A.Puzakov, IA Goldsmith, V. Sydenko, AJ Tulaev et al. ; Pod. Ed. IA Goldsmith, NA Puzakova, VM Sydenko. M., Transportation, 1971. 413s.
4. Puzakov N.A. Water thermal regime subgrade avtomobylnyh roads. M: H-T ed. Minavtotrans and SCO. roads RSFSR, 1960, 168 p.
5. Sydenko V.M. Calculation and regulation of water and heat regime Clothing and road subgrade, N, N-t ed. Minavtotrans and SCO. roads RSFSR, 1962, 116s.
6. Ruvynskyy V.I., Optymalnye Constructions subgrade (based on the regulation of water-heat mode). - M.: Transport, 1982. - 166 p.
7. Guidelines for the regulation of fluid and thermal conditions within the working layer of subgrade of roads in MY 2.3-02070915-849: 2014
8. ISO-H B V.2.3-41: 2016 Guidelines for the design of drainage structures shallow on the roads

Стаття надійшла до редакції: **13.10.2016 р.**