

Процюк В.О.

ПРОГНОЗУВАННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ НА ДІЛЯНКАХ З НАДМІРНИМ ЗВОЛОЖЕННЯМ ГРУНТІВ

Анотація. У статті проведено аналіз основних моделей прогнозування поля вологості ґрунтів земляного полотна для трьох типів місцевості за характером зволоження. За цими формулами проведено розрахунок вологості. Проведено розрахунок загального модуля пружності дорожньої одягу запроєктованої автомобільної дороги. Запропоновані заходи, щодо збереження міцності дорожнього одягу.

Ключові слова: автомобільна дорога, дорожня конструкція, вологість ґрунту, модуль пружності, водно-тепловий режим..

Аннотация. В статье проведен анализ основных моделей прогнозирования поля влажности грунтов земляного полотна по трем типам местности по условиям увлажнения. По этим формулам проведен расчет влажности. Проведен расчет общего модуля упругости дорожной одежды запроектированной автомобильной дороги. Предложены мероприятия к сохранности прочности дорожной одежды.

Ключевые слова: автомобильная дорога, влажность почвы, модуль упругости, водно-тепловой режим.

Annotation. The article analyzes the main models forecasting field soil moisture subgrade in the three types of terrain on the nature of moisture. These formulas calculation of humidity. The calculation of the modulus pavement of design road. Proposed measures to preserve the performance of pavement.

Key words: highway, pavement, humidity of soil, modulus, water-heat treatment.

На міцність та працездатність дорожнього одягу впливає, як зростання інтенсивності руху і навантаження на вісь автомобіля, так і погодно-кліматичні

та гідрологічні фактори. Вони формують водно-тепловий режим земляного полотна, якій визначається закономірностями сезонної зміни вологості та температури ґрунтів земляного полотна та шарів основи. Небезпечний вплив погодно-кліматичних факторів проявляється у зниженні міцності ґрунтів земляного полотна, їх розсуцільненні, а також у вигляді деформацій та руйнувань: пучення дорожнього одягу, просадки, сітка тріщин, проломи, що в кінцевому підсумку призводить до зниження несучої здатності дорожнього одягу, погіршення рівності покриття, зменшення коефіцієнта зчеплення колеса автомобіля з проїзною частиною. Зниження несучої здатності дорожнього одягу призводить до необхідності вживання заходів із обмеження руху на даних ділянках.

Водно-тепловий режим суттєво залежить від інтенсивності джерел зволоження. Вода потрапляє у шари основи та земляне полотно у вигляді атмосферних опадів через тріщини у покритті, з боку неукріплених узбіч та укоси; при горизонтальній міграції до осі дороги під час тривалого застою води в бокових каналах; при дії капілярного зволоження на ділянках з близьким заляганням ґрунтових вод.

В залежності від типу і інтенсивності зволоження ділянки, на яких проходить автомобільна дорога, поділяються на три типи за характером зволоження: сухі ділянки (I тип), вологі ділянки (II тип) і мокрі ділянки (III тип).

Водно-тепловий режим закономірно змінюється протягом року. Аналіз цих закономірностей має велике значення при оцінці впливу водно-теплого режиму на термін служби дороги. Роботу дорожнього одягу і земляного полотна протягом року можна характеризувати чотирма періодами, які майже співпадають із періодами року. Найбільш небезпечним для роботи дорожнього одягу являється період весняного відтавання ґрунту, коли можуть виникати просадки та інші руйнування дорожнього одягу через перезволоження ґрунту, а також холодний період волого накопичення, коли можуть виникати пучення дорожнього одягу. Саме весняний період приймають за розрахунковий період для дорожнього одягу і земляного полотна. В процесі відтавання ґрунту знижується загальний модуль пружності дорожнього одягу до мінімального значення, адже залежить від модуля ґрунту, який являється функцією вологості, щільності і структури ґрунту [1]:

$$E_{\bar{a}\bar{\theta}} = f(W, K_{\phi}, m_c) \quad (1)$$

В ХАДІ ця функція була досліджена при різній вологості та ступені ущільнення і в подальшому апроксимована поліномами:

$$E_{\phi, c, tg \varphi_0} = AW^3 + BW^2 + CW + D \quad (2)$$

За допомогою обчислювальної техніки були обраховані коефіцієнти А, В, С, D.

Таким чином для визначення впливу вологості на міцність дорожнього одягу в розрахунковий період і прогнозування зміни міцності необхідно знати значення вологості в цей період для розв'язання залежності (2).

Прогнозуванням поля вологості ґрунтів земляного полотна займалися такі вчені: В.М. Сіденко, І.А. Золотарь, М.А. Пузаков, О.Я. Тулаєв, М.Б. Корсунський, Л.О. Преферансова, П.Д. Россовський, В.І. Рувінський, В.Н. Єфіменко, Е.І Шелопаєв, А.І. Ярмолинський та інші.

Для встановлення початкових значень вологості ґрунтів використовують як експериментальні методи експрес оцінки вологості ґрунтів в польових умовах та при відборі проби ґрунтів із свердловин, так і теоретичні методи розрахунку значень вологості, а також методи статистичної обробки результатів натурних спостережень. До експрес методів можна віднести вимірювання вологості за допомогою вологоміра, вологоміра-плотноміра Ковальова, а також використання георадарних технологій. До теоретичних методів розрахунку можна віднести методи прогнозування поля вологості ґрунтів [2], значення вологості приймають за результатами статистичної обробки середньостатистичних річних даних метеостанцій.

В.М. Сіденком у роботі [2] були запропоновані рівняння для розрахунку зміни вологості по глибині z в будь-який розрахунковий період для трьох типів місцевості за умовами зволоження. Так для першого типу місцевості, де ґрунтові води залягають глибоко рівняння має такий вигляд:

$$W(z, T) = W_f - mz \sqrt{\frac{T}{\pi a_1}} \exp\left(-\frac{z^2}{4a_1 T}\right) + m \cdot \left(T + \frac{z^2}{2a_1}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{z}{2\sqrt{a_1 T}}\right), \quad (3)$$

Аналіз даної формули показує, що в період морозного вологонакопичення вологість в активній зоні зменшується зверху вниз. При відносній вологості $W_{II} \leq 0,50 - 0,60$ накопичення вологи супроводжується в результаті термодифузії парів, при $W_{II} \geq 0,65 - 0,70$ – головним чином в результаті концентраційної міграції рідкої фази.

Для другого типу місцевості за характером зволоження:

$$W(z, T) = W_{IA} - [W_{IA} - (W_I + m_1 T)] \frac{z}{l} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{1}{n} \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2 a T_1}{l^2}\right) \left[W_I - W_{IA} - \frac{(-1)^n m l^2}{\pi^2 n^2 a_1} \right] + \frac{(-1)^n m l^2}{\pi^2 n^3 a_1} \right\} \sin \frac{n \pi z}{l}, \quad (4)$$

Для третього типу місцевості:

$$W(z, T) = W_1 + m T_{\hat{A}} + \frac{1}{h_{\hat{A}, \hat{A}}} (W_{IA} - W_1 - m T_{\hat{A}}) \cdot z - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 m h_{\hat{A}, \hat{A}}^2}{\pi^3 a_1 n^3} \left[1 - \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2 a_1 T_{\hat{A}}}{h_{\hat{A}, \hat{A}}^2}\right) \right] \cdot \sin \frac{n \pi z}{h_{\hat{A}, \hat{A}}} \quad (5)$$

Аналіз рівняння для третього типу місцевості показує, що накопичення вологи збільшується при зменшенні глибини залягання ґрунтових вод, і при збільшенні T_B і вологопровідності ґрунту a_1 .

Дані формули дозволяють розрахувати вологість ґрунту земляного полотна до кінця періоду вологонакопичення для різних умов зволоження доріг.

Для оцінки впливу вологості на деформаційні характеристики дорожнього одягу були проведенні розрахунки за пружним прогином дорожнього одягу від прикладеного розрахункового навантаження.

За розрахункову прийнята конструкція дорожнього одягу автомобільної дороги М-07 Київ–Ковель–Ягодин на ділянці км 464+400 – км 468+000. Існуюча дорожня конструкція була запроектована в 2010 році і будується в даний момент. Запроектований дорожній одяг представлений на рис. 1.

Відповідно до проекту автомобільної дороги, конструкція дорожнього одягу на всій ділянці представлена одним типом, разом з тим, тип місцевості за зволоженням різний. В такому випадку масо-обмінні процеси в конструкції дорожнього одягу будуть відбуватися за різними закономірностями. Як було сказано вище, що гідрологічні фактори суттєво впливають на міцність

дорожнього одягу, тому на різних ділянках по-різному буде відбуватися втрата несучої здатності автомобільної дороги.

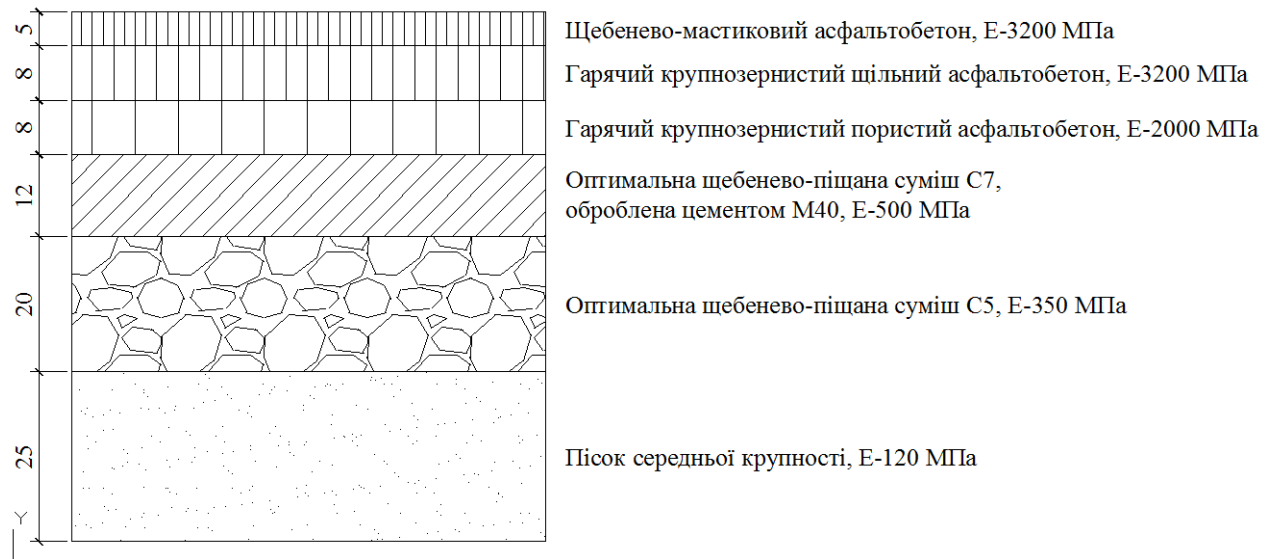


Рисунок 1 – Конструкція дорожнього одягу

Ділянка автомобільної дороги, що досліджується, проходить територією Волинської області в У-І дорожньо-кліматичній зоні. Згідно проектних даних ґрунтові води залягають на глибині від 1,0 м до 3,7 м, а в районі річки Вижівка на глибині від 0,2 м до 0,6 м від денної поверхні. Після сніготанення можливе підвищення ґрунтових вод на 0,5 – 1,5 м. Згідно з [3] ділянка автомобільної дороги розташована в трьох типах місцевості за зволоженням. На ПК 4728+50 – ПК 4732+50 (район річки Вижівка з близьким заляганням ґрунтових вод) відноситься до третього типу за характером зволоження земляного полотна.

Для прогнозування змінення модуля пружності дорожнього одягу в річному циклі була вибрана ділянка автомобільної дороги на ПК 4728+50 – ПК 4732+50, де ґрунтові води залягають на глибині 0,2 – 0,6 м від денної поверхні. Ділянка дороги відноситься до третього типу за характером зволоження.

Як відомо, найбільш небезпечним періодом експлуатації автомобільної дороги являється період весняного сніготанення, коли вологість земляного полотна і шарів основи дорожнього одягу досягає своїх максимальних значень. Згідно досліджень [4], період вологонакопичення для Волинської області складає 45 – 55 днів.

Формули (3-5) дозволяють розрахувати вологість по глибині в будь-який період вологонакопичення.

Оскільки ділянка, що досліджується, відноситься до третього типу за характером зволоження, то для розрахунку використовуємо залежність (3). Зміни деформаційних та міцнісних характеристик дорожнього одягу розраховувались для періодів: 10 днів, 20, 30, 40, 50 днів (відповідно 240, 480, 720, 960, 1200 годин) від початку водологонакопичення.

Вихідними даними розрахунку є: ґрунт земляного полотна – пісок пилюватий; W_I – вологість ґрунту на початок періоду вологонакопичення ($W_I = 0,20$ д.о., $W_T = 0,28$ д.о.); m – коефіцієнт, що характеризує зміну вологості ґрунту полотна під дорожнім одягом ($m = 2 \cdot 10^{-5}$ 1/год); T_B – період вологонакопичення, год; $h_{Г.В.}$ – відстань від розрахункового горизонту ґрунтових вод до низу дорожнього одягу, м; $W_{П.В.}$ – повна вологоємність; z – глибина на якій проводиться розрахунок вологості, м; a – коефіцієнт вологопровідності ($a = 7,5 \cdot 10^{-4}$ м²/год).

Повна вологоємність ґрунту $W_{П.В.}$ розраховується за співвідношенням:

$$W_{I \ .\hat{A}.} = \frac{\Delta - \delta}{\Delta \cdot \delta}, \quad (4)$$

де Δ – питома вага ґрунту, г/см³;

δ – об'ємна вага скелету ґрунту, г/см³.

Відомо, що коефіцієнт пористості рівний:

$$\varepsilon = \frac{\Delta - \delta}{\delta}, \quad (5)$$

тому при відомому коефіцієнті пористості рівняння (4) перетворюється до вигляду:

$$W_{I \ .\hat{A}.} = \frac{\varepsilon}{\Delta}. \quad (6)$$

Для супіску обчислюємо повну вологоємність за формулою (6).

$$W_{I \ .\hat{A}.} = \frac{0,89}{2,68} = 0,33.$$

Проводимо розрахунок поля вологості підстильного ґрунту на нижній границі дорожнього одягу ($z = 0$). Виходячи з цього, рівняння (4) приймає наступний вигляд $W(z, T) = W_I + mT_{\hat{A}.}$

Після розрахунку поля вологості підстильного ґрунту ми встановлюємо відповідно до [5] значення модулів пружності ґрунтів для кожного періоду волого накопичення (рис. 2):

- при $T_B=0$ год, $W=W_I=0,20$ д.о. ($0,71 W_T$), $E_{zp}=78$ МПа;
- при $T_B=240$ год, $W=0,20+2 \cdot 10^{-5} \cdot 240=0,205$ д.о. ($0,73 W_T$), $E_{zp}=73$ МПа;
- при $T_B=480$ год, $W=0,20+2 \cdot 10^{-5} \cdot 480=0,210$ д.о. ($0,75 W_T$), $E_{zp}=69$ МПа;
- при $T_B=720$ год, $W=0,20+2 \cdot 10^{-5} \cdot 720=0,214$ д.о. ($0,76 W_T$), $E_{zp}=67$ МПа;
- при $T_B=960$ год, $W=0,20+2 \cdot 10^{-5} \cdot 960=0,219$ д.о. ($0,78 W_T$), $E_{zp}=65$ МПа;
- при $T_B=1200$ год, $W=0,20+2 \cdot 10^{-5} \cdot 1200=0,224$ д.о. ($0,80 W_T$), $E_{zp}=62$ МПа.

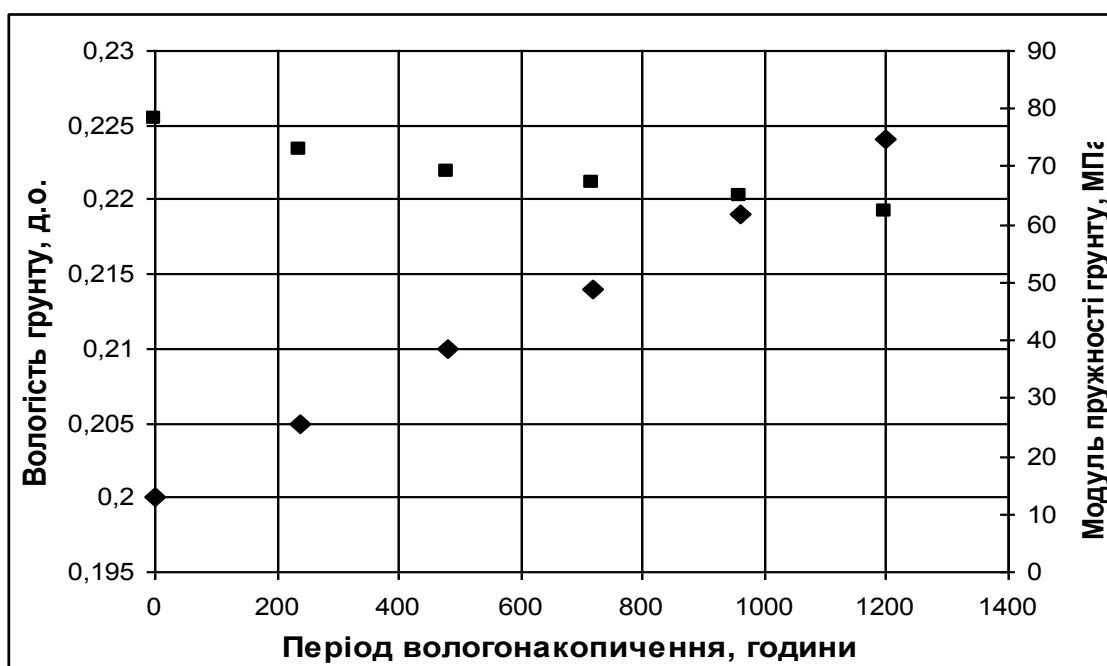


Рисунок 2 – Графік зміни фізичних і деформаційних характеристик ґрунта

Аналіз даних, що отримані при розрахунках, свідчить, що вологість ґрунту земляного полотна на межі із нижнім шаром основи за період вологонакопичення (50 днів), збільшиться з 20 % до 22,4 %, або з $0,71 W_T$ до $0,80 W_T$. Модуль ґрунту земляного полотна за цей період зменшується з 78 МПа до 62 МПа.

Подальший розрахунок дорожнього одягу при різних значеннях вологості ґрунту за критерієм пружного прогину та за критерієм опору зсуву в ґрунтах земляного полотна [5] дозволив отримати наступні значення загального модуля пружності дорожнього одягу:

- при $T_B=0$ год, $E_{заг.}=602$ МПа;
- при $T_B=240$ год, $E_{заг.}=592$ МПа;
- при $T_B=480$ год, $E_{заг.}=582$ МПа;
- при $T_B=720$ год, $E_{заг.}=573$ МПа;
- при $T_B=960$ год, $E_{заг.}=554$ МПа;
- при $T_B=1200$ год, $E_{заг.}=544$ МПа.

Загальний модуль пружності дорожнього одягу знижується з 602 МПа до 544 МПа (на 10 %). Згідно проекту реконструкції автомобільної дороги розрахунковий модуль пружності, який був прийнятий на перспективний період 11 років, складає 358 МПа. Тому коефіцієнт запасу міцності для прийнятих умов змінюється з 1,68 до 1,52.

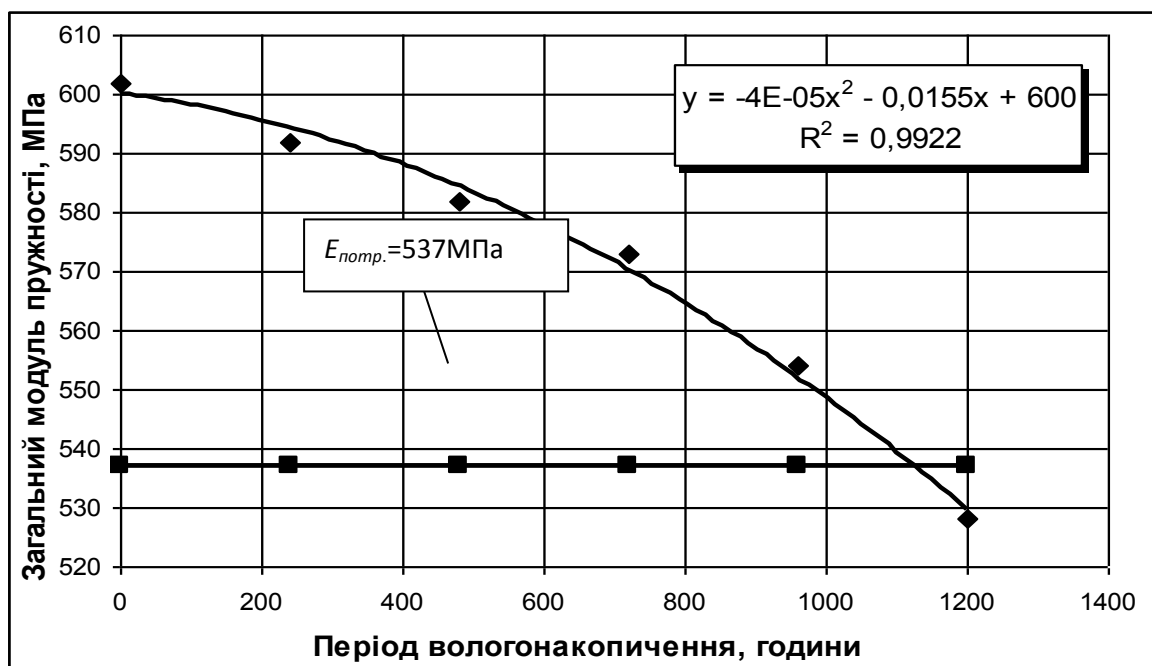


Рисунок 3 – Графік залежності модуля пружності дорожньої конструкції від вологості

Аналізуючи графік зміни модуля пружності дорожнього одягу (рис. 3), можна спрогнозувати, що дорожня конструкція на ділянці автомобільної дороги М-07 Київ–Ковель–Ягодин на ПК 4728+50 – ПК 4732+50 на 45 добу після початку періоду вологонакопичення (1076 годин) не буде задовольняти вимогам міцності за показником пружного прогину.

Тому для збереження експлуатаційних якостей даної автомобільної дороги необхідно рекомендувати заходи з обмеження руху вантажних автомобілів, в яких навантаження на вісь перевищує навантаження розрахункового автомобіля. Або передбачити оплату проїзду даною ділянкою для вантажних автомобілів, щоб компенсувати затрати на ремонт пошкодження конструкції завдане рухом автомобілів.

Реалізація методики визначення та прогнозування вологості ґрунту земляного полотна в розрахунковий період року дозволить в кінцевому результаті розробляти конструкції дорожніх одягів і земляного полотна, які б в повній мірі відповідали б умовам експлуатації.

Література

1. Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог / В.М. Сиденко, С.И. Михович – М.: Транспорт, 1976. – 288 с.
2. Сіденко В.М. Водно-тепловий режим міських доріг / В.М. Сіденко, В.О. Фомін – Харків.: Видавництво харківського університету, 1971. – 180 с.
3. Споруди транспорту. Автомобільні дороги: ДБН В.2.3-4-2007 – [Чинний від 2008-03-01]. – К.: Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2007. – 153 с. – (Стандарт Укравтодор).
4. Гудзинский М.Н. Основные расчетные характеристик грунтов полотна автомобильных дорог применительно к природным условиям УССР: дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.11.23 / Гудзинский М.Н. – Харків, 1975. – 265 с.
5. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В.2.3-218-186-2004 – [Чинний від 2005-01-01]. – К.: Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2004. – 91 с. – (Стандарт Укравтодор)