

Савенко В.Я., д-р техн. наук, Славінська О.С., д-р техн. наук, Усиченко О.Ю.,  
канд. техн. наук

## ЗАКОНОМІРНОСТІ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

**Анотація.** В статті узагальнені положення про водно-тепловий режим земляного полотна автомобільних доріг, проаналізовано його основні періоди та наведено характерні риси та особливості функціонування.

**Ключові слова:** водно-тепловий режим, земляне полотно, автомобільна дорога.

**Аннотация.** В статье обобщены положения о водно-тепловом режиме земляного полотна автомобильных дорог, проанализированы его основные периоды и приведены характерные черты и особенности функционирования

**Ключевые слова.** Водно-тепловой режим, земляное полотно, автомобильная дорога.

**Abstract.** The paper summarizes the position of the water-heat subgrade mode of automobile roads, analyzed its main periods and lists the characteristics and peculiarities of functioning

**Keywords.** Water and thermal regime, roadbed, road.

**Постановка проблеми.** Найбільш актуальною проблемою будівництва в дорожній галузі залишається виникнення деформацій та руйнування покриттів дорожніх одягів. Традиційно найбільшої уваги інженери-будівельники приділяють якості та технології влаштування шарів дорожнього одягу. Але серед причин виникнення деформацій та руйнувань дорожнього одягу є недостатня міцність неукріплених основ дорожніх одягів та земляного полотна.

**Мета статті.** Узагальнити поняття про періоди водно-теплого режиму земляного полотна

**Виклад основного матеріалу.** Недостатня міцність ґрунтів земляного полотна може бути наслідком порушення технології будівництва, використання некондиційних матеріалів та перевищення вологості ґрунту розрахункових

значень. Саме перезволоження ґрунту призводить до втрати його міцності (з перевищенням реальною вологістю оптимальної міцності ґрунту знижується до 2 разів).

Тепловий режим ґрунтів порушується наявністю більш теплопровідного дорожнього одягу та погіршується в результаті регулярного прибирання снігу. Це призводить до підвищення зимового вологонакопичення під проїзною частиною та нерівномірного здимання покриття при промерзанні земляного полотна та осідання при відтаванні.

Земляне полотно і дорожній одяг у процесі експлуатації періодично звожуються і просихають, охолоджуються і нагріваються, промерзають і відтають, тобто відбуваються процеси, пов'язані з тепломасообмінними явищами. Сукупність цих процесів визначає водно-тепловий режим дороги.

Стан дорожнього одягу і термін служби пов'язані з особливостями водно-теплого режиму, тобто щільністю та вологістю ґрунтів, значення яких змінюються в часі і з глибиною ґрунтової товщі.

В дорожньому одязі і земляному полотні одночасно відбувається декілька процесів: теплообмін зволоженого матеріалу з приземним повітрям, дифузія пари і води в порах матеріалу, вологообмін між дорожнім покриттям і приземним повітрям, інфільтрація опадів через тріщини в дорожньому одязі і земляному полотні, інфільтрація води в земляне полотно зі сторони узбіччя.

Водно-тепловий режим доріг має річний цикл: він починається з жовтня і закінчується вереснем. Вологість земляного полотна в межах товщини робочого шару значно збільшується в осінньо-зимово-весняний період. Вологість ґрунтів збільшується за рахунок інфільтрації поверхневих вод через тріщини, розділювальні смуги та підтягування вологи знизу при промерзанні земляного полотна. Всі періоди зволоження складають єдиний закономірний цикл руху вологи в ґрунтах полотна внаслідок впливу на нього природних факторів навколишнього середовища.

Цей круглорічний цикл складається з чотирьох взаємообумовлених періодів зміни вологості:

- 1) Інтенсивне зволоження дорожньої конструкції в осінній період – період початкового накопичення вологи;
- 2) Перерозподіл вологи в зимовий період і накопичення її в верхніх шарах земляного полотна в кристалічній формі;
- 3) Відтавання і насичення дорожньої конструкції;

4) Відновлення і поступова нормалізація літнього водного режиму

### **Основні періоди водно-теплогового режиму.**

Перший період: Інтенсивне зволоження дорожньої конструкції в осінній період.

Початкове накопичення вологи у ґрунтах земляного полотна після літнього просихання починається з переходом середніх добових температур повітря через  $+10^{\circ}\text{C}$ . До цього часу відбувається зміна напрямку теплового потоку в ґрунтах. При літньому просиханні ґрунтів тепловий потік напрямлений зверху вниз. Восени, як правило, зменшується інтенсивність, але збільшується тривалість випадання опадів, зменшується дефіцит вологості повітря, і випаровування, розпочинається підняття ґрунтових вод.

Основним джерелом зволоження в період початкового осіннього накопичення є атмосферні опади і водяна пара.

Спостереження на дорогах показують, що притік вологи зверху за період початкового накопичення визначається не лише сумарною кількістю опадів, але й інтенсивністю та тривалістю їх випадання, а також температурою і дефіцитом вологості повітря. Рівень ґрунтових вод дещо підвищується, проте не впливає на вологість ґрунтів верхньої частини земляного полотна. Перша стадія триває до встановлення середньодобової температури повітря на рівні мінус  $3-5^{\circ}\text{C}$  - початок стійкого промерзання ґрунтів. Цей етап чітко визначає, що процес пучиноутворення починається восени.

Другий період: 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 носить більш несприятливий характер.

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 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.

Третій період: Відтавання і насичення дорожньої конструкції. починається з встановленням у верхніх шарах ґрунту стійких позитивних температур і продовжується до повного відтавання ґрунту. Перед початком відтавання підвищується температура мерзлих ґрунтів і змінюється напрямок теплового потоку. При дії сонячної радіації у ранньовесняний період дорожня конструкція відтає зверху вниз, і досить довгий час дорога знаходиться у ситуації, коли вільна вода від танення кристалів льоду в розташованих вище шарах полотна не може переміщуватись вниз під дією сил гравітації у зв'язку з промерзлою і насиченою кристалами льоду розташованою нижче частиною земляного полотна. Ця частина полотна являє собою тимчасовий водоупор і називається донником. Через велику теплопровідність дорожнього одягу земляне полотно відтає під проїзною частиною швидше, ніж на узбіччях і укосах, тому в середній частині земляного полотна відбувається скупчення вільної води, яка не має виходу через мерзлі укоси. На ділянках доріг з поздовжніми похилами вода, що накопичилась в кориті земляного полотна, стікає і скупчується у понижених місцях, особливо поблизу увігнутих переломів профілю дороги; в результаті в окремих місцях понижується міцність ґрунту полотна і виникають руйнування одягу. Наявність донника приводить до

того, що вологість ґрунту у граничних з дорожнім одягом шарах полотна досягає  $200 \div 300\%$  границі текучості ґрунту  $W_t$ , тобто несна здатність граничного шару ґрунтової основи катастрофічно знижується, танення мерзлого здимального ґрунту робить його перезволоженим та розм'якшеним. З'являється надлишок вільної води, яка відтискається в підстильний шар дорожнього одягу під дією динамічного впливу транспорту та защемленого повітря, яке розширюється при різниці температур  $\geq 3^\circ\text{C}$ . Нерівномірність розмерзання супроводжується перезволоженням ґрунтів під дорожнім одягом, що супроводжується зниженням його міцності. До запасів вологи, що накопичуються за зиму, в процесі відтавання додається волога від атмосферних опадів і снігу, що тоне. Наявність валиків снігу на узбіччях сприяє проникненню вільної води, особливо у місцях сполучення з проїзною частиною. Відбувається підняття рівня ґрунтових вод. При неглибокому заляганні ґрунтових вод від поверхні землі і значному зимовому вологонасиченні підземні води можуть перешкоджати просочуванню вниз вологи, яка звільнилась при відтаванні мерзлих ґрунтів, і тим самим сприяють перезволоженню талих ґрунтів. Дослідженнями встановлено, що по мірі танення льоду в ґрунті частина звільненої вологи іде на гідратацію обезводнених при промерзанні частинок (до 15% від ваги скелету ґрунту), частина води залишається у талому ґрунті в капілярах і замкнених пустотах, що утворюються на місці льодяних лінз. Решта вільної води по мірі відтавання опускається донизу, а частина під впливом напірних сил піднімається до поверхні і потрапляє в дренажний шар.

Цей етап є вінцем процесу пучиноутворення. Характеризується появою руйнувань дорожнього покриття та утворенням колій.

Швидкість відтавання здійснює виключний вплив на процес зміни вологості земляного полотна. Чим триваліша затяжна весна з нічними приморозками, які змінюються теплими сонячними днями без опадів, тим швидше знижується вологість ґрунту внаслідок підвищеного випаровування вдень і морозного вимерзання вночі. Отже, у цьому випадку імовірність зниження модуля пружності  $E_0$  ґрунту зменшується. Якщо ж весна «дружня», особливо дощова, що характеризується високою швидкістю відтавання, збільшується кількість деформацій на покриттях через зниження міцності ґрунту і матеріалу підстильного шару.

Четвертий період: Відновлення і поступова нормалізація літнього водного режиму ґрунтового масиву. По мірі прогрівання земляного полотна починається четвертий 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.

### **Висновки**

Питання визначення розрахункових характеристик ґрунту та методів регулювання водно-теплового режиму дорожньої конструкції набувають нової актуальності у зв'язку із глобальними змінами кліматичної системи та клімату України. Всі розрахунки волого-теплового режиму земляного полотна повинні виконуватися відповідно до наведених в статті чотирьох періодів водно-теплового режиму.

### **Література**

1. 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. – 413 с.
  2. Кизима С. С. Основи експлуатації автомобільних доріг : навчальний посібник. – К., 2001. - 164 с.
- Тулаев А.Я. Конструкция и расчет дренажных устройств. – М.: Транспорт, 1980. – 191 с.