

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до проведення практичних занять, організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ТРАНСПОРТНА ІНФРАСТРУКТУРА МІСТ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм
навчання галузі знань 19 – Архітектура та будівництво
зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,
освітня програма «Міське будівництво та господарство»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Методичні рекомендації до проведення практичних занять, організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Транспортна інфраструктура міст» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання галузі знань 19 – Архітектура та будівництво зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Міське будівництво та господарство») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. І. Е. Линник. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 56 с.

Укладач д-р техн. наук, проф. І. Е. Линник

Рецензент

О. С. Безлюбченко, кандидат технічних наук, доцент кафедри міського будівництва Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою міського будівництва, протокол № 17 від 11 квітня 2024 р.

Методичні рекомендації призначені для здобувачів спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Міське будівництво та господарство». Подано засоби та послідовність виконання практичних завдань, список рекомендованих джерел, наведено приклади оформлення робіт.

ЗМІСТ

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ МЕТОДИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ.....	4
1 ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ	4
1.1 Визначення вранішніх та вечірніх годин пік.....	4
1.2 Встановлення складу транспортного потоку	4
1.3 Визначення розрахункової інтенсивності руху транспорту	5
1.4 Розрахунок пропускної здатності вулиці	5
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФІЛЮ ВУЛИЦІ ..	6
2.1 Визначення необхідної кількості смуг руху на проїзній частині	6
2.2 Встановлення ширини проїзної частини	7
2.3 Розрахунок кількості смуг руху пішохідної частини тротуару.....	8
2.4 Визначення ширини тротуару.....	9
2.5 Визначення ширини трамвайного полотна.....	9
2.6 Визначення ширини велосипедних доріжок.....	10
2.7 Визначення ширини розділових смуг.....	10
3 ПРОЄКТУВАННЯ ТИПОВОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФІЛЮ ВУЛИЦІ.....	11
4 ПРОЄКТУВАННЯ ПЛАНУ ВУЛИЦІ.....	11
4.1 Викреслювання плану траси.....	11
4.2 Викреслювання основних елементів вулиці.....	17
5 ПРОЄКТУВАННЯ ПОЗДОВЖНЬОГО ПРОФІЛЮ ВУЛИЦІ.....	18
5.1 Послідовність побудови поздовжнього профілю.....	18
6 ПРОЄКТУВАННЯ ВИСОТНОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФІЛЮ.....	26
6.1 Послідовність проектування робочих (висотних) поперечних профілів.....	27
7 КОНСТРУЮВАННЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ.....	29
8 РОЗРАХУНОК НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ.....	35
8.1 Визначення коефіцієнтів надійності та запасу міцності.....	35
8.2 Визначення розрахункових навантажень.....	35
8.3 Визначення перспективної інтенсивності руху.....	35
8.4 Розрахунок нежорсткого дорожнього одягу за допустимим пружним прогином.....	38
8.5 Розрахунок нежорсткого дорожнього одягу на зсув у підстиляючому грунті.....	41
8.6 Розрахунок монолітних шарів на розтяг під час згину.....	44
8.7 Приклад розрахунку дорожнього одягу.....	46
9 РОЗПОДІЛ ЧАСУ ЗА ТЕМАМИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ.....	51
10 РОЗПОДІЛ ЧАСУ ЗА ТЕМАМИ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	53
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ МЕТОДИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ

Мета виконання практичних завдань і самостійної роботи – закріпити та поглибити відомості, одержані під час вивчення дисципліни «Транспортна інфраструктура міст».

Завданням практичних завдань є визначення характеристик транспортного потоку, основних елементів поперечного профілю вулиці, побудова плану, поздовжнього й поперечних профілів міської вулиці, конструювання та розрахунок дорожнього одягу.

1 ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

1.1 Визначення вранішніх та вечірніх годин пік

За завданням керівника (таблицями у форматі EXCEL) визначають вранішні та вечірні години пік. Їх обирають за найбільшою інтенсивністю руху на ділянці вулиці в прямому та зворотному напрямках.

1.2 Встановлення складу транспортного потоку

Встановлюють склад транспортного потоку у вранішні та вечірні години пік і будують діаграми (рис. 1).

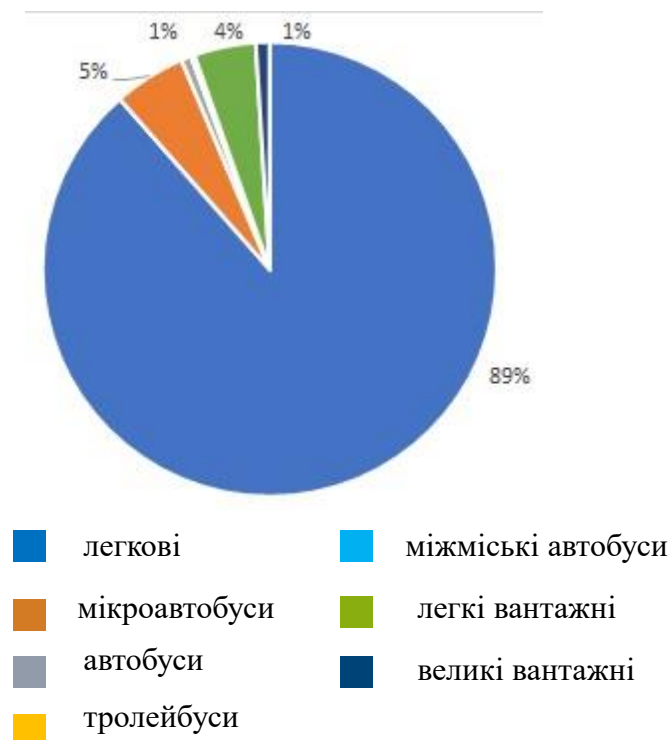


Рисунок 1 – Приклад діаграми складу транспортного потоку

1.3 Визначення розрахункової інтенсивності руху транспорту

Визначають розрахункову інтенсивність руху транспортного потоку, приведену до легкового автомобіля N_p , за формулою:

$$N_p = \sum_{i=1}^n (N_i \cdot P_{\text{пр}i}), \quad (1)$$

де N_i – інтенсивність руху автомобілів i -го типу, авт./год (авт./добу);
 $P_{\text{пр}i}$ – коефіцієнт приведення до легкового автомобіля (табл. 1).

Таблиця 1 – Коефіцієнти приведення автотранспортних засобів

Тип транспортного засобу	Коефіцієнт приведення $P_{\text{пр}}$
Легкові автомобілі	1
Мотоцикли	0,4/1,0*
Вантажні автомобілі вантажопідйомністю	
до 3,5 т	1,5
понад 3,5 т	1,7
Автобус малої місткості (мікроавтобуси)	1,4
Автобус великої місткості, тролейбус	1,8
Зчленовані автобус або тролейбус	2,4
Автопоїзд	2,2
* Значення 1,0 застосовується, коли велосипед чи мотоцикл рухаються в одній смузі з іншими транспортними засобами	

Розрахункову інтенсивність руху визначають для вранішньої та вечірньої годин пік (авт./год), а також добову N_{pd} , тобто інтенсивність руху автомобілів по вулиці в прямому і зворотному напрямках за добу (авт./добу).

Для подальших розрахунків приймають більшу з двох визначених інтенсивностей руху – або вранішню годину пік, або вечірню годину пік.

1.4 Розрахунок пропускної здатності вулиці

Розраховують пропускну здатність однієї смуги руху транспорту на перегоні вулиці $N_{\text{см}}$ за формулою:

$$N_{\text{см}} = \frac{1000 \cdot V}{\frac{V}{3,6} + \frac{V^2 \cdot (k_3 - k_{\text{п}})}{254 \cdot (\varphi + f + i)} + l_a + l_3}, \quad (2)$$

де V – розрахункова швидкість руху транспорту, км/год (табл. 2); l_a – довжина розрахункового автомобіля (приймають 5,0 м), м; l_3 – безпечна відстань між автомобілями, що зупинилися (2,0–5,0 м), м; k_3 – коефіцієнт нормальних експлуатаційних умов гальмування (1,5–1,7); k_n – коефіцієнт гальмування переднього автомобіля в екстремальних умовах (1,0–1,2); φ – коефіцієнт зчеплення колеса з покриттям проїзної частини (приймають для частково зношеного та вологого покриття в межах від 0,4 до 0,45); f – коефіцієнт опору кочення (для асфальтобетонних покриттів приймають 0,02); i – позовжній ухил ділянки вулиці.

Таблиця 2 – Розрахункова швидкість руху на міських вулицях і дорогах

Категорія вулиць і доріг	Розрахункові швидкості руху, км/год
Магістральні дороги	100
Загальноміського значення безперервного руху	80
Те саме регульованого руху	60
Районного значення	60
Житлові вулиці	50
Дороги в промислових і комунально-складських зонах	40
Проїзди	30
Пішохідні вулиці і дороги	4
Велосипедні доріжки	30

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФІЛЮ ВУЛИЦІ

2.1 Визначення необхідної кількості смуг руху на проїзній частині

Кількість смуг руху на проїзній частині вулиці визначають за формулою:

$$n = \frac{N_p}{N_{см}}, \quad (3)$$

де n – необхідна кількість смуг руху на проїзній частині.

Отриману величину округляють убік збільшення до цілого числа смуг. Отриману величину кількості смуг руху на проїзній частині порівнюють також із вимогами ДБН В.2.3-5 і для подальшого проектування приймають більшу величину (табл. 3).

Таблиця 3 – Параметри основних елементів вулиць і доріг

Група поселень	Категорія вулиць і доріг	Розрахункові швидкості руху, км/год	Ширина смуги руху, м	Кількість смуг проїзної частини	Найбільший позовжний ухил, ‰	Найменші радіуси кривих у плані, м	Ширина тротуару, м
Магістральні дороги		100	3,75	4–8	40	500	1,0
Магістральні вулиці							
Найзначніші, значні, крупні міста	загальноміського значення безперервного руху	80	3,5	4–8	50	400	3,0
	те саме регульованого руху	60	3,0	4–8	60	250	3,0
	районного значення	60	3,0	2–6	60	250	2,25
Великі міста	загальноміського значення	60	3,0	2–6	60	250	3,0
	районного значення	60	3,0	2–4	60	250	2,25
Середні, малі міста	загальноміського значення	60	3,0	2–4	60	250	2,25
Вулиці та дороги місцевого значення							
Усі групи населених пунктів	житлові вулиці	50	2,75	2	70	125	1,5
	дороги в промислових і комунально-складських зонах	40	3,0	2	60	250	1,5
	проїзди	30	2,75	2	80	30	1,0
	пішохідні вулиці і дороги	4	0,75	2–6	60	–	–
	велосипедні доріжки	30	1,85	1–2	40	50	–

2.2 Встановлення ширини проїзної частини

Ширину проїзної частини вулиць і доріг визначають залежно від інтенсивності руху, пропускної здатності однієї смуги руху, виду транспорту, швидкості руху. Загальна ширина проїзної частини (м) складається зі смуг руху, запобіжних і центральних розподільних смуг:

$$B = b \cdot n + 2a, \quad (4)$$

де n – кількість смуг руху на проїзній частині; b – ширина однієї смуги руху, м;
 a – ширина смуги безпеки між крайньою смугою руху і бортовим каменем, м.

2.3 Розрахунок кількості смуг руху пішохідної частини тротуару

Принцип розрахунку ширини тротуарів і пішохідних доріжок такий саме, що і проїзних частин. Тротуар розділяють на умовні смуги руху. Кожна смуга призначена для руху нею пішоходів, що йдуть один за одним, з урахуванням забезпечення необхідних умов для зручності руху. Ширину однієї смуги руху тротуару приймають 0,75 м. Мінімальну ширину тротуару приймають 1 м.

Кількість смуг руху на тротуарах розраховують за формулою:

$$n_m = \frac{N^{niu}}{N_n^{pih}}, \quad (5)$$

де N^{niu} – розрахункова інтенсивність пішохідного руху, піш./год;
 N_n^{pih} – пропускна здатність однієї смуги пішохідного руху, піш./год.

Розрахункову інтенсивність пішохідного руху N^{niu} задає керівник. Пропускна здатність однієї смуги пішохідного руху N_n^{pih} приймають за таблицею 4.

Таблиця 4 – Пропускна здатність однієї смуги пішохідного руху

Розташування трас пішохідного руху	Пропускна здатність однієї смуги руху, піш./год
Тротуари, розташовані уздовж забудови за наявності в прилеглих будинках магазинів	700
Тротуари, віддалені від будинків з магазинами, а також уздовж громадських будинків і споруд	800
Тротуари в межах зелених насаджень вулиць і доріг	1 000
Пішохідні вулиці і доріжки (прогулянкові)	600

Отриману величину кількості смуг пішохідного руху округляють у бік збільшення до цілого числа смуг.

2.4 Визначення ширини тротуару

Ширину тротуарів визначають залежно від категорії вулиці, характеру забудови, інтенсивності руху пішоходів, а також враховуючи розміщення в межах тротуарів опор, щогл, дерев тощо.

Ширину пішохідної частини тротуару (B_{mp}) визначають за формулою:

$$B_{mp} = n \cdot 0,75, \text{ м.} \quad (6)$$

Отриману величину ширини пішохідної частини тротуару порівнюють із вимогами ДБН В.2.3-5 і для подальшого проектування приймають більшу величину (табл. 3).

Трамвайні та тролейбусні щогли і стовпи освітлювальної мережі та ліній зв'язку встановлюють на тротуарах на відстані 0,35–0,50 м від його борта. Тоді ширину тротуару збільшують на 0,5–1,0 м.

2.5 Визначення ширини трамвайного полотна

Якщо на проєктованій вулиці передбачена організація трамвайного руху, необхідно передбачати будівництво трамвайного полотна. Воно може бути розміщено:

- на осі вулиці;
- з боку проїзної частини. На вулицях з одnobічною забудовою (набережних) – з боку, протилежному забудові;
- з обох боків вулиці.

Відносно проїзної частини вулиці трамвайні шляхи розміщують в одному рівні з проїзною частиною і на відокремленому полотні.

Ширина трамвайного полотна у разі розміщення його в одному рівні з проїзною частиною:

- для двоколійного руху за відсутності опор контактної мережі між коліями – 6,6 м;
- для одноколійного руху – 3,4 м, за установки опор контактної мережі між коліями – 7,35 м.

Ширина відокремленого трамвайного полотна:

- у разі двоколійного руху – 7,0 м;
- у разі одноколійного руху – 3,8 м.

Нормальна ширина колії трамвайного шляху – 1 524 мм.

2.6 Визначення ширини велосипедних доріжок

Ширину велодоріжки потрібно приймати за таблицею 5 згідно з ДБН В.2.3-5.

Кількість смуг на велосипедних доріжках приймають, виходячи з розрахункової пропускної здатності однієї смуги – 300 велосипедів на годину.

Таблиця 5 – Мінімальна ширина велосипедних смуг та велодоріжок

Форма організації велосипедного руху	Мінімальна ширина, м	
	нове будівництво	реконструкція
Велосипедна смуга	1,85	1,5
Велосипедна доріжка з одностороннім рухом	1,85	1,5
Велосипедна доріжка з двостороннім рухом з обох боків вулиці	2,5	2,0
Велосипедна доріжка з двостороннім рухом з одного боку вулиці	3,0	2,5
Спільна велосипедно-пішохідна доріжка	3,0	2,5

2.7 Визначення ширини розділових смуг

Мінімальну ширину розділових смуг між елементами поперечного профілю вулиць приймають за таблицею 6 згідно з ДБН В.2.3-5.

Таблиця 6 – Мінімальна ширина розділових смуг

Розташування смуги в поперечному профілі вулиці	Ширина смуги, м			
	магістральних вулиць			вулиці та дороги місцевого значення
	безперервного руху	регульованого руху	районного значення	
Між основною проїзною частиною та місцевими проїздами	8	6	–	–
Між проїзною частиною і віссю трамвайної колії	6	4	4	–
Між проїзною частиною і велодоріжкою	–	3	1	1
Між проїзною частиною і тротуаром	5	3	1	0,5
Між тротуаром і віссю трамвайної колії	–	4	2,5	–
Між тротуаром і велодоріжкою	0,25	0,25	0,25	0,25
Між велодоріжкою та вуличними спорудами (опорами освітлення, дорожніми знаками, огорожами тощо)	0,25	0,25	0,25	0,25

Після визначення ширини усіх елементів поперечного профілю будують типовий поперечний профіль для вулиці обраної категорії.

3 ПРОЄКТУВАННЯ ТИПОВОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФІЛЮ ВУЛИЦІ

Згідно з ДБН В.2.3-5 обирають типовий поперечний профіль вулиці у межах червоних ліній.

Обов'язковими елементами поперечного профілю є: проїзна частина, тротуари, розділові смуги між проїзною частиною і тротуарами, розділова смуга між напрямками руху (якщо кількість смуг руху в двох напрямках більше ніж 6).

Бажаними елементами поперечного профілю є: велосипедні доріжки, трамвайне полотно, місцеві проїзди.

Поперечні профілі проїзної частини проєктують *двосхилими* чи *односхилими*. Односхилі профілі застосовують для місцевих проїздів за ширини проїзної частини не більше ніж 10,5 м, а також у разі поділу проїзної частини на дві половини, з рухом на кожній частині в одному напрямку. Двосхилий профіль зазвичай проєктують опуклим.

Гребінь двосхилого профілю розташовують на осі проїзної частини.

Залежно від загальної ширини вулиці тротуари можна розміщувати поряд із проїзною частиною, між смугами зелених насаджень, поряд з лінією забудови, але з відокремленням від проїзної частини смугою зелених насаджень.

Масштаб викреслювання типового поперечного профілю приймають 1 : 100 або 1 : 200.

4 ПРОЄКТУВАННЯ ПЛАНУ ВУЛИЦІ

План викреслюють у масштабі 1 : 1 000. За підоснову беруть генеральний план міста, виконаний здобувачами під час вивчення дисципліни «Планування міст і транспорт». Довжину ділянки вулиці для проєктування плану беруть приблизно до 2 км.

4.1 Викреслювання плану траси

План траси викреслюють у такому порядку:

а) спочатку викреслюють план траси з урахуванням кутів повороту α (рис. 2);

б) у кутах повороту вписують горизонтальні криві (рис. 3), величини радіусів R яких мають бути не менше допустимих, що наведені у ДБН В 2.3-5;

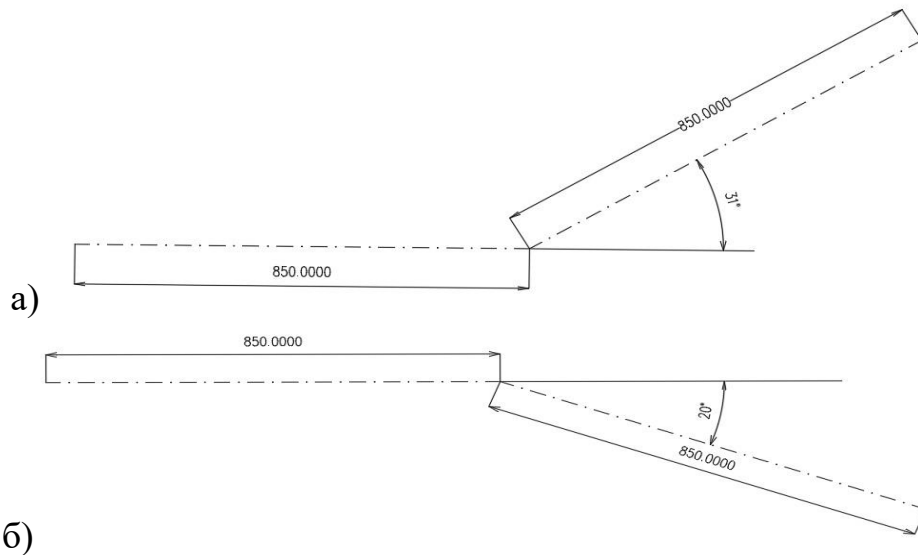


Рисунок 2 – Викреслювання плану траси:
 а) з лівим поворотом траси; б) з правим поворотом траси

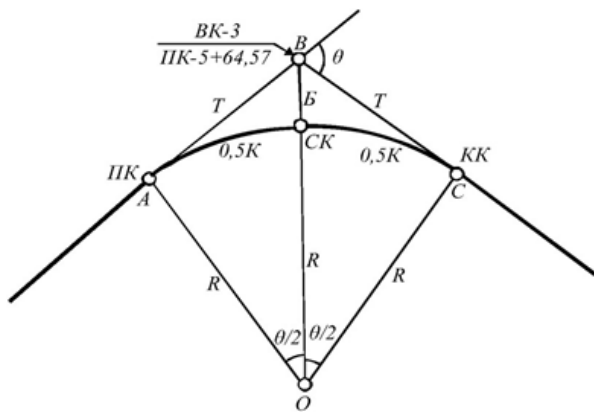


Рисунок 3 – Горизонтальна крива

Основні елементи кута повороту:

- α – кут повороту;
- R – радіус кривої;
- K – довжина кривої;
- T – тангенс – довжина дотичної, тобто відстань від початку або кінця кривої до вершини кута повороту;
- B – бісектриса – відстань від вершини кута повороту до середини кривої.

ДБН В 2.3-5 встановлює найменші радіуси для міських вулиць і доріг різних категорій відповідно до розрахункових швидкостей руху (табл. 7).

Таблиця 7 – Найменші радіуси горизонтальних кривих для міських вулиць і доріг

Розрахункова швидкість, км/ч	100	80	70	60	50	40	30
Радіус кривої в плані, м	400	250	200	125	100	60	30

Для створення найкращих умов руху рекомендують такі значення горизонтальних радіусів кривих на міських вулицях і дорогах:

- 1) магістральні дороги 3 000–5 000 м
- 2) магістральні вулиці:
 - загальноміського значення 2 000–5 000 м
 - районного значення 1 000–5 000 м

3) вулиці та дороги місцевого значення:

– житлові	300–3 000 м
– промислових та складських зон	500–5 000 м.

У всіх випадках, коли це виявляється технічно можливим, радіуси горизонтальних кривих для міських вулиць і доріг усіх категорій рекомендується приймати не менше ніж 3 000 м;

в) розраховують елементи горизонтальної кривої та визначають за формулами:

$$K = \frac{\pi R \alpha}{180} = \frac{R \alpha}{57,3}; \quad (7)$$

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad (8)$$

$$B = R \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) = \frac{T^2}{2R}. \quad (9)$$

Елементи горизонтальної кривої можна визначати за допомогою спеціальних таблиць. У таблиці 8 наведено дані для визначення елементів кривої радіусом 1 000 м. Якщо для проєктування буде обрано колову криву іншого радіусу, наприклад 2 500 м, тоді всі значення елементів кривої потрібно помножити на 2,5;

г) після визначення елементів кривої на плані траси будують горизонтальну криву у такій послідовності:

– від вершини кута в обидва боки відкладають тангенси кривої. Із вершини кута відкладають бісектрису (рис. 4);

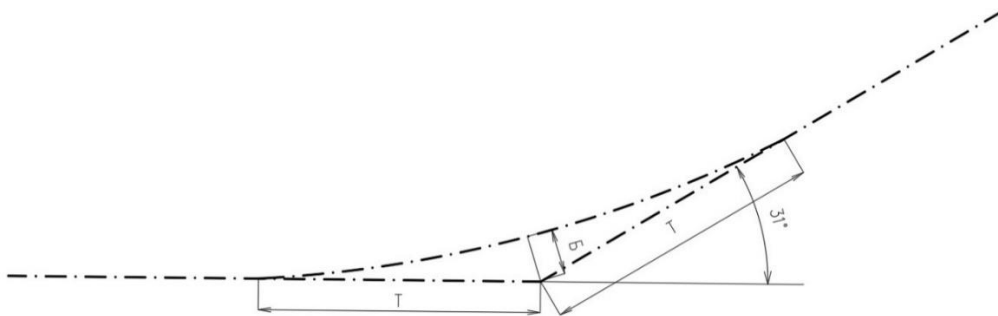


Рисунок 4 – Нанесення на план траси елементів горизонтальної кривої

Таблиця 8 – Основні елементи колових кривих для $R = 1\ 000$ м

Кут повороту	Основні елементи колових кривих				Кут повороту	Основні елементи колових кривих			
	T	K	D	B		T	K	D	B
0°00'	0,000	0,000	0,000	0,000	17°30'	153,915	305,433	2,397	11,776
0°30'	4,363	8,727	0,000	0,010	18°00'	158,384	314,159	2,610	12,465
1°00'	8,727	17,453	0,000	0,038	18°30'	162,860	322,886	2,835	13,175
1°30'	13,091	26,180	0,001	0,086	19°00'	167,343	331,613	3,073	13,905
2°00'	17,455	34,907	0,004	0,152	19°30'	171,831	340,339	3,324	14,656
2°30'	21,820	43,633	0,007	0,238	20°00'	176,327	349,066	3,588	15,427
3°00'	26,186	52,360	0,012	0,343	20°30'	180,829	357,792	3,866	16,218
3°30'	30,553	61,087	0,019	0,467	21°00'	185,339	366,519	4,159	17,030
4°00'	34,921	69,813	0,028	0,610	21°30'	189,856	375,246	4,466	17,863
4°30'	39,290	78,540	0,040	0,772	22°00'	194,380	383,972	4,788	18,717
5°00'	43,661	87,266	0,055	0,953	22°30'	198,912	392,699	5,126	19,591
5°30'	48,033	95,993	0,074	1,153	23°00'	203,452	401,426	5,479	20,487
6°00'	52,408	104,720	0,096	1,372	23°30'	208,000	410,152	5,848	21,403
6°30'	56,784	113,446	0,122	1,611	24°00'	212,557	418,879	6,234	22,341
7°00'	61,163	122,173	0,152	1,869	24°30'	217,121	427,606	6,637	23,299
7°30'	65,543	130,900	0,187	2,146	25°00'	221,695	436,332	7,057	24,280
8°00'	69,927	139,626	0,227	2,442	25°30'	226,277	445,059	7,495	25,281
8°30'	74,313	148,353	0,273	2,757	26°00'	230,868	453,786	7,951	26,304
9°00'	78,702	157,080	0,324	3,092	26°30'	235,469	462,512	8,425	27,349
9°30'	83,094	165,806	0,381	3,446	27°00'	240,079	471,239	8,919	28,415
10°00'	87,489	174,533	0,444	3,820	27°30'	244,698	479,966	9,431	29,503
10°30'	91,887	183,260	0,515	4,213	28°00'	249,328	488,692	9,964	30,614
11°00'	96,289	191,986	0,592	4,625	28°30'	253,968	497,419	10,516	31,746
11°30'	100,695	200,713	0,677	5,057	29°00'	258,618	506,145	11,090	32,900
12°00'	105,104	209,440	0,769	5,508	29°30'	263,278	514,872	11,684	34,077
12°30'	109,518	218,166	0,869	5,979	30°00'	267,949	523,599	12,300	35,276
13°00'	113,936	226,893	0,978	6,470	30°30'	272,631	532,325	12,937	36,498
13°30'	118,358	235,619	1,096	6,980	31°00'	277,325	541,052	13,597	37,742
14°00'	122,785	244,346	1,223	7,510	31°30'	282,029	549,779	14,280	39,009
14°30'	127,216	253,073	1,359	8,059	32°00'	286,745	558,505	14,985	40,299
15°00'	131,652	261,799	1,506	8,629	32°30'	291,473	567,232	15,715	41,613
15°30'	136,094	270,526	1,662	9,218	33°00'	296,213	575,959	16,468	42,949
16°00'	140,541	279,253	1,829	9,828	33°30'	300,966	584,685	17,246	44,309
16°30'	144,993	287,979	2,007	10,457	34°00'	305,731	593,412	18,049	45,692
17°00'	149,451	296,706	2,196	11,106	34°30'	310,508	602,139	18,878	47,099

Продовження таблиці 8

Кут повороту	Основні елементи колових кривих				Кут повороту	Основні елементи колових кривих			
	<i>T</i>	<i>K</i>	<i>Д</i>	<i>Б</i>		<i>T</i>	<i>K</i>	<i>Д</i>	<i>Б</i>
35°00'	315,299	610,865	19,732	48,529	52°30'	493,145	916,298	69,993	114,985
35°30'	320,103	619,592	20,613	49,984	53°00'	498,582	925,025	72,139	117,400
36°00'	324,920	628,319	21,521	51,462	53°30'	504,041	933,751	74,332	119,847
36°30'	329,751	637,045	22,456	52,965	54°00'	509,525	942,478	76,573	122,326
37°00'	334,595	645,772	23,419	54,492	54°30'	515,034	951,204	78,863	124,838
37°30'	339,454	654,498	24,410	56,044	55°00'	520,567	959,931	81,203	127,382
38°00'	344,328	663,225	25,430	57,621	55°30'	526,125	968,658	83,593	129,959
38°30'	349,216	671,952	26,480	59,222	56°00'	531,709	977,384	86,034	132,570
39°00'	354,119	680,678	27,559	60,849	56°30'	537,319	986,111	88,528	135,215
39°30'	359,037	689,405	28,668	62,501	57°00'	542,956	994,838	91,074	137,893
40°00'	363,97	698,132	29,809	64,178	57°30'	548,619	1003,564	93,673	140,606
40°30'	368,919	706,858	30,981	65,881	58°00'	554,309	1012,291	96,327	143,354
41°00'	373,885	715,585	32,184	67,609	58°30'	560,027	1021,018	99,036	146,137
41°30'	378,866	724,312	33,421	69,364	59°00'	565,773	1029,744	101,801	148,956
42°00'	383,864	733,038	34,690	71,145	59°30'	571,547	1038,471	104,623	151,810
42°30'	388,879	741,765	35,993	72,952	60°00'	577,350	1047,198	107,503	154,701
43°00'	393,910	750,492	37,329	74,786	60°30'	583,183	1055,924	110,441	157,628
43°30'	398,960	759,218	38,701	76,647	61°00'	589,045	1064,651	113,439	160,592
44°00'	404,026	767,945	40,108	78,535	61°30'	594,937	1073,377	116,497	163,594
44°30'	409,111	776,672	41,550	80,450	62°00'	600,861	1082,104	119,617	166,633
45°00'	414,214	785,398	43,029	82,392	62°30'	606,815	1090,831	122,799	169,711
45°30'	419,335	794,125	44,545	84,362	63°00'	612,801	1099,557	126,044	172,828
46°00'	424,475	802,851	46,098	86,360	63°30'	618,819	1108,284	129,353	175,983
46°30'	429,634	811,578	47,690	88,387	64°00'	624,869	1117,011	132,728	179,178
47°00'	434,812	820,305	49,320	90,441	64°30'	630,953	1125,737	136,169	182,414
47°30'	440,011	829,031	50,990	92,524	65°00'	637,070	1134,464	139,677	185,689
48°00'	445,229	837,758	52,699	94,636	65°30'	643,222	1143,191	143,253	189,005
48°30'	450,467	846,485	54,450	96,777	66°00'	649,408	1151,917	146,898	192,363
49°00'	455,726	855,211	56,241	98,948	66°30'	655,629	1160,644	150,614	195,763
49°30'	461,006	863,938	58,075	101,148	67°00'	661,886	1169,371	154,401	199,205
50°00'	466,308	872,665	59,951	103,378	67°30'	668,179	1178,097	158,260	202,690
50°30'	471,631	881,391	61,870	105,638	68°00'	674,509	1186,824	162,193	206,218
51°00'	476,976	890,118	63,833	107,929	68°30'	680,876	1195,551	166,201	209,790
51°30'	482,343	898,845	65,841	110,25	69°00'	687,281	1204,277	170,285	213,406
52°00'	487,733	907,571	67,894	112,602	69°30'	693,725	1213,004	174,446	217,068

Закінчення таблиці 8

Кут повороту	Основні елементи колових кривих			
	<i>T</i>	<i>K</i>	<i>D</i>	<i>B</i>
70°00'	700,208	1221,730	178,685	220,775
70°30'	706,730	1230,457	183,003	224,527
71°00'	713,293	1239,184	187,402	228,327
71°30'	719,897	1247,910	191,884	232,174
72°00'	726,543	1256,637	196,448	236,068
72°30'	733,230	1265,364	201,097	240,011
73°00'	739,961	1274,090	205,832	244,003
73°30'	746,735	1282,817	210,654	248,044
74°00'	753,554	1291,544	215,564	252,136
74°30'	760,418	1300,270	220,565	256,278
75°00'	767,327	1308,997	225,657	260,472
75°30'	774,283	1317,724	230,842	264,719
76°00'	781,286	1326,450	236,121	269,018
76°30'	788,336	1335,177	241,496	273,371
77°00'	795,436	1343,904	246,968	277,779
77°30'	802,585	1352,630	252,540	282,241
78°00'	809,784	1361,357	258,211	286,760
78°30'	817,034	1370,083	263,985	291,335
79°00'	824,336	1378,810	269,863	295,967
79°30'	831,691	1387,537	275,846	300,658
80°00'	839,100	1396,263	281,936	305,407
80°30'	846,562	1404,990	288,135	310,217
81°00'	854,081	1413,717	294,445	315,087
81°30'	861,655	1422,443	300,867	320,019
82°00'	869,287	1431,170	307,403	325,013
82°30'	876,976	1439,897	314,056	330,071
83°00'	884,725	1448,623	320,827	335,192
83°30'	892,534	1457,350	327,718	340,379
84°00'	900,404	1466,077	334,732	345,633
84°30'	908,336	1474,803	341,869	350,953
85°00'	916,331	1483,530	349,132	356,342
85°30'	924,390	1492,257	356,524	361,799

– накреслюють горизонтальну криву. На плані траси показують усі вершини кутів повороту, роблячи відповідні виноска для кожного кута повороту, де вказують: номер кута, величину кута в градусах, радіус горизонтальної кривої,

тангенс, довжину кривої та бісектрису (рис. 5). Крім того, показують пікетажне положення початку та кінця колової кривої;

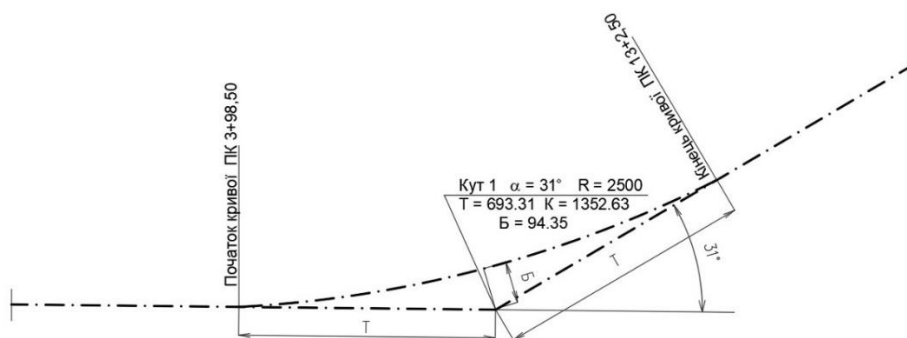


Рисунок 5 – Виноски на плані траси для кута повороту

д) після викреслювання плану траси, розбивають пікетаж, враховуючі горизонтальні криві (рис. 6). Пікети доцільно розбивати через кожні 100 м.



Рисунок 6 – Розбивка пікетажу на плані траси

4.2 Викреслювання основних елементів вулиці

На план траси наносять усі запроектовані елементи поперечного профілю вулиці (рис. 7).

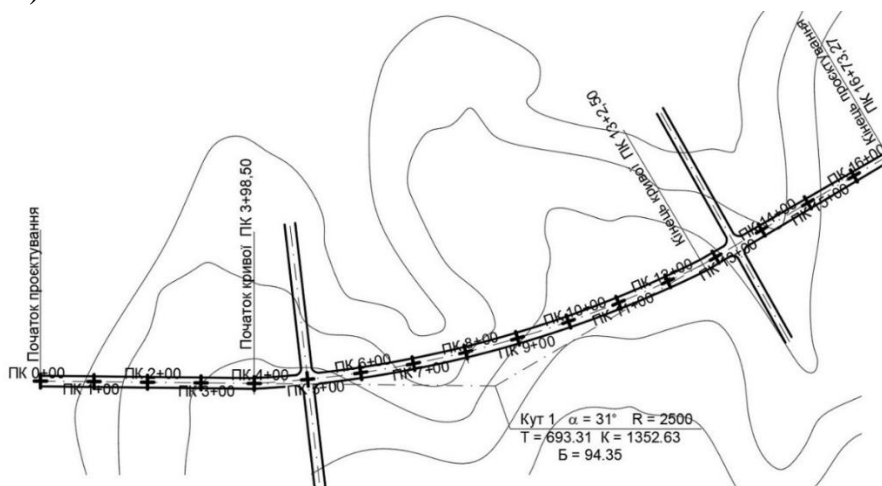


Рисунок 7 – Етап побудови плану вулиці

Проектні позначки, поздовжні ухили проїзної частини показують червоним кольором.

На плані потрібно показати розміщення зливової каналізації: дощоприймальні, оглядові колодязі, магістральний трубопровід.

5 ПРОЄКТУВАННЯ ПОЗДОВЖНЬОГО ПРОФІЛЮ ВУЛИЦІ

Поздовжні профілі будують уздовж осі проїзної частини.

Для забезпечення стоку поверхневих вод усі вулиці та дороги мають бути запроєктовані з поздовжніми ухилами мінімум 5 ‰.

Величини максимальних поздовжніх ухилів залежать від розрахункових швидкостей руху, їх приймають відповідно до категорій вулиць (табл. 3, 9).

Таблиця 9 – Максимальні поздовжні ухили вулиць

Розрахункова швидкість, км/ч	100	80	60	50	40	30
Найбільший поздовжній ухил, ‰	40	50	60	70	60	80

Поздовжній профіль міської вулиці проєктують у масштабах: горизонтальний – 1 : 1 000, 1 : 2 000, 1 : 5 000, вертикальний – 1 : 100, 1 : 200, 1 : 500. Масштаб ґрунту – 1 : 50. Рекомендується застосовувати масштаби: горизонтальний – 1 : 1000, вертикальний – 1 : 100.

5.1 Послідовність побудови поздовжнього профілю

Поздовжній профіль вулиці будують у такій послідовності:

а) спочатку в нижній частині міліметрового паперу креслять таблицю-сітку із поздовжніми лініями згідно з ДСТУ Б А.2.4-29. У курсовому проєкті дозволяється використовувати спрощений боковик таблиці-сітки (рис. 8);



Рисунок 8 – Спрощений боковик таблиці-сітки поздовжнього профілю, який можна використовувати у курсовому проєкті

б) у графі «**Пряма і крива в плані**» показують прямі та криві по осі дороги, числові значення довжини прямих та елементів кривих: кутів повороту, радіусів, тангенсів, довжини горизонтальних кривих.

Поворот вулиці (за ходом кілометражу показують кривою вправо – спрямованою вгору по відношенню до прямої ділянки, вліво – спрямованою вниз (рис. 9);

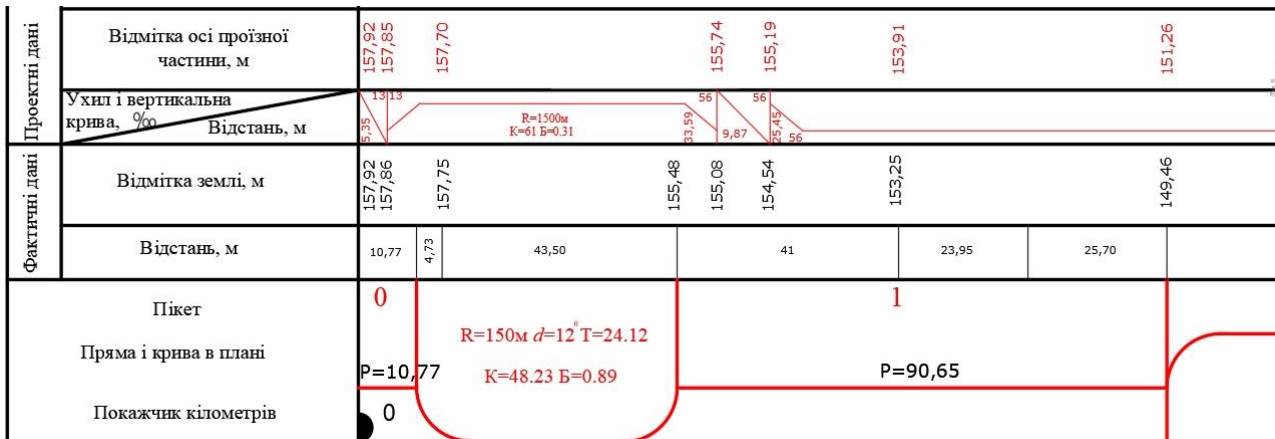


Рисунок 9 – Приклад заповнення графів поздовжнього профілю

в) у графі «**Відстань**» – відстань між точками перелому місцевості та пікетами;

г) у графі «**Відмітка землі**» – фактичні (*чорні*) відмітки поверхні землі по осі вулиці чи дороги або по осі проїзної частини існуючої вулиці для міських вулиць, що реконструюють. Чорні відмітки місцевості встановлюють у місцях проходження горизонталей. На пікетах відмітки визначають методом інтерполяції між двома сусідніми горизонталями;

д) призначають нульову (початкову) відмітку, від якої будуть виконувати побудову існуючого профілю у вертикальній площині в масштабі (рис. 10).



Рисунок 10 – Призначення нульової (початкової) відмітки

Значення нульової (початкової) відмітки беруть кратним 1 м, причому таким, щоб лінія землі на поздовжньому профілі була на відстані 8–10 см від верхньої лінії сітки, що з врахуванням вертикального масштабу 1 : 100 становить 8–10 м;

е) за відмітками землі (**чорними**) наносять лінію рельєфу місцевості – так звану **чорну лінію**, яка відображує природну поверхню землі у відповідних масштабах (рис. 11). Показують місця перехрещення з іншими вулицями;

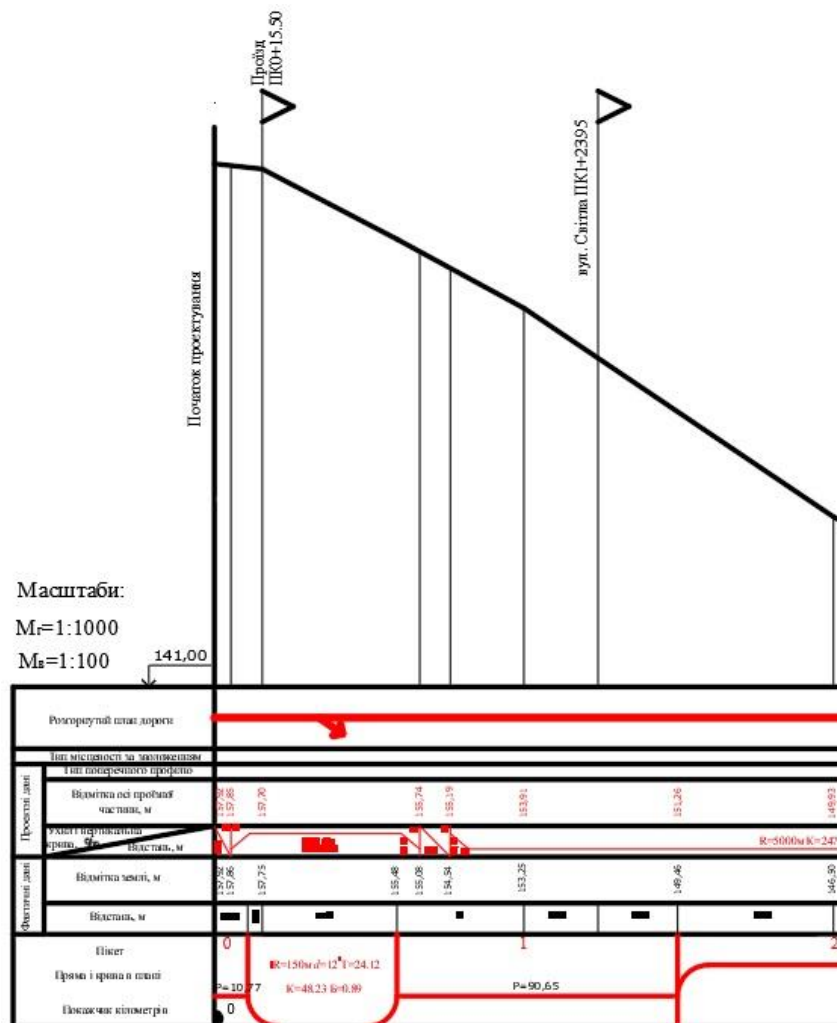


Рисунок 11 – Приклад побудови існуючого профілю

ж) за даними шурфування на поздовжній профіль наносять переріз ґрунтового профілю та розташування рівня ґрунтових вод. Ґрунтовий профіль наносять нижче чорної лінії на 2 м (рис. 12);

и) після побудови існуючого профілю починають проектування **проектного (червоного) поздовжнього профілю**.

Проектні відмітки називають «червоними», а лінію, що з'єднує їх, – проектною чи «червоною».

Попередньо намічають точки переломів проектної лінії (червоної лінії), при цьому необхідно дотримуватись таких правил:

- проєктна лінія має повторювати рельєф місцевості;
- для забезпечення поверхневого водовідводу з прилеглих територій вулиці проєктують у невеликих виїмках, або нульових відмітках (тобто червону позначку призначають такою ж, як і чорна;
- для забезпечення розрахункових швидкостей руху необхідно передбачати мінімальну кількість переломів проєктної лінії;
- максимальні поздовжні ухили не повинні бути більшими за нормативні для цієї категорії вулиці (табл. 3, 9);
- найменші поздовжні ухили повинні забезпечувати ефективне водовідведення поверхневих вод (5 ‰);

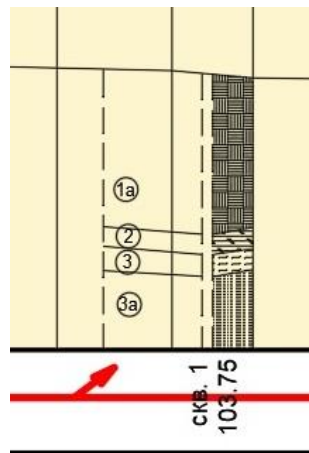


Рисунок 12 – Переріз ґрунтового профілю

- к) намічені точки перелому з'єднують прямими лініями;
- л) червоні відмітки заносять у графу «**Проекти відмітки**»;
- м) розраховують поздовжні ухили між точками перелому. Величини ухилів записують у графу «**Ухил і вертикальна крива**» та показують напрямок ухилів;
- н) проєктну лінію складають з прямих ділянок, переломи між якими з'єднують вертикальними кривими;
- п) у місцях переломів профілю для забезпечення видимості, плавності і безпеки руху вписують **вертикальні криві**, опуклі чи ввігнуті.

Вертикальні криві вписують, коли алгебраїчна різниця ухилів складає:

- для вулиць і доріг із швидкістю руху 70–100 км/год – 10 ‰;
- для вулиць і доріг із швидкістю руху 30–60 км/год – 15 ‰.

Найменші допустимі радіуси вертикальних кривих наведено у таблиці 10.

Таблиця 10 – Найменші допустимі радіуси вертикальних кривих

Розрахункова швидкість, км/год	Алгебраїчна різниця ухилів поздовжнього профілю, ‰	Мінімальний радіус вертикальних кривих, м	
		опуклих	увігнутих
100	10 і більше	6 000	1 500
80	10 і більше	4 000	1 000
70	10 і більше	3 000	800
60	15 і більше	2 500	600
50	15 і більше	1 500	400
40	15 і більше	1 000	300
30	15 і більше	600	200

Ухили однакового напрямку віднімають один від другого, а ухили різного напрямку складають.

У всіх випадках, коли це виявляється технічно можливим, радіуси вертикальних кривих варто приймати:

- опуклих – не менше ніж 20 000 м;
- увігнутих – не менше ніж 8 000 м.

Довжини вертикальних кривих:

- опуклих – не менше ніж 300 м;
- увігнутих – не менше ніж 100 м.

Величину радіуса кривих визначають з умов видимості та розрахункової швидкості руху методом тангенсів.

Визначають параметри вертикальної кривої – тангенси і бісектрису (рис. 13) за формулами:

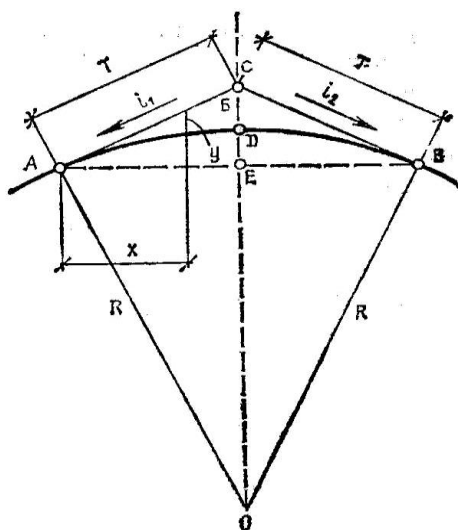


Рисунок 13 – Розрахункова схема для визначення основних елементів

$$T = R(i_1 \pm i_2)/2; \quad (10)$$

$$B = \frac{T^2}{2R}; \quad (11)$$

$$K = R(i_1 \pm i_2), \quad (12)$$

де R – радіус кривої, м; $i_1 \pm i_2$ – алгебраїчна різниця або сума суміжних ухилів; B – бісектриса кривої, м; K – довжина кривої, м.

Ухили на підйомах вважають зі знаком плюс, а на спусках – зі знаком мінус. При різнойменних ухилах їхня алгебраїчна різниця для увігнутих і опуклих кривих дорівнює сумі суміжних ухилів проєктної лінії.

Розбивку вертикальних кривих починають з визначення пікетажного положення вершини вертикального кута як точки перетину прямих ліній, що мають ухили i_1 і i_2 .

Від вершини кута в обидва боки відкладають значення тангенсів і обчислюють пікетажне положення початку і кінця вертикальної кривої.

Для будь-якої проміжної точки вертикальної кривої визначають ординату Y за формулою:

$$Y = \frac{X^2}{2R}, \quad (13)$$

де X – абсциса, тобто відстань від початку або кінця кривої до проміжної точки, м; Y – ордината, тобто перевищення проміжної точки над початком або кінцем кривої, м.

Знаючи величини бісектриси B і ординат (перевищень) Y в різних точках вертикальної кривої, уточнюють величини проектних відміток у межах кривої.

На насипах на опуклих кривих відмітки в межах кривої зменшуються на величини B і Y , на увігнутих – збільшуються. У виїмках, навпаки, на увігнутих кривих відмітки зменшуються, а на опуклих збільшуються.

Параметри вертикальних кривих вписують у графу «Ухил і вертикальна крива» (рис. 14).

Відмітка осі проїзної частини, м	157,92 157,85	157,70	155,74
Ухил і вертикальна крива, ‰	5,35	13 13	56
Відстань, м		R=1500 м K=61 B=0.31	33,59 9,87

Рисунок 14 – Приклад заповнення графи «Ухил і вертикальна крива»

Параметри вертикальної кривої, обраховані методом тангенсів, можна надписувати над проектною лінією. Для цього викреслюють у масштабі горизонтальну лінію, довжина якої дорівнює довжинам двох тангенсів (в обидві сторони від осі вертикальної кривої). На кінцях цієї лінії креслять перпендикулярні лінії довжиною по 5 мм, спрямовані вниз, якщо крива опукла, і спрямовані вгору, якщо крива увігнута. Над горизонтальною лінією вказують величини радіуса, тангенса, довжини кривої й бісектриси (рис. 15);

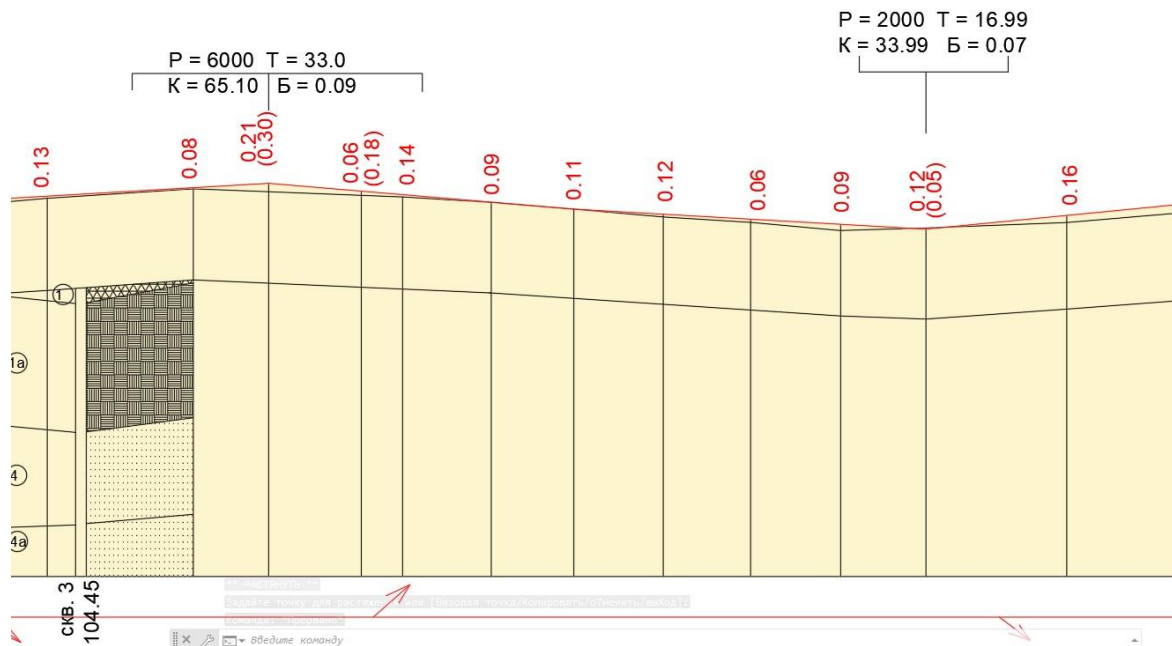


Рисунок 15 – Зображення вертикальних кривих на поздовжньому профілі

р) розраховують робочі відмітки. Робочі відмітки надписують над проектною лінією, якщо червоні відмітки більші за чорні (тобто в цьому місці буде насип), і під проектною лінією, якщо червоні відмітки менші, ніж чорні (тобто в цьому місці буде виїмка);

с) ув'язавши ухили та відмітки на переломах проектної лінії, визначають проміжні проектні та робочі відмітки.

За критичні точки вважають місця перелому профілю, найвищого й найнижчого положення профілю, точки нульових робіт, перехрещення з іншими вулицями тощо.

Положення нульових відміток показує місце переходу насипу у виїмку (рис. 16). У таких місцях робочі відмітки позначаються цифрами 0,00, а їхню прив'язку до найближчих пікетів можна отримати за формулою:

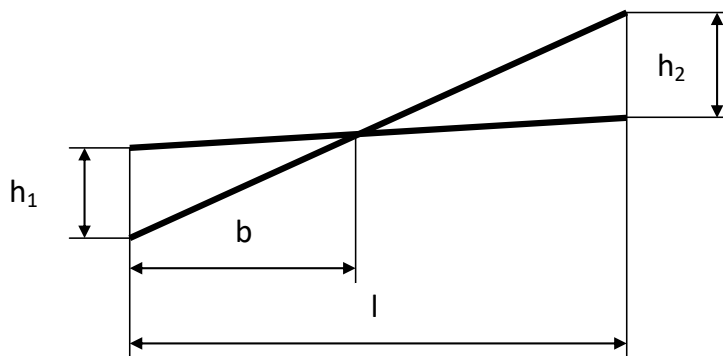


Рисунок 16 – Схема визначення положення точки нульових робіт

$$b = l \frac{h_1}{h_1 + h_2}, \quad (14)$$

де b – положення точки нульових робіт (відстань до пікету), м; h_1, h_2 – робочі позначки відповідно зліва і справа від точки переходу, м; l – довжина ділянки (відстань між пікетами), м.

Приклад поздовжнього профілю міської вулиці із ґрунтово-геологічним розрізом зображений на рисунку 17.

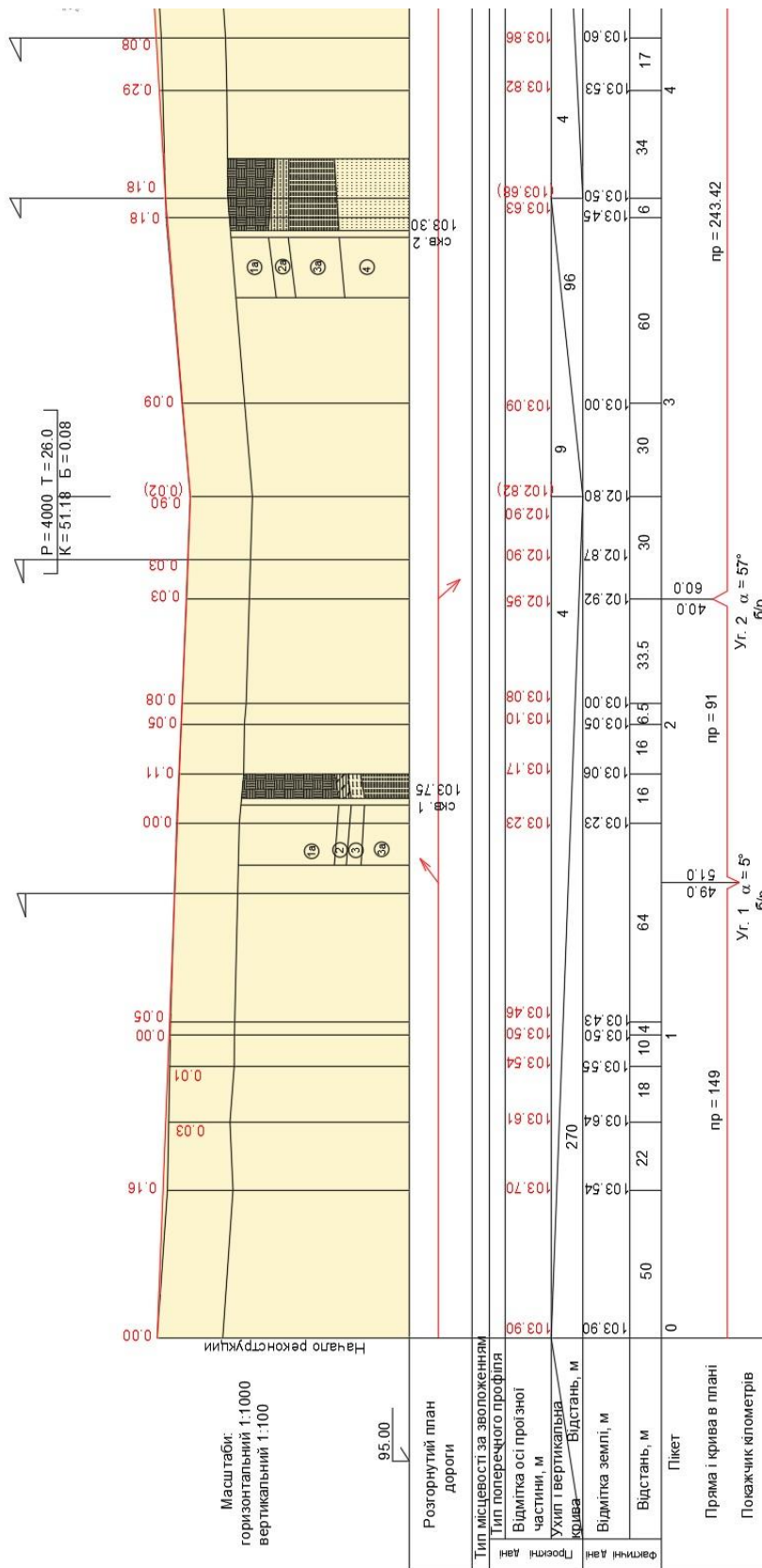


Рисунок 17 – Приклад поздовжнього профілю міської вулиці із ґрунтово-геологічним розрізом

Графи «Проектні дані», «Пряма і крива в плані», робочі позначки, проектну лінію поздовжнього профілю показують червоним кольором.

6 ПРОЄКТУВАННЯ ВИСОТНОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФІЛЮ

На висотному поперечному профілі показують:

- вісь проектної вулиці чи дороги (під час реконструкції, крім цього, вісь існуючої вулиці чи дороги);
- лінію фактичної поверхні землі та лінії ординат від точок її переломів;
- контур проектної поверхні дорожнього покриття та всіх інших елементів поперечного профілю вулиці чи дороги;
- чорні та червоні відмітки рівнів у точках їхніх переломів;
- контур зрізання рослинного шару ґрунту, заміни непридатного шару ґрунту;
- інженерні комунікації, їхні позначення, найменування та відмітки рівнів, на яких вони прокладені;
- прив'язку поперечного профілю до пікету;
- крутизну укосів.

У поперечному профілі вулиць та доріг для забезпечення стоку поверхневих вод усім елементам надається поперечний ухил, спрямований до лотків проїзних частин. Тому лотки проїзної частини повинні бути дещо нижчими, ніж позначки по червоних лініях вулиць.

Поперечні ухили проїзної частини приймають залежно від типу покриття (табл. 11).

Таблиця 11 – Поперечні ухили проїзної частини

Тип покриття	Поперечні ухили проїзної частини, ‰	
	на вулицях, дорогах і проїздах	на майданах і автостоянках
Удосконалене капітальне:		
– асфальтобетонне та цементобетонне	20–25	20
– з природної або штучної бруківки	20–30	20
Удосконалене полегшене	20–25	20
Перехідні	20–30	–

Тротуари проєктують односхилими з поперечними ухилами 15 ‰ у бік проїзної частини. Тротуари краще піднімати над поверхнею смуг зелених насаджень для того, щоб забезпечити швидке стікання води з тротуарів, і

відокремлювати їх від смуг зелених насаджень бортовими каменями висотою 5–10 см.

Поперечний профіль трамвайного полотна проєктують безухильним.

Поперечний профіль *велосипедних доріжок* зазвичай проєктують односхилим, він повинен становити 15–25 ‰

Висотний поперечний профіль міської вулиці проєктують у масштабах: горизонтальний – 1 : 100, 1 : 200, вертикальний – 1 : 10. Боковик поперечного профіля згідно з ДСТУ Б А.2.4-29 показано на рисунку 18.

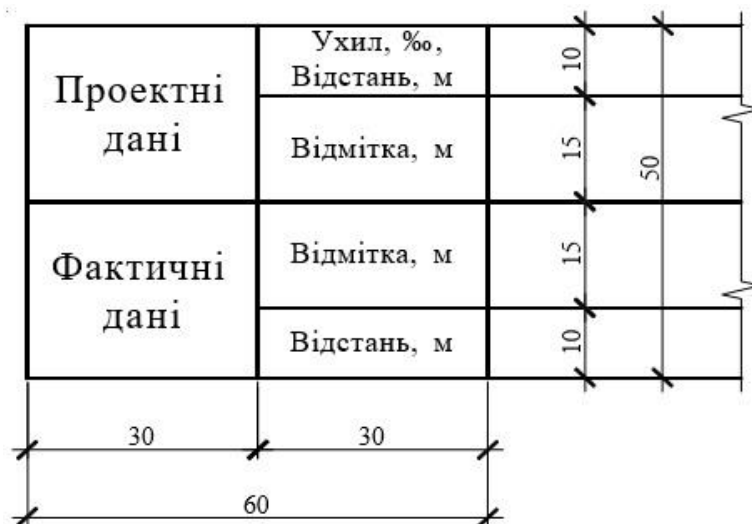


Рисунок 18 – Боковик поперечного профіля

У графах таблиці вказують:

- у графах «**Фактичні дані**» – чорні (існуючі) відмітки поверхні землі в точках перелому та відстані між цими точками;
- у графах «**Проектні дані**» – відмітки точок переломів проєктного контуру поперечного профіля та відстані між цими точками (по горизонталі) і ухили елементів поперечного профіля.

6.1 Послідовність проєктування робочих (висотних) поперечних профілів

Висотні поперечні профілі будують по ходу напрямку вулиці чи дороги в такій послідовності:

а) викреслюють таблицю-сітку поперечного профілю, яка має відповідати ширині вулиці в «червоних» лініях. Знизу під таблицею проставляють пікетажне положення цього профіля;

б) призначають нульову (початкову) відмітку, від якої будуть виконувати побудову існуючого профілю у вертикальній площині в масштабі;

в) з поздовжнього профілю переносять фактичну (існуючу) відмітку осі проїзної частини;

г) з плану вулиці визначають існуючі відмітки землі на «червоних» лініях, критичних точках, місцях перелому рельєфу. Ці відмітки записують у таблицю в рядок «Відмітки» графі «Фактичні дані»;

д) у рядок «Відстані» графі «Фактичні дані» проставляють відстані між фактичними відмітками;

е) за існуючими відмітками будують лінію фактичної (існуючої) поверхні землі;

ж) з поздовжнього профілю переносять проектну відмітку осі проїзної частини для цього пікету;

и) у рядку «Ухил, % та відстань, м» графі «Проектні дані» проставляють ширину кожного елемента вулиці в межах «червоних» ліній, їхні поперечні ухили та напрямок ухилів;

к) розраховують висотні відмітки всіх елементів вулиці (наприклад, низу та верху бордюру, поребрика, тощо);

л) будують проектну лінію поперечного профіля, враховуючи всі його елементи, накреслені на плані вулиці;

м) визначають фактичні відмітки землі в місцях переломів проектного профілю вулиці (фактичні відмітки землі елементів поперечного профілю);

н) визначають робочі відмітки в точках перелому профілю і надписують їх над проектною лінією (якщо проектна відмітка вище, ніж фактична) чи під проектною лінією (якщо проектна відмітка нижче, ніж фактична);

п) визначають місця нульових робочих відміток так саме, як для поздовжнього профіля.

Приклад проектування робочого поперечного профілю міської вулиці показано на рисунку 19.

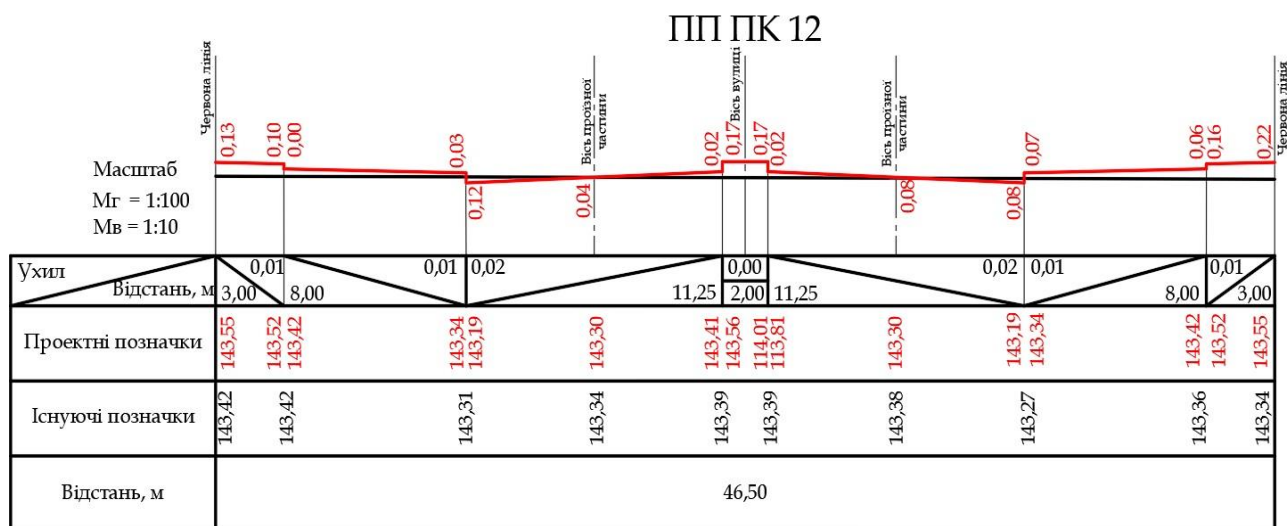


Рисунок 19 – Робочий поперечний профіль міської вулиці

На робочих поперечних профілях проектні дані, проектну лінію та робочі відмітки виділяють червоним кольором.

7 КОНСТРУЮВАННЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Конструкції дорожнього одягу визначаються на основі техніко-економічних порівнянь декількох варіантів дорожнього одягу з урахуванням категорії вулиці чи дороги, перспективної інтенсивності руху та складу транспортного потоку, кліматичних і геолого-гідрологічних умов, наявності будівельних матеріалів, підземних комунікацій та споруд, вимог безпеки дорожнього руху, охорони навколишнього середовища.

Порядок дій:

а) спочатку потрібно встановити регіон будівництва згідно з рисунком 20;

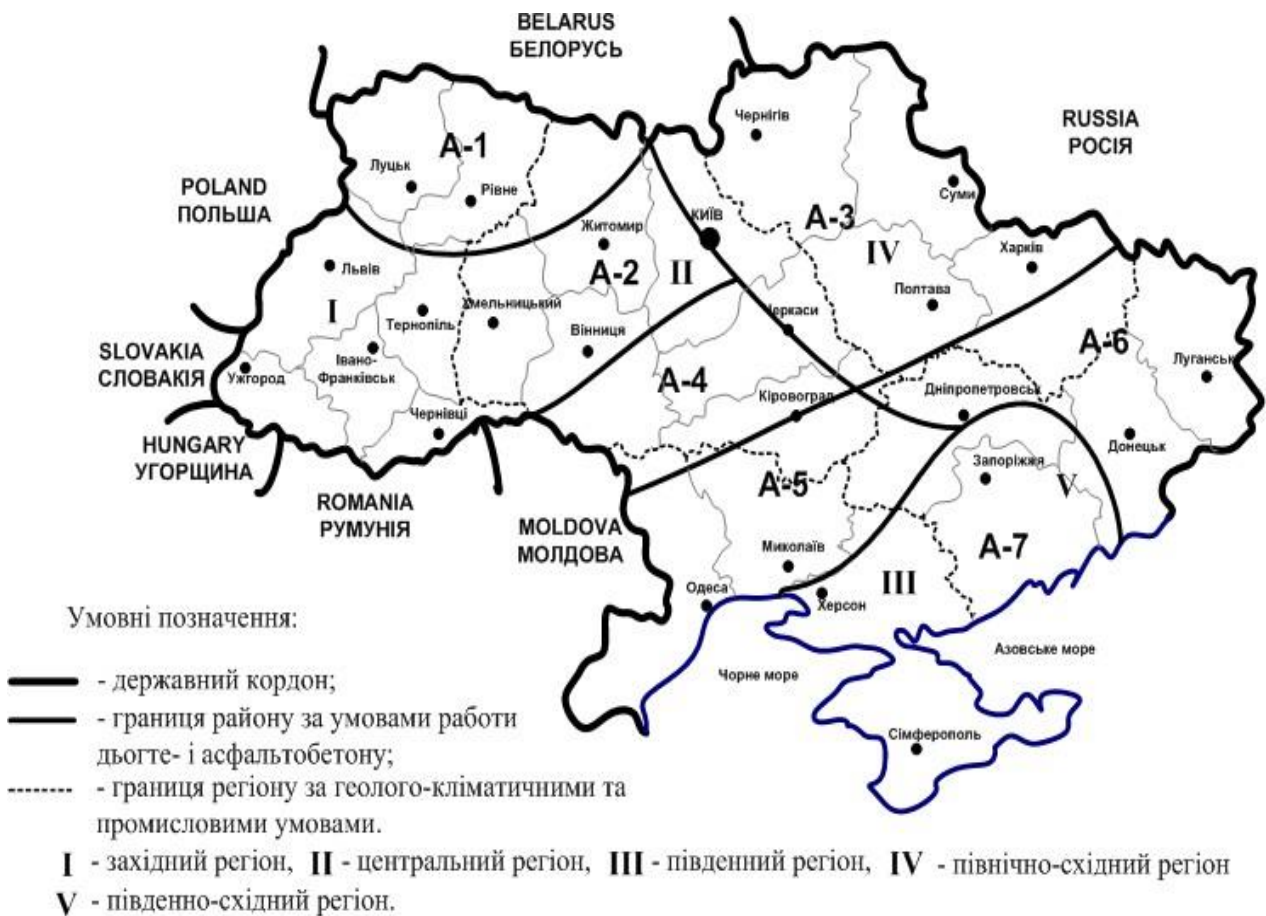


Рисунок 20 – Районування території України за геолого-кліматичними та промисловими умовами

б) вибирають конструкцію дорожнього одягу згідно з категорією вулиць чи доріг. Водночас категорії міських вулиць варто приймати:

- магістральні вулиці чи дороги загальноміського значення як автомобільні дороги I і II категорій;
- магістральні вулиці районного значення – III категорія;
- вулиці чи дороги місцевого значення – IV категорія;
- проїзди та велодоріжки – V категорія.

Попередній вибір конструкцій дорожнього одягу дозволяється здійснювати за каталогами або альбомами типових конструкцій (табл. 12);

Таблиця 12 – Типові конструкції нежорстких дорожніх одягів

Номер шару	Матеріал	h, см
Західний регіон		
1	Щільний полімерасфальтобетон	6
2	Асфальтобетон крупнозернистий щільний на бітумі БМП 60/90-52(60)	8
3	Асфальтобетон крупнозернистий пористий на бітумі БНД 60/90	10
4	Щебінь і гравій, оброблені цементом марки 75	18
5	Щебінь, омонолічений дрібнозернистим піском розклинкою	30
6	Захисно-армований прошарок геоспан	–
7	Крупний пісок	40
Центральний регіон		
1	Щільний полімерасфальтобетон	6
2	Асфальтобетон крупнозернистий щільний на бітумі БМП 90/130-49(60)	8
3	Асфальтобетон крупнозернистий пористий на бітумі БНД 90/130	10
4	Крупноуламкові ґрунти та гравійно-піщана суміш, оброблені комплексним в'язучим	16
5	Щебінь, омонолічений дрібнозернистим піском розклинкою	25
6	Захисно-армований прошарок геоспан	–
7	Відсів (міцних) гірських порід	30
Південний регіон		
1	Щільний полімерасфальтобетон	6
2	Асфальтобетон крупнозернистий щільний на бітумі БМП 60/90-52(60)	8
3	Асфальтобетон крупнозернистий пористий на бітумі БНД 60/90	8
4	Щебінь і гравій, оброблені цементом марки 75	16
5	Щебінь, омонолічений дрібнозернистим піском розклинкою	23
6	Захисно-армований прошарок геоспан	–
7	Відсів (міцних) гірських порід	30
Північно-східний регіон		
1	Щільний полімерасфальтобетон	6
2	Асфальтобетон крупнозернистий щільний на бітумі БМП 60/90-52(60)	8
3	Асфальтобетон крупнозернистий пористий на бітумі БНД 90/130	8
4	Крупноуламкові ґрунти та гравійно-піщана суміш, оброблені комплексним в'язучим	16
5	Шлакова щебенево-піщана суміш	40
Південно-східний регіон		
1	Щільний полімерасфальтобетон	6
2	Асфальтобетон крупнозернистий щільний на бітумі БМП 40/60-56(60)	8
3	Асфальтобетон крупнозернистий пористий на бітумі БНД 40/60	10
4	Підібрані оптимальні суміші з шлаку активного	16
5	Шлаковий щебінь	23
6	Захисно-армований прошарок геоспан	–
7	Крупний пісок	40

в) встановлюють розрахункові значення параметрів конструктивних шарів дорожнього одягу, що використовуються для розрахунків. Їх визначають з урахуванням виду, властивостей та розташування матеріалів у конструкції (табл. 13);

Таблиця 13 – Розрахункові значення параметрів конструктивних шарів дорожнього одягу

Матеріал шару	Значення параметрів конструктивних шарів							
	модуль пружності за пружним прогином E , МПа	модуль пружності за опором зсуву E , МПа	модуль пружності на розтяг при згині E , МПа	допустиме розтягувальне напруження $R_{\text{лаб}}$, МПа	показник втоми t	k_m	k_T	K_p
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Щільний полімерасфальтобетон	6 000	4 000	7 000	14,0	7,0	1,00	0,90	3,1
Асфальтобетон крупнозернистий щільний на бітумі БМП 40/60-56(60)	4 780	2 600	6 530	10,0	6,0	0,95	0,85	3,7
Асфальтобетон крупнозернистий щільний на бітумі БМП 60/90-52(60)	4 930	1 800	6 930	9,8	5,5	0,95	0,85	4,0
Асфальтобетон крупнозернистий щільний на бітумі БМП 90/130-49(60)	2 400	1 200	3 600	9,5	5,0	0,95	0,85	4,5
Асфальтобетон крупнозернистий пористий на бітумі БНД 40/60	2 800	1 700	3 600	8,3	4,5	0,75	0,80	7,2
Асфальтобетон крупнозернистий пористий на бітумі БНД 60/90	2 000	1 200	2 800	8,0	4,3	0,75	0,80	8,2
Асфальтобетон крупнозернистий пористий на бітумі БНД 90/130	1 400	800	2 200	7,8	4,0	0,75	0,80	8,6

Продовження таблиці 13

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Щебінь і гравій, оброблені цементом марки 75	1 000	1 000	1 000	–	–	–	–	–
Крупноуламкові ґрунти та гравійно-піщана суміш, оброблені комплексним в'язучим	900	900	900	–	–	–	–	–
Підібрані оптимальні суміші з шлаку активного	600	600	600	–	–	–	–	–
Щебінь, омонолічений дрібнозернистим піском розклинкою	450	450	450	–	–	–	–	–
Шлакова щебенево-піщана суміш	450	450	450	–	–	–	–	–
Шлаковий щебінь	350	350	350	–	–	–	–	–
Відсів (міцних) гірських порід	170–200	170–200	170–200	–	–	–	–	–
Крупний пісок	130	130	130	–	–	–	–	–

г) залежно від району проектування приймають розрахункові характеристики ґрунтів, величини модулів пружності ґрунтів (табл. 14). Тип ґрунтів задає керівник.

Таблиця 14 – Розрахункові значення характеристик ґрунтів

Тип ґрунтів	Число пластичності, J_p	Вміст піщанистих часток (2–0,5 мм), % за масою	Показники	Розрахункові значення характеристик за вологістю ґрунту, частки від W_L								
				0,5	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Пісок:												
крупний			Еу, МПа	130								
			φ, град	35								
			С, МПа	0,004								
середньої крупності			Еу, МПа	120								
			φ, град	32								
			С, МПа	0,004								
дрібний			Еу, МПа	100								
			φ, град	31								
			С, МПа	0,003								
однорідний			Еу, МПа	75								
			φ, град	31								
			С, МПа	0,003								
пилуватий			Еу, МПа	96	90	84	78	72	60	60	54	48
			φ, град	38	38	37	37	36	35	34	33	32
			С, МПа	0,026	0,024	0,022	0,018	0,014	0,012	0,011	0,010	0,009
Супісок:												
піщанистий	від 1 до 7	більше 50	Еу, МПа	108	108	100	100	79	69	62	54	50
			φ, град	32	30	29	28	27	26	25	23	22
			С, МПа	0,022	0,016	0,014	0,013	0,011	0,010	0,007	0,005	–
пилуватий	від 1 до 7	менше 50	Еу, МПа	108	108	100	100	79	69	62	54	50
			φ, град	32	30	29	28	27	26	25	23	22
			С, МПа	0,022	0,02	0,014	0,013	0,011	0,010	0,007	0,005	–

Продовження таблиці 14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Суглинок:												
легкий піщанистий	від 7 до 12	більше 40	Еу, МПа	108	100	77	64	52	42	34	27	23
			φ, град	27	25	23	21	19	18	16	13	11
			С, МПа	0,0035	0,026	0,024	0,018	0,014	0,011	0,009	0,006	0,004
легкий пилуватий	від 7 до 12	менше 40	Еу, МПа	108	100	77	64	52	42	34	27	23
			φ, град	28	25	24	22	20	18	16	14	11
			С, МПа	0,04	0,03	0,03	0,019	0,015	0,012	0,009	0,007	0,005
важкий піщанистий	від 12 до 17	більш 40	Еу, МПа	100	80	62	49	38	29	21	13	10
			φ, град	25	22	20	18	15	13	10	7	–
			С, МПа	0,05	0,035	0,03	0,022	0,016	0,013	0,010	0,008	0,007
важкий пилуватий	від 12 до 17	менше 40	Еу, МПа	100	80	62	49	38	29	21	13	10
			φ, град	25	22	20	18	15	13	10	7	–
			С, МПа	0,05	0,035	0,03	0,022	0,016	0,013	0,010	0,008	0,007
Глина:												
легка піщаниста	від 17 до 27	більше 40	Еу, МПа	82	62	51	34	24	17	10	5	–
			φ, град	23	20	17	15	12	8	3	–	–
			С, МПа	0,06	0,04	0,032	0,024	0,02	0,02	0,010	0,008	0,01
легка пилувата	від 17 до 27	менше 40	Еу, МПа	82	62	51	34	24	17	10	5	–
			φ, град	23	20	17	15	12	8	3	–	–
			С, МПа	0,06	0,04	0,032	0,024	0,02	0,02	0,010	0,008	0,01
важка	більше 27	не нормується	Еу, МПа	70	48	34	24	16	10	5	4	–
			φ, град	22	19	16	13	10	5	–	–	–
			С, МПа	0,06	0,044	0,034	0,025	0,020	0,015	0,010	0,006	–

8 РОЗРАХУНОК НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Дорожній одяг нежорсткого типу розраховують на міцність згідно з ГБН В.2.3-37641918-559 з урахуванням ДБН В.2.3-4.

Розрахунок дорожнього одягу виконують за трьома критеріями – *за величиною пружного прогину, на зсув та розтяг при згині*.

8.1 Визначення коефіцієнтів надійності та запасу міцності

Для розрахунку конструкції дорожнього одягу значення коефіцієнтів запасу міцності та надійності для відповідних критеріїв призначається залежно від категорії дороги за таблицею 15.

Таблиця 15 – Значення коефіцієнтів надійності та запасу міцності конструкції дорожнього одягу

Категорія дороги	Тип дорожнього одягу	Характеристика надійності, β	Коефіцієнт запасу, $K_{мц}$, за критерієм граничного стану		
			згин монолітних шарів	пружний прогин	зсув у незв'язних шарах
Ia – Ib	Капітальний	1,875	1,39	1,50	1,51
II	Капітальний	1,645	1,35	1,43	1,48
III	Капітальний	1,280	1,29	1,33	1,40
IV	Полегшений	1,035	1,27	1,29	1,38
V	Перехідний	0,68	1,19	1,23	1,25

8.2 Визначення розрахункових навантажень

Розрахункові навантаження та їхні характеристики приймають за таблицею 16 з урахуванням класифікації міських вулиць та доріг.

8.3 Визначення перспективної інтенсивності руху

Дорожній одяг розраховують залежно від інтенсивності руху.

Сумарна кількість проїздів розрахункового навантаження за термін експлуатації дорожнього одягу $\sum N_{pm}$, авт./добу, визначається за формулою:

$$\sum N_{pm} = 0,7 \cdot T_{pdp} \cdot K_n \cdot K_c \cdot N_{pd}, \quad (15)$$

де T_{pdp} – кількість розрахункових діб на рік приймають за таблицею 17 залежно від дорожньо-кліматичної зони (рис. 21); K_n – коефіцієнт, що враховує ймовірність відхилення сумарного руху від середнього, приймають за

таблицею 18; K_c – коефіцієнт суми, що визначається залежно від розрахункового строку експлуатації T_{cl} (T_{cl} визначають за таблицею 19) та показника змін інтенсивності руху за роками q (табл. 20); N_{pd} – приведена розрахункова перспективна інтенсивність руху у перший рік після прийняття в експлуатацію, авт./добу.

Таблиця 16 – Характеристики розрахункових навантажень

Категорія дороги	Тип дорожнього одягу	Група розрахункового навантаження	Нормативне статичне навантаження на вісь, кН	Нормативне статичне навантаження на поверхню покриття від колеса розрахункового автомобіля $Q_{розр}$, кН	Розрахункові параметри навантаження		
					середній тиск колеса на дорожнє покриття p , МПа	діаметр відбитка колеса нерухомого автомобіля D_n , м	діаметр відбитка колеса рухомого автомобіля D_0 , м
Ia, Ib, II	Капітальний	A ₁	130	65	0,9	0,303	0,346
		A ₂	115	57,5	0,80	0,303	0,345
III	Капітальний	A ₂	115	57,5	0,80	0,303	0,345
	Удосконалений полегшений	A ₃	100	50	0,60	0,326	0,371
IV, V	Капітальний	A ₃	100	50	0,60	0,326	0,371
	Удосконалений полегшений	A ₃	100	50	0,60	0,326	0,371
V	Перехідний	B	60	30	0,50	0,276	0,315

Таблиця 17 – Кількість розрахункових діб на рік, $T_{рдр}$

Дорожньо-кліматична зона	I	II	III	IV	
				Захід	Південь
Кількість розрахункових діб на рік ($T_{рдр}$)	145	135	130	140	120

Таблиця 18 – Значення коефіцієнта K_n для різних категорій доріг

Тип дорожнього одягу	Значення коефіцієнта K_n для різних категорій доріг				
	I	II	III	IV	V
Капітальний	1,49	1,49	1,38	1,31	–
Удосконалений полегшений	–	–	1,32	1,26	–
Перехідний	–	–	–	1,16	1,04

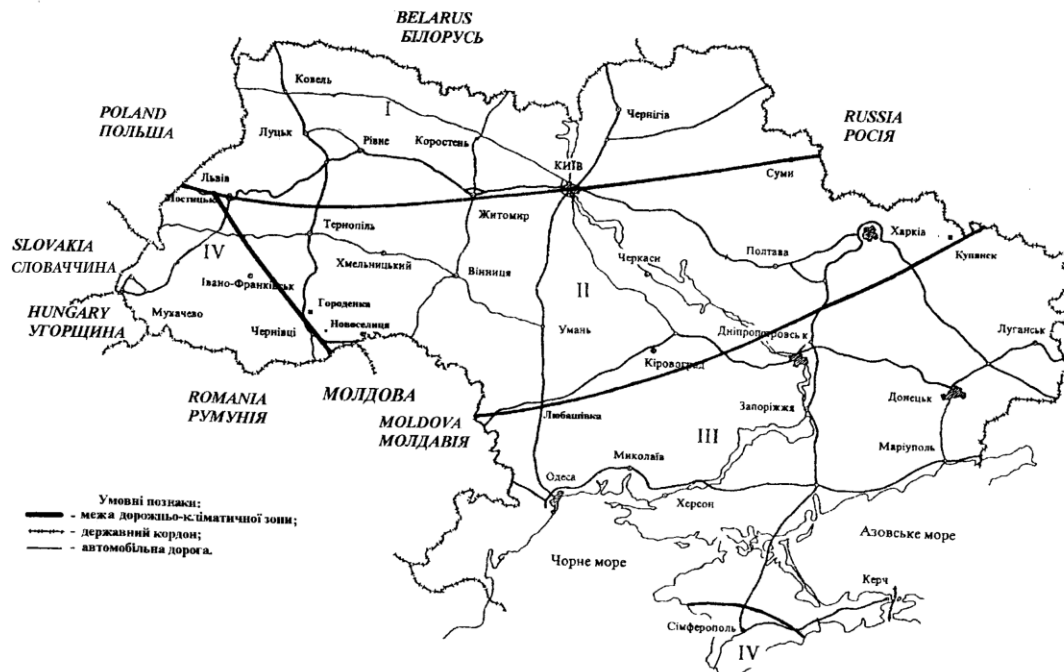


Рисунок 21 – Дорожнє районування України

Таблиця 19 – Норми строків експлуатації дорожніх одягів між капітальними ремонтами

Категорія автомобільної дороги	Інтенсивність руху, трансп. один./добу	Тип дорожнього одягу	Матеріал покриття	Строк експлуатації дорожнього одягу, у роках
I	понад 10 000	капітальний	асфальтобетон	11
II	3 000 – 10 000	капітальний	асфальтобетон	12
III–IV	1 000 – 3 000	полегшений	асфальтобетон	13

Таблиця 20 – Значення коефіцієнта суми K_c

Показник зміни інтенсивності руху q , у роках	Значення K_c за терміну експлуатації дорожнього одягу $T_{сл}$, у роках			
	8	10	15	20
0,90	5,7	6,5	7,9	8,8
0,92	6,1	7,1	8,9	10,1
0,94	6,5	7,7	10,0	11,8
0,96	7,0	8,4	11,4	13,9
0,98	7,5	9,1	13,1	16,6
1,00	8,0	10,0	15,0	20,0
1,02	8,6	10,9	17,2	24,4
1,04	9,2	12,0	20,0	29,8
1,06	9,9	13,2	23,2	36,0
1,08	10,6	14,5	27,2	45,8
1,10	11,4	15,9	31,7	67,3

Після визначення характеристик транспортного потоку розпочинають безпосередньо розрахунок нежорсткого дорожнього одягу.

8.4 Розрахунок нежорсткого дорожнього одягу за допустимим пружним прогином

Розрахунок за допустимим пружним прогином виконують зверху вниз (під час нового будівництва) або знизу вверху (під час реконструкції).

Визначають потрібний модуль пружності за формулою:

$$E_{номр} = 42,843 \cdot \ln(\sum N_{pm}) - b, \quad (16)$$

де $E_{номр}$ – потрібний еквівалентний модуль пружності дорожнього одягу, МПа; b – коефіцієнт, величина якого приймається залежно від групи навантаження відповідно до ДБН В.2.3-4; для групи A_2 – $b = 315,68$; для групи A_3 – $b = 350,21$; для групи B – $b = 409,40$; $\sum N_{pm}$ – сумарна кількість проїздів розрахункового навантаження за термін експлуатації дорожнього одягу, авт./добу.

Незалежно від даних, отриманих за розрахунком, потрібні модулі пружності мають бути не менше зазначених у таблиці 21.

Таблиця 21 – Мінімальний потрібний модуль пружності дорожнього одягу

Категорія дороги	Мінімальний потрібний модуль пружності одягу $E_{номр}$, МПа		
	капітальний тип (рекомендовано)	полегшений	перехідний
Ia	260	–	–
Iб	250	–	–
II	235	–	–
III	225	190	–
IV	190	150	–
V	–	100	50

Приймають модуль пружності конструкції $E_{заг}$ рівним потрібному модулю пружності $E_{номр}$:

$$E_{заг} = E_{номр}. \quad (17)$$

Розрахунок за допустимим пружним прогином ведуть пошарово, починаючи з верхнього шару або з нижнього підстильного ґрунту, за допомогою номограми (рис. 22). Схема для розрахунку нежорсткого дорожнього одягу за допустимим пружним прогином наведена на рисунку 23.

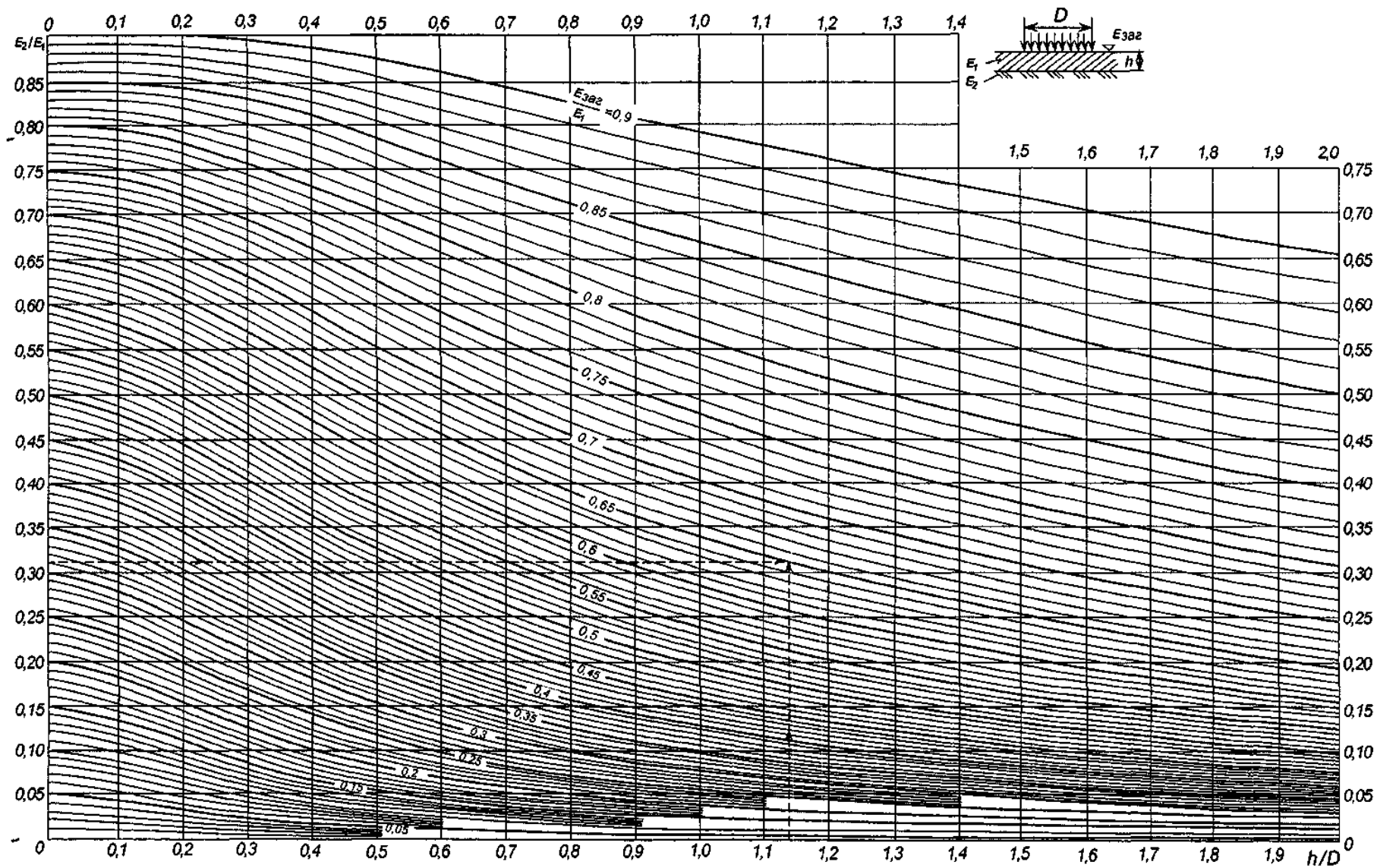


Рисунок 22 – Номограма для визначення загального модуля пружності E_{zag} двошарової системи

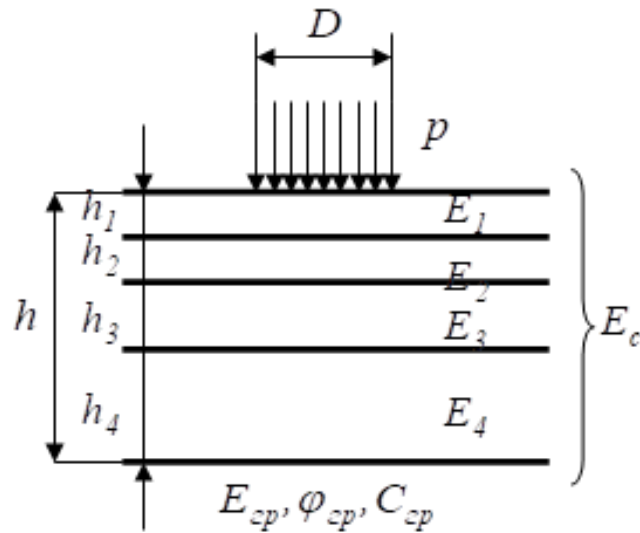


Рисунок 23 – Схема для розрахунку нежорсткого дорожнього одягу за допустимим пружним прогином

Послідовність розрахунку дорожнього одягу, починаючи з верхнього шару:

а) розраховують співвідношення: $\frac{E_{\text{заг}}}{E_1}$ та $\frac{h_1}{D}$;

б) за номограмою знаходять $\frac{E_{\text{заг}}^1}{E_1}$. З цього відношення знаходять $E'_{\text{заг}}$.

Для визначення $E'_{\text{заг}}$ на номограмі проводиться вертикаль із точки на горизонтальній осі, що відповідає значенню $\frac{h_1}{D}$, і горизонтальна пряма з точки на вертикальній осі, що відповідає відношенню $\frac{E_2}{E_1}$. Точка перетину цих прямих дає шукане значення $\frac{E_{\text{заг}}^1}{E_1}$;

в) за аналогією визначають загальний модуль пружності в основі другого шару $E_{\text{заг}}^2$. Для цього, користуючись співвідношеннями $\frac{E_{\text{заг}}^1}{E_2}$ та $\frac{h_2}{D}$, за номограмою знаходять $\frac{E_{\text{заг}}^2}{E_2}$. З цього відношення знаходять $E_{\text{заг}}^2$;

г) закінчують розрахунок визначенням товщини нижнього шару h_4 , що лежить безпосередньо на ґрунтовій основі земляного полотна. Визначають відношення $\frac{E_{\text{заг}}^2}{E_4}$ та $\frac{E_{\text{гр}}}{E_4}$. Тут $E_{\text{гр}}$ – модуль пружності ґрунту земляного полотна.

Далі, користуючись номограмою, знаходять відношення $\frac{h_4}{D}$, звідки визначають h_4 .

Модулі пружності конструктивних шарів для розрахунку за пружним прогином приймають за таблицею 13, діаметр відбитка колеса рухомого автомобіля D (D_0) – за таблицею 16.

8.5 Розрахунок нежорсткого дорожнього одягу на зсув у підстилаючому ґрунті

Дорожній одяг проєктують із розрахунку, щоб під дією короточасних чи довгострокових навантажень в підстилаючому ґрунті та малозв'язних шарах за строк експлуатації не виникали недопустимі залишкові деформації. Деформації зсуву в конструкції не будуть накопичуватись, якщо забезпечена умова:

$$K_{\text{мц}} = \frac{T_{\text{гр}}}{T_{\text{а}}}, \quad (18)$$

де $K_{\text{мц}}$ – необхідне мінімальне значення міцності, що визначається з урахуванням заданого коефіцієнта надійності (див. табл. 15); $T_{\text{а}}$ – розрахункове активне напруження зсуву (частина зсувного напруження, непогашена внутрішнім тертям) в розрахунковій (найбільш небезпечній) точці конструкції від діючого тимчасового навантаження, МПа; $T_{\text{гр}}$ – гранична величина активного напруження зсуву (у тій самій частині), перевищення якої викликає порушення міцності на зсув, МПа.

Діючі в ґрунті активні напруження зсуву $T_{\text{а}}$ вираховують за формулою:

$$T_{\text{а}} = \bar{\tau}_{\text{н}} \cdot p, \quad (19)$$

де $\bar{\tau}_{\text{н}}$ – питома активне напруження зсуву від одиничного навантаження, що визначають за допомогою номограми (рис. 24); p – розрахунковий питомий тиск від колеса на покриття, МПа (табл. 16).

Для визначення $\bar{\tau}_{\text{н}}$ попередньо призначену конструкцію дорожнього одягу приводять до двошарової розрахункової моделі, у якій товщина верхнього шару дорівнює сумі товщин усіх конструктивних шарів одягу – $E_{\text{сп}}$:

$$E_{\text{сп}} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (20)$$

де n – кількість шарів конструкцій дорожнього одягу; E_i – розрахунковий модуль пружності i -го конструктивного шару дорожнього одягу, МПа; h_i – товщина i -го конструктивного шару дорожнього одягу, см.

Розрахункові модулі пружності конструктивних шарів для розрахунку на зсув приймають за таблицею 13.

Розраховують відношення $\frac{E_{\text{ср}}}{E_{\text{гр}}}$ та $\frac{h}{D}$ за номограмами залежно від характеру взаємодії шарів визначають відношення $\frac{\bar{\tau}_H}{p}$, звідки знаходять $\bar{\tau}_H$.

Граничне активне напруження зсуву $T_{\text{гр}}$ в ґрунті робочого шару (чи в піщаному матеріалі проміжного шару) визначають за формулою:

$$T_{\text{гр}} = C_{\text{гр}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3, \quad (21)$$

де $C_{\text{гр}}$ – зчеплення в ґрунті активної зони земляного полотна в розрахунковий період, МПа (табл. 14); k_1 – коефіцієнт, який враховує вплив навантажень на опір зсуву ґрунту. Під час розрахунку на вплив динамічного навантаження – $k_1 = 1,0$, у разі статичної дії навантаження або навантаження з малою повторністю – $k_1 = 1,5$; k_3 – коефіцієнт, який урахує особливості роботи ґрунту в конструкції. Значення k_3 приймають: піски крупні – $k_3 = 7,0$; піски середньої крупності – $k_3 = 6,0$; піски дрібні – $k_3 = 5,0$; піски пилюваті, супіски крупні – $k_3 = 3,0$; глинисті ґрунти – $k_3 = 1,5$; k_2 – коефіцієнт запасу на неоднорідність умов роботи конструкції, пов'язаний з можливим впливом несприятливих природних особливостей, технологічних та інших чинників. Під час розрахунку на тривалу дію навантаження $k_2 = 1,23$; у разі розрахунку на динамічну дію навантаження коефіцієнт k_2 визначають за формулою:

$$k_2 = 1,816 - 0,15 \cdot \ln(\sum N_{\text{рт}} / (T_{\text{рдп}} \cdot T_{\text{сл}})). \quad (22)$$

Далі перевіряють, чи забезпечується умова міцності:

$$K_{\text{мц}} = \frac{T_{\text{гр}}}{T_{\text{а}}}. \quad (23)$$

Якщо умова не виконується, тоді потрібно збільшити товщину окремих конструктивних шарів дорожнього одягу або замінити матеріал шару на інший із більш високим модулем пружності.

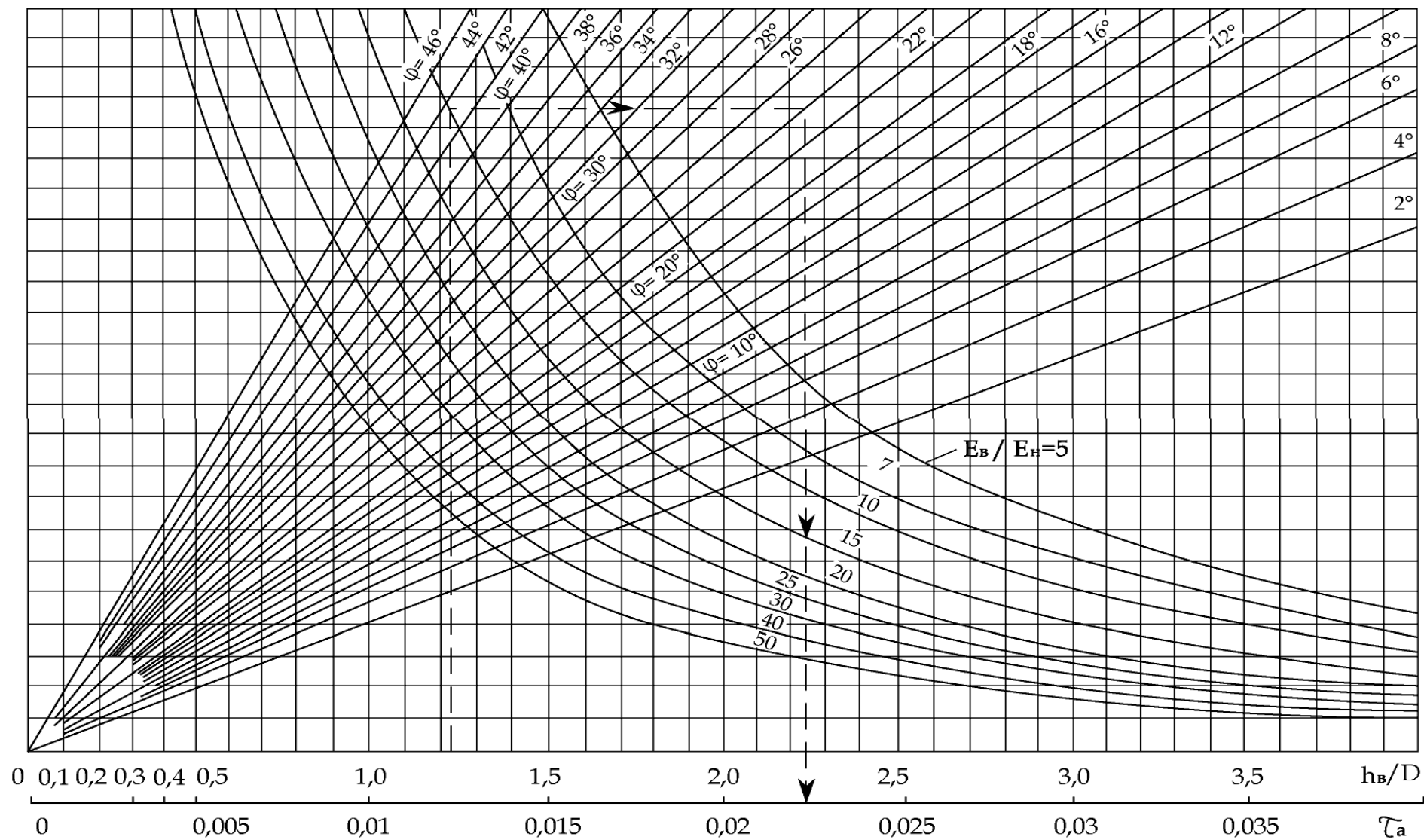


Рисунок 24 – Номограма для визначення активного напруження зсуву від тимчасового навантаження в нижньому шарі двошарової системи

8.6 Розрахунок монолітних шарів на розтяг під час згину

У монолітних шарах дорожнього одягу напруги, що виникають під час прогину під дією повторних тимчасових навантажень, не повинні порушувати структуру матеріалу і призводити до утворення тріщин. У такому разі умова міцності буде:

$$K_{мц} \leq R_{зг} / \sigma_r, \quad (24)$$

де $K_{мц}$ – необхідний коефіцієнт міцності з урахуванням заданого рівня надійності (табл. 14); $R_{зг}$ – гранично допустиме напруження розтягу матеріалу, шару з урахуванням втоми, МПа; σ_r – найбільше напруження розтягу у розглянутому шарі, що встановлюється розрахунком, МПа.

Під час розрахунку на згин шарів асфальтобетонної основи, що підстилає асфальтобетонне покриття, потрібно увесь пакет шарів з асфальтобетону приймати за один еквівалентний шар. У такому разі модуль пружності еквівалентного шару товщиною, що дорівнює загальній товщині пакета, необхідно визначати за формулою (20).

Приводять конструкцію до двошарової моделі, де нижній шар моделі – частина конструкції, розташована нижче за пакет асфальтобетонних шарів. Модуль пружності нижнього шару визначають за номограмою (рис. 22) за допустимим пружним прогином E_n .

До верхнього шару відносять усі асфальтобетонні шари.

Складають відношення:

$$\frac{E_B}{E_H} \text{ та } \frac{h_B}{D}, \quad (25)$$

де E_B – модуль пружності усіх верхніх асфальтобетонних шарів, МПа; E_H – модуль пружності усіх нижніх шарів, МПа; h_B – товщина усіх верхніх асфальтобетонних шарів, см.

За номограмою (рис. 25) визначають $\bar{\sigma}_r$.

Повне розтягувальне напруження під час згину асфальтобетону визначають за формулою:

$$\sigma_r = p \cdot \bar{\sigma}_r \cdot K_6, \quad (26)$$

де p – питомий тиск на покриття від розрахункового автомобіля, МПа; K_6 – коефіцієнт, що враховує особливості напруженого стану покриття під колесом автомобіля зі спареними балонами. Зазвичай

$K_\delta = 0,85$, але у разі розрахунку покриття на особливі навантаження (колесо з одним балоном) $K_\delta = 1,0$.

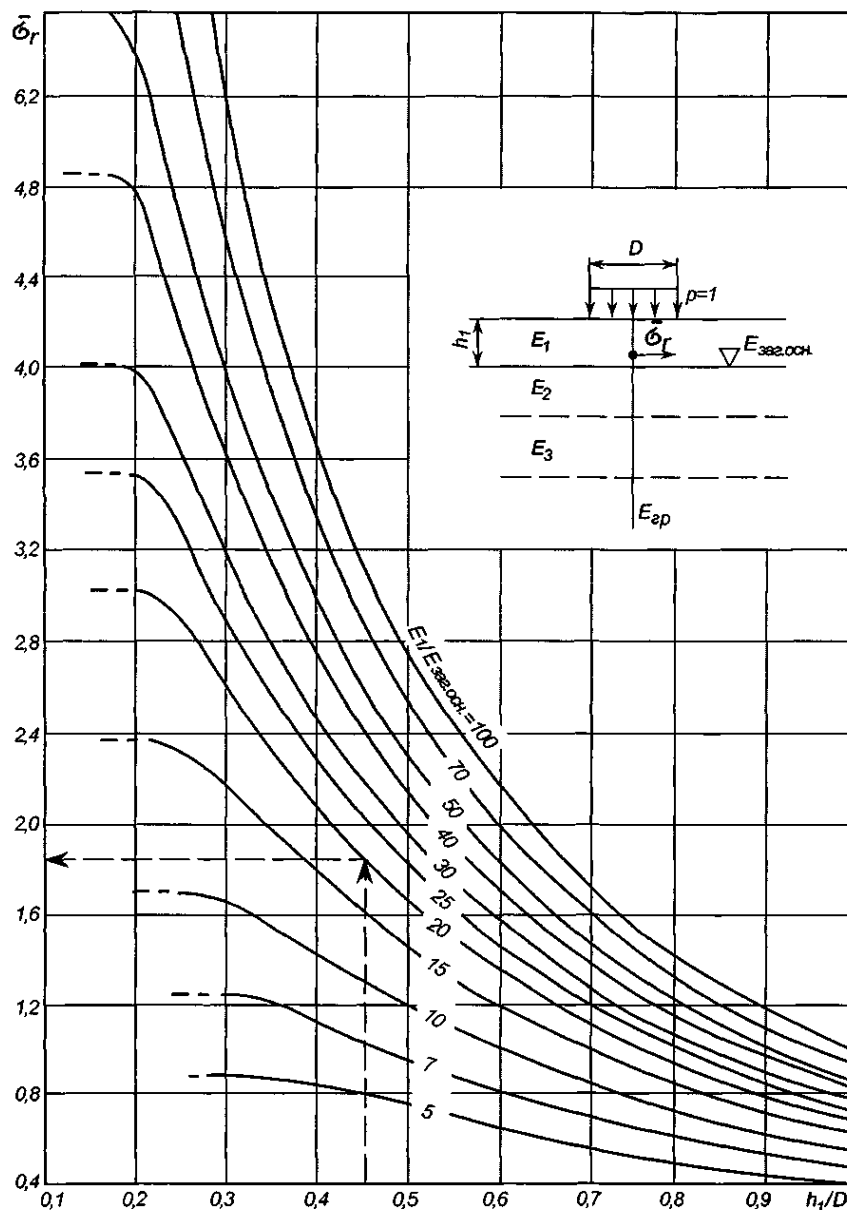


Рисунок 25 – Номограма для визначення розтягувального напруження $\bar{\sigma}_r$ під час згину від одиничного навантаження у верхньому монолітному шарі дорожнього одягу

Визначають допустиме розтягувальне напруження під час згину асфальтобетону $R_{зг}$ за формулою:

$$R_{зг} = R_p \cdot k_m \cdot k_{kn} \cdot k_T, \quad (27)$$

де R_p – розрахункове значення опору розтягу під час згину за одноразового прикладання навантаження, МПа; k_m – коефіцієнт, що враховує зниження міцності в часі від дії погодно-кліматичних умов (табл. 13); k_T – коефіцієнт, що

враховує зниження міцності матеріалу в конструкції в результаті температуро-усадкових впливів (табл. 13); k_{kn} – коефіцієнт, що враховує короткочасність та повторність навантажень на дорозі:

$$k_{kn} = k_{np} \Sigma N^{1/m}, \quad (28)$$

де k_{np} – коефіцієнт, що враховує вплив повторних навантажень у нерозрахунковий період (табл. 13); m – показник в томи (табл. 13); ΣN – сумарна перспективна інтенсивність руху, авт./добу.

Здійснюють перевірку нерівності:

$$\frac{R_{зг}}{\sigma_r} \geq K_{мц}. \quad (29)$$

Якщо умова не виконується, тоді дорожній одяг варто підсилювати шляхом влаштування монолітного шару із матеріалу з більшим опором на розтяг під час згину або шляхом підвищення жорсткості конструктивних шарів.

8.7 Приклад розрахунку дорожнього одягу

Необхідно запроєктувати дорожній одяг з такими вихідними даними:

– магістральна вулиця загальноміського значення знаходиться у місті Запоріжжі. Це південно-східний регіон (рис. 20), III дорожньо-кліматична зона (рис. 21);

– категорія автомобільної дороги – I (магістральна вулиця загальноміського значення);

– строк експлуатації дорожнього одягу – $T_{сн} = 11$ років;

– за розрахункове навантаження прийнятий автомобіль групи A_1 з розрахунковими параметрами (табл. 16): $p = 0,8$ МПа, $D = 0,345$ м;

– приведена до навантаження типу A_1 інтенсивність руху на кінець строку експлуатації $N_p = 25\ 000$ один./добу;

– показник зміни інтенсивності руху $q = 1,0$;

– ґрунт робочого шару земляного полотна – глина легка піщаниста з розрахунковою вологістю $0,55 W_L$, $\varphi = 20^\circ$, $C = 0,04$ МПа.

Порядок розрахунку:

а) призначають конструкцію дорожнього одягу та розрахункові значення параметрів із таблиць 12, 13.

Отримані дані зводяться у таблицю 22;

Таблиця 22 – Конструкція дорожнього одягу та розрахункові значення параметрів

Матеріал шару	h шару, см	Значення параметрів конструктивних шарів							
		модуль пружності за пружним прогином E , МПа	модуль пружності за опором зсуву E , МПа	модуль пружності на розтяг при згині E , МПа	допустиме розтягувальне напруження $R_{\text{лаб}}$, МПа	показник втоми m	k_m	k_T	K_{np}
Щільний полімерасфальтобетон	6	6 000	4 000	7 000	14,0	7,0	1,00	0,90	3,1
Асфальтобетон крупнозернистий щільний на бітумі БМП 60/90-52(60)	8	4 930	1 800	6 930	9,8	5,5	0,95	0,85	4,0
Асфальтобетон крупнозернистий пористий на бітумі БНД 60/90	8	2 000	1 200	2 800	8,0	4,3	0,75	0,80	8,2
Щебінь і гравій, оброблені цементом марки 75	16	1 000	1 000	1 000	–	–	–	–	–
Доменний шлак	20	350	350	350	–	–	–	–	–
Захисно-армуючий прошарок геоспан	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Крупний пісок	30	130	130	130	–	–	–	–	–
Глина легка піщаниста з $0,55 W_L$	–	62	62	62	–	–	–	–	–

б) визначають сумарну кількість прикладень навантаження за строк експлуатації за формулою (15), у якій $T_{\text{дор}} = 130$ днів (таблиця 17), $K_n = 1,49$ (таблиця 18), $K_c = 11,0$ (табл. 20 у разі інтерполяції сусідніх значень. При цьому

термін експлуатації дорожнього одягу T_{cl} визначають за таблицею 19).

$$\sum N_{рт} = 0,7 \cdot T_{рдп} \cdot K_n \cdot K_c \cdot N_{рд} = 0,7 \times 130 \times 1,49 \times 11,0 \times 25\,000 = 37\,287\,250 \text{ один.};$$

в) потрібний модуль пружності визначають за формулою (16). При цьому коефіцієнт b приймають залежно від групи навантаження: для групи A_2 – $b = 315,68$:

$$E_{потр} = 42,843 \cdot \ln(\sum N_{рт}) - b = 42,843 \cdot \ln 37\,287\,250 - 315,68 = 431 \text{ МПа};$$

г) розрахунок за допустимим пружним прогином ведуть пошарово, починаючи із підстильного ґрунту, за допомогою номограми (рис. 22).

Модулі пружності конструктивних шарів за пружним прогином приймають за таблицями 13 чи 22, діаметр відбитка колеса рухомого автомобіля D (D_0) – за таблицею 16.

Послідовність розрахунку:

$$1. \frac{E_{гр}}{E_6} = \frac{62}{130} = 0,48 \text{ та } \frac{h_6}{D} = \frac{0,30}{0,345} = 0,87.$$

$$\text{За номограмою визначають } \frac{E_{заг}^6}{E_6} = 0,73.$$

$$\text{З цього відношення розраховують } E_{заг}^6 = 0,73 \times 130 = 94,9 \text{ МПа.}$$

$$2. \frac{E_{заг}^6}{E_5} = \frac{94,9}{350} = 0,27 \text{ та } \frac{h_5}{D} = \frac{0,20}{0,345} = 0,58.$$

$$\text{За номограмою } \frac{E_{заг}^5}{E_5} = 0,49.$$

$$\text{З цього відношення } E_{заг}^5 = 0,49 \times 350 = 171,5 \text{ МПа.}$$

$$3. \frac{E_{заг}^5}{E_4} = \frac{171,5}{1000} = 0,17 \text{ та } \frac{h_4}{D} = \frac{0,16}{0,345} = 0,46.$$

$$\text{За номограмою } \frac{E_{заг}^4}{E_4} = 0,30.$$

$$\text{З цього відношення } E_{заг}^4 = 0,30 \times 1\,000 = 300 \text{ МПа.}$$

$$4. \frac{E_{заг}^4}{E_3} = \frac{300}{2000} = 0,15 \text{ та } \frac{h_3}{D} = \frac{0,08}{0,345} = 0,23.$$

$$\text{За номограмою } \frac{E_{заг}^3}{E_3} = 0,21.$$

$$\text{З цього відношення } E_{заг}^3 = 0,21 \times 2\,000 = 420 \text{ МПа.}$$

$$5. \frac{E_{заг}^3}{E_2} = \frac{420}{4930} = 0,09 \text{ та } \frac{h_2}{D} = \frac{0,08}{0,345} = 0,23.$$

$$\text{За номограмою } \frac{E_{заг}^2}{E_2} = 0,14.$$

$$\text{З цього відношення } E_{заг}^2 = 0,14 \cdot 4930 = 690,2 \text{ МПа.}$$

$$6. \frac{E_{заг}^2}{E_1} = \frac{690,2}{6000} = 0,12 \text{ та } \frac{h_1}{D} = \frac{0,06}{0,345} = 0,17.$$

$$\text{За номограмою } \frac{E_{заг}}{E_1} = 0,15.$$

З цього відношення $E_{\text{заг}} = 0,15 \times 6\,000 = 900$ МПа;

д) визначають коефіцієнт міцності за пружним прогином:

$$K_{\text{мц}} = \frac{E_{\text{заг}}}{E_{\text{потр}}} = \frac{900}{435} = 2,07, \text{ що більше ніж } K_{\text{мц}} = 1,50 \text{ (табл. 15).}$$

Відповідно, вибрана конструкція задовольняє умові міцності за допустимим пружним прогином;

е) розраховують конструкцію за умовою зсувостійкості в ґрунті. Діючі в ґрунті активні напруження зсуву вираховують за формулою (19):

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

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

Як нижній шар моделі приймають ґрунт (глина легка піщаниста) з наступними характеристиками за $W_p = 0,55$ W_L : $E_n = 62$ МПа, $\varphi = 20^\circ$ та $C = 0,04$ (табл. 14) і $\Sigma N_p = 37\,287\,250$ одиниць.

Модуль пружності верхнього шару моделі розраховують за формулою (20), де значення модулів пружності матеріалів за опором зсуву приймають за таблицями 13 чи 22 згідно з завданням:

$$E_{\text{ср}} = \frac{4\,000 \times 6 + 1\,800 \times 8 + 1\,200 \times 8 + 1\,000 \times 16 + 350 \times 20 + 130 \times 30}{82} = 913 \text{ МПа};$$

ж) для відношень $\frac{E_{\text{ср}}}{E_{\text{гр}}} = \frac{913}{62} = 14,72$ і $\frac{h_g}{D} = \frac{0,82}{0,345} = 2,38$ за $\varphi = 20^\circ$ за допомогою номограми (рисунок 24) знаходять активне напруження зсуву $\bar{\tau}_n = 0,0128$ МПа.

Таким чином, $T_a = 0,0128 \times 0,8 = 0,010$ МПа;

з) граничне активне напруження зсуву $T_{\text{гр}}$ в ґрунті робочого шару (чи в піщаному матеріалі проміжного шару) визначають за формулою (21):

$$T_{\text{гр}} = C_{\text{гр}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 = 0,04 \times 1,0 \times 1,23 \times 1,5 = 0,0738 \text{ МПа.}$$

Далі перевіряють, чи забезпечується умова міцності за формулою (23):

$$K_{\text{мц}} = \frac{T_{\text{гр}}}{T_a} = \frac{0,0738}{0,010} = 7,38, \text{ що більше ніж } K_{\text{мц}}^{\text{потр}} = 1,51 \text{ (табл. 15).}$$

Отже, умова виконується;

к) розраховують конструкцію на опір монолітних шарів руйнуванню від розтягу при згині.

Приводять конструкцію до двошарової моделі, де нижній шар моделі – частина конструкції, розташована нижче за пакет асфальтобетонних шарів. Модуль пружності нижнього шару визначають за номограмою рисунка 22 (див. п. г, 3).

$$E_H = 300 \text{ МПа.}$$

До верхнього шару відносять всі асфальтобетонні шари. Модуль пружності верхнього шару розраховують за формулою (20), де значення модулів пружності матеріалів на розтяг при згині приймають за таблицями 13 чи 22 згідно з завданням:

$$E_6 = \frac{7\,000 \times 6 + 6\,930 \times 8 + 2\,800 \times 8}{22} = 5\,447 \text{ МПа;}$$

л) для відношень $\frac{h_6}{D} = \frac{0,22}{0,345} = 0,64$ та $\frac{E_6}{E_H} = \frac{5\,447}{300} = 18,16$ за номограмою (рис. 25) визначають $\bar{\sigma}_r = 1,3$.

Повне розтягувальне напруження під час згину асфальтобетону визначають за формулою (26):

$$\sigma_r = p \cdot \bar{\sigma}_r \cdot K_6 = 0,8 \times 1,3 \times 0,85 = 0,88 \text{ МПа;}$$

м) визначають допустиме розтягувальне напруження під час згину асфальтобетону R_{3r} за формулою (27):

$$R_{3r} = R_p \cdot k_m \cdot k_{kn} \cdot k_T,$$

де $R_{лаб} = 8,0$ МПа для нижнього шару асфальтобетонного пакета (табл. 13, 22); $k_m = 0,75$ (табл. 13, 22); $k_T = 0,8$ (табл. 13, 22); k_{kn} – коефіцієнт, що враховує короткочасність та повторність навантажень на дорозі розраховують за формулою (28):

$$k_{kn} = k_{np} \Sigma N^{-1/m},$$

де $k_{np} = 8,2$ та $m = 4,3$ (табл. 13, 22). Ці параметри приймають для нижнього шару асфальтобетону:

$$k_{kn} = 8,2 \times 37\,287\,250^{-\left(\frac{1}{4,3}\right)} = 0,144.$$

$$R_{3r} = 8,0 \times 0,75 \times 0,8 \times 0,144 = 0,69 \text{ МПа;}$$

н) здійснюють перевірку нерівності за формулою (29):

$$\frac{R_{зг}}{\sigma_r} = \frac{0,69}{0,88} = 0,78, \text{ що менше ніж } K_{мц} = 1,39 \text{ (табл. 15).}$$

Умова не виконується, тобто дорожній одяг потрібно підсилювати шляхом влаштування монолітного шару із матеріалу з більшим опором на розтяг під час згину або шляхом підвищення жорсткості конструктивних шарів.

9 РОЗПОДІЛ ЧАСУ ЗА ТЕМАМИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Таблиця 23 – Теми практичних занять

Тема	Зміст (план)	Кількість ауд. годин	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
1	2	3	4
Змістовий модуль 1 Роль транспорту в національній економіці			
Тема 1 Визначення приведеної інтенсивності руху	1. Визначення складу транспортного потоку. 2. Розрахунок приведеної інтенсивності руху	2	2
Тема 2 Визначення пропускної здатності вулиці	1. Визначення пропускної здатності однієї смуги руху на перегоні між перехрестями. 2. Визначення пропускної здатності однієї смуги руху з урахуванням перехрестя	2	
Тема 3 Визначення щільності транспортного потоку	1. Визначення щільності транспортного потоку на перегонах між перехрестями	2	
Змістовий модуль 2 Проектування міських вулиць			
Тема 4 Принципи побудови плану траси	1. Розбивка осі траси. 2. Розбивка плану траси на пікети. 3. Проектування горизонтальних кривих	6	2
Тема 5 Принципи розрахунку основних елементів поперечного профілю	1. Розрахунок ширини проїзної частини. 2. Розрахунок ширини тротуарів. 3. Вибір типового поперечного профілю	2	

Продовження таблиці 23

1	2	3	4
Тема 6 Принципи побудови поздовжнього профілю	1. Побудова існуючого поздовжнього профілю. 2. Побудова проєктної лінії поздовжнього профілю. 3. Вписування вертикальних кривих	6	
Тема 7 Принципи побудови висотного поперечного профілю	4. Побудова існуючого висотного поперечного профілю. 5. Побудова проєктної лінії висотного поперечного профілю	4	
Змістовий модуль 3 Дорожній одяг			
Тема 8 Принципи конструювання дорожнього одягу нежорсткого типу	1. Підбір конструкції дорожнього одягу. 2. Визначення перспективної інтенсивності руху	2	2
Тема 9 Принципи розрахунку дорожнього одягу нежорсткого типу	1. Розрахунок нежорсткого дорожнього одягу за допустимим пружним прогином. 2. Розрахунок нежорсткого дорожнього одягу на зсув у підстилаючому ґрунті. 3. Розрахунок монолітних шарів на розтяг при згині	6	
Разом		32	6

10 РОЗПОДІЛ ЧАСУ ЗА ТЕМАМИ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Самостійна робота складається з роботи над підручниками за темами лекцій та виконанням практичних завдань, супроводжується консультаціями викладачів з теоретичного матеріалу.

Таблиця 23 – Самостійна робота

Види завдань для самостійної роботи	Обсяг у годинах	
	денна форма навчання / прискорене навчання	заочна форма навчання
Виконати розрахунок приведеної інтенсивності руху	5	8
Виконати розрахунок пропускної здатності вулиці	5	10
Виконати розрахунок щільності транспортного потоку	4	8
Побудувати план траси вулиці	2	10
Розрахувати основні елементи поперечного профілю вулиці	2	10
Побудувати поздовжній профіль вулиці	3	11
Побудувати висотний поперечний профіль вулиці	2	10
Підібрати конструкцію дорожнього одягу нежорсткого типу	8	10
Розрахувати дорожній одяг нежорсткого типу	10	16
Підсумковий контроль	15	15
Разом	56	108

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Планування і забудова територій : ДБН Б.2.2–12:2019. – Чинний від 2019–09–01. – Київ : Мінрегіон України, 2019. – 208 с. – (Державні будівельні норми України).
2. Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів : ДБН В.2.3-5-2018. – Чинний від 2018–09–01. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. – 61 с. (Державні будівельні норми України).
3. Система проектної документації для будівництва. Автомобільні дороги. Земляне полотно і дорожній одяг. Робочі креслення : ДСТУ Б А.2.4-29:2008. – Чинний від 2010–01–01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 34 с. (Національний стандарт України).
4. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. – Ч. І. Проектування, Ч. ІІ. Будівництво. На заміну ДБН В.2.3-4-2007. – [Чинний від 2016–04–01]. – Київ : Мінрегіон України, 2015. – 104 с.
5. Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування : ГБН В.2.3-37641918-559:2019. – Чинний від 2010–01–01. – Київ : Міністерство інфраструктури України, 2019. – 63 с. (Галузеві будівельні норми України).
6. Альбом типових конструкцій дорожніх одягів нежорсткого типу під розрахункові навантаження А1, А2, Б. – Київ : Державне агентство автомобільних доріг України, 2014. – 76 с.
7. Проектування міських територій : підручник : у 2 ч. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. – (Серія «Міське будівництво та господарство»).
- Ч. 1 / [В. М. Бабаєв, В. Т. Семенов, Т. Д. Рищенко та ін. ; за ред. В. Т. Семенова, І. Е. Линник.]. – 2018. – 449 с.
- Ч. 2 / [В. М. Бабаєв, Т. Д. Рищенко, О. В. Завальний ; за ред. І. Е. Линник, О. В. Завального]. – 2019. – 544 с.
8. Безлюбченко О. С. Планування міст і транспорт : навч. посіб. / О. С. Безлюбченко, С. М. Гордієнко, О. В. Завальний; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 271 с.
9. Гордієнко С. М. Міський транспорт [Електрон. ресурс] : конспект лекцій для студентів денної та заочної форм навчання та слухачів другої вищої освіти, спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія / С. М. Гордієнко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 98 с. – Режим доступу: https://eprints.kname.edu.ua/52948/1/2013%204Л%20Консп_с%20титолом_МТр.pdf, вільний (дата звернення 07.02.2024). – Назва з екрана.
10. Гордієнко С. М. Міські вулиці та дороги [Електрон. ресурс] : конспект лекцій для студентів денної та заочної форм навчання та слухачів

другої вищої освіти, спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія / С. М. Гордієнко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 105 с. – Режим доступу: https://eprints.kname.edu.ua/52949/1/2013%206Л%20Консп_с_титулом_МВД_кор.pdf, вільний (дата звернення 07.02.2024). – Назва з екрана.

11. Проектування автомобільних доріг : підручник : у 2 ч. Ч. 1 / За ред. О. А. Білятинського, Я. В. Хом'яка. – Київ : Вища школа, 1997. – 518 с.

12. Проектування автомобільних доріг : підручник : у 2 ч. Ч. 2 / За ред. О. А. Білятинського, Я. В. Хом'яка. – Київ : Вища школа, 1998. – 416 с.

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
до проведення практичних занять, організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ТРАНСПОРТНА ІНФРАСТРУКТУРА МІСТ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм
навчання галузі знань 19 – Архітектура та будівництво
зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,
освітня програма «Міське будівництво та господарство»)*

Укладач **ЛИННИК** Ірина Едуардівна

Відповідальний за випуск *О. В. Завальний*

Редактор *О. В. Михаленко*

Комп'ютерне верстання *І. Е. Линник*

План 2024, поз. 23М

Підп. до друку 07.05.2024. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 3,3.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.