

Міністерство освіти і науки України
Одеська державна академія будівництва та архітектури

Кафедра автомобільних доріг та аеродромів



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з дисципліни

**«Ресурсозбереження та новітні технології у будівництві
автомобільних доріг та аеродромів»**

для виконання курсового проекту на тему:

**«Розрахунок дорожнього одягу жорсткого типу з урахуванням
вимог ресурсозбереження»**

для студентів освітнього рівня "Магістр"
спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія"
освітньо-професійної програми
«Автомобільні дороги та аеродроми»
денної та заочної форм навчання
(2-видання)

«ЗАТВЕРДЖЕНО»
Науково-методичною
комісією ІГБЦ
протокол №9 від 22.05.2020 р.

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри автомобільних доріг та аеродромів, протокол №11 від 13.05.2020 р.

Методичні вказівки розглянуті та рекомендовані до друку на засіданні кафедри автомобільних доріг і аеродромів, протокол № 10 від 27 квітня 2018 р. Методичні вказівки розглянуті та рекомендовані до друку на засіданні науково-методичної комісії інституту гідротехнічного будівництва та цивільної інженерії, протокол № 10 від 23 травня 2018 р., затверджено Вченою радою факультету Гідротехнічного будівництва і цивільної інженерії протокол № 10 від 23 травня 2018 р.

Укладачі: к.т.н., доц. Кровяков С.О.
к.т.н., ст. викл. Хоменко А.А.

Рецензенти: Смолянець В.В., заступник начальника Державного підприємства
"Служба місцевих доріг"
Заволока М.В., професор кафедри виробництва будівельних
конструкцій Одеської державної академії будівництва та архітектури

Дані методичні вказівки складені на основі навчальної програми дисципліни «Ресурсозбереження та новітні технології у будівництві автомобільних доріг та аеродромів» і являють собою основну методичну допомогу для студентів при виконанні курсового проекту на тему «Розрахунок дорожнього одягу жорсткого типу з урахуванням вимог ресурсозбереження».

Відповідальний за випуск: завідувач кафедрою автомобільних доріг та аеродромів проф. Мішутін А.В

Зміст

Вступ	2
Мета і завдання курсового проекту	2
1. Розрахунок дорожнього одягу жорсткого типу	3
2. Розрахунок на зсув у ґрунті земляного полотна.....	25
3. Розрахунок необхідного об'єму бетону для влаштування 1 км погонного дороги.....	27
4. Розрахунок складу базового бетону жорсткого покриття	28
5. Розрахунок вартості бетону жорсткого покриття при застосуванні базових складів (приблизний).....	29
6. Розрахунок складу бетону жорсткого покриття з урахуванням ресурсозбереження.	30
7. Розрахунок вартості 1 м ³ бетону жорсткого покриття з врахуванням прийнятих рішень по ресурсозбереженню	32
8. Склад графічної частини	33
Додаток 1. Приклад виконання графічної частини	34
Додаток 2. Завдання для виконання курсового проекту	36
Література.....	37

Вступ

Ресурсозбереження – це процес забезпечення зростання обсягу корисних результатів при відносній стабільності матеріальних витрат. В сфері дорожнього будівництва інноваційні технічні рішення можуть дати значний ресурсозберігаючий ефект за рахунок раціонального використання матеріальних і енергетичних ресурсів при проведенні робіт, а також за рахунок покращення якості та довговічності доріг. Значні резерви економії ресурсів і енергії полягають у використанні місцевих матеріалів і відходів промисловості, що дозволяє скоротити витрати на транспортування матеріалів. Одним з найбільш ефективних напрямків ресурсозбереження є підвищення довговічності дорожніх покриттів, продовження їх строків служби та відповідне скорочення витрат на проведення ремонтних робіт у процесі експлуатації.

Як показує світовий досвід, жорсткі цементобетонні дорожні покриття мають ряд переваг перед нежорсткими асфальтобетонними. Цементобетонні покриття мають високу міцність на згин, малі значення вертикальних пружних переміщень під навантаженням, високу розподільну здатність, світліший колір, стабільний і майже незалежний від зволоження коефіцієнт зчеплення з колесами автомобіля, а також високу стійкість до стирання.

Крім того міцність цементобетонних покриттів практично не залежить від температури і від швидкості навантаження при впливі автомобілів з реально можливими швидкостями. Найбільш важливими перевагами дорожніх одягів з цементобетонних покриттів і підставами є їх довговічність і надійність. При незначній різниці в будівельній вартості вони забезпечують відчутно більший термін експлуатації дороги без ремонту в порівнянні з нежорсткими дорожніми одягами меншу колійність. Тому дороги з цементобетонним покриттям вимагають значно менших витрат при експлуатації і забезпечують більш високий рівень транспортно-експлуатаційного стану, завдяки чому досягається збереження ресурсів.

Мета і завдання курсового проекту

Закріпити теоретичні знання студентів з розрахунку дорожніх одягів жорсткого типу з урахуванням вимог ресурсозбереження, навчитись розраховувати та вибирати найбільш економічно вигідний варіант конструкції дорожнього одягу.

Зміст курсового проекту

Курсовий проект складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини.

Розрахунково-пояснювальна записка містить наступні розділи:

- розрахунок дорожнього одягу жорсткого типу та земляного полотна;
- економічні розрахунки та порівняння варіантів конструкцій дорожнього одягу;
- висновки.

Графічна частина виконується на одному листі формату А1 згідно з вимогами, описаними в п. 8 даних Методичних вказівок.

1. Розрахунок дорожнього одягу жорсткого типу

До жорсткого слід відносити дорожній одяг, покриття та основа якого спроможні працювати на розтягування, а їх міцність та жорсткість практично не залежать від температури, вологості, тривалості дії навантаження (змінюються не більше ніж на 15 % із зміною цих величин на всьому можливому діапазоні умов експлуатації) і які на протязі всього терміну служби зберігають суцільність. Жорстким є одяг, що має цементобетонне монолітне покриття; збірне покриття із цементобетонних і армобетонних плит; асфальтобетонне покриття на основі з цементобетону.

Типи дорожніх одягів, де може використовуватися жорсткий дорожній одяг, основні матеріали покриттів і область їх використання наведені в таблиці 1.1.

Типи дорожніх одягів (ДБН В.2.3-4:2017)

Категорія дороги	Класифікація дороги	Конструкція дорожнього одягу	
		Тип	Матеріал покриття
I-II	Державна магістральна	Капітальний	Асфальтобетон гарячий щільний дрібнозернистий I марки. <u>Цементобетон монолітний.</u>
I-III	Державна регіональна	Капітальний	Асфальтобетон гарячий щільний дрібнозернистий I або II марки; асфальтобетон теплий I марки. <u>Цементобетон монолітний, збірні залізобетонні чи армобетонні плити.</u>
I-III	Місцева територіальна	Капітальний	Асфальтобетон гарячий щільний дрібнозернистий I або II марки; асфальтобетон теплий щільний дрібнозернистий I марки. <u>Цементобетон</u> ; кам'яний матеріал, оброблений цементом методом змішування в установці або методом просочування чи змішування на дорозі.
III	Місцева територіальна	Полегшений	Асфальтобетон гарячий щільний дрібнозернистий II марки; кам'яний матеріал, оброблений органічними або неорганічними в'язучими. <u>Монолітний і укований цементобетон; збірні</u>
IV-V	Місцева районна	Полегшений	Асфальтобетон гарячий дрібнозернистий III марки; асфальтобетон гарячий пористий або високопористий з поверхневою обробкою; кам'яний матеріал, оброблений в'язучим методом змішування в установці або методом просочування чи змішування на дорозі.
IV-V	Місцева районна	Перехідний	Кам'яний матеріал, оброблений органічним в'язучим в установці або способом просочення; фракційний кам'яний матеріал.

Конструювання та розрахунок дорожнього одягу жорсткого типу

Порядок розрахунку

Згідно з завданням, яке видає викладач, починаємо розрахунок дорожнього одягу жорсткого типу. Наприклад:

Потрібно запроектувати конструкцію дорожнього одягу із цементобетонним монолітним покриттям для дороги I категорії (4 смуги), яка пролягає в Одеської області (у дорожньо-кліматичному районі А-5).

Вихідні данні (в врахуванням завдання треба обрати по відповідним таблицям):

- ширина проїжджої частини в одному напрямку – 7,5 м (таблиця 1.3);
- ширина земляного полотна (враховуючи узбіччя) – 15 м (7,5+3,75+3,75 по таблиці 1.3);

– розрахункова тривалість служби покриття – 25 років (таблиця 1.2);

Таблиця 1.2

Розрахункові рівні надійності дорожніх одягів (ДБН В.2.3-4:2017)

Тип дорожнього одягу	Перспективний період для дорожнього покриття, років, не менш		Рівень надійності
	нежорсткого	жорсткого	
Капітальний	15	25	0,95
Полегшений	12	20	0,85
Перехідний	8	-	0,75

Таблиця 1.3

Параметри поперечного профілю автомобільних доріг

(у метрах, ДБН В.2.3-4:2017)

Показник	Категорія дороги					
	I _a	I _b	II	III	IV	V
Кількість смуг руху, шт	4; 6; 8	4; 6	2	2	2	1
Ширина смуги руху, м	3,75	3,75	3,75	3,5	3,0	4,5
Ширина проїзної частини, м	2x7,5; 2x11,25 2x15,0	2x7,5; 2x11,25	7,5;	7,0	6,0	4,5
Ширина узбіччя, В тому числі:	3,75	3,75	3,5	2,5	2,0	1,75
- ширина зупинкової смуги, м	2,5	2,5	2,0	2,0	-	-
- ширина укріпленої смуги узбіччя, м	0,75	0,75	0,75	0,5	0,5	-
Найменша ширина розділювальної смуги, м	6,0	5,0	-	-	-	-
Ширина укріпленої смуги на розділювальній смузі, м	1,0	1,0	-	-	-	-
Найменша ширина земляного полотна, м	28,5; 36,0; 43,5	27,5 35,0	14,5	12,0	10,0	8,0
Примітка 1. В разі необхідності при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні параметри автомобільних доріг дозволяється збільшувати. Примітка 2. На дорозі V категорії з автобусним рухом ширина проїзної частини призначається 6 м без влаштування укріплених смуг узбіччя.						

Конструкцію дорожнього одягу на автомобільних дорогах слід розраховувати під навантаження (статичне) на вісь 11,5 тс на дорогах I і II категорій, 10,0 тс - на дорогах III-IV категорій, 6,0 тс - на дорогах V категорії – (ДБН В.2.3-4:2017) це нормативне навантаження з таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

**Нормативні і розрахункові навантаження на дорожній одяг
(ВБН В.2.3-218-008-97)**

Група розрахун- кового навантажен- ня	Норматив- не статичне наванта- ження на вісь, кН	Нормативне статичне навантаження на поверхню покриття від колеса розрахун- кового автомобіля, $Q_{розр}$, кН	Нормативне динамічне наванта- ження на поверхню покриття від колеса розрахун- кового автомобіля, $Q_{дн}$, кН	Розрахункові параметри навантаження		
				Тиск колеса на покришку, p , МПа	Діаметр сліду колеса автомобіля	
					D_n , см	D_d , см
A_1	115	57,5	74,76	0,80	30,0	34,5
A_2	100	50	65,0	0,60	33,0	37,0
Б	60	30	36,0	0,50	28,0	32,0

- розрахункове навантаження на дорожній одяг (для I-ї категорії) – $Q_p = 57,5$ кН, $Q_{pg} = 74,76$ кН (таблиця 1.4);
- тиск в шинах – $p = 0,8$ МПа (таблиця 1.4);
- інтенсивність руху (приймаємо по завданню) $N_{np} = 2000$ од./д;
- показник щорічного приросту інтенсивності руху (приймаємо по завданню) $q = 1,05$;
- ґрунт земляного полотна – Важкий суглинок (згідно завдання визначаємо – Район У ІІІ.Р.14 по рис.1.1, ґрунт по таблиці 1.5)
- розрахункова відносна вологість ґрунту (W_p) земляного полотна – $W_p = 0,56W_T$; таблиця 5 (W_T – Вологість на границі текучості, тобто така, при якій ґрунт переходить із пластичного стану в текучий)
 - глибина промерзання – 50 см (по рис. 1.2);

За відсутності можливості виконати випробування розрахункові характеристики ґрунту можуть бути встановлені, виходячи з виду ґрунту та його розрахункової вологості (W_p), що наведена в частках від вологості на границі текучості (W_T) згідно з ДСТУ Б В.2.1-17:2009 «ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей».

Розрахунковими параметрами деформативності й міцності ґрунтів земляного полотна є модуль пружності $E_{гр}$, кут внутрішнього тертя φ і коефіцієнт зчеплення $C_{гр}$.

При призначенні розрахункових параметрів ґрунтів враховуються вид ґрунту, умови зволоження земляного полотна, дорожнє районування України

за ґрунтово-геологічними умовами (рис. 1.1), категорія дороги, теплофізичні властивості нижнього шару дорожнього одягу.

У таблиці 1.5 наведені значення розрахункової вологості ґрунтів при глибокому заляганні ґрунтових вод, задовільному поверхневому водовідводі та наявності пористих граничних шарів у одязі.

Таблиця 1.5

Значення розрахункової вологості ґрунтів (W_p), при глибокому заляганні ґрунтових вод (БН В.2.3-218-008-97)

№ дорожнього району	Шифр дорожнього о району	Типовий ґрунт у районі	Величина розрахункової вологості ґрунтів, в частках від W_t , для автомобільних доріг категорій	
			I-II	III-IV
1	У I.P.1	Супісок, пісок	0,72	0,69
2	У I.P.2	Суглинок	0,74	0,71
3	У I.P.3	Суглинок	0,70	0,67
4	У II.P.4	Суглинок	0,69	0,66
5	У II.P.5	Суглинок	0,71	0,68
6	У II.P.6	Важкий суглинок, глина	0,61	0,59
7	У IV.Г.7	Суглинок	0,83	0,80
8	У IV.Г.8	Важкий суглинок	0,72	0,69
9	У III.P.9	Важкий суглинок, глина	0,61	0,59
10	У III.P.10	Важкий суглинок, глина	0,63	0,60
11	У III.P.11	Важкий суглинок	0,72	0,69
12	У III.P.12	Важкий суглинок	0,69	0,66
13	У III.P.13	Важкий суглинок, глина	0,58	0,55
14	У III.P.14	Важкий суглинок	0,56	0,54
15	У III.P.15	Суглинок	0,58	0,56
16	У III.P.16	Суглинок	0,57	0,56



Рис. 1.1. Дорожнє районування України за ґрунтово-геологічними умовами

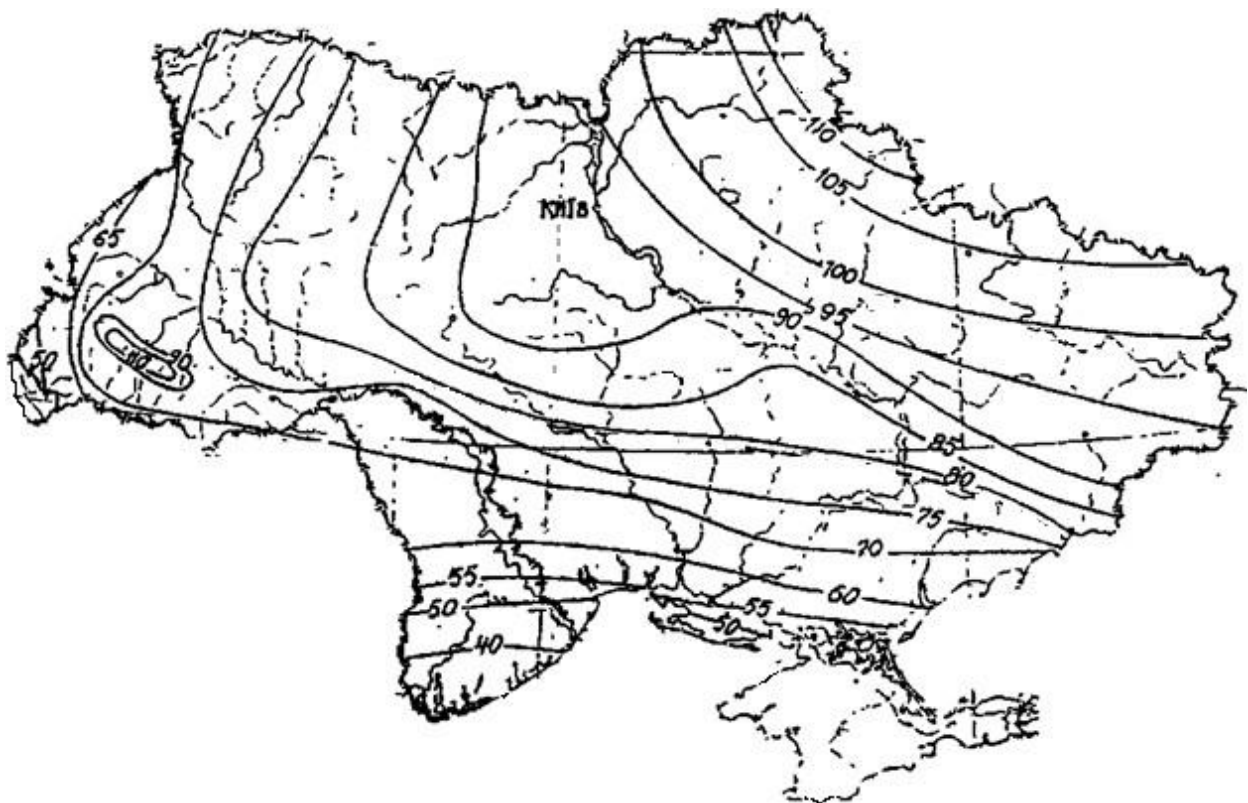


Рис. 1.2. Нормативна глибина промерзання глинистих та суглинистих ґрунтів (ВН В.2.3-218-008-97)

За рис. 1.2 знаходять максимальну за зиму нормативну глибину промерзання $Z_{\max}^H$ в Україні глинистих та суглинистих ґрунтів, складену для імовірності перевищення 5%. Для супісків, дрібних і пилюватих пісків отримані за картою значення $Z_{\max}^H$ слід збільшити на 20%.

Для визначення нормативної глибини промерзання багат шарового дорожнього одягу Z^H до отриманого значення нормативної глибини промерзання ґрунту $Z_{\max}^H$ вводиться поправка Δ (таблиця 1.7), яка збільшує Z^H (таблиця 1.6).

Таблиця 1.6

**Дорожньо-кліматичне районування України
за умовами роботи покриттів (ДБН В.2.3-4:2017)**

Позначення району	Температура, °С		Кількість переходів через 0°С	Річна кількість опадів, мм	Адміністративна область або її частина, що входить до району
	найвища влітку	найнижча взимку			
А-1	52	-21...-23	20	550	Волинська, Рівненська, Житомирська (північна частина)
А-2	54	-21...-23	15...20	500...700	Львівська, Закарпатська, Івано-Франківська, Чернівецька, Хмельницька, Житомирська (південна). Вінницька (північна), Київська (північно-західна), Тернопільська
А-3	54...56	-25	20	400...500	Київська (північно-східна), Чернігівська, Сумська, Черкаська (східна), Полтавська, Харківська (північна)
А-4	56	-23	15	500	Вінницька (південна), Черкаська (західна), Київська (південна), Кіровоградська (північна), Дніпропетровська (північно-західна). Одеська (північна)
А-5	58	-23	15...25	350	Миколаївська, Одеська (південна), Кіровоградська (південна), Дніпропетровська (південно-західна)
А-6	58	-25...-26	15...25	400...450	Дніпропетровська (східна), Донецька, Луганська, Харківська (південна)
А-7	59	-23...-25	15...25	400...450	Автономна республіка Крим, Херсонська, Запорізька

Таблиця 1.7

$Z_{\max}^{\text{т}}$, см	70	80	90	100	110	120
Поправка Δ , см	10	15	20	30	40	50

Глибина залягання рівня ґрунтових вод – **глибоке залягання ґрунтових вод** (по завданню);

- матеріал покриття – бетон класу $B_{\text{тб}} = 4,4$ МПа ($P_{\text{тб}} = 60$); (таблиця 1.8, для заданої категорії для одношарового покриття)

Таблиця 1.8

Мінімальний проектний клас бетону для цементобетонних покриттів та основ (ВБН В.2.3-218-008-97)

Призначення бетону	Категорія дороги	Мінімальний проектний клас бетону за міцністю (марка)	
		на стиск	на розтяг при вигині (марка)
Одношаровий або верхній шар двошарового покриття	Ia, Ib	B35 [C30/35] ¹	$B_{\text{тб}} 4,4 (P_{\text{тб}} 60)^2$
	II	B30 [C25/30]	$B_{\text{тб}} 4,0 (P_{\text{тб}} 50)$
	III	B25 [C20/25]	$B_{\text{тб}} 3,6 (P_{\text{тб}} 45)$
	IV	B25 [C20/25]	$B_{\text{тб}} 3,2 (P_{\text{тб}} 40)$
Нижній шар двошарового покриття	Ia, Ib	B25 [C20/25]	$B_{\text{тб}} 3,6 (P_{\text{тб}} 45)$
	II- III	B25 [C20/25]	$B_{\text{тб}} 3,2 (P_{\text{тб}} 40)$
	IV	B15 [C12/15]	$B_{\text{тб}} 2,4 (P_{\text{тб}} 30)$
Основа під цементобетонне покриття	Ia, Ib	B 7,5	$B_{\text{тб}} 1,2 (P_{\text{тб}} 15)$
	II-III	B 5,0	$B_{\text{тб}} 0,8 (P_{\text{тб}} 10)$
Основа під асфальтобетонне покриття	Ia, Ib, II, III	B 5,0	$B_{\text{тб}} 0,8 (P_{\text{тб}} 10)$
Примітка 1. У прямих дужках наведено клас за ДСТУ Б В.2.7-176:2008			
Примітка 2. В круглих дужках наведено найближчу марку бетону за міцністю згідно ДСТУ Б В.2.7-43-96 «Бетоні важкі. Технічні умови»,			

Далі приймаємо матеріал основи і нижнього шару (серед тих, що є у переліку таблиці 1.13). При виборі матеріалі слід враховувати особливості регіону будівництва для забезпечення ресурсозбереження, тобто обирати відносно дешевий для регіону матеріал, наприклад - вапняк.

У прикладі обираємо:

- матеріал основи – щебінь із заклином високоактивним доменним шлаком, нижній шар – пісковиковий відсів.

При конструюванні дорожнього одягу обираємо наступні товщини шарів:

- відсів пісковиків – 15 см;
- щебінь фракціонований I-III класів виконаний розколинкою з активного доменного шлаку – 18 см;

- вирівнюючий шар з піску, який оброблено органічним в'язучим – 3 см;
- монолітне цементобетонне покриття – 22 см (початкова розрахункова товщина згідно таблиці 1.9 для відповідної категорії та розрахункового навантаження. В подальшому розрахунку товщина буде уточнена).

Мінімальну товщину цементобетонного покриття призначають залежно від матеріалу основи і загального числа навантажень від розрахункового транспортного засобу згідно з таблицею 1.9.

Для дорожніх одягів полегшеного типу місцевих доріг мінімальна товщина цементобетонного покриття із уложеного бетону становить 16 см.

Товщину вирівнюючого шару призначають конструктивно і у розрахунку не приймають до уваги.

Таблиця 1.9

Мінімально допустима товщина покриття (ВБН В.2.3-218-008-97)

Матеріал основи	Мінімально допустима товщина, см, покриття при загальному числі викладень розрахункова навантаження, одиниць на смугу				
	Більше $2 \cdot 10^7$	$10^7 - 2 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^6 - 10^7$	$10^6 - 5 \cdot 10^6$	Менше 10^6
Цементобетон (дрібнозернистий бетон,шлакобетон)	<u>22</u> 24	<u>20</u> 22	<u>18 (16)</u> 20 (18)	<u>17 (16)</u> 19 (18)	<u>15</u> 17
Кам'яний матеріал,укріплений в'язучим	<u>22</u> 25	<u>20</u> 23	<u>18 (16)</u> 21 (19)	<u>17 (16)</u> 20 (19)	<u>15</u> 17
Щебінь, щебенowo- Піщана, піщано- Гравійна суміші, шлак	-	<u>22</u> 23	<u>20 (18)</u> 23 (20)	<u>18 (16)</u> 21 (19)	<u>16</u> 18
Пісок, піщано- гравійна суміш	-	-	<u>20 (18)</u> 23 (20)	<u>18 (16)</u> 21 (19)	<u>16</u> 18

Примітка: У чисельнику – товщини відповідають розрахунковому навантаженню на колесо 50 кН, у знаменнику – 57,5 кН.

В цементобетонному покритті і в основі з бетону класу В_{тб} 2,0 і вище слід проектувати деформаційні шви. Поздовжній шов передбачають при ширині покриття та основи, що перевищують його товщину h більше, ніж у

23 рази. Відстань між поперечними швами стискання призначають за розрахунком, але не більше 25 м. Відстань між швами розширення визначають залежно від відстані між швами стискання, температури повітря під час бетонування і очікуваної температури покриття влітку.

Збірні покриття із залізобетонних плит слід передбачати:

- в складних природних умовах або при високих насипах, де важко на початку експлуатації забезпечити стабільність земляного полотна;
- на ділянках насипу, що споруджується на слабких основах;
- на насипах, що влаштовуються з перезволоженого ґрунту;
- при будівництві тимчасових доріг.

Дорожні одяги із збірним покриттям проектують, орієнтуються на використання типових плит, що випускаються, враховуючи особливості роботи покриття шляхом розрахунку і конструювання основи і додаткової основи жорсткого дорожнього одягу.

В даному курсовому проекті проектується склад монолітного покриття.

Розрахункові характеристики матеріалів дорожнього одягу та ґрунту:

- 1) цементобетон класу $B_{tb} = 4,4$ МПа; $R_i = 5,5$ МПа;
 $E_1 = 36000$ МПа. $E_{зсув} = 1770$ МПа; (данні беруться з таблиць 1.10, 1.11 і 1.12)
- 2) щебінь фракціонований I-III класів виконаний розколинкою з активного доменного шлаку – $E_2 = 400$ МПа (згідно прийнятого матеріалу з таблиці 1.13);
- 3) відсів пісковиків – $E_3 = 130$ МПа; $C = 0,02$; $\varphi = 35^\circ$ (згідно прийнятого матеріалу з таблиці 1.13);
- 4) ґрунт земляного полотна при $W_p = 0,56W_T$ – $E_{np} = 76$ МПа; $c = 0,034$; $\varphi = 22^\circ$. (інтерполяція по таблиці 1.14)

Далі виконуємо розрахунок на міцність цементобетону для можливості сприйняття транспортного навантаження.

Визначення еквівалентних модулів пружності шарів основи виконують за номограмами ВБН В.2.3-218-186-2004.

Маючи значення потрібного модуля пружності, можна пошарово розрахувати одяг за допомогою номограми (рисунок 1.3). Ця номограма зв'язує відношення E_2 / E_1 модулів пружності нижнього і верхнього шарів,

відносну товщину h / D верхнього шару і відношення $E_{заг} / E_1$ загального модуля пружності на поверхні двошарової системи до модуля пружності верхнього шару.

D – розрахунковий діаметр відбитка колеса рухомого автомобіля (по таблиці 1.4)

Для визначення $E_{заг}$ на номограмі проводиться вертикаль із точки на горизонтальній осі, що відповідає значенню h / D , і горизонтальна пряма з точки на вертикальній осі, що відповідає відношенню E_2 / E_1 . Точка перетину цих прямих дає шукане значення $E_{заг} / E_1$. Знаючи величину E , обчислюють $E_{заг}$.

Таблиця 1.10

Мінімальний проектний клас бетону покриттів (ВБН В.2.3-218-008-97)

Призначення шару	Категорія дороги	Мінімальний проектний клас (марка бетону, кгс/см ²)	
		На стиск	На розтягування при згині
Одношарове покриття або верхній шар двошарового цементобетонного покриття	I	B35 [C30/35]	B _{tb} 4,4 (Ri 55)
	II	B30 [C25/30]	B _{tb} 4,0 (Ri 50)
	III	B30 [C25/30]	B _{tb} 3,6 (Ri 45)
	IV	B25 [C20/25]	B _{tb} 3,2 (Ri 40)
Нижній шар двошарового покриття	I	-	B _{tb} 3,6 (Ri 45)
	II	-	B _{tb} 3,2 (Ri 40)
	III	-	B _{tb} 2,8 (Ri 35)
	IV	-	B _{tb} 2,4 (Ri 30)
Основа під покриття: цементобетонне асфальтобетонне	I	B 7,5	B _{tb} 1,2 (Ri 15)
	II – III	B 5,0	B _{tb} 1,0 (Ri 12)
	I – III	B 7,5	B _{tb} 1,5 (Ri 20)

Таблиця 1.11

Розрахунковий модуль пружності бетону - E_1 (ВБН В.2.3-218-008-97)

Клас бетону по міцності на розтягування при згині	Розрахунковий модуль пружності бетону, МПа	
	Важкого (з щебенем)	Дрібнозернистого (піщаного)
$B_{tb4,4}$	36 000	-
$B_{tb4,0}$	33 000	26 000
$B_{tb3,6}$	32 000	25 000
$B_{tb3,2}$	30 000	23 000
$B_{tb2,8}$	28 000	22 000
$B_{tb2,4}$	26 000	20 000
$B_{tb2,0}$	23 000	17 000
$B_{tb1,6}$	19 000	14 000
$B_{tb1,2}$	16 000	12 000

Примітка. Для визначення модуля пружності дрібнозернистого бетону, виготовленого з використанням піску з модулем крупності менше 2 потрібно відповідні табличні значення зменшити на 10%. (У курсовому проєкті не використовується дрібнозернистий бетон).

Таблиця 1.12

Клас бетону на розтяг при вигині, МПа, $E_{згв}$ (ВБН В.2.3-218-008-97)

$B_{tb4,4}$	$B_{tb4,0}$	$B_{tb3,6}$	$B_{tb3,2}$	$B_{tb2,8}$	$B_{tb2,4}$	$B_{tb1,6}$	$B_{tb1,2}$
1770	1600	1600	1520	1420	1310	930	780

Таблиця 1.13

**Модуль пружності та інші властивості матеріалів
(ВБН В.2.3-218-008-97)**

Незв'язаний або слабозв'язний матеріал.	Модуль пружності E , МПа	Кут внутріш- нього тертя φ , град	Питоме зчеплен- ня C , МПа
1	2	3	4
1. Шар із фракціонованого щебеню I – III класів міцності, виконаний способом розклинювання, із щебеню:			
1.1 Кварцитів ГЗК Кривбасу і ін.	220	---	---
1.2 Гранітного, піщаникового, перекристалізованих вапняків	300	---	---
1.3 Теж саме, що і п.2, у заземлених шарах	400	---	---
1.4 Вапняків, які мають цементуючі властивості	450	---	---

2. Шар із фракціонованого щебеню вивержених порід. I – III класу міцності, розклиненого фракціонованого щебеню активного доменного шлаку або гарячої (теплої) асфальтобетонної суміші	450	---	---
3. Шар із фракціонованого щебеню I – III класу міцності із кварцитів, пісковиків або міцних вапняків, розклиненого фракціонованого щебеню із активного доменного шлаку або асфальтобетонної суміші (гарячої, теплої, холодної)	400	---	---
4. Кам'яна бруківка.			
4.1. З колотого каменю	500	---	---
4.2. З круглого каменю	400	---	---
5. Щебінь, омонолічений маломіцним пісковиком (ИН 218 УССР 014 – 85)			
5.1. За методом заклинки	300	---	---
5.2. За методом змішування на дорозі	350	---	---
6. Шар із фракціонованого щебеню I – III класів міцності, укріплений цементно-піщаною сумішшю за методом просочування-вдавлювання	500	---	---
1	2	3	4
7. Нижній шар основи із рядового щебеню I – III класів міцності			
7.1 Гранітного, перекристалізованих вапняків, пісковиків	250	---	---
7.2 Вапняків, що мають цементуючу здатність	300	---	---
8. Шар із щебеню гранульованих паливних шлаків ТЕЦ	220	---	---
9. Шар із рядового малоактивного шлакового щебеню			
9.1 Сталеплавильного	250	---	---
9.2 Доменного	300	---	---
10. Шар із фракціонованого щебеню сталеплавильних або малоактивних доменних шлаків марок 1200 – 800			
10.1. З розклинкою цим же матеріалом	350	---	---
10.2. З розклинкою високоактивним доменним шлаком	400	---	---
11. Шар із щільної щебеневої суміші, складеної із фракціонованого щебеню I – III класу міцності, ущільненого без заклинки			
11.1 Гранітного, пісковиків, перекристалізованого вапняку	250	---	---
11.2 Те ж саме, що в 11.1, у заземлених шарах	350	---	---

11.3 Вапняків, що мають цементуючу здатність	380	---	---
12. Природні і підібрані щільні гравійно-піщані суміші (ИН 218 УССР 023 – 87)			
12.1 Суміші для нижнього шару основи	180	40	0,020
12.2 Суміші для верхнього шару основи	200	45	0,030
13. Природні гравійно-піщані суміші			
13.1 Неоптимального складу	140	40	0,010
13.2 Збагачені дробленим гравієм (не менше 25% за масою)	200	45	0,030
14. Пісок			
14.1 Гравійний (понад 25% за масою зерен крупніших 2мм)	130	42	0,007
14.2 Крупний (понад 50% за масою зерен крупніших 0,50мм)	130	42	0,006
14.3 Середньої крупності (понад 50% за масою зерен крупніших 0,25 мм)	120	40	0,006
14.4 Дрібний (понад 75% за масою зерен крупніших 0,10мм)	100	38	0,005
15. Відсів від дроблення кам'яних матеріалів (ТУ 218 УРСР 258-81			
15.1 Вапнякових гірських порід	160	40	0,030
15.2 Пісковиків марки 1200 – 200	130	35	0,020
1	2	3	4
16. Підібрана суміш з гранітної жорстви (ТУ 218 УРСР 282 – 82)			
16.1 Середньої вивітрілості	150	38	0,025
16.2 Значної вивітрілості	140	35	0,015
17. Підібрані суміші із маломіцних вапняків (вапнякової жорстви)			
17.1 Малоперекристалізованих	170	40	0,030
17.2 Зі склоподібною поверхнею	150	35	0,020
18. Золошлакова суміш із шлаку і золи мокрого вилучення ТЕЦ із вмістом золи не більше 25% (РБН України 288 – 91)з додаванням до 25% піску або супіску	120	35	0,010
19. Золошлакова суміш із щільного гранульованого паливного шлаку ТЕЦ (РБН України 288 – 91) з додаванням до 25% піску або супіску.	160	35	0,020

Примітка. Защемленими вважають шари, розміщені між шарами із зв'язних матеріалів.

– на рівні піщавикового відсіву:

$$E_{zp} = 76 \text{ МПа}, E_3 = 130 \text{ МПа}, h = 15 \text{ см}, D = 34.5 \text{ см.}$$

$$E_{zp} / E_3 = 76 / 130 = 0.58$$

$$h / D = 15 / 34.5 = 0.43$$

$$E_{заг} / E_3 = 0.70$$

$$E_{заг} = 0.70 \times 130 = 91.0 \text{ МПа}$$

- на рівні щебеню фракціонованого I-III класів з розколинкою з активного доменного шлаку

$$E_{заг} = 91,0 \text{ МПа}. E_1 = 400 \text{ МПа}, h = 18 \text{ см}.$$

$$E_{заг} / E_2 = 91,0 / 400 = 0,23 \quad h / D = 18 / 34,5 = 0,52$$

$$E_{заг} / E_2 = 0,41 \quad E_{заг} = 0,41 \times 400 = 164 \text{ МПа}$$

Далі розраховуємо необхідну міцність цементобетону.

Розрахункова сумарна повторність навантаження N_{pt} розрахункових навантажень при добовій інтенсивності N_p визначають за формулою:

$$N_{pt} = N_p \times n_0 \times (q^t - 1) / (q - 1) \quad (1.1)$$

де n_0 – кількість днів року з позитивною температурою повітря;

q – знаменник, що описує щорічний приріст інтенсивності руху (є в завданні)

t – термін служби одягу до капремонту

Для зони У-III Р-14 з прикладу (рисунок 1.1 і таблиця 1.15) приймаємо $n_0 = 278$.

Розрахункові значення характеристик ґрунтів (ВЕН В.2.3-218-008-97)

Різновид глинистих ґрунтів	Число пластично- сті, J _p	Вміст піщанистих часток (2 – 0,5мм), % за масою	Розрахун- кові 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
Пісок:												
крупний			Е _y , МПа	130								
			φ, град	35								
			С, МПа	0,004								
середньої крупності			Е _y , МПа	120								
			φ, град	32								
			С, МПа	0,004								
дрібний			Е _y , МПа	100								
			φ, град	31								
			С, МПа	0,003								
однорідний			Е _y , МПа	75								
			φ, град	31								
			С, МПа	0,003								
пилуватий			Е _y , 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	Е _y , 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	Е _y , 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	-

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	-

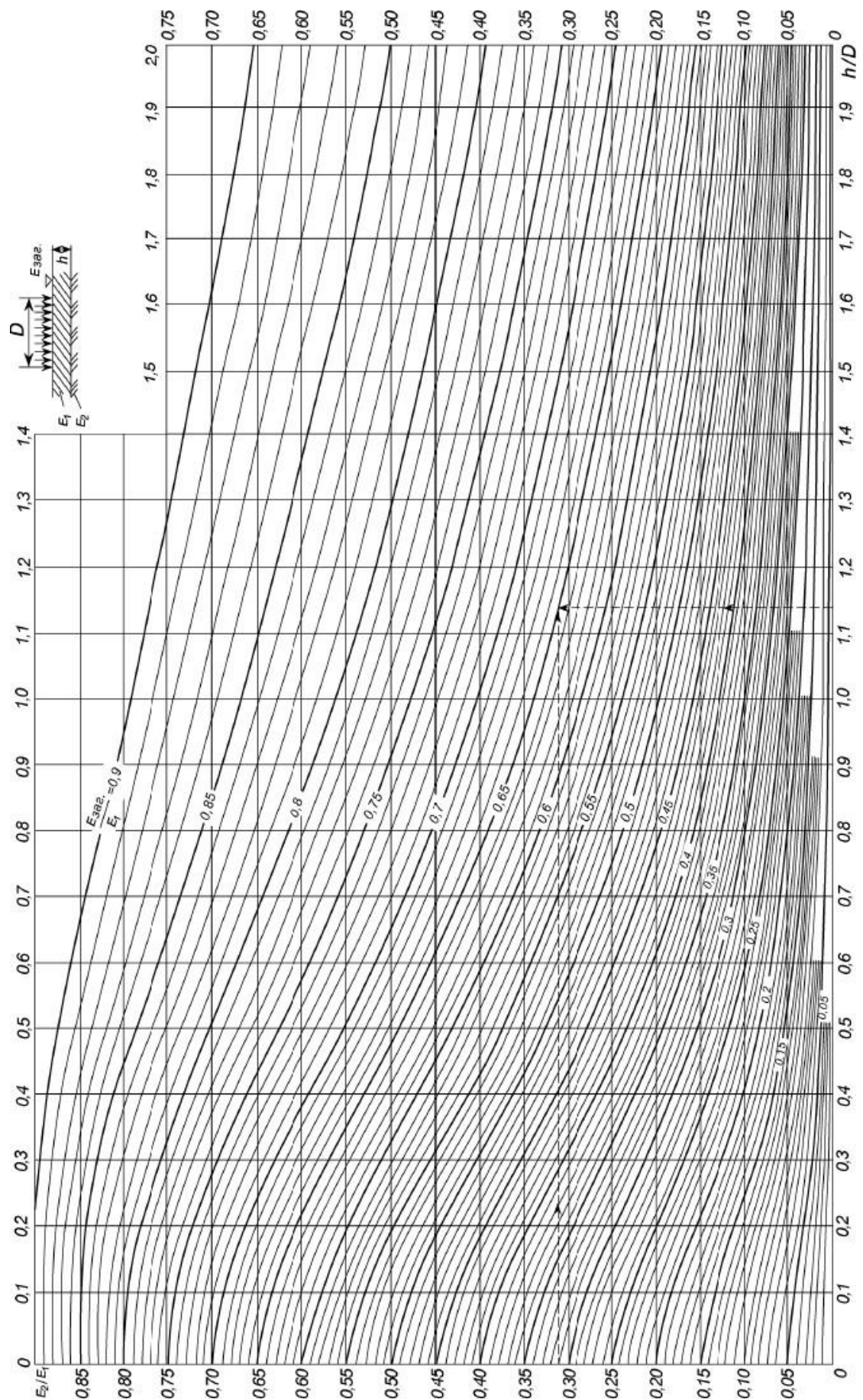


Рис. 1.3. Номограма для визначення загального модуля пружності E_{ag} двошарової системи

Таблиця 1.15

Середні температури повітря в дорожніх районах у січні та липні та число днів з середньодобовою температурою повітря (по рис.1.1)

№ дорож- ніх районів	Температура повітря січня, °C	Температура повітря липня, °C	Число днів уроці із середньодобовою температурою повітря вище за			
			0°	5°	10°	15°
1	2	3	4	5	6	7
1	-5,9	+18,8	250	202	167	104
2	-4,9	+18,4	259	205	161	107
3	-5,6	+18,7	249	203	158	108
4	-7,5	+19,7	254	197	158	115
5	-5,9	+19,2	255	204	160	115
6	-4,7	+19,8	266	216	172	122
7	-4,6	+18,6	266	208	170	90
8	-3,2	+20,0	298	238	183	81
9	-6,7	+21,5	250	210	170	128
10	-6,5	+21,0	248	208	173	131
11	-6,5	+21,0	250	210	171	129
12	-5,3	+21,6	257	214	170	127
13	-5,3	+22,6	251	209	171	128
14	-4,0	+22,4	278	224	185	139
15	-3,4	+23,5	277	228	185	139
16	-3,0	+24,0				

$$N_{pt} = 2000 \times 278 \times (1,05^{25} - 1) / (1,05 - 1) = 26536266;$$

Розрахунковий опір бетону визначають за формулою

$$R_i = B_{tb} \times K_{nm} \times K_v, \quad (1.2)$$

де $K_{n.m}$ – коефіцієнт набору міцності. Для бетону природних умов тверднення $K_{n.m} = 1.2$, для пропареного – $K_{n.m} = 1$; $K_v = 1,08 \times N_{pt}^{-0,063}$.

$$K_v = 0,369.$$

$$R_i = 4,4 \times 1,2 \times 0,369 = 1,95 \text{ МПа.}$$

Жорсткий дорожній одяг розраховують з урахуванням надійності. Припустимий (необхідний) коефіцієнт надійності K_n , що визначає мінімальне значення коефіцієнта міцності $K_{mц}$, який дорожній одяг повинний мати до кінця терміну служби між капітальними ремонтами, нормований у залежності від категорії дороги з врахуванням капітальності одягу (таблиця 1.16) та врахуванням досягнутого рівня якості.

Таблиця 1.16

**Коефіцієнт міцності, $K_{мц}$, за критеріями граничного стану
для жорсткого дорожнього одягу**

Категорія дороги	Тип дорожнього одягу	Коефіцієнтна дійсності, K_n	Характеристика надійності, β	Коефіцієнт міцності, $K_{мц}$, за критерієм граничного стану	
				згин монолітних шарів	зсув у незв'язних шарах
Ia	Капітальний	0,97	1,875	1,43	1,44
Iб - II	Капітальний	0,95	1,6449	1,39	1,42
III	Капітальний	0,90	1,280	1,33	1,35
IV	Полегшений	0,85	1,035	1,30	1,31
V	Перехідний	0,75	0,68	1,23	1,24

Примітка: Коефіцієнт міцності $K_{мц}$ конструкції дорожнього одягу для даної категорії може бути збільшений або зменшений при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні для заданого терміну служби покриття.

За таблицю 1.16 знаходимо значення $K_{мц}$ – коефіцієнта міцності, у даному випадку він дорівнює 1,43; $K_n=0,97$.

Визначення товщини цементобетонного покриття

Розрахунок на динамічне навантаження $Q_{pg} = 74,76$ кН:

Радіус відбитка колеса

$$R = \sqrt{Q_{pg} / (0,1\pi q_{ш})} = \sqrt{74,76 / (0,1 \times 3,14 \times 0,8)} = D / 2 = 17.25. \quad (1.3)$$

Пружна характеристика плити

Еквівалентний модуль пружності основи ($E_{екв*ос}$) під жорстким прошарком визначають з урахуванням розподільчої здатності жорсткого прошарку. Для цього за формулою розраховується пружна характеристика ($l_{пр}$) жорсткого прошарку:

$$l_{пр} = h_3 \sqrt[3]{\frac{E_1(1-\mu_0^2)}{6E_{заг}(1-\mu^2)}}, \quad (1.4)$$

де h_3 - товщина жорсткого прошарку;

E_3 - модуль пружності бетону;

$E_{заг}$ - модуль пружності основи;

$\mu_0; \mu_2$ - коефіцієнти Пуассона для основи і бетону (приймаємо по таблиці 1.17).

Таблиця 1.17

Коефіцієнти Пуассона різних матеріалів (ВБН В.2.3-218-008-97)

№	Вид матеріалу і ґрунтів	Значення коефіцієнту Пуассона, μ
1	Піски	0,25
2	Піски пилюваті, супісі і суглинки пилюваті	0,30
3	Глини пилюваті, супісі і суглинки пилюваті	0,35
4	Суглинки важкі, глини легкі та важкі	0,40
5	Цементобетон	0,15
6	Асфальтобетон $T = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,28
	$T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,22
	$T = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,15
	$T = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,10

Напруження розтягування при згині визначають для розрахунку товщини покриття при умові гарантованого повного контакту плит з основою за рахунок стійкості земляного полотна і відсутності нерівномірних осідань або здимання (що повинне забезпечуватись дотримуванням правил провадження робіт і правильністю виконання розрахунків на міцність земельного полотна, дренаж і морозостійкість дорожнього одягу, які наведено нижче). Розрахункове місце прикладання навантаження до дорожнього покриття – поздовжній зовнішній край у центрі по довжині плити.

Напруження σ_{pt} (МПа) визначається за такою формулою (залежністю):

$$\delta_{pt} = \frac{Q_p \times K_M \times 60 \times K_{yMB} \times K_{шт} \times (0.0592 - 0.09284 \times \ln(R/l_y))}{h^2 \times K_t} \quad (1.3)$$

де Q_p – розрахункове навантаження, кН;

K_M – коефіцієнт, що враховує вплив місця розташування навантаження: для неармованих покриттів $K_M = 1.5$ (з умов курсового проекту покриття не армовані), для покриттів з крайовим армуванням або майданчиків з розташуванням смуг накату не ближче ніж 0.8 від ширини зовнішнього поздовжнього краю покриття – $K_M = 1.0$ для поздовжнього напрямку і $K_M = 1.5$, для поперечного;

K_{yMB} – коефіцієнт, що враховує умови роботи: $K_{yMB} = 0.66$;

$K_{шт}$ – коефіцієнт, що враховує вплив штирьових з’єднань на умови контакту плит з основою: при наявності у поперечних швах штирів $K_{шт}=1$, при відсутності штирів $K_{шт}=1.05$;

h – товщина плити;

K_t – коефіцієнт, що враховує вплив температурного короблення плит і визначається за таблицею 1.18;

R – радіус відбитка колеса, см.

Таблиця 1.18

Значення K_t (коефіцієнта, що враховує вплив температурного короблення плит), (БН В.2.3-218-008-97)

Дорожньо-кліматичний район України	Значення K_t , при товщині плити, см										
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
A-1; A-3; A-6;	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85	0,83	0,80	0,77	0,73	0,70	0,67
A-2; A-4;	0,95	0,93	0,90	0,87	0,84	0,82	0,79	0,76	0,72	0,69	0,66
A-5; A-7;	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84	0,82	0,78	0,75	0,71	0,68	0,65

$$l_{np} = h \times \sqrt[3]{E_1(1-\mu_0^2)/[6E_{за}(1-\mu^2)]} = h \times \sqrt[3]{36000(1-0,25^2)/[6 \times 164 \times (1-0,15^2)]} = 3,27h \quad (1.4)$$

$$\sigma_{pt} = \frac{57,5 \cdot 1,5 \cdot 60 \cdot 0,66 \cdot 1,05 (0,0592 - 0,09284 \cdot \ln(17,25/l_y))}{h^2 K_t} \quad (1.5)$$

$$\sigma_{pt} = [0,0592 - 0,09284 \ln(17,25/l_{np})] \times 3586 / K_t h^2.$$

K_t для зони А-V (табл.6) по таблиці 1.18 для 22 см дорівнює 0.78

По таблиці 1.19 знаходимо необхідний коефіцієнт міцності $K_{мц} = 1$. $K_{нц}$ (коефіцієнт набору міцності) ми знаходили вище. Від дорівнює 1,2.

$$K_v = \frac{\sigma_{pt} \times K_{мц}}{B_{btb} \times K_{нц}}. \quad (1.6)$$

$$K_v = \sigma_{pt} / 5,28.$$

У прикладі треба отримати не більше $K_v = 0,369$ (отримано раніше).

Так як початкова товщина h була прийнята як 22 см, у таблицю такого типу, як таблиця 1.20 вносимо значення h , розраховуємо значення l_{np} , приймаємо значення K_t (по таблиці 1.18), розраховуємо σ_{pt} і K_v .

Таблиця 1.19

Рівень надійності і коефіцієнт міцності для різних жорстких дорожніх покриттів (ВБН В.2.3-218-008-97)

Тип дорожнього одягу	Інтенсивність розрахункового навантаження, од/добу	Перспективний період не менше, років для дорожнього одягу	Рівень надійності K_H	Коефіцієнт міцності K_{mc}
Капітальний	Понад 1000	25	0,95	1,00
	500 – 1000	25	0,90	0,94
Полегшений	Менш 500	20	0,80	0,87

Таблиця 1.20

Приклад підбору товщини покриття

h	l_{np}	K_t	σ_{pt}	K_v
22	71,9	0,78	1,822	0,345
21	68,7	0,82	1,859	0,352
20	65,4	0,84	1,952	0,370

У прикладі при товщині плити 22 см значення K_v склало 0,345, що менше за граничне значення 0.369. Тому можна спробувати зменшити товщину до 21 см і повторити розрахунок. При значенні K_v більше граничного (припустимого) товщину плити навпаки, треба збільшити.

У прикладі повторяємо розрахунок для $h=21$ см, по розрахунках значення K_v склало 0.352, що теж менш за граничне значення. Повторюємо розрахунок для $h=20$ см, проте значення K_v після розрахунку більше припустимого.

Таким чином бетонна плита товщиною 21 см задовольняє вимоги за міцністю. Таку товщину плити приймаємо в подальших розрахунках.

2. Розрахунок на зсув у ґрунті земляного полотна

Перевіряємо стійкість ґрунту земляного полотна на зсув.

Модуль пружності верхнього шару моделі розраховують за формулою:

$$E_{cp} = \sum_{i=1}^n E_i + h_i \div \sum_{i=1}^n h_i, \quad (2.1)$$

де n – кількість шарів дорожнього одягу;

E_i – модуль пружності i -го шару;

h_i – товщина i -го шару.

$$E_{cp} = \Sigma(h_{i\text{-го шару}} \times E_{\text{зсув. } i\text{-го шару}}) / \Sigma(h_{i\text{-го шару}}) = [21 \times 1770 + 18 \times 400 + 15 \times 130] / (21 + 18 + 15) = 858 \text{ МПа};$$

$$E_{cp} / E_p = 858 / 76 = 11.29;$$

$$h/D = (21 + 18 + 15) / D = 54 / 34.5 = 1.57;$$

за номограмами на рис.2.1 (згідно з ВБН В.2.3–218–186):

при $\varphi = 22^\circ$ $\tau_n = 0,012$;

Активні напруження зсуву (T) що діють в ґрунті чи в піщаному шарі, визначають за формулою

$$T = \tau_n \times p \quad (2.2)$$

де τ – питоме активне напруження зсуву від одиничного навантаження, що визначається за допомогою номограм (рисунок 2.1);

p – розрахунковий питомий тиск від колеса на покриття (таблиця 1.4).

$$T = 0,012 \times 0,8 = 0,0096 \text{ МПа};$$

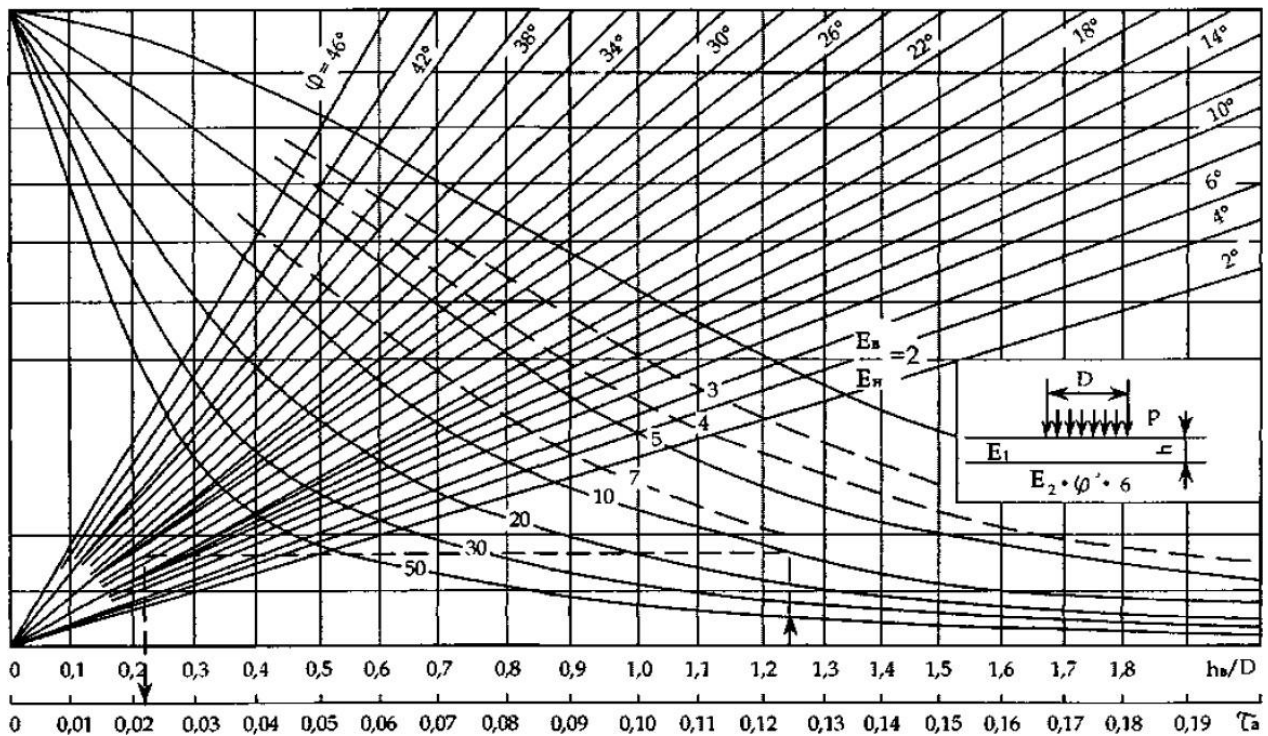


Рис. 2.1. Номограма для визначення активного напруження зсуву від тимчасового навантаження в нижньому шарі двошарової системи (τ_n)

Згідно ВБН В.2.3–218–186-2004 граничне активне напруження зсуву $T_{зр}$ в ґрунті робочого шару (чи в піщаному матеріалі проміжного шару) визначають за формулою:

$$T_{зр} = c_{зр} k_{\phi} + 0,1 \gamma_{зр} z_{оп} \operatorname{tg}(\phi), \quad (2.3)$$

k_{ϕ} – коефіцієнт, що враховує особливості роботи конструкції на межі піщаного шару з нижнім шаром несучої основи. При влаштуванні нижнього шару із укріплених матеріалів, а також при укладанні на межі "основа – піщаний шар" геотекстильного прошарку, потрібно приймати значення k_{ϕ} рівним:

- 4,5 – при використанні в піщаному шарі крупного піску;
- 4,0 – при використанні в піщаному шарі піску середньої крупності;
- 3,0 – при використанні в піщаному шарі дрібного піску;
- 1,0 – у всіх інших випадках;**

$z_{оп}$ – глибина розміщення поверхні шару, що перевіряється на зсувостійкість, від верху конструкції, см;

$\gamma_{зр}$ – середньозважена питома вага конструктивних шарів, розміщених вище за нестійкий шар, кг/см³; **Приймаємо 0,002 кг/см³.**

$$T_{зр} = 0,034 \times 1 + 0,1 \times 0,002 \times (21 + 18 + 15) \times \operatorname{tg} 22^{\circ} = 0,034 + 0,0002 \times 54 \times 0,404 = 0,0384 \text{ МПа}$$

Щоб задовольняти вимогам на зсув у ґрунті земляного полотна відношення $T_{зр} / T$ має бути більше за $K_{мц}$. $K_{мц}$ приймаємо по таблиці 1.16.

Тобто

$$T_{зр} / T \geq K_{мц}; \quad (2.4)$$

У прикладі $K_{мц} = 1,44$

$$T_{зр} / T = 0,0384 / 0,0096 = 4,00 \geq 1,44.$$

Таким чином запроектований дорожній одяг відповідає нормативним вимогам.

3. Розрахунок необхідного об'єму бетону для влаштування 1 км погонного дороги

Далі виконуємо розрахунок необхідного об'єму бетону (у м³) для влаштування 1 км погонного дороги.

Розрахована товщина шару бетону – $h_{\text{бет}}=21$ см (0.21 м).

Прийнята ширина полоси жорстоко дорожнього одягу (для доріг першої категорії рахуємо в одному напрямку а потім подвоюємо, для інших – одразу всієї дороги) дорівнює:

$b_{\text{бет}} = 2 \times [7,5\text{м (проїзна частина)}+2.5\text{м (ширина зупинкової смуги)}+0.75\text{м (ширина укріпленої смуги узбіччя)}] = 2 \times 10.75 = 21.5\text{м}.$

Примітка: для дороги другої категорії ширина полоси жорстоко дорожнього одягу розраховується як $b_{\text{бет}} = 7,5$ м (проїзна частина) + 2.0 м (ширина зупинкової смуги з однієї сторони) + 2.0 м (ширина зупинкової смуги з іншої сторони) = 11,5 м.

Тобто необхідний обсягу бетону ($у м^3$) для влаштування 1 км погонного дороги складає:

$$V_{\text{бет.км}} = h_{\text{бет}} \times b_{\text{бет}} \times 1000 = 0.21 \times 21.5 \times 1000 = 4515 \text{ м}^3/\text{км} \quad (3.1)$$

4. Розрахунок складу базового бетону жорсткого покриття

Далі виконуємо розрахунок складу бетону з врахуванням прийнятого в конструкції дорожнього одягу класу бетону. Розрахунок виконуємо у комп'ютерній системі управління бетонними сумішами (КСУБС) – це безкоштовна програма, яка розроблена на кафедрі будівельних матеріалів Національного університету водного господарства та природокористування. Вона доступна для завантаження на сайті <http://dvorkin.woodex.ua> (альтернативне джерело - http://zbik.at.ua/load/raschet_sostavov_betona/1-1-0-2)

Принцип функціонування і побудови комп'ютерної системи управління складами бетонних сумішей полягає у тому, що при одержанні нового завдання на розрахунок, розраховується базовий номінальний склад (БНС) бетону, що забезпечує набір необхідних проектних властивостей.

Обираємо Розрахунок БНС – Новий БНС. Пункт Розрахунок БНС – Опції для розрахунку не змінювати. Задаємо такі данні:

Класу бетону (по таблиці 1.8 і з врахуванням попередніх розрахунків), для 1-ої категорії В35, ОК = 2, цемент марки 400, найбільша крупність щебеню 40 мм. Вміст домішок у щебені 0.5%. Модуль крупності піску 2.2. Зміст домішок в піску 1.0%. Приклад показано на рис. 4.1.

В результаті розрахунку отримуємо наступний склад бетону (для прикладу):

Витрата цементу: 470 кг/куб.м.

Витрата щебеню: 1234 кг/куб.м.

Витрата піску: 520 кг/куб.м.

Витрата води: 180 кг/куб.м.

Вихідні дані для розрахунку складу бетону (БНС)

Показник легковкладальності
☒ ОК, см
☐ Жорсткість, сек (техн. віскозиметр)

Значення легковкладальності

Модуль крупності піску

Насипна густина піску, кг/л

Вміст домішок у піску, %

Клас бетону

Марка цементу

Нормальна густина цементного тіста, %

Найбільша крупність щебеню, мм

Насипна густина щебеню, кг/л

Вміст домішок в щебені, %

OK Close

Рис. 4.1. Приклад розрахунку базового складу бетону в програмі КСУБС.

5. Розрахунок вартості бетону жорсткого покриття при застосуванні базових складів (приблизний)

Далі виконуємо приблизний розрахунок вартості 1-го м³ бетону і сумарну вартість бетону, який витрачається на 1 км погонний дороги.

Для цього приймаємо такі значення вартості компонентів (за 1000 кг) в цінах початку 2018 року:

Цемент: 1550 грн.;

Щебінь: для дорожньо-кліматичних районів А-1, А-2, А-3 – 400 грн.;

для дорожньо-кліматичних районів А-4, А-5, А-6, А-7 – 390 грн.;

Пісок: для дорожньо-кліматичних районів А-1, А-2, А-6, А-7 – 330 грн.;

для дорожньо-кліматичних районів А-3, А-4, А-5 – 300 грн.;

Вода – 17 грн.;

Також враховуємо вартість доставки матеріалу до об'єкту будівництва, яка складає для щебеню і піску 55 грн./т, для цементу 70 грн./т, для води 16 грн./т. Крім того приймає вартість приготування бетонної суміші за 65 грн./м³.

У прикладі вартість бетону класу С30/35 складає:
 $0.470 \times (1550 + 70) + 1.234 \times (390 + 55) + 0.520 \times (400 + 55) + 0.180 \times (17 + 16) + 65 = 1618,07 \text{ грн./м}^3$.

Далі виконуємо розрахунок сумарної вартості бетону, який

витрачається на 1 км погонний дороги:

Вартість 1 км = $1618,07 \times 4515 = 7305586,05$ грн./км.

6. Розрахунок складу бетону жорсткого покриття з урахуванням ресурсозбереження

Далі розраховуємо склади бетону жорсткого покриття аналогічного класу, прийнявши при цьому необхідні варіанти рішень по ресурсозбереженню (вказані в бланку завдання).

Для цього у програмі КСУБС обираємо Розрахунок БНС – Опції для розрахунку. Задаємо таку опцію (рис. 6.1):

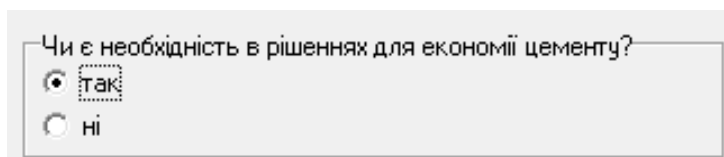


Рис. 6.1. Активація опції розрахунку складу бетону з необхідністю економії цементу у програмі КСУБС.

При застосуванні суперпластифікатору розрахунок виконується з такими опціями (рис. 6.2):

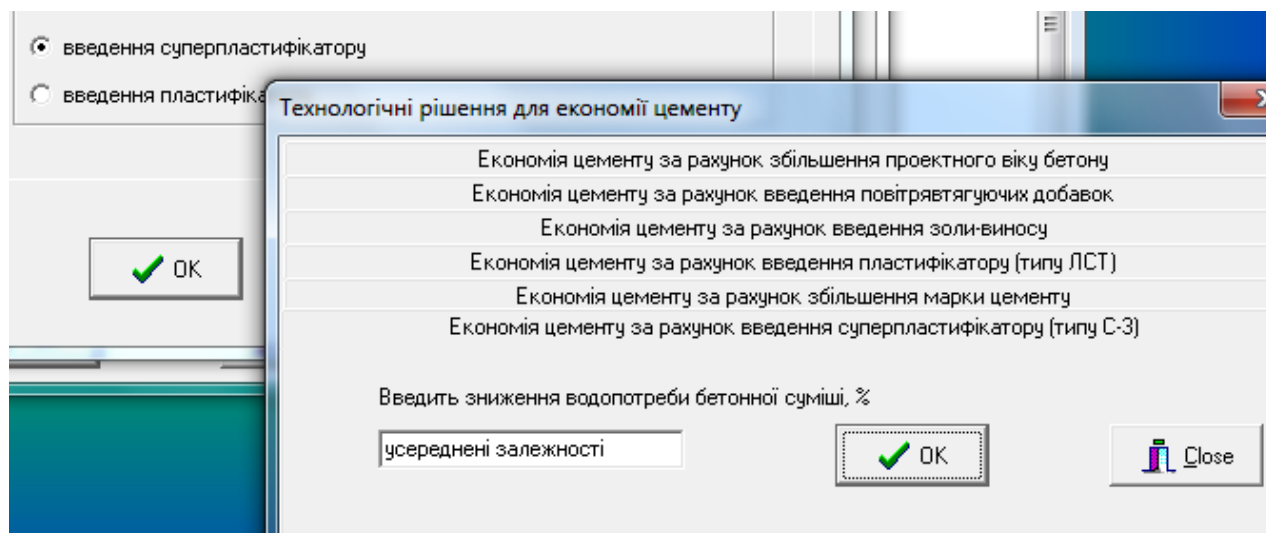


Рис. 6.2. Налаштування опцій при розрахунку складу бетону з суперпластифікатором у програмі КСУБС.

По результатах розрахунку для прикладу отримуємо наведений нижче склад бетону жорсткого покриття (з урахуванням першого варіанту ресурсозбереження):

Витрата цементу: 386 кг/куб.м.

Витрата щебеню: 1257 кг/куб.м.

Витрата піску: 655 кг/куб.м.

Витрата води: 147 кг/куб.м.

При застосуванні пластифікатору розрахунок виконується з такими опціями (рис. 6.3):

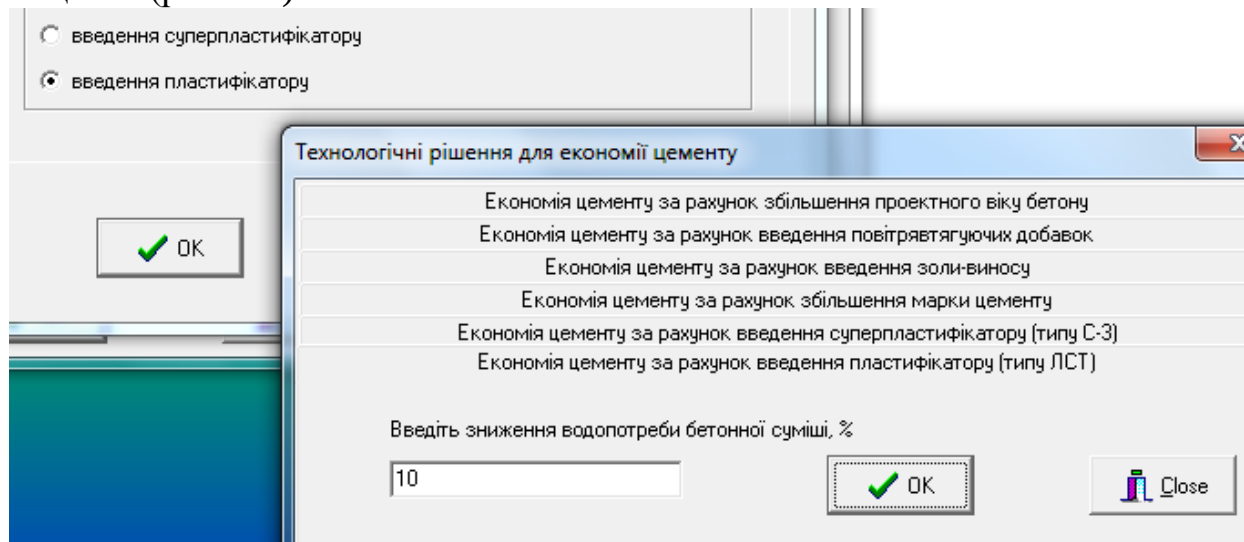


Рис. 6.3. Налаштування опцій при розрахунку складу бетону з пластифікатором у програмі КСУБС.

По результатах розрахунку для прикладу отримуємо наведений нижче склад бетону жорсткого покриття (з урахуванням другого варіанту ресурсозбереження):

Витрата цементу: 423 кг/куб.м.

Витрата щебеню: 1247 кг/куб.м.

Витрата піску: 596 кг/куб.м.

Витрата води: 162 кг/куб.м.

При застосуванні золи виносу розрахунок виконується з такими опціями (рис. 6.4).

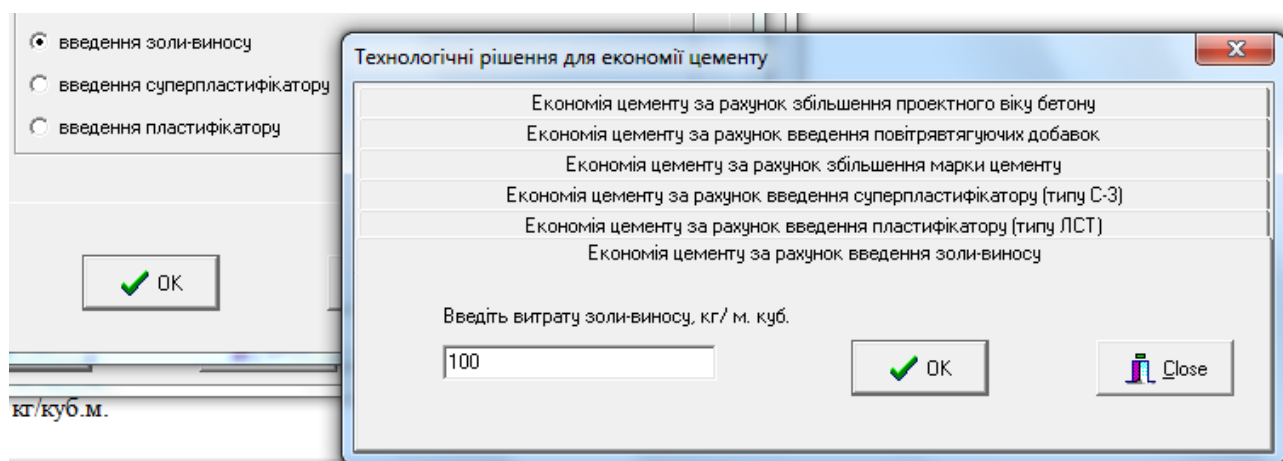


Рис. 6.4. Налаштування опцій при розрахунку складу бетону з золою-винос у програмі КСУБС.

По результатах розрахунку для прикладу отримуємо наведений нижче склад бетону жорсткого покриття (з урахуванням третього варіанту ресурсозбереження):

Витрата цементу: 445 кг/куб.м.
Витрата золи-виносу: 100 кг/куб.м.
Витрата щебеню: 1215 кг/куб.м.
Витрата піску: 459 кг/куб.м.
Витрата води: 180 кг/куб.м.

7. Розрахунок вартості м³ бетону жорсткого покриття з врахуванням прийнятих рішень по ресурсозбереженню

Далі слід виконати приблизний розрахунок вартості м³ бетону з врахуванням прийнятих рішень по ресурсозбереженню.

Значення вартості основних компонентів (цементу, піску, щебеню та води) вберігаються.

Завдяки застосуванню більш складної технології (введення додаткового компоненту) вартість приготування бетонної суміші збільшується до 64 грн./м³.

Вартість суперпластифікатору приймаємо як 12 грн./кг (12000 грн/тонна) без врахування вартості доставки. При цьому витрату суперпластифікатору розраховуємо як 0.6% від маси цементу.

Для прикладу отримуємо таку вартість:
 $0.386 \times (1550 + 70) + 1.257 \times (390 + 55) + 0.655 \times (400 + 55) + 0.147 \times (17 + 16) + 64 + 386 \times 0.006 \times 20 = 1597,9 \text{ грн./м}^3$.

Примітка: $386 \times 0.006 \times 20$ – це розрахунок вартості добавки суперпластифікатору (386 кг цементу помножаємо на 0.6% і на 20 грн./кг)

Вартість пластифікатору приймаємо як 25 грн./кг без врахування вартості доставки. При цьому витрату пластифікатору розраховуємо як 0.8% від маси цементу.

Для прикладу отримуємо таку вартість:
 $0.423 \times (1550 + 70) + 1.247 \times (390 + 55) + 0.596 \times (400 + 55) + 0.162 \times (17 + 16) + 64 + 423 \times 0.008 \times 25 = 1665,301 \text{ грн./м}^3$.

Вартість золи виносу (за 1000 кг) приймаємо:

для дорожньо-кліматичних районів А-1, А-6 – 400 грн

для дорожньо-кліматичних районів А-2, А-3 – 415 грн

для дорожньо-кліматичних районів А-4, А-5, А-7 – 425 грн

Для прикладу отримуємо таку вартість:
 $0.445 \times (1550 + 70) + 1.215 \times (390 + 55) + 0.459 \times (400 + 55) + 0.180 \times (17 + 16) + 54 + 0.100 \times 425 = 1637,36 \text{ грн./м}^3$.

Таким чином, найкращім (найдешевшим) варіантом з позиції ресурсозбереження є застосування бетону з суперпластифікатором. Вартість 1 м³ такого бетону 1597,9 грн./м³.

Далі виконуємо розрахунок сумарної вартості бетону, який витрачається на 1 км погонний дороги з врахуванням прийнятого найвигіднішого варіанту рішення по ресурсозбереженню:

$$\text{Варт.км} = 1597,9 \times 4515 = 7214518,5 \text{ грн./км.}$$

В кінці роботи порівнюємо цю вартість в базовою. Розраховуємо ефект від застосування ресурсозбереження:

$$\text{Ефект} = 7305586,05 - 7214518,5 = 91067,55 \text{ грн./км.}$$

Робимо висновок: за рахунок застосування ресурсозбереження при влаштуванні жорсткого дорожнього покриття досягається економічний ефект на рівні 91067,55 грн. на погонний кілометр.

8. Склад графічної частини

Графічна частина виконується на листі формату А1. На лист виносяться ситуаційний план, поперечний профіль, варіанти конструкцій дорожнього одягу із зазначенням найбільш економічно вигідного, технологія укладання жорсткого покриття та висновки щодо ресурсозбереження.

Ситуаційний план виконується на основі супутникового знімку із зазначенням траси проекрованої дороги, найближчих населених пунктів, розташування щебеневих та піщаних кар'єрів, шляхів доставки матеріалів.

Поперечний профіль проекрованої дороги виконується на основі даних завдання до курсового проекту та ДБН В.2.3-4-2017 «Споруди транспорту. Автомобільні дороги» із вказанням розмірів та прийнятої конструкції дорожнього одягу.

Варіанти конструкції дорожнього одягу викреслюються в одному зі стандартних масштабів у двох варіантах: з використанням базового складу жорсткого дорожнього одягу та прийнятого найбільш економічно ефективного. Вказуються всі шари конструкцій та вартість 1 м³ дорожнього одягу.

Технологія укладання жорсткого покриття розробляється згідно з діючими нормами та з використанням сучасних засобів механізації та виконання робіт.

У висновках необхідно вказати економічний ефект, отриманий після підбору складу бетону з застосуванням рішень з ресурсозбереження та навести прийняту конструкцію дорожнього одягу.

Додаток 1

Прилад виконання графічної частини

Завдання до курсового проекту

по дисципліні «Ресурсозбереження та новітні технології
у будівництві автомобільних доріг та аеродромів»

Варіант __. Видано студенту (ці) гр. АД-_____

Запроектувати конструкцію дорожнього одягу із цементобетонним монолітним покриттям.

Категорія дороги дороги – _____.

Кількість смуг руху – _____.

Область – _____ (дорожньо-кліматичний район _____).

Інтенсивність руху – _____ од./добу.

Показник щорічного приросту інтенсивності руху – _____.

Залягання ґрунтових вод – _____.

Виконати розрахунок необхідного обсягу бетону ($y \text{ м}^3$) для влаштування 1 км погонного дороги. Виконати розрахунок складу бетону з врахуванням прийнятого в конструкції дорожнього одягу класу бетону. Виконати приблизний розрахунок вартості м^3 бетону і сумарну вартості бетону, який витрачається на 1 км погонний дороги.

Далі розрахувати складу бетону аналогічного класу, прийняти при цьому варіанти рішень по ресурсозбереженню:

- застосування суперпластифікатору;
- застосування пластифікатору;
- застосування повітря-залучуючої добавки;
- застосування золи виносу.

Виконати приблизний розрахунок вартості м^3 бетону з врахуванням прийнятих рішень по ресурсозбереженню. Порівняти вартість м^3 при використанні всіх методів і обрати найвигідніший варіант. Виконати приблизний розрахунок вартості бетону, який витрачається на 1 км погонний дороги з врахуванням прийнятих найвигіднішого варіанту рішення по ресурсозбереженню. Зробити висновок.

У графічній частині показати: ситуатійний план із зазначенням місць розташування піщаних, гравійних та щебених кар'єрів; трасу проекрованої дороги; варіанти конструкцій дорожнього одягу; поперечний розріз проекрованої дороги; висновки. Описати технологію улаштування жорсткого покриття.

Завдання видав _____

«__» _____ 20__ р.

Література

1. Солодкий С.Й. Дорожні одяги: Навчальний посібник. – Львів: «Львів. політехніки», 2015. –162 с.
2. Будівельне матеріалознавство в дорожньому будівництві: Навчальний посібник / Мозговий В.В., Дорошенко Ю.М., Онищенко А.М. та ін. – К.:«Леся»,2014– 415 с.
3. Сотник І.М. Економічні основи ресурсозбереження: навчальний посібник / І.М. Сотник. – Суми: Університетська книга, 2013. – 284 с.
4. Технологія будівництва автомобільних доріг. Навчально-методичний посібник / [В.Я.Савенко, О.С.Славінська, В.І.Каськів та ін.] - К.:НТУ: 2004. – 256 с.
5. Автомобільні дороги. Споруди транспорту. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво: ДБН В.2.3-4:2015. – [Чинний від 01.04.2015 р.]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2015.-112с (Державні будівельні норми України).
6. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.7-119:2011.- [Чинний від 30.12.2011р.] -К:Мінрегіон України, -2012.- 54с.
7. Інклюзивність будівель і споруд: ДБН В.2.2-40:2018 - [Чинний від 01.04.2019 р.] - Міністерство регіонального розвитку і житлового-комунального господарства України, 2018 -70с.
8. Настанова з влаштування захисних шарів зносу покриття дорожнього одягу автомобільних доріг: ДСТУ-Н Б В.2.3-38:2016 -[Чинний від 01.04.2017 р]- К: ДП «УкрНДНЦ», 2017 -24с.
9. Рекомендації з визначення кількості засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), випробувального обладнання (ВО) та пристроїв для проведення контролю характеристик автомобільних доріг і визначення фізико-механічних властивостей дорожньої продукції згідно з чинними нормативними документами: Р Г.1-218-03449261-677:2007 - [Чинний від 01.11.2007 р] - К:Українське державне виробничо-технологічне підприємство «Укрдортехнологія», 2007.
10. Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях: ГБН В.2.3-37641918-544:2014-[Чинний від 01.01.2015 р]-К: Міністерство інфраструктури України, 2014 р.- 147с.
11. Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей. Технические условия: ДСТУ Б В.2.7-121:2014- [Чинний з 01.01.2015 р.] - К: Міністерство регіонального розвитку і і житлового-комунального господарства України,2014-26с.
12. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево мастикові. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-127:2015-[Чинний від 01.07.2016 р] - К: Мінрегіон України, 2015 -30с.

13. Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування: ГБН В.2.3-218-007:2012-[Чинний від 01.10.2012 р.] - К: Державне агентство автомобільних доріг України, 2012-47 с.
14. Укріплення та стабілізація цементом шарів дорожнього одягу з кам'яних матеріалів, промислових відходів і ґрунтів. Проектування та будівництво: ГБН В.2.3-37641918-:201.- -[Чинний від 09.08.2012 р.] - К: Державне агентство автомобільних доріг України, 2012