

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І  
АРХІТЕКТУРИ

кафедра міського будівництва

РОЗРАХУНКОВО ГРАФІЧНА РОБОТА  
з дисципліни  
«Інженерне облаштування міських вулиць і доріг»  
Варіант 16

Виконав: студент групи МБГ 20-1

Моргунов В.М

Перевірив:

Доц. Шилова Т.О

Київ 2023

## Зміст

1. Вихідні дані .....	3 ст.
2. Визначення сумарної кількості прикладень навантаження за строк служби... .....	3 ст.
3. Попереднє призначення конструкції та знаходження значень розрахункових параметрів .....	3 ст.
4. Розрахунок за допустимим пружним прогином .....	4 ст.
5. Розрахунок конструкції за умовою зсувостійкості в ґрунті .....	5 ст.
6. Розрахунок конструкції за умовою зсувостійкості в піщаному шарі основи .....	6 ст.
7. Розрахунок конструкції на опір монолітних шарів руйнування від розтягу при згині .....	7 ст.
8. Перевірка конструкції дорожнього одягу на морозостійкість .....	8 ст.
9. Список літератури .....	10 ст.

### 1. Необхідно запроектувати дорожній одяг з такими вихідними даними:

- дорога проходить у дорожньо-кліматичній зоні II; область Харківська
- категорія автомобільної дороги –II ; загальноміського значення
- строк експлуатації дорожнього одягу – $T_{сл} = 12$  років;
- за розрахункове навантаження прийнятий автомобіль групи  $A_2$  з розрахунковими параметрами (табл. 4):  $p = 0,8$  МПа,  $D_0 = 34,5$  см;
- приведена до навантаження типу  $A_2$  інтенсивність руху на кінець строку служби  $N_p = 2000$  один./д;
- показник зміни інтенсивності руху  $q = 1,04$ ;
- ґрунт робочого шару земляного полотна – суглинок легкий пілуватий з розрахунковою вологістю  $0,6 W_T$
- матеріал для основи – щебінь маломіцних порід і відходи каменедроблення, укріплені комплексними в'язучими (III клас міцності) та пісок крупний.

### 2. Визначають сумарну кількість прикладень навантаження за строк служби за формулою :

$$\sum N_p = 0,7 \times N_p \frac{K_c}{q^{(T_{сл}-1)}} T_{рдр} \cdot K_n, \text{ де}$$

$$K_c = \frac{q^{T_{сл}-1} - 1}{q - 1} = \frac{1,04^{12} - 1}{1,04 - 1} = 15,03$$

$$T_{рдр} = 135 \text{ днів}$$

$$K_n = 1,49$$

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 2000 \frac{15,03}{1,04^{(12-1)}} \cdot 135 \cdot 1,49 = 2749415 \text{ один.}$$

З урахуванням коефіцієнта, що залежить від кількості смуг руху (4 смуги руху в обох напрямках -  $f_{смуги} = 0,35$ ):

$$\sum N_p = 2749415 * 0,35 = 962295 \text{ один.}$$

### 3. Попередньо призначають конструкцію та значення розрахункових параметрів:

- для розрахунку за допустимим пружним прогином – додаток 3 таблиця Д3.1, додаток 4, таблиці Д4.2, Д4.4 та Д4.5;
- для розрахунку за умовою зсувостійкості – додаток 3 таблиці Д3.1 та Д3.2, додаток 4, таблиці Д4.2, Д4.4 та Д4.5;
- для розрахунку на опір монолітних шарів руйнуванню від розтягу при згині – додаток 4, таблиця Д4.1.

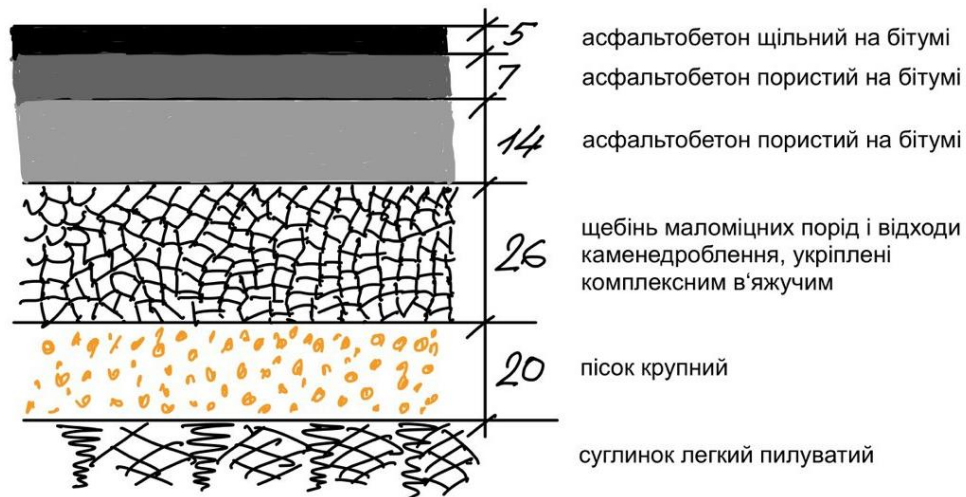


Рис. 1 Розрахункова конструкція дорожнього одягу.  
Отримані дані зводяться у табл. 1.

Таблиця 1

№ п/п	Матеріал шару	h шару, см	Розрахунок за					
			пружним прогином, E, МПа	опором зсуву, E, МПа	опором розтягу при згині			
					E, МПа	R <sub>лаб</sub> , МПа	m	K <sub>пр</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Асфальтобетон щільний на бітумі БНД-60/90	5	3200	1800	4500	9,8	5,5	4,0
2	Асфальтобетон пористий на бітумі БНД-60/90	7	2000	1200	2800	8,0	4,3	8,2
3	Асфальтобетон пористий крупнозернистий на бітумі БНД-60/90	14	2000	1200	2800	8,0	4,0	8,0
4	Щебінь маломіцних порід і відходи каменедроблення, укріплені комплексними в'язучими	26	420	420	420	–	–	–
5	Пісок крупний	20	130	130	130	–	–	–
6	Суглинок легкий пілуватий з W <sub>p</sub> = 0,6 W <sub>T</sub>	–	77	77	77	–	–	–

#### 4. Розрахунок за допустимим пружним прогином

Розрахунок за допустимим пружним прогином ведуть пошарове, починаючи із підстильного ґрунту, за допомогою номограми (рисунок Д2 додатку 2).

$$1) \quad \frac{E_H}{E_B} = \frac{E^{FP}}{E^5} = \frac{77}{130} = 0,592$$

$$\frac{h_g}{D} = \frac{h^5}{D} = \frac{20}{34,5} = 0,58$$

$$\frac{E_{заг}^5}{E^5} = 0,746$$

$$E_{заг}^5 = 0,745 \cdot E^5 = 0,746 \cdot 130 = 97 \text{ МПа}$$

$$2) \quad \frac{E_H}{E_B} = \frac{E_{заг}^5}{E^4} = \frac{97}{420} = 0,231$$

$$\frac{h_g}{D} = \frac{h^4}{D} = \frac{26}{34,5} = 0,754$$

$$\frac{E_{заг}^4}{E^4} = 0,47 \quad E_{заг}^4 = 0,47 \cdot E^4 = 0,47 \cdot 420 = 197 \text{ МПа}$$

$$3) \quad \frac{E_n}{E_6} = \frac{E_{заг}^4}{E^3} = \frac{197}{2000} = 0,099 \quad \frac{h_6}{D} = \frac{h^3}{D} = \frac{14}{34,5} = 0,406$$

$$\frac{E_{заг}^3}{E^3} = 0,195 \quad E_{заг}^3 = 0,195 \cdot E^3 = 0,195 \cdot 2000 = 390 \text{ МПа}$$

$$4) \quad \frac{E_n}{E_6} = \frac{E_{заг}^3}{E^2} = \frac{390}{2000} = 0,195 \quad \frac{h_6}{D} = \frac{h^2}{D} = \frac{7}{34,5} = 0,203$$

$$\frac{E_{заг}^2}{E^2} = 0,244 \quad E_{заг}^2 = 0,244 \cdot E^2 = 0,244 \cdot 2000 = 488 \text{ МПа}$$

$$5) \quad \frac{E_n}{E_6} = \frac{E_{заг}^2}{E^1} = \frac{488}{3200} = 0,153 \quad \frac{h_6}{D} = \frac{h^1}{D} = \frac{5}{34,5} = 0,145$$

$$\frac{E_{заг}^1}{E^1} = 0,183 \quad E_{заг}^1 = 0,183 \cdot E^1 = 0,183 \cdot 3200 = 586 \text{ МПа}$$

Потрібний модуль пружності визначають графічно або за формулами, приведеними на рис. 4:

$$E_{потр} = 42,843 \cdot \ln|\Sigma N_p| - 315,68 = 42,843 \cdot \ln 962295 - 315,68 = 274,57 \text{ МПа.}$$

Визначають коефіцієнт міцності за пружним прогином:

$$\frac{E_{заг}}{E_{потр}} = \frac{586}{274,57} = 2,13.$$

Потрібний мінімальний коефіцієнт міцності для розрахунку за допустимим пружним прогином – 1,43.

*Відповідно, вибрана конструкція задовольняє умову міцності за допустимим пружним прогином.*

## 5. Розраховують конструкцію за умовою зсувостійкості в ґрунті.

Діючі в ґрунті активні напруження зсуву вираховують за формулою (8):

$$T_a = \bar{\tau}_n \cdot p$$

Для визначення  $\bar{\tau}_n$  попередньо призначену дорожню конструкцію приводять до двошарової розрахункової моделі.

В якості нижнього шару моделі приймають ґрунт (суглинок легкий пилуватий) з такими характеристиками при  $W_p = 0,6 W_T$  і  $\Sigma N_p = 962295$  одиниць:  $E_n = 77$  МПа,  $\varphi = 24^\circ$  та  $C = 0,03$  (таблиця Д3.1).

Модуль пружності верхнього шару моделі вираховують за формулою (7), де значення модулів пружності матеріалів, які містять органічне в'язуче, призначають за таблицею Д4.2 при розрахунковій температурі  $20^\circ\text{C}$ .

$$E_B = \frac{1800 \cdot 5 + 1200 \cdot 7 + 1200 \cdot 14 + 420 \cdot 26 + 130 \cdot 20}{72} = 662,7 \text{ МПа.}$$

Для відношень  $\frac{E_B}{E_H} = \frac{662,7}{77} = 8,61$  і  $\frac{h_e}{D} = \frac{72}{34,5} = 2,09$

при  $\varphi_N = \varphi \cdot k_{N\varphi} = 24 \cdot 0,37 = 9^\circ$  ( $k_{N\varphi}$  визначають за таблицею Д3.2) за допомогою номограми (рисунок Д5.2) знаходять активне напруження зсуву:  $\bar{\tau}_n = 0,0154$  МПа.

$$T = \tau_n + \tau_B$$

$$\tau_n = \bar{\tau}_n \cdot p = 0,0154 \cdot 0,8 = 0,01232.$$

Напруження зсуву в  $\tau_B$  у ґрунті від власної ваги дорожнього одягу знаходиться за формулою (6.21):

$$\tau_B = 10^{-5} (5 - 0,3 \varphi) \sum_{i=1}^n h_i = 10^{-5} (5 - 0,3 \cdot 9) (5 + 7 + 14 + 26 + 20) = 0,001656 \text{ МПа,}$$

де  $\varphi$  – кут внутрішнього тертя ґрунту;

$h_i$  – товщина  $i$ -го шару, см;

$n$  – кількість шарів дорожнього одягу.

$$T = 0,01232 + 0,001656 = 0,013976 \text{ МПа.}$$

Граничне напруження зсуву в ґрунті  $T_{gp}$ , у МПа, визначають за формулою:

$$T_{gp} = C_{gp} k_1 \cdot k_2 k_3,$$

$$k_2 = 1,816 - 0,15 \ln \left( \sum N_p / (T_{pdp} T_{cl}) \right) = 1,816 - 0,15 \ln (962295 / 130 \cdot 13) = 0,8579$$

$$T_{gp} = 0,03 \cdot 1,0 \cdot 0,8579 \cdot 1,5 = 0,038606 \text{ МПа.}$$

$$K_{мц} = \frac{T_{гр}}{T_a} = \frac{0,038606}{0,013976} = 2,76, \text{ що більше } K_{мц}^{потр} = 1,40.$$

Умова виконана.

## 6. Розраховують конструкцію за умови зсувостійкості в піщаному шарі основи.

Діючі в піщаному шарі основи активні напруження зсуву вираховують за формулою (8):

$$T_a = \bar{\tau}_n \cdot p.$$

Для визначення  $\bar{\tau}_n$  попередньо призначену дорожню конструкцію приводять до двошарової розрахункової моделі.

В якості нижнього шару моделі приймають піщаний шар з такими характеристиками:  $E_H = 130$  МПа (таблиця Д.5),  $\varphi = 35^\circ$  та  $C = 0,004$ .

Модуль пружності верхнього шару моделі вираховують за формулою, де значення модулів пружності матеріалів, які містять органічне в'язуче, призначають за таблицею Д4.2 при розрахунковій температурі  $20^\circ\text{C}$ .

$$E_g = \frac{1800 \cdot 5 + 1200 \cdot 7 + 1200 \cdot 14 + 420 \cdot 26}{52} = 868 \text{ МПа.}$$

Для відношень  $\frac{E_B}{E_H} = \frac{868}{130} = 6,68$  і  $\frac{h_g}{D} = \frac{52}{34,5} = 1,51$  при  $\varphi_N = 35^\circ$  за допомогою

номограми знаходять активне напруження зсуву:  $\overline{\tau}_n = 0,013$  МПа.

Таким чином,  $T_a = 0,013 \cdot 0,8 = 0,0104$  МПа.

$\tau_B = 10^{-5}(5 - 0,3 \varphi) \sum_{i=1}^n h_i = 10^{-5}(5 - 0,3 \cdot 35) (5 + 7 + 14 + 26) = -0,00286$  Мпа,

$$T_{cp} = 0,004 * 1,0 * 0,8579 * 7,0 = 0,024021 \text{ МПа.}$$

$$T = 0,0104 - 0,00286 = 0,00754 \text{ МПа.}$$

$$K_{мц} = \frac{T_{гр}}{T_a} = \frac{0,024021}{0,00754} = 3,19, \text{ що більше } K_{мц}^{потр} = 1,40.$$

Умова виконана.

## 7. Розраховують конструкцію на опір монолітних шарів руйнуванню від розтягу при згині.

Розрахунок виконують у такій послідовності.

А) Приводять конструкцію до двошарової моделі, де нижній шар моделі – частина конструкції, розташована нижче пакета асфальтобетонних шарів. Модуль пружності нижнього шару визначають за номограмою рисунка додатка 2.

$$E_H = 197 \text{ МПа.}$$

До верхнього шару відносять всі асфальтобетонні шари.

Модуль пружності верхнього шару вираховують за формулою :

$$E_B = \frac{4500 \cdot 5 + 2800 \cdot 7 + 2800 \cdot 14}{26} = 3127 \text{ МПа.}$$

Модулі пружності асфальтобетонних шарів призначають за таблицею Д4.1.

б) Для відношень  $\frac{h_g}{D} = \frac{26}{34,5} = 0,754$  та  $\frac{E_B}{E_H} = \frac{3127}{197} = 15,87$  за номограмою (рис. 5)

визначають  $\overline{\sigma}_r = 0,91$ .

Значення  $\sigma_r$  визначають за формулою:

$$\sigma_r = \overline{\sigma}_r p K_\delta$$

$K_\delta$  – коефіцієнт, що враховує особливості напруженого стану дорожнього покриття під колесом автомобіля; ( $K_\delta = 0,85$  для коліс зі спареними балонами;  $K_\delta = 1,0$  при розрахунку дорожнього покриття на навантаження - колесо з одним балоном)

$$\sigma_r = 0,91 \cdot 0,8 \cdot 1,00 = 0,728 \text{ МПа.}$$

в) Міцність матеріалу монолітного шару при багаторазовому розтягу при згині  $R_{зг}$  визначають за формулою:

$$R_{зг} = R_p k_m k_{kn} k_T,$$

де  $R_p$  - розрахункове значення опору розтягу при згині за умов одноразового прикладання навантаження, МПа;

$$R_p = R_{лаб} (1 - tV_m),$$

$R_{лаб}$  – середнє значення міцності на розтяг при згині (приймається за таблицею Д4.1 додатку 4);

$t$  – коефіцієнт нормованого відхилення від  $R_{лаб}$ , приймають за табл. в залежності від допустимого рівня надійності згідно з ДБН В.2.3-4;

$V_m$  – коефіцієнт варіації опору розтягу при згині;

$k_m$  – коефіцієнт, що враховує зниження міцності під час дії погодно-кліматичних факторів;

$k_T$  – коефіцієнт, що враховує зниження міцності матеріалу в конструкції в результаті температуро-усадкових впливів;

$k_{kn}$  – коефіцієнт, що враховує короткочасність та повторюваність навантажень на дорозі:

$$k_{kn} = k_{np} \cdot \sum N_p^{-\left(\frac{1}{m}\right)},$$

де  $k_{np}$  – коефіцієнт, що враховує вплив повторних навантажень у нерозрахунковий період;

$m$  – показник втоми (встановлюють експериментально згідно з [18];

$\sum N_p$  – сумарна інтенсивність руху.

$$R_p = 8,00(1 - 1,71 \cdot 0,11) = 6,495 \text{ МПа.}$$

$$k_{kn} = k_{np} \cdot \sum N_p^{-\left(\frac{1}{m}\right)} = 8,0 \cdot (962295)^{-\left(\frac{1}{4}\right)} = 0,25542$$

$$R_{зг} = 6,495 \cdot 0,75 \cdot 0,8 \cdot 0,25542 = 0,99537 \text{ МПа.}$$

г)  $K_{мц} = \frac{R_{зг}}{\sigma_r} = \frac{0,99537}{0,728} = 1,367$ , що більше  $K_{мц}^{потр} = 1,29$ .

Умова виконана.

*Висновок: вибрана конструкція відповідає всім критеріям міцності.*

## **8. Перевірка конструкції дорожнього одягу на морозостійкість**

**1.** Потрібно перевірити на морозостійкість конструкцію дорожнього одягу, який проектується на автомобільній дорозі II категорії в Харківській області з такими вихідними даними.

Тип дорожнього одягу – капітальний. Конструкція дорожнього одягу – та сама, що й в розрахунках на міцність. Ґрунт земляного полотна – суглинок легкий пілуватий. Ґрунтові води залягають на глибині  $H = 1,5$  м.

**2.** Згідно з додатком В ДБН В.2.3-4 визначають, що Харківська область



розташована в Центральній дорожньо-кліматичній зоні України. Максимальна висота капілярного підняття для суглинку легкого пілуватого  $h_{кан} = 1,5$  м. Встановлюють нормативну глибину промерзання  $Z_{max}^H$  для Харківської області, що для глинистих і суглинистих ґрунтів, визначена для імовірності перевищення 5%, дорівнює 100 см. Для багатошарового дорожнього одягу додаємо поправку :

$$Z_H = (100 + 30) = 130 \text{ см.}$$

Таким чином, умова  $H > (Z_P + h_{кан})$  тобто  $150 \text{ см} > (130 + 150) \text{ см}$ , не виконується, ґрунтова вода не залягає на безпечній глибині, і ділянка відноситься до 3-го типу місцевості за умовами зволоження земляного полотна.

Загальна товщина дорожнього одягу складає  $(5+7+14+26+20) = 72$  см, що не перевищує  $2/3$  глибини промерзання ( $2/3 Z_P = 2/3 \cdot 130 = 86.6$  см); інші умови також не виконуються. Тобто, необхідна перевірка конструкції на морозостійкість.

Для капітального дорожнього одягу допустиме здимання  $l_{здим}$  становить 4 см. Визначають еквівалентну (по відношенню до щебеню з гранітних порід) товщину дорожнього одягу :

$$h_e = 5 \cdot 1,15 + 7 \cdot 1,22 + 14 \cdot 1,35 + 26 \cdot 1,27 + 20 \cdot 0,87 = 66,6 \text{ см.}$$

Знаходимо комплексну характеристику ґрунту за ступенем здимання. Для суглинку легкого пілуватого це дорівнює  $B = 5,0 \text{ см}^2/\text{д}$ , а кліматичний показник  $\alpha_0 = 57 \text{ см}^2/\text{д}$  (встановлений за відсутності даних спостережень за ізолініями)

Для відношень  $\frac{l_{здим} \cdot \alpha_0}{B \cdot Z_P} = \frac{4 \cdot 57}{5,0 \cdot 130} = 0,351$  і  $\frac{Z_H}{H} = \frac{130}{150} = 0,87$  за номограмою знаходять  $\frac{Z_1}{Z_H} = 0,485$ , звідки  $Z_1 = 0,485 \cdot 125 = 60.63$  см.

Перевіряють умову морозостійкості за залежністю:  $\frac{h_{заг}}{Z_1} = \frac{66.6 \text{ см}}{60.63 \text{ см}} = 1,1 > 1.0$ .

*Таким чином, забезпечено запас за морозостійкістю.*

## Список літератури

1. М.М. Осетрін , Т.О. Шилова , П.П. Чередніченко « Методичні вказівки до виконання курсових та дипломних проєктів» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», які навчаються за ОПП «Міське будівництво та господарство»» - Київ 2022
2. М.М. Осетрін , Т.О. Шилова , П.П. Чередніченко, Г.Ю. Васильєва «Навчальний посібник» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», які навчаються за ОПП «Міське будівництво та господарство»» - Київ 2021
3. *Планування та забудова територій*: ДБН Б 2.2-12:2019. – [Чинні від 2019-10-01]. – Київ: Мінрегіон України, 2019, 177 с .
4. *Вулиці та дороги населених пунктів*: ДБН В 2.3-5:2018. – [Чинні від 2018-09-01]. – Київ: Мінрегіон України, 2018, 55 с.
5. *Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування*: ГБН В.2.3-37641918-559:2019. – [Чинні від 2019-06-01]. – Київ: Мін-во інфраструктури України. 2019. – 57 с.
6. *Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування*: ГБН В.2.3-37641918-557:2016. – [Чинні від 2017-04-01]. – Київ: Мін-во інфраструктури України. 2016. – 71с.
7. *Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво*: ДБН В.2.3-4:2015. – [Чинні від 2015-07-01]. – Київ: Мінекономрозвитку України, 2015, 106 с.