

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Кафедра будівництва та експлуатації автомобільних доріг**

Філіппов В.В., професор, д.т.н.

Учбова дисципліна Комп'ютерне моделювання
Спеціальність 7.092105

Рішення кафедри про розміщення на порталі ХНАДУ

Дата останнього редагування 15.01.12

Затверджено на засіданні кафедри
протокол № 1/1784 від
2012 р
зав. кафедрою
В.К. Жданюк

Вступ

Курс дисципліни розрахований на 18 години лекцій, 18 години лабораторних робіт, 36 години самостійного вивчення дисципліни і залік.

Дисципліна має мету дати студентам знання в комп'ютерному моделюванні при плануванні ремонтів і реконструкції доріг при обмеженому фінансуванні, дослідженні технічного рівня та експлуатаційного стану автомобільних доріг, їх функціонування в різні періоди експлуатації, вирішенні процесів взаємодії автомобілів і дороги.

Зміст лекцій (теми).

1. Планування на ЕОМ розподілу обмежених фінансових ресурсів на ремонті і реконструкцію автомобільних доріг (4 години).
2. Прогнозування інтенсивності дорожнього руху методом найменших квадратів (2 години).
3. Оцінка транспортно–експлуатаційних характеристик автомобільних доріг на основі моделювання руху автомобілів та транспортних потоків (8 годин).
4. Моделювання дії експлуатаційних дорожніх нерівностей на коливальну систему автомобіля комп'ютерною програмою Road Ruf (4 години).
5. Автоматизоване проектування в програмі РАДОН2 підсилення дорожнього одягу при капітальному ремонті (4 години).
6. Аналіз варіантів складу асфальтобетонної суміші з використанням програми MIX-XADI (2 години).

ТЕМА № 1

ПЛАНУВАННЯ ОБМЕЖЕНИХ ФІНАНСОВИХ РЕСУРСІВ НА РЕМОНТИ І РЕКОНСТРУКЦІЮ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

1. Характеристики автомобільних доріг України.
2. Методи визначення затрат дорожнього господарства.
3. Обґрунтування щорічної потреби в ремонтах при умові своєчасного фінансування дорожньої галузі.
4. Зростання недоремонтів при тривалому недофінансуванні дорожньої галузі.
5. Основи оптимізації та процедура планування.

1. Характеристики автомобільних доріг України

Проблема планування фінансових ресурсів на ремонти пов'язана з недостатнім фінансуванням дорожньої галузі. Аналіз методів планування обмежених фінансових ресурсів на ремонти виконаємо для дорожньої мережі України, що склалась до 2010 р. – табл. 1.1, 1.2

Таблиця 1.1 – Структура державних доріг загального користування, км

Категорії	I	II	III	IV	V	Всього за покриттям
Цементобетонні	600	563	130	5		1298
Асфальтобетонні	1856	9352	4791	77		16076
Чорний щебінь (гравій)			1819	968		2787
Білий щебінь (гравій)				28	2	30
Бруківка				8		8
Всього за категоріями	2456	9915	6740	1086	2	20199

Таблиця 1.2 – Структура місцевих доріг загального користування, км

Категорії	I	II	III	IV	V	Всього за покриттям
Цементобетонні	17	701	403	330		1451
Асфальтобетонні	23	1890	21671	17421		41005
Чорний щебінь (гравій)		85	622	67882		68589
Білий щебінь (гравій)				14883	10962	25845
Бруківка				4001	4065	8066
Всього за категоріями	40	2676	22696	104517	15027	144956

Аналізуючи структуру мережі місцевих доріг України з 1940 по 2010 рр. (з ґрунтовими) приходимо до висновків:

- за категоріями більш за все доріг категорії IV,
- середня категорія місцевих доріг приблизно 3.7,
- за типом покриття більш за все доріг з чорним щебнем (гравієм).

Аналіз динаміки формування мережі доріг України з 1940 по 2010 рр. (з ґрунтовими) показав, що пік приросту був в 1965 р.

Таблиця 1.3 – Динаміка формування мережі доріг України

Роки	1940	1945	1950	1955	1960	1965	1970
Протяжність, т.км	29,3	32,1	33,5	37,6	47,4	67,2	90,8
Приріст мережі %		9,6	4,4	12,2	26,1	41,8	35,1
Роки	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2010
Протяжність, т.км	116,7	133,7	145,2	157,2	160,5	161,0	166,1
Приріст мережі %	*	*	*	*	*	*	*

Аналіз протяжності доріг, побудованих за різними нормативами, див. табл. 1.4, переконує, що приблизно 80-90 % доріг не задовольняють сучасним нормативам.

Таблиця 1.4 – Протяжність доріг, побудованих за різними нормативами

Нормативи	Протяжність %
ТУ 1931, 34, 38, 39	23
НиТУ 128-55	14
СНиП II-Д.5-62	30
СНиП II-Д.5-72	27
СНиП 2.05.02-85, ДБН В.2.3-4-2000, ДБН В.2.3-4-2007	6

2. Методи планування витрат на ремонтні і будівельні роботи дорожнього господарства.

Методи планування затрат дор. господарства на ремонтні і будівельні роботи на авт. дорогах:

- 1) статистичний метод,
- 2) метод нормативних витрат,
- 3) метод міжремонтних термінів,
- 4) метод показників експлуатаційного стану,
- 5) метод мінімізації транспортних витрат в народному господарстві.

2.1 Статистичний метод

Наприклад, обсяги бюджетного фінансування доріг загального користування за 2001-2006 рр., див. рис. 1.1, дають підставу для статистичної екстраполяції обсягів фінансування на ближні наступні роки.

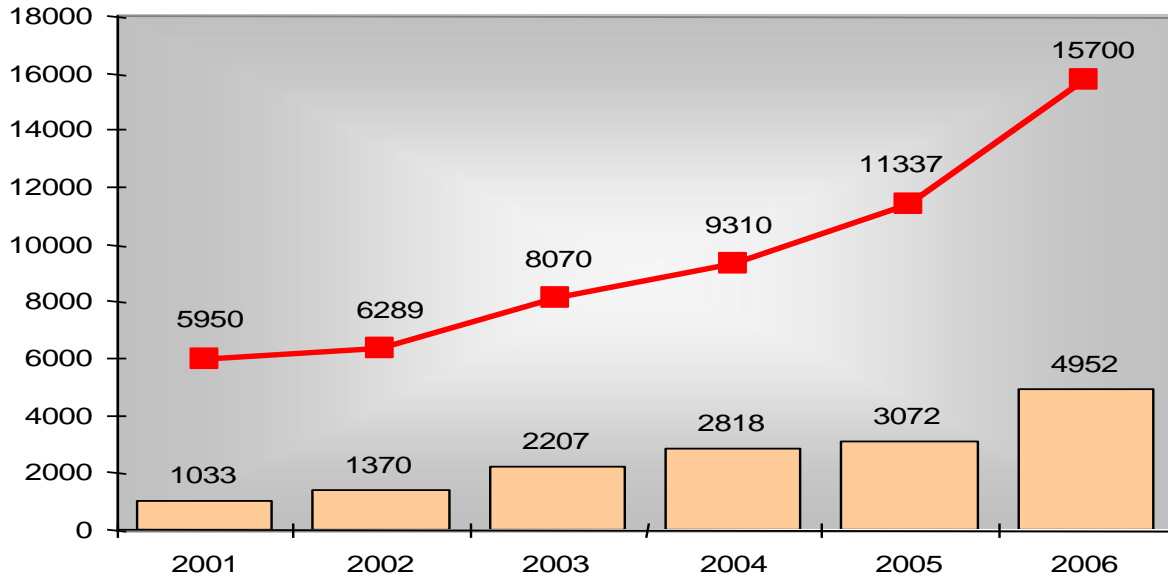


Рис. 1.1. – Фінансування в 2001-2006 р.

2.2. Метод нормування витрат на експлуатаційне утримання та ремонт автомобільних доріг

Метод був обґрунтований в період довготривалих незмінних цін на усі види ресурсів: матеріалів, робочої сили, паливно-мастильних матеріалів тощо. Були обґрунтовані відносні співвідношення між вартістю будівництва авт. дороги C_b , кап. ремонту $C_{кр}$, поточного ремонту $C_{пр}$ і утримання C_y . Наприклад, для дороги II категорії з асфальтобетонним покриттям: $C_b : C_{кр} : C_{пр} : C_y$ відповідає співвідношенню 100 : 40 : 4 : 5.

2.3 Метод міжремонтних термінів

Метод базується на нормативних міжремонтних термінах служби дорожнього одягу за показниками його міцності, а служби покриття за показниками рівності і зчипних властивостей.

Таблиці 1.3 і 1.4 свідчать, що нормовані в ВБН Г.1-218-050-2001 міжремонтні строки служби дорожнього одягу $T_{кр}$ і служби покриття $T_{пр}$ в першу чергу залежать від категорії дороги і типу покриття.

Таблиця 1.5 – Строки служби дорожніх одягів

Типи покриття	Категорії				
	I	II	III	IV	V
Цементобетонні	18	21	21	18	
Асфальтобетонні	11	12	13	13	
Чорний щебінь (гравій)		10	10	10	
Білий щебінь (гравій)				5	5
Бруківка				10	10

Таблиця 1.6 – Строки служби дорожніх покриттів

Типи покриття	Категорії				
	I	II	III	IV	V
Цементобетонні	7	9	8	8	
Асфальтобетонні	4	5	6	6	
Чорний щебінь (гравій)		5	5	5	
Білий щебінь (гравій)				2	2
Бруківка				5	5

2.4. Метод показників експлуатаційного стану

Метод базується на вимірюваних показниках міцності, рівності зчеплення:

1. Коеф. міцності дор. одягу $K_{\text{пр}} = E_{\text{факт}} / E_{\text{потр}}$,
2. Коеф. рівності дор. покриття $K_{\text{рів}} = S_{\text{гран}} / S_{\text{факт}}$,
3. Коеф. відносного зчеплення $K_{\text{зч}} = \Phi_{\text{факт}} / \Phi_{\text{гран}}$.

Капітальний ремонт потрібний, якщо $K_{\text{пр}} < 1$, а планово-попереджувальний - якщо $K_{\text{рів}} < 1$ або $K_{\text{зч}} < 1$.

Але, показники міцності, рівності, зчеплення вимірюють лише на державних дорогах, а для мережі місцевих доріг таких даних нема. Тому для планування ремонтних робіт на місцевих дорогах використовують експертний експрес-метод оцінки експлуатаційної якості дороги за індексом J експлуатаційного стану. Індекс J встановлюють за шкалою, див. табл. 1.7, яку розроблено в ХНАДУ.

Таблиця 1.7 – Шкала оцінки експлуатаційного стану дороги

Індекс, бали	Оцінка стану дороги
10	Проїзна частина рівна, без руйнувань і деформацій. Поверхня проїзної частини шорстка, узбіччя укріплені. Інженерне устаткування дороги відповідає нормативним вимогам.
9	Проїзна частина рівна, поперечний профіль не спотворений. На покритті окремі тріщини. Поверхня шорстка, узбіччя укріплені. Рівень інженерного устаткування на 90 % відповідає нормативним вимогам.
8	Проїзна частина рівна, шорстка, поперечний профіль не спотворений. На покритті тріщини, руйнування були усунені при ямковому ремонті. Узбіччя укріплені. Рівень інженерного устаткування на 75 % відповідає нормативним вимогам.
7	Рівність проїзної частини задовільна. Поперечний профіль не спотворений. Поверхня покриття зношена. На покритті тріщини і окремі деформації. Інженерне устаткування на 60 % відповідає нормативним вимогам. Стан штучних споруд задовільний.
6	Поперечний профіль проїзної частини практично не спотворений. Колійність до 15 мм. Покриття зношене, шорсткість низька. Відносна площа руйнувань до 1 %. Штучні споруди мають окремі дефекти. Інженерне устаткування на 50 % відповідає нормативним вимогам.
5	Поперечний профіль проїзної частини в окремих місцях спотворений. Окремі просадки. Відносна площа вибоїн і інших руйнувань на проїзній частині до 2 %. Інженерне устаткування лише на 35 % відповідає нормативним вимогам.
4	Поперечний профіль проїзної частини в багатьох місцях спотворений. Покриття нерівне. Часті просадки. Відносна площа вибоїн 3 %. Мости і інші штучні споруди сильно зношені.
3	Поперечний профіль проїзної частини на значному протязі спотворений. Часті просадки. Відносна площа вибоїн до 4 %. Інженерне устаткування і штучні споруди в незадовільному стані.
2	Поперечний профіль спотворений на великому протязі ділянки. Просадки. Вибоїни і колійність на проїзній частині. Інженерне устаткування встановлено тільки в самих небезпечних місцях. Узбіччя не укріплені. Швидкість руху автомобілів значно нижче дозволеної.
1	Поперечний профіль спотворений. Деформації і вибоїни на проїзній частині. Просадки і колійність на проїзній частині. Мости в аварійному стані. Порушення стійкості земляного полотна. Стан дороги створює небезпеку для руху. Інженерне устаткування практично відсутнє.

Необхідність ремонтів встановлюють за граничними значеннями індексу експлуатаційного стану дороги, які наведені в табл. 1.8. Таким чином складають список усіх доріг райавтодору або облавтодору, які потребують ремонту в рік планування.

Таблиця 1.8 – Встановлення необхідності ремонту

Значення індексу експлуатаційного стану дороги	Необхідність ремонту
Більш ніж 6	Ремонт не потрібен
6 - 5	Потрібен поточний ремонт
4 і менше	Потрібен капітальний ремонт

Спрощену модель динаміки експлуатаційного стану дороги, що відповідає табл. 1.8, див. на рис. 1.2

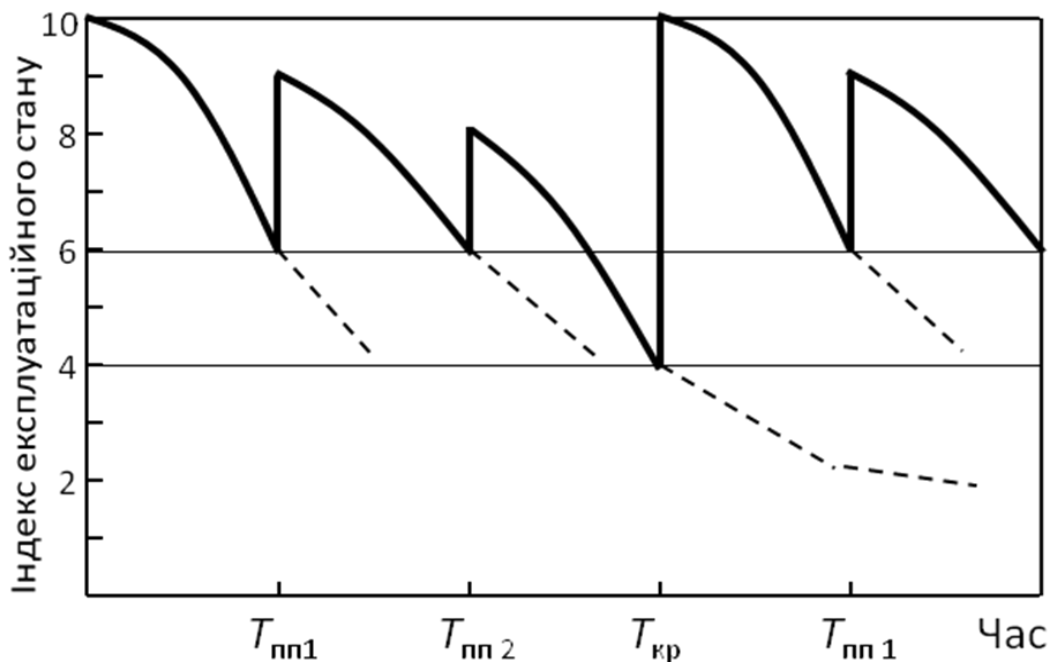


Рис. 1.2 Спрощена модель динаміки експлуатаційного стану

2.5. Метод мінімізації транспортних витрат в народному господарстві

Оптимальну стратегію розвитку народного господарства і дорожньої галузі засновано на мінімізації транспортних витрат.

Транспортні витрати P в народному господарстві включають дорожню C_d і авто-транспортну $C_{авт}$ складові, а також грошову оцінку втрат $C_{дтп}$ від ДТП, втрат $C_{пас}$ від перебування пасажирів в дорозі, втрат $C_{дс}$ від дії транспорту на навколишнє середовище.

3. Обґрунтування щорічної потреби в ремонтах при умові своєчасного фінансування дорожньої галузі

Метод базується на використанні нормованих міжремонтних термінів, див. табл. 1.5, 1.6. Для будь-якої групи дорожньої мережі довжиною L км, довжина доріг $L_{кр}$, яка щороку потребує капітальних ремонтів, визначається за формулою

$$L_{кр} = L/T_{кр} \cdot \quad (1.1)$$

У відповідності із табл. 1.1 і 1.5 розраховано довжину доріг, яка щороку потребує капітальних ремонтів при своєчасному фінансуванні дорожньої галузі, див. табл. 1.9.

Таблиця 1.9 – Довжина державних доріг загального користування, яка щороку потребує капітальних ремонтів, км

Категорії	I	II	III	IV	V	Всього за покриттям
Цементобетонні	33.3	26.8	6.2	0.3		66.6
Асфальтобетонні	168.7	779.3	368.5	5.9		1322.5
Чорний щебінь			181.9	96.8		278.7
Білий щебінь				5.6	0.4	6
Бруківка				0.8		0.8
Всього за категоріями	202.1	806.1	556.6	109.4	0.4	1674.6

Якщо врахувати середню вартість ремонтів та утримання, що надана в табл. 1.10, то щорічне необхідне фінансування, наприклад, капітальних ремонтів державних доріг складе приблизно 3.5 млрд. грн., див. табл. 1.11.

Таблиця 1.10 – Середня вартість (тис.грн./км) ремонтів та утримання

Дороги	Капітальні	Поточні	Утримання
1 кат., цементобетонні	8000	600	60
1 кат., асфальтобет.	5000	500	50
2 кат., цементобетонні	5000	400	30
2 кат., асфальтобет.	2000	400	18
3 кат., цементобетонні	3500	180	24
3 кат., асфальтобет.	1500	200	12
3 кат., чорний щебінь	700	70	10
4 кат., асфальтобет.	1500	200	12
4 кат., чорний щебінь	400	80	2.5
4 кат., білий щебінь	100	20	2
5 кат., білий щебінь	60	6	1
Бруківка	400	80	2.5

Таблиця 1.11 – Щорічне необхідне фінансування капітальних ремонтів державних доріг

Категорії	I	II	III	IV	V	Всього по покриттям
Цементобетон.	266.7	134.0	21.7	0.3		422.7
Асфальтобетон.	843.6	1558.7	552.8	4.7		2959.8
Чорн. щєб. (гр)			127.3	38.7		166.0
Білий щєб. (гр)				0.6	0.0	0.6
Бруківка				0.1		0.1
Всього по кат.	1110.3	1692.7	701.8	44.4	0.0	3549.2

Аналогічно обчислюють витрати на поточні ремонти та утримання.

Щорічне необхідне фінансування державних (місцевих) доріг:

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1) капітальні ремонти | 3.5 (7.4) млрд. грн, |
| 2) поточні ремонти | 0.7 (1.5) млрд. грн, |
| 3) утримання | 0.4 (0.9) млрд. грн. |
| Всього | 4.7 (9.9) млрд. грн. |

Приблизно 5 (10) млрд. грн.

На усю мережу доріг України потрібно 15 млрд. грн.

Для більш точних оцінок слід враховувати зростання цін, інфляцію тощо.

Внаслідок фактичного недостатнього фінансування ремонтується доріг менш, ніж приведено в табл. 1.9, і тому накопичуються недоремонти. За оцінками Укравтодору на 2007 рік капітальні і поточні недоремонти склали для державних доріг 30 % і 50 % , для місцевих доріг відповідно 50% і 50 %. Ліквідація недоремонтів потребує не тільки суттєвих додаткових ресурсів, але й, що важливіше, багато років напруженої роботи усієї дорожньої галузі.

4. Зростання недоремонтів внаслідок тривалого недофінансування

Недофінансування дорожньої галузі оцінюється середньою величиною f (доля одиниці) як відношення фактичного фінансування до нормативної потреби.

Виходимо з того, що при умові своєчасного фінансування ($f = 1$) щорічна потреба, наприклад, капітального ремонту даної групи дорожньої мережі визначається за формулою (1.1) і дорівнює $L_{кр}$ (див. табл. 1.9). При фактичному фінансуванні галузі $f < 1$ в першому році буде відремонтовано не $L_{кр}$ доріг, а лише $L_{кр,1} \times f$, і тому недоремонт за перший рік визначиться величиною

$$\Delta L_{кр} = L_{кр} \times (1 - f). \quad (1.2)$$

Наприклад, при своєчасному фінансуванні дорожньої галузі щорічна довжина державних доріг першої категорії з цементобетонним покриттям, що потребують капітального ремонту, $L_{кр} = 33.3$ км, див. табл. 1.9. При фактичному фінансуванні на рівні

$f=0.6$ (60 % від нормативної потреби) недоремонт по капітальному ремонту за перший рік складе

$$\Delta L_{кр} = L_{кр} \times (1 - f) = 33,3 \times (1 - 0,6) = 13,2 \text{ км.}$$

При тривалому протягом T років недофінансуванні на середньому рівні f недоремонт складе

$$\Delta L_{кр} = TL_{кр} \times (1 - f). \quad (1.3)$$

Наприклад, за $T = 10$ років недостатнього фінансування $f = 0.6$ капітальний недоремонт державних цементобетонних доріг першої категорії досягне 130 км. При дуже тривалому недофінансуванні на рівні f , деяка група доріг повністю перейде в стан доріг, що потребують капітального ремонту.

Недоремонти:

- 1) значно знижують терміни служби дорожнього одягу $T_{кр}$ і дорожнього покриття $T_{пр}$,
- 2) приводять до зростання вартості ремонтних робіт на дорогах групи недоремонту (не менш ніж 120-140 %), що обумовлює зменшення величини f , і наближає дороги до критичного стану;
- 3) суттєво погіршують експлуатаційний стан доріг, внаслідок чого зростають витрати на поточні ремонти та утримання, що також зменшує f ;
- 4) є першою причиною зменшення швидкостей руху, зниження рівня зручності та безпеки руху, зростання ДТП, збільшує транспортні витрати, і неявно зменшує величину f з тими ж наслідками, що в попередніх пунктах.

Динаміку зростання недоремонтів в період 1991 – 2006 р., що показано, на рис. 1.3, обчислено за даними Укравтодору. Прийнято, що в 1991 році фінансування було 100%, а потім знижувалося маже рівномірно до 19% 2001 р. Темп p зростання фінансування після 2001 прийнятий такий, як на рис. 1.1

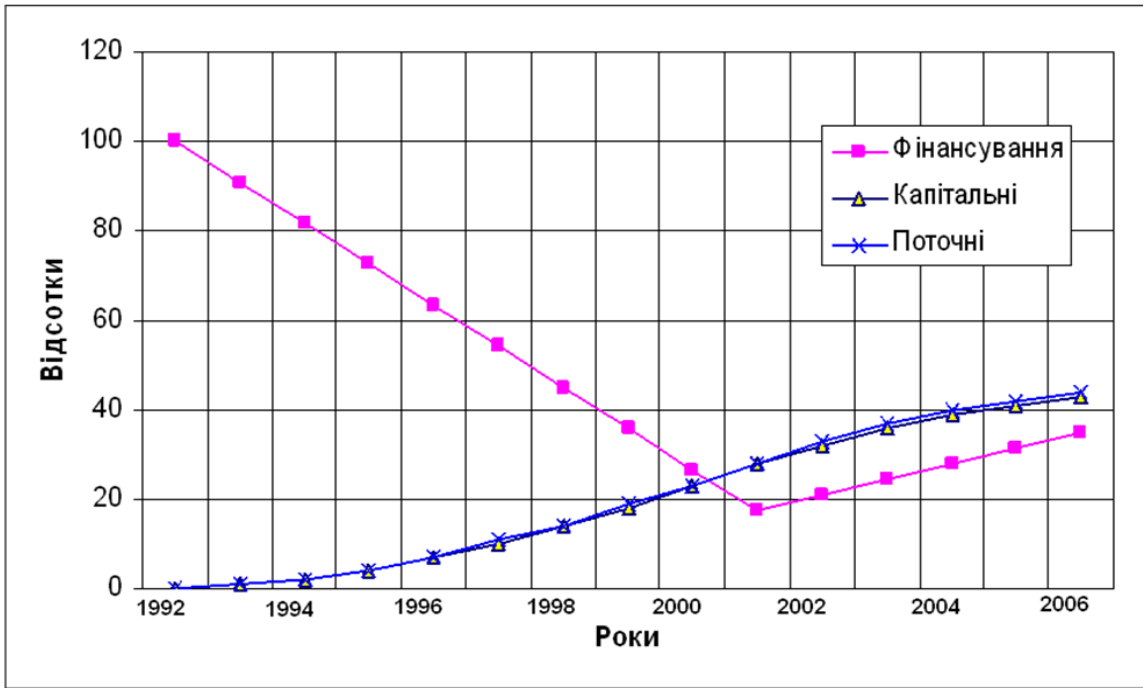


Рис. 1.3 Динаміка зростання недоремонтів в період 1991 – 2006 р.

В 2005 році в ХНАДУ були запропоновані варіанти фінансування державних доріг за критерієм зниження недоремонтів, рис. 1.4.

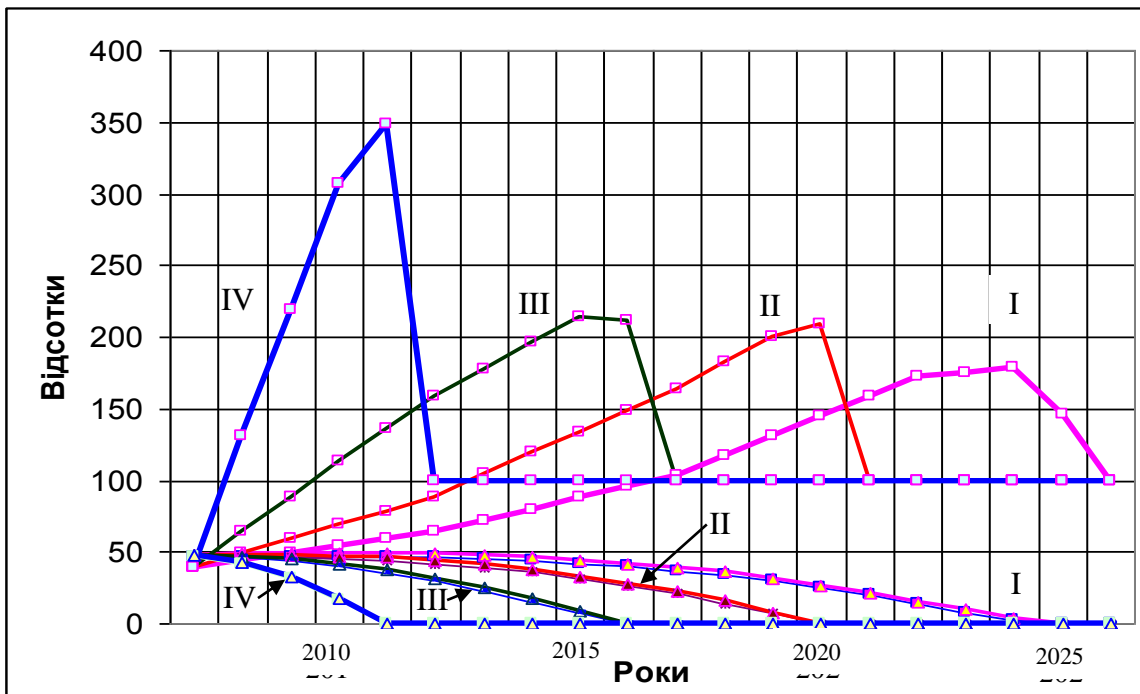


Рис. 1.4 - Варіанти фінансування (зверху) та зменшення недоремонтів (знизу).

5. Основи оптимізації та процедура планування.

Внаслідок недостатнього фінансування не можуть бути своєчасно відремонтовані всі дороги, які потребують ремонту в поточному році. Тому у переліку ділянок доріг, які потребують ремонту, необхідно виділити саме ті дороги, які необхідно відремонтувати в першу чергу. Критерієм цієї процедури, тобто процедури оптимального планування обмежених фінансових ресурсів, є найбільший економічний ефект від ремонту. Якщо мати на увазі, що фінансові ресурси на ремонти доріг складаються виключено з бюджетних коштів, то для народного господарства і суспільства важливо ремонтувати в першу чергу ті дороги, ремонт яких приведе до найбільшого зниження транспортних витрат. Таким чином, критерієм оптимального планування обмежених фінансових ресурсів є максимізація різниці транспортних витрат до та після ремонтів або реконструкції.

Ефективність капітальних вкладень в ремонт оцінюють за коефіцієнтом ефективності E_i і терміном окупності T_i для кожної ділянки i доріг в множині ділянок, котрі потребують ремонту:

$$E_i = (P'_i - P''_i) / C_i; \quad T_i = 1 / E_i, \quad (1.3)$$

де P'_i , P''_i - відповідно середньорічні транспортні витрати на ділянці i до та після ремонтів, C_i - витрати на ремонт ділянці i .

Ділянки доріг, що підлягають ремонту, ранжирують за коефіцієнтом ефективності E_i з тим, щоб встановити список, впорядкований по значущості для народного господарства і суспільства тих ділянок доріг, ремонт яких приведе до найбільшого зниження транспортних витрат. Таким чином на перше місце ставиться та ділянка, для якої коефіцієнту ефективності E_i найбільший (а термін окупності найменший) і т.д. для всіх ділянок, а на останнє місце - ділянка, для якої коефіцієнту ефективності E_i найменший (а термін окупності найбільший).

Підсумовуються накопичувальним підсумком витрати на ремонт за ранжируванням списком доріг. В кожному рядку списку порівнюють значення накопичених витрат з рівнем фінансування і якщо одне дорівнює другому, то тим самим знайдено той рядок в

списку, який визначає останню ділянку доріг в списку, на яку ще вистачить коштів на відповідний ремонт або реконструкцію.

5.1. Розрахунок транспортних витрат

Транспортні витрати в формулі (1.3) обчислюються за загальною формулою (до або після ремонту), як сумарні, приведені до базового року – року фінансування

$$P = \sum_{t=0}^{t=T} (P_{ymp,t} + P_{aem,t} + P_{nac,t} + P_{HC,t} + P_{ДТП,t}) \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (1.4)$$

де $P_{ytr,i}$, $P_{авт,i}$, $P_{пас,i}$, $P_{HC,i}$, $P_{ДТП,i}$ - відповідно витрати в рік t на утримання, перевезення вантажів та пасажирів, грошова оцінка втрат пасажирами часу в подорожі, втрат навколишнього середовища, втрат від ДТП,

E – нормативний коефіцієнт ефективності окупності бюджетних коштів в дорожній галузі,

T – термін підсумовування витрат, рівний нормативному строку служби дорожнього покриття або дорожнього одягу (відповідно в аналізі поточних або капітальних ремонтів).

Витрати на утримання ділянки дороги пропорційні її довжині l

$$P_{ymp} = c_{ymp} \cdot l \cdot k_j, \quad (1.5)$$

де c_{ytr} – питомі витрати на утримання залежно від типу покриття і категорії дороги, грн./км,

k_j – коефіцієнт підвищення витрат залежно від індексу експлуатаційного стану покриття.

Автотранспортна складова транспортних витрат розраховується за формулою на ділянці дороги довжиною l

$$P_{aem} = 365 N_t l \cdot k_e \cdot s, \quad (1.6)$$

де N_t – інтенсивність транспортного потоку в рік t , авт/добу,

k_e – коефіцієнт впливу дорожніх умов (експлуатаційного стану дороги) на собівартість перевезень s грн./(авт.км),

Інтенсивність транспортного потоку в рік t прогнозується за формулою

$$N_t = N_o (1 + p/100)^t, \quad (1.7)$$

де N_o – інтенсивність в рік планування, авт/добу,
 p – щорічний приріст інтенсивності, %.

Собівартість перевезень складається зі змінних (паливо, знос шин, ремонт і обслуговування автомобіля, витрати на амортизацію і відновлення автомобіля) і постійних (накладних) витрат, та заробітної плати водія. Собівартість перевезень залежить від швидкості руху, яка підвищується після ремонтів, за формулою

$$s = k_e \cdot \sum_m p_m (a_m + (b_m + d_m)/v), \quad (1.8)$$

де k_e – коефіцієнт впливу дорожніх умов на собівартість перевезень,

a_m, b_m – відповідно, змінні, грн./(авт.км), і постійні витрати, грн./(авт. година), для автомобіля типу m ,

d_m – заробітна плата водія, грн./(авт. година),

v – швидкість транспортного потоку в рік t , км/годину.

Коефіцієнт впливу дорожніх умов, які покращуються після ремонтів, на собівартість перевезень залежить від індексу експлуатаційного стану j дороги

$$k_e = 1 + 0.0375(10 - j). \quad (1.9)$$

В розрахунках транспортних витрат використана середньорічна експлуатаційна швидкість руху транспортного потоку v_ϕ і нормативна швидкість руху v_H . Швидкість v_ϕ і індекс j стану дороги зв'язані залежністю, що приведена в табл. 1.11.

Таблиця 1.11 – Залежності відношення v_ϕ / v_H від індексу j

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
v_ϕ / v_H	0.10	0.22	0.30	0.50	0.70	0.85	0.90	0.95	0.98	1.00

Експлуатаційна швидкість v_ϕ в порівнянні з проектною розрахунковою швидкістю $v_{пр}$ (залежно від категорії дороги: 150, 120, 100, 80 тощо км/годину) суттєво знижується: 1) із ростом інтенсивності руху, 2) під впливом погодно-кліматичних чинників,

таких як туман, дощі, снігопад, ожеледиця тощо. Тому нормативна швидкість руху v_n , як середнє значення експлуатаційної швидкості протягом року, прийнята залежно від категорії дороги (км/годину): I – 80, II – 60, III – 55, IV – 35, V – 25 (за умовою відмінних дорожніх умов, тобто $j = 10$ - за даними проф. О.П.Васильєва),

Втрати, пов'язані з перебуванням пасажирів в дорозі оцінюються за формулою

$$C_{нас} = 365c_{тв}l \left(\frac{N_{нас}m_{нас}}{V_{нас}} + \frac{N_l m_l}{V_l} \right), \quad (1.10)$$

де $c_{тв}$ - середня величина втрат з розрахунку на 1 годину перебування в дорозі, включаючи втрати від транспортної втомленості пасажирів (0,5 - 1 грн.);

$P_{нас}$ - середня кількість пасажирів в автобусі;

$N_{нас}$ - інтенсивність автобусів, авт/добу;

$V_{нас}$ - швидкість руху автобусів, км/годину;

P_l, N_l, V_l - відповідні значення для легкових автомобілів.

Збиток навколишньому середовищу, заподіяний автотранспортом, розраховується за емпіричними формулами в залежності від категорії дороги і індексу j експлуатаційного стану.

Грошова оцінка втрат від ДТП на 1 км дороги знаходиться за формулою

$$C_{дтп} = B \times m_{дтп} \times c_{дтп}, \quad (1.11)$$

де B – щорічний пробіг автомобілів на ділянці l км, млн. авт.км;

$m_{дтп}$ – кількість ДТП на 1 млн. авт.км;

$c_{дтп}$ – грошова оцінка втрат від одного ДТП, тис. гривень.

Витрати C_i в формулі (1.3) на ремонт (поточний, або капітальний) кожній ділянці дороги пропорційні її довжині l аналогічно за формулою (1.5):.

Задача оптимізації планування обмежених фінансових ресурсів розв'язується за допомогою програми **ПЛАН**, див. рис. 1.5, розробленій в ХНАДУ за завданням «УкрАвтоДору» для використання в практичній роботі структурних підрозділів дорожньої галузі.

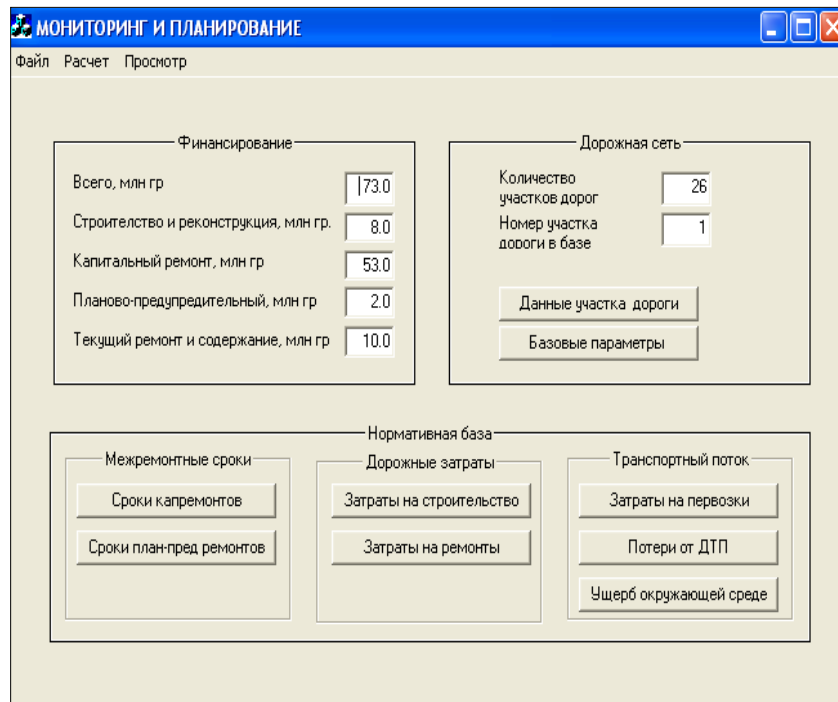


Рис. 156 – Головне вікно програми «ПЛАН»

5.2. Склад алгоритму моделювання стану мережі доріг райавтодору або облавтодору при недостатньому фінансуванні

Алгоритм моделює функціонування мережі доріг райавтодору (облавтодору) при недостатньому фінансуванні і включає дії:

- 1) скласти список ділянок доріг даної мережі та встановити для них параметри технічного рівня та експлуатаційного стану,
- 2) обґрунтувати для кожної дроги необхідність реконструкції, капітального або планово-попереджувального (поточного) ремонту за показниками експлуатаційного стану,
- 3) обчислити витрати на реконструкцію або ремонт ділянок доріг по відповідним питомим показникам,
- 4) встановити підвищений індекс експлуатаційного стану кожної дороги після реконструкції або відповідного ремонту;
- 5) прогнозувати:
 - a. зростання інтенсивності і швидкості руху,
 - b. зниження індексу експлуатаційного стану в часі;
 - c. зміну щорічних транспортних витрат, що ростуть в часі, за період міжремонтного терміну до ремонту та після ремонту, відповідно до експлуатаційного стану дороги;

- 6) обчислити для кожної дороги коефіцієнти економічної ефективності і терміни окупності витрат на реконструкцію або ремонт;
- 7) ранжирувати список доріг за показниками економічної ефективності;
- 8) ранжований список обмежити за величиною недостатніх фінансових ресурсів на реконструкцію і ремонтні роботи на мережі доріг у даний рік.

Питання по контролю та самоконтролю знань

1. Яка кількісна та якісна структура державних та місцевих доріг загального користування.
2. Обґрунтуйте основні принципи планування обмежених фінансових ресурсів на ремонт та реконструкцію доріг.
3. За якою залежністю визначається довжина доріг, яка щороку потребує капітальних (поточних) ремонтів.
4. За якою залежністю визначається довжина недоремонтованих доріг внаслідок недостатнього фінансування.
5. Як впливають міжремонтні строки служби дорожніх одягів (покриттів) на сумарну довжину доріг, яка щороку потребує капітальних (поточних) ремонтів.
6. Які два основні методи оцінки експлуатаційного стану автомобільних доріг застосовують в дорожніх організаціях.
7. За якими показниками оцінюють експлуатаційний стан автомобільних доріг для планування ремонтів.
8. Наведіть основні принципи складання шкали експертної оцінки експлуатаційного стану дороги.
9. За якими граничними значеннями індексу експлуатаційного стану дороги обґрунтовується необхідність капітального або поточного ремонту дороги.
10. Обґрунтуйте критерій оптимального планування обмежених фінансових ресурсів на ремонт доріг.
11. Приведіть основні залежності обчислення транспортних витрат.
12. Проаналізуйте результати планування в програмі ПЛАН.

ТЕМА №2

ПРОГНОЗУВАННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ МЕТОДОМ ЯКНАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ

1. Залежності зміни в часі інтенсивності руху.
2. Перетворення криволінійної залежності в прямолінійну,
3. Прогнозування методом найменших квадратів.
4. Оцінка похибки прогнозування і довірчих границь прогнозу інтенсивності.

1. Обґрунтування залежності зміни в часі інтенсивності руху.

Прогнозування інтенсивності руху транспортних потоків є типовою задачею проектування та експлуатації автомобільних доріг. Прогнозування базується на даних обліку руху, в основному, на хронологічних таблицях середніх за рік значень добової інтенсивності.

Типові залежності зміни в часі інтенсивності руху:
геометрична прогресія

$$N_t = N_o \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^t, \quad (2.1)$$

проста прогресія

$$N_t = N_o \left(1 + t \cdot \frac{p}{100}\right), \quad (2.2)$$

де N_t – інтенсивність в рік t , авт/добу,

N_0 – інтенсивність в початковий рік обліку ($t = 0$), авт/добу,

p – темп зростання інтенсивності руху, середній за час обліку, %.

Частіш за все вибирають як типову залежність (2.1), що відповідає закону розширеного відтворювання в сучасній економіці.

2. Перетворення криволінійної залежності в прямолінійну

Для спрощення операцій прогнозу частіше за все криволінійну залежність (2.1) перетворюють в прямолінійну логарифмуванням:

$$y_t = a + b \cdot t, \quad (2.3)$$

де $y_t = \lg N_t$, $a = \lg N_0$, $b = \lg(1+p/100)$.

Далі за координатами t , y_t будують точки даних обліку інтенсивності по рокам. За допомогою прозорої лінійки по точкам будують пряму лінію, яка, за думкою прогнозіста, найближча до даних обліку.

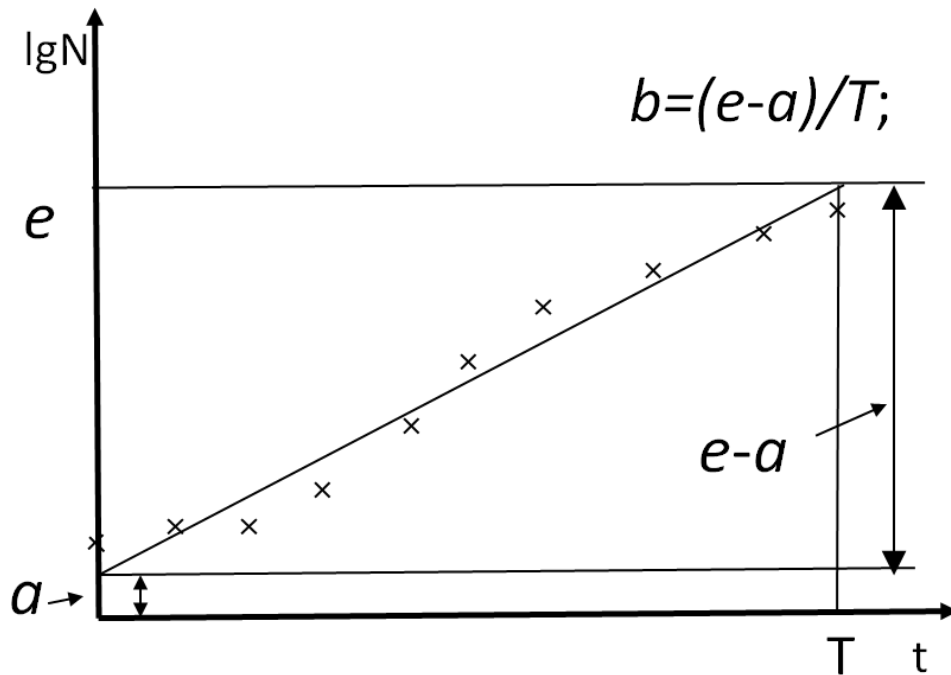


Рис. 2.1 Сутність графоаналітичного методу

На вісі y пряма лінія відсікає відрізок a . Замірюють a і знаходять

$$N_0 = 10^a. \quad (2.4)$$

Невідомий ще коефіцієнт b в рівнянні (3.3) – це тангенс кута між прямою лінією та віссю t . В межах часу обліку катет зазначеного кута, тобто b знаходять так як показано на рис. 2.1. Потенціювання залежності $b = \lg(1+p/100)$ в (3.3) дає формулу для темпу зростання інтенсивності

$$\left(1 + \frac{p}{100}\right) = 10^b. \quad (2.5)$$

Таким графоаналітичним методом знаходять параметри N_0 і $(1+p/100)$ для прогнозування інтенсивності.

Перевагою методу є його простота, а недоліком - суб'єктивність, від якого вільний метод найменших квадратів.

3. Прогнозування методом найменших квадратів

Систему рівнянь мінімізації відхилень даних обліку інтенсивності від теоретичній залежності складають за методом Гауса таким чином. При кількості n років обліку сума квадратів відхилення даних обліку інтенсивності від теоретичній залежності

$$\Phi(a,b) = \sum_{t=0}^m (\lg N_t - a - b \cdot t)^2, \quad (2.6)$$

де $m = n - 1$.

Для мінімізації відхилень даних обліку інтенсивності від теоретичній залежності диференціюємо (2.6) по невідомим параметрам a та b і прирівнюємо похідні нулю

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi(a,b)}{\partial a} = -2 \sum_{t=0}^m (\lg N_t - a - b \cdot t) = 0 \\ \frac{\partial \Phi(a,b)}{\partial b} = -2 \sum_{t=0}^m (\lg N_t - a - b \cdot t) \cdot t = 0 \end{cases} \quad (2.7)$$

або

$$\begin{cases} B - n \cdot a - b \cdot A = 0 \\ D - a \cdot A - b \cdot C = 0, \end{cases} \quad (2.8)$$

де $m = n - 1$, $A = \sum_{t=0}^m t$, $B = \sum_{t=0}^m \lg N_t$, $C = \sum_{t=0}^m t^2$, $D = \sum_{t=0}^m (t \cdot \lg N_t)$.

Рішення (2.8) дає формули для розрахунку параметрів a та b

$$a = \frac{DA - BC}{A^2 - Cn}, \quad b = \frac{BA - Dn}{A^2 - Cn}. \quad (2.9)$$

Потенціюванням за формулами (2.4, 2.5) знаходять значення параметрів, при яких дані обліку інтенсивності руху найближчі до теоретичної кривої (2.1).

Розрахунки прогнозу інтенсивності виконують в програмі *EXCEL*. Таблицю в *EXCEL* для розрахунків і прогнозування складають у формі таблиці 2.1. За формулами (2.9) і (2.4), (2.5) знаходять параметри a , b , N_0 , p , а за формулою (2.1) складають прогноз.

Таблиця 2.1 – Дані обліку і розрахунок коефіцієнтів в системі (2.8)

Роки	Інтенсивність N_ϕ , авт/добу	t_i	$lg N_\phi$	t^2	$t_i \cdot lg N_\phi$	Інтенсивність за формулою (2.1)
1	2	3	4	5	6	7
1993	2039	0	7,62	0	0	2057
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
2007	2631	14	7,875	196	110,25	2641
		A	B	C	D	

4. Оцінка похибки прогнозування і розрахунок довірчих границь прогнозу інтенсивності.

Розрахунки прогнозованої інтенсивності на будь який майбутній рік за формулою (2.1) не є остаточними, тому що в кожній рік прогнозування інтенсивність може бути як більш, так і менш того значення, який прогнозується за цією формулою. Тому, прогнозуючи, необхідно оцінювати верхню та нижню границі можливих значень інтенсивності, оцінювати довіру до прогнозу і його похибку. Неминуча похибка прогнозу обумовлена як похибками обліку руху на протязі року, так і коливанням в майбутньому розвитку економіки району тяжіння до дороги та суспільства в цілому. Таким чином, необхідно враховувати, що інтенсивність у будь який рік є випадковою величиною. Розподіл імовірностей інтенсивності руху, як випадкової величини, навколо

середнього за рік добового значення N_{cp} показано на рис. 2.2 і описано за Гаусом функцією f

$$f = \frac{1}{m\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(N-N_{cp})^2}{2m^2}} \quad (2.10)$$

де m – середньо-квадратична похибка (СКП).

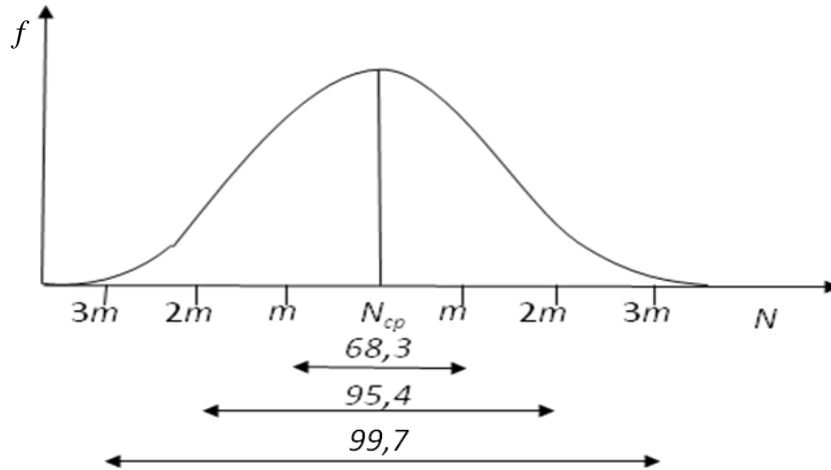


Рис. 2.2 Функція f щільності імовірностей інтенсивності руху, як випадкової величини

Враховуючи, що в межах від $(N_{cp} - 3 m)$ до $(N_{cp} + 3 m)$, як на рис. 2.2, знаходяться 99,7 % усіх можливих в де який рік середньорічних значень інтенсивності, СКП оцінюють за так званим правилом «три сигма». Для цього оцінюють розмах R коливань інтенсивності і приймають, що $m \approx R / 6$. Розмах R знаходять як максимальне відхилення даних обліку інтенсивності від теоретичної залежності: $R \approx d_2 + d_2$, рис. 2.2.

В подальшому, для будь якого року мінімальну N_{min} та максимальну N_{max} інтенсивності, як довірчі границі прогнозу, знаходять за формулами

$$N_{min} = \bar{N}_t - k \cdot m, \quad N_{max} = \bar{N}_t + k \cdot m, \quad (2.11)$$

де \bar{N}_t – середнє за формулою (2.1) значення інтенсивності руху в рік t , авт/добу,

k – коефіцієнт, якій залежить від обраної вірогідності p довіри до прогнозу (1, 1.96, 3 якщо p відповідно дорівнює 66 %, 95 %, 99.7 %)

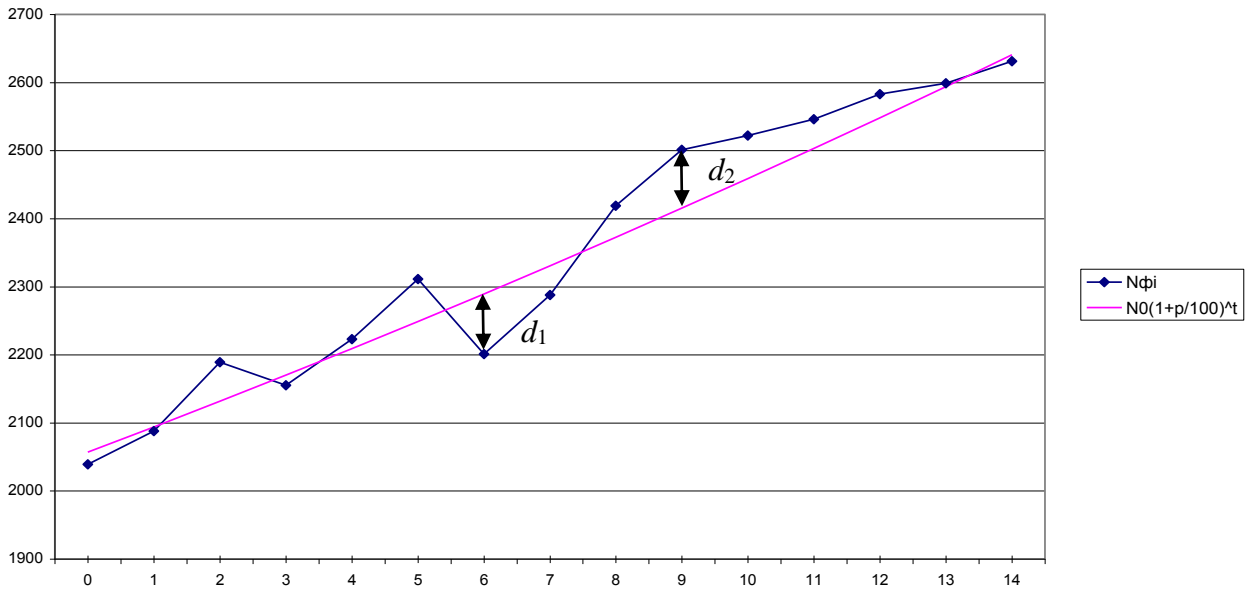


Рис. 2.3 – Дані обліку інтенсивності і теоретична крива

Остаточний прогноз інтенсивності руху N_t на рік $T_{кр}$ першого капітального ремонту після кінця обліку з вірогідністю $p = 95\%$ довіри до прогнозу складають у вигляді нерівності

$$N_{\min} \leq N_{T_{кр}} \leq N_{\max} \quad (2.12)$$

Зверніть увагу, що з підвищенням вірогідності p довіри до прогнозу довірчі межі прогнозу суттєво розширюються.

Студенти опановують методику прогнозу інтенсивності руху методом найменших квадратів за індивідуальними даними обліку руху, склавши самостійно комп'ютерну програму з використанням стандартної системи *EXCEL* у відповідній лабораторній роботі.

Питання по контролю та самоконтролю знань

1. Приведіть основні приклади прогнозування інтенсивності руху в задачах проектування та експлуатації автомобільних доріг
2. Приведіть основні положення методики прогнозування інтенсивності руху транспортних потоків.
3. Приведіть основні формули прогнозування інтенсивності руху транспортних потоків.
4. Обґрунтуйте доцільність використання методу якнайменших квадратів для прогнозування інтенсивності транспортних потоків.
5. Опишіть основні процедури виконання прогнозування інтенсивності руху з використанням програми *EXCEL*.
6. Як оцінити середньо-квадратичну похибка (СКП) методу прогнозування інтенсивності руху транспортних потоків?
7. Як залежать границі прогнозу від вірогідності довіри до нього?
8. Обґрунтуйте необхідність прогнозування інтенсивності у вигляді нерівності (2.12).
9. Виконайте прогноз з особистими даними за формулою (2.12) з вірогідністю довіри до прогнозу 95%.
10. Обґрунтуйте, чому з підвищенням вірогідності p довіри до прогнозу довірчі границі прогнозу суттєво розширюються.
11. Обґрунтуйте, чому зі звуженням границь прогнозу вірогідність p довіри до прогнозу суттєво знижується.

ТЕМА №3

ОЦІНКА ТРАНСПОРТНО–ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ АВТОМОБІЛІВ ТА ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

1. Вирішення проблем обчислення транспортно-експлуатаційних характеристик в задачах обґрунтування ремонтів та реконструкції доріг.

2. Показники технічного рівня дороги та експлуатаційного стану в рівняннях режимів руху автомобілів.

3. Алгоритм імітаційного моделювання режиму руху автомобіля.

4. Алгоритм обчислення швидкості руху.

5. Моделювання режиму руху транспортних потоків.

6. Алгоритм обчислення пропускної здатності дороги.

7. Комп'ютерна програма оцінки транспортно – експлуатаційних характеристик доріг по періодам року на основі моделювання руху автомобілів та транспортних потоків.

1. Вирішення проблем обчислення транспортно-експлуатаційних характеристик в задачах обґрунтування ремонтів та реконструкції доріг.

Однією з основних задач експлуатації автомобільних доріг є обґрунтування ефективності вкладення фінансових і інших ресурсів в ремонті і реконструкцію. Ці обґрунтування включають аналіз транспортно-експлуатаційних характеристик доріг і показників руху транспортних потоків (ТП) і типових автомобілів. Зазначений аналіз ускладнюється наступними проблемами.

Проблема 1: Велика кількість показників технічного рівня (ТР) та експлуатаційного стану (ЕС) доріг і їх зміна по періодах року.

Проблема 2: Необхідно моделювати режими руху:

1) всіх автомобілів, що входять до складу ТП,

2) для всіх точок (ПК) дороги із різними дорожніми умовами.

Обчислюючи показники руху ТП і типових автомобілів, їх слід інтегрувати по всіх автомобілях, що входять до складу ТП. Автомобілі відрізняються за конструкцією, вагою, потужністю двигунів, водії - за віком, досвідом, метою поїздки тощо. В одній і тій же точці дороги режим рух автомобілів навіть однієї моделі може бути різним.

Проблема 3: Складність взаємозв'язків між елементами системи «Дорога - Водій - Автомобіль» (Д-В-А) навіть при порівняно незмінних параметрах ТР і ЕС.

Параметри елементів системи Д-В-А мають різну природу.

Параметри, що належить елементам В та А, сформовані складом і інтенсивністю транспортних потоків і особливостями сприйняття водіями дорожньої обстановки під час вибору режимів руху.

Параметри елемента Д - це показники ТР та ЕС дороги, які детально вивчають саме в курсах експлуатації доріг.

Проблема 4: Складність і слабка вивченість перехідних процесів у системі Д-В-А при переходах від однієї ділянки дороги до іншої.

Загально визнаним методом вирішення зазначених проблем метод імітаційного моделювання. У цьому методі досліджуються ті залежності показників режимів руху від параметрів дороги, автомобіля, оточуючої середовища, які важко виявити аналітичним шляхом у вигляді явних формул.

Режими руху значно змінюються під час складних погодно кліматичних умовах, в різні періоди року. Саме ці обставини диктують необхідність імітації процесів взаємодії елементів системи Д-В-А взаємозв'язаними математичними моделями і відповідними алгоритмами і комп'ютерними програмами, розробка яких і складає зміст імітаційного моделювання.

Аналізуючи процеси взаємодії між елементами системи Д-В-А, доцільно виділити саме ті показники технічного рівня і показники експлуатаційного стану, які повинні підтримуватися на нормативному рівні і вдосконалюватися дорожньо-експлуатаційною службою.

2. Показники технічного рівня дороги та експлуатаційного стану в рівняннях режимів руху автомобілів.

Для вирішення задач експлуатації доріг виділені як основні наступні режими руху автомобіля:

- тягове зусилля,
- накат,
- гальмування колісними гальмами,
- гальмування двигуном,
- сумісне гальмування.

Кожен режим характеризується власним диференціальним рівнянням руху. Рішення рівняння дозволяє знайти основні характеристики руху: швидкість і прискорення (уповільнення), частоту двигуна, витрату палива, викид шкідливих речовин тощо. Ці найважливіші характеристики різні в різних точках дороги і в різні періоди її експлуатації, і залежать від показників технічного рівня, експлуатаційного стану, параметрів інженерного обслуговування і облаштування дороги. Таким чином, для прогнозування транспортно-експлуатаційних характеристик доріг і планування експлуатаційних заходів необхідно моделювати режими руху типових автомобілів і транспортних потоків.

Показники руху формуються на кожній ділянці автомобільної дороги залежно від показників ТР та ЕС. Наприклад, суттєво змінюються ці показники на ділянках великих дорожніх опорів, тобто на крутих і довгих підйомах. Саме на цих ділянках водій вимушений перемикається на знижені передачі і рухатися з малою швидкістю, але з напруженим режимом руху: кут відкриття дросельної заслінки великий, обороти двигуна високі, витрата палива підвищена, великі викиди відпрацьованих газів з багатьма шкідливими речовинами. Значна частина витрат по шинах формується як на підйомах, так і на спусках, на яких виникають великі тягові та гальмівні зусилля і відповідні моменти, що приводять до підвищеного зносу шин. Підвищується знос деталей та зростають витрати на утримання та ремонт автомобілів внаслідок руху на знижених передачах з високими оборотами двигуна по ділянках дороги з підвищеними дорожніми опорами (великий ухил і підвищена нерівність дорожнього покриття).

На відміну від показників ЕС показники ТР в основному постійні, наприклад, геометричні параметри дороги. Але частина з них змінюється в процесі експлуатації дороги. Так, відстань видимості поліпшується при санітарних рубках лісосмуг, але може суттєво зменшитися під час туманів, снігопадів, сильних злив.

Частина параметрів змінюється по сезонах року. Наприклад, ефективна (та, що використовується водієм) ширина проїзної частини змінюється як по періодах року, так і в разі різного рівня утримання дороги, який в свою чергу залежить від оснащеності дорожньої організації ресурсами на утримання дороги: фінанси, матеріали, машини, кадри.

Досліджуючи рівняння руху із різними режимами, виділимо, по-перше, ті показники ТР дороги, які явно присутні у цих рівняннях. По-друге, в рівняннях руху виділимо ті складові, на які показники ТР впливають не явно.

Наприклад, дослідимо таким чином рівняння руху при тяговому режимі

$$P_k = Gi + G(f_o + \alpha S_p v^2) + K_w v^2 + \delta_k jG / g, \quad (3.1)$$

де v – швидкість, м/с;

j - прискорення, м/с²;

g - прискорення сили тяжіння, м/с²;

G - вага автомобіля, Н;

δ_k - коефіцієнт обліку інерції мас, що обертаються, під час руху на передачі k ;

i - поздовжній ухил, частки одиниці;

f_o - коефіцієнт опору коченню з малою швидкістю (до 20 км/год) по рівному дорожньому покриттю;

α - коефіцієнт жорсткості підвіски автомобіля, км·с²/(см·м²)

S_p – показники поштовхоміру, см/км;

K_w - коефіцієнт обтічності автомобіля, Н·с²/м²;

P_k - тягова сила на передачі k , Н.

Вираз в скобках – це (по О.К.Біруля, ХНАДУ) коефіцієнт опору коченню зі швидкістю v по нерівному дорожньому покриттю з показниками поштовхоміру S_p . До параметрів ТР слід віднести i та f_o , а до параметрів ЕС - величину S_p .

Якщо розглянути рівняння руху з накатом або з гальмуванням, то в них також присутні в явному вигляді ці три показники.

$$0 = Gi + G(f_o + \alpha S_p v^2) + K_w v^2 + \delta_k jG / g + P_T, \quad (3.2)$$

Нуль зліва проставлено для того, щоб показати, що в зазначених режимах сила тяги двигуна відсутня. Сила гальмування P_T залежить від важливого показника ЕС - коефіцієнта зчеплення φ , та інтенсивності його використання - коефіцієнта γ , який суттєво залежить від параметрів ТР, які явно не входять в рівняння (3.1). Коефіцієнт γ дорівнює:

- 1 під час екстреного гальмування (наприклад, в аварійних ситуаціях) з максимальним використанням зчіпних властивостей проїзної частини,
- 0 – під час накату (наприклад, на повільному спуску),
- від 0 до 1 під час службового гальмування, якщо необхідно зменшити швидкість із зниженням видимості, під час в'їзду на криву малого радіусу, на перехрестя, звуження проїзної частини тощо.

На довгих спусках водій гальмує двигуном і тому в рівнянні (3.2) до сили гальмування P_T колісними гальмами додається сила $P_{тд}$ гальмування двигуном.

Проаналізуємо вираз сили тяги P_k та сили гальмування P_T , що входять в рівнянні (3.1) і (3.2):

$$P_k = \frac{M_e \cdot i_o \cdot i_k}{r_k} \eta_{mp}, \quad (3.3)$$

де M_e – потужність двигуна, яка необхідна для руху зі швидкістю v , i_o, i_k - відповідно передавальні числа головної і k -ї передачі;

$$P_T = \gamma \varphi G + P_{тд} \quad (3.4)$$

де γ - ступінь гальмування колісними гальмами,

φ - коефіцієнт зчеплення,

$P_{тд}$ - гальмівна сила двигуна на примусовому холостому ході, Н.

В цих останніх рівняннях в явному вигляді ні параметри ТР, ні параметри ЕС (зокрема φ) явно не присутні. Але сили P_k та P_T регулюються водієм залежно від дорожньої обстановки, від значень більшості параметрів дороги ТР і ЕС, тобто і, наприклад, від φ .

Аналіз рівняння (3.1) приводить до висновку, що об'єктивно існує залежність

$$M_e = \psi_1(TP, \mathcal{E}C), \quad (3.5)$$

де TP - комплекс показників TP дороги;

EC - комплекс показників EC.

Таким чином, величину M_e слід розглядати як величину, яка регулюється водієм в залежності від TP та EC.

Аналогічно існує залежність для гальмівної сили

$$P_T = \psi_2(TU, \mathcal{E}C), \quad (3.6)$$

Навряд доцільно ставити задачу знаходження у явному виді залежностей ψ_1 і ψ_2 , оскільки, по-перше, в них дуже багато змінних (показників TU і EC) і, по-друге, ці залежності явно не функціональні, а носять стохастичний характер. Крім того, саме унаслідок регулювання цих сил водієм, процес сприйняття дорожніх умов водієм також стохастичний

В наслідок цих обставин доцільна імітація процесів взаємодії елементів системи Д-В-А взаємозв'язаними математичними моделями і відповідними алгоритмами імітаційного моделювання. В цих алгоритмах слід запропонувати деяке початкове наближення залежностей (3.5) і (3.6) в першій ітерації імітаційного моделювання з використанням результатів експериментальних досліджень. В подальших ітераціях початкове наближення уточнюють.

Наприклад, початкове наближення для залежності ψ_1 можна прийняти за пропозицією проф. М.Я. Говорущенко (ХНАДУ) щодо вибору водієм режиму руху згідно критерію оптимізації роботи автомобільного двигуна. Згідно цьому критерію водію рекомендується вибирати такий режим руху автомобіля, при якому швидкості приблизно рівні $0,77V_{\max}$ для завантажених і $0,66V_{\max}$ для порожніх автомобілів. Вказані значення оптимальних швидкостей набулі проф. М.Я. Говорущенко, який мінімізував витрати палива диференціюванням залежності витрати палива по швидкості і прирівнюванням одержаної похідної нулю. В дослідженнях використовувався швидкісний коефіцієнт K_c , рекомендований автомобільним заводом-виробником за критерієм стійкості роботи двигуна (коефіцієнт K_c рівний відношенню частоти обертання n_m ,

що відповідає максимальному моменту, до частоти n_N , відповідний номінальній потужності двигуна).

3. Алгоритм імітаційного моделювання режиму руху автомобіля

Найважливішим в транспортному процесі є режим тягового зусилля. Отже, алгоритм імітаційного моделювання режиму руху автомобіля, що враховує початкове наближення для залежності ψ_1 , будується в наступному вигляді.

1. Встановити робоче значення величини K_c (від 0.85 для доріг категорії I до 0.6 для категорії V) залежно від сукупності параметрів технічного рівня. Якщо кількість смуг більш або рівно 4, що може зустрітися і на дорогах II і навіть III категорії, то коеф. K_c слід призначати 0,85.

2. Встановити можливі обмеження швидкості основними елементами дороги (окрім поздовжнього ухилу), які визначають її технічний рівень. До таких елементів відносяться, в першу чергу: кривизна в плані, відстань видимості, ширина проїзної частини, ширина і тип узбіччя. Звичайно, в чистому виді жодний з цих елементів не визначає можливу швидкість руху на даній ділянці дороги. Всі показники TP і EC визначають режим руху в комплексі. Проте, прийнявши нормативні значення показників EC, можна виявити роль виділених вище елементів доріг у виборі водієм режиму і швидкості руху. Основні формули, за якими визначаються максимальні швидкості руху V_R і V_S в залежності відповідно від величини радіусу R кривої або видимості S проїзної частини (предмету на дорозі), відомі і тому тут не приводяться. Вплив ширини проїзної частини і узбіччя при встановленні максимальних швидкостей враховується за даними проф. О.П. Васильєва (МАДІ) з використанням так званих коефіцієнтів забезпечуваної розрахункової швидкості $K_{рш}$.

3. В моделі руху автомобілів різних типів максимальне значення швидкості, визначуване шириною проїзної частини, типом і шириною узбіччя (див. п.2) встановлюється таким чином (у м/с).

Для легкових автомобілів	$V_{\max} = 44,4 K_{рш}$,
для малих вантажних	$V_{\max} = 36,1 K_{рш}$,
для вантажних і автобусів	$V_{\max} = 33,3 K_{рш}$,

для автопоїздів

$$V_{\max} = 29,2 K_{\text{рш}}.$$

4. На спусках для усіх режимів руху максимальна швидкість встановлена відповідно до рекомендацій норм на проектування доріг:

$V_{\text{сп}} = 42$ м/с	якщо	$i > -45$ ‰
$V_{\text{сп}} = 33,3$ м/с	якщо	-46 ‰ $> i > -55$ ‰
$V_{\text{сп}} = 27,8$ м/с	якщо	-56 ‰ $> i > -65$ ‰
$V_{\text{сп}} = 22,2$ м/с	якщо	-66 ‰ $> i > -75$ ‰

5. Максимальна можлива швидкість руху, що обумовлена показниками ТР, встановлюється як мінімальне значення із зазначених раніше величин: V_R , V_S , V_{\max} , $V_{\text{сп}}$.

6. Відповідно до особливостей сприйняття водієм дорожньої обстановки встановлюється експлуатаційний режим руху автомобіля та вирішується рівняння його руху. Зокрема, режим тягового зусилля встановлюється при ухилах більш $i_{\text{ТЗ}}$. Величина $i_{\text{ТЗ}}$ відповідає типу автомобіля, його завантаженню (від - 28 ‰ до 60 ‰). При крутіших спусках, ніж $i_{\text{ТЗ}}$, залежно від відстані до кінця спуску встановлюється або режим гальмування колісними гальмами, або гальмування двигуном.

7. На ділянках тягового зусилля режим руху може бути:

- усталеним;
- рухом з обмеженою швидкістю V_{\min} (див. п.5);
- прискореним після закінчення ділянки з обмеженою швидкістю.

Моделюючи рух, у кожному з цих режимів знаходять:

- номер вибраної водієм передачі;
- ступінь дроселювання;
- прискорення j (dv/dt);
- швидкість v_2 (див. рис. 3.1 і далі розділ 6).

Якщо визначено рух з розгоном (після виїзду з ділянок дороги із забезпеченої малою швидкістю), то моделюється підвищене дроселювання з перемиканням від знижених передач до підвищених для досягнення сталого значення швидкості (для даних показників ТР). Якщо на ділянці завдовжки ΔS не буде досягнута стала швидкість, то розгін з перемиканням передач і підвищеним дроселюванням продовжується на наступній ділянці і т.д. Якщо ж в процесі розгону не буде досягнутий сталий режим, але зустрінеться

ділянка з обмеженою швидкістю V_{\min} , то остаточно встановлюється режим руху із швидкістю V_{\min} . Якщо ж в процесі розгону буде досягнута ділянка, на якій водій вибере пасивний режим руху, то переходять до пункту 8.

8. На ділянках руху накатом і з гальмуванням швидкість v_2 в кінці ділянки завдовжки ΔS знаходиться за алгоритмом розділу 6. На такій ділянці можливий також розгін після проїзду ділянок з обмеженою швидкістю (наприклад, кривої малого радіусу на спуску). Якщо на спуску встановлена необхідність розгону (наприклад, перед наступним підйомом), то швидкість v_2 обчислюється як швидкість під час тягового зусилля (див. п. 7). Розгін вважається закінченим, якщо під час розгону досягнута швидкість, яка відповідна значенню сталої швидкості на даній ділянці (тобто прискорення dv/dt досягло нуля).

4. Алгоритм обчислення швидкості руху.

Кожен режим руху визначається рівністю рушійних сил і сил опору руху, наприклад, так, як в (3.1), (3.2). Усі режими описуються одним і тим же видом диференційованого рівняння

$$dv/dt = av^2 + bv + c, \quad (3.7)$$

де c - коефіцієнт пов'язаний з поздовжнім ухилом i та частиною коефіцієнту опору руху f_0 , b - з силами тертя деталей автомобіля, a - з обтічністю автомобіля та втратою кінетичної енергії на нерівностях проїзної частини - див. формули (3.1), (3.2).

В формулі (3.7) dv/dt теж саме, що прискорення j в формулах (3.1), (3.2). Взагалі прискорення dv/dt навіть на малій ділянці довжиною ΔS дещо змінюється і тому самий графік швидкості – крива лінія, як це показано на рис. 3.1. Тобто, рух на ділянці довжиною ΔS – нерівномірно прискорений (нерівномірно уповільнений).

Інтегруючи рівняння (3.7), можливо знайти час руху по ділянці довжиною ΔS , а знаючи швидкість v_1 на початку ділянці, знайти v_2 в її кінці. Але це дещо довгий шлях. Спрощення розрахунків без чутливої втрати точності полягає в наступному, див. рис. 3.1.

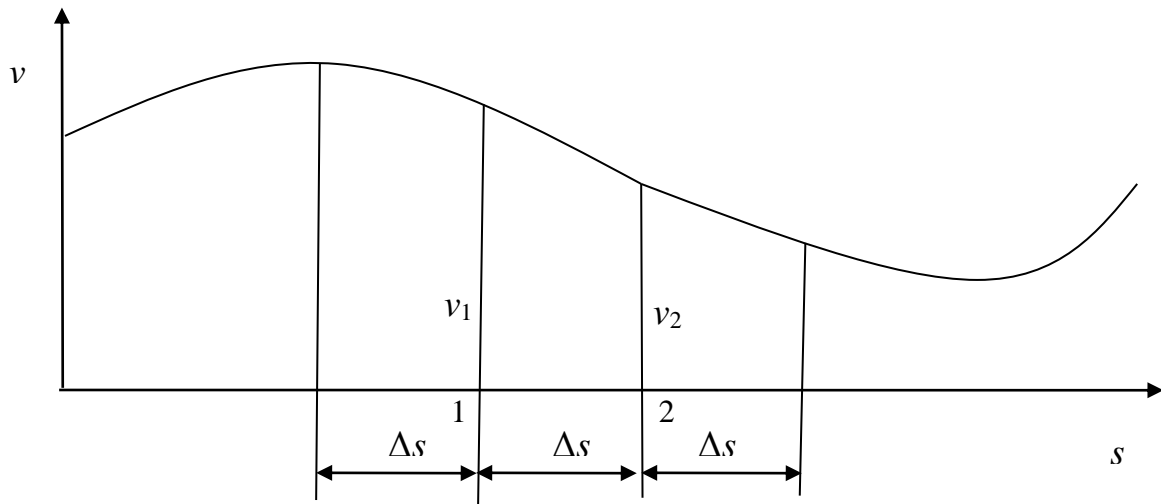


Рис. 3.1 Схема до розрахунку швидкості

Завжди можливо підібрати таку довжину ΔS (наприклад, 5, 10, 20 м), на якій прискорення dv/dt можна вважати постійним, тобто вважати рух автомобіля на цій ділянці від точки 1 до точки 2 рівномірно прискореним (уповільненим). І тоді швидкість v_2 знаходиться за звичайною формулою рівномірно прискореного (уповільненого) руху

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + 2j\Delta S}, \quad (3.8)$$

де j - середня величина прискорення (dv/dt) на ділянці ΔS .

Прискорення j (dv/dt) знаходять за формулою (3.7) після встановлення режиму руху та його параметрів в формулах (3.1) або (3.2). Є тільки одна проблема: щоб знайти прискорення j за цими формулами, треба знати середню швидкість v на ділянці ΔS , а на початку розрахунку в точці 1 відома тільки початкова швидкість v_1 . Ця проблема вирішується чисельним розв'язанням рівняння (3.7) за схемою Ейлера з перерахунком, тобто за декілька ітерацій.

Алгоритм обчислювання показано на рис. 3.2. Позначено: початкова швидкість v_1 – це швидкість в кінці попередній ділянці, u

- швидкість v_2 в кінці ділянки ΔS на попередній ітерації, v - середня швидкість на ділянці ΔS . На початку розрахунку (нульова ітерація) прийнято в блоці 3, що u та v дорівнюють початковій швидкості v_1 .



Рис. 3.2 - Схема алгоритму чисельного розв'язання рівняння (3.7) за схемою Ейлера з перерахунком

В блоці 4 середнє прискорення j розраховують за формулою(3.7), в якій v - середня швидкість на ділянці ΔS . З кожною ітерацією швидкість v_2 в кінці ділянці ΔS уточнюється. Тому в блоці 5 знаходять відхилення ε швидкості v_2 на даній ітерації від швидкості v_2 (u) на попередній ітерації, а в блоці 6 перевіряють, чи досягнута потрібна точність (наприклад, 5 %). Якщо потрібна точність досягнута, то ітераційний процес закінчують. Якщо ні, то в блоці 7 знов перераховують величини u (швидкість v_2 в кінці ділянці ΔS на попередній ітерації) та v (середня швидкість на ділянці ΔS); потім продовжують ітераційний процес уточнення швидкості v_2 , починаючи з блоку 4

Таким чином, у відповідності до вище зазначених залежностей формуються для кожної точки дороги режими руху автомобілів із бажаною швидкістю, що не обмежена зустрічним транспортним потоком, див далі рис. 3.3. Тому що динамічні можливості, експлуатаційний стан автомобілів, їх завантаженість, мета поїздки, кваліфікація водія самі різні, то навіть для однієї і тієї ж моделі автомобіля в одній і тій же точці дороги швидкості будуть різні і розподілені біля середнього значення за вірогідними залежностями. Результати розподілу швидкостей під час вільного руху усіх автомобілів, що входять до складу транспортного потоку, є вихідними даними для моделювання вздовж дороги режимів руху транспортних потоків із розрахунковою інтенсивністю.

5. Моделювання режимів руху транспортних потоків.

Режими руху транспортного потоку.

Як відомо (див. структуру доріг України в лекції 1) довжина доріг II-V категорій складає для державних доріг 92%, а місцевих доріг майже 100%,. Тобто, майже усі дороги – це двосмугові дороги. На двосмугових дорогах самий складний маневр автомобілів в транспортному потоці це обгін з виїздом автомобілю, що обганяє, на зустрічну смугу. Закінчивши обгін, водій повертається на свою смугу. Починаючи обгін водій оцінює, як далеко знаходиться зустрічний автомобіль. Водій починає обгін, якщо в зустрічному потоці є інтервал, достатній для виконання обгону. Якщо такого інтервалу нема, то водій не починає обгін, і вимушений знизити

швидкість до швидкості попереднього автомобіля. Якщо видимість зустрічної смуги мала, то водій не бачить зустрічного автомобіля, і теж не починає обгін.

Водій автомобіля 1, що хоче обігнати, за власним досвідом порівнює фактичну видимість $S_{\text{ф}}$ і ту мінімальну видимість $S_{\text{мін}}$, яка, на його розум, достатня для безпечного обгону. Водій автомобіля 1, що хоче обігнати, оцінює обгін, як безпечний, якщо на початку обгону видимість $S_{\text{мін}}$ зустрічного автомобіля 3 достатня для:

- 1) зміни своєї смуги на зустрічну,
- 2) об'їзду за час обгону автомобіля 2, який обганяють, і повернення на свою смугу,
- 3) певного запасу l_{13} перед зустрічним автомобілем 3, що швидко наближається.

Мінімальну видимість $S_{\text{мін}}$ знаходять як суму шляху обгону $S_{\text{об}}$ за час обгону $t_{\text{об}}$, запасної відстані l_{13} до зустрічного автомобіля в момент закінчення обгону, та шляху $S_{\text{зус}}$, що пройшов зустрічний автомобіль по своїй смузі за час обгону. Таким чином

$$S_{\text{мін}} = v_1 \cdot t_{\text{об}} + l_{13} + v_3 \cdot t_{\text{об}}, \quad (3.9)$$

де v_1 – швидкість автомобіля, що обганяє, м/с,

v_3 – швидкість зустрічного автомобіля, м/с/

При обґрунтуванні заборону обгону звичайно приймають швидкість v_1 автомобіля 1 на 20-30% вище розрахункової швидкості для даної дороги, швидкість v_3 зустрічного автомобіля 3 - рівній розрахунковій швидкості, час обгону ≈ 10 с, запас $l_{13} \approx 30-50$ м.

Наприклад, для дороги 3-ої категорії з розрахунковою швидкістю 100 км/год (28 м/с) $S_{\text{мін}} \approx 750$ м.

Чинні ДБН В.2.3-4-2007 «Автомобільні дороги» суттєво занижують нормативну найменшу видимість зустрічного автомобіля величиною 350 м. Обґрунтовується ця величина схемою перерваного обгону, в якій водій автомобіля 1 в разі небезпеки не закінчує обгін, а повертається на свою смугу. Для цього він гальмує на смузі зустрічного руху і пропускає вперед автомобіль 2, якого не зміг обігнати. А своя смуга може вже бути зайнята автомобілем 4, якій на початку цього невдалого обгону був позаду за автомобілем 1, але вже догнав автомобіль 2 і дистанція між автомобілями 4 та 1

може бути вже мала для повернення автомобіля 1. Такі маневри на двох-смуговій дорозі небезпечні і часто ведуть до ДТП.

Усі зазначені ситуації мають місце для будь якого автомобіля транспортного потоку, і завдяки цьому на двосмугових дорогах складаються наступні режими руху, див. рис. 3.3:

- 1) стаціонарний,
- 2) перехідний без обгонів,
- 3) перехідний з обгонами.

Режиму руху транспортного потоку 1, 2, 3 повторюються відповідно до дорожніх умов, що формуються на дорозі залежно від параметрів технічного рівня та організації руху технічними заходами, переважно, розміткою та дорожніми знаками.

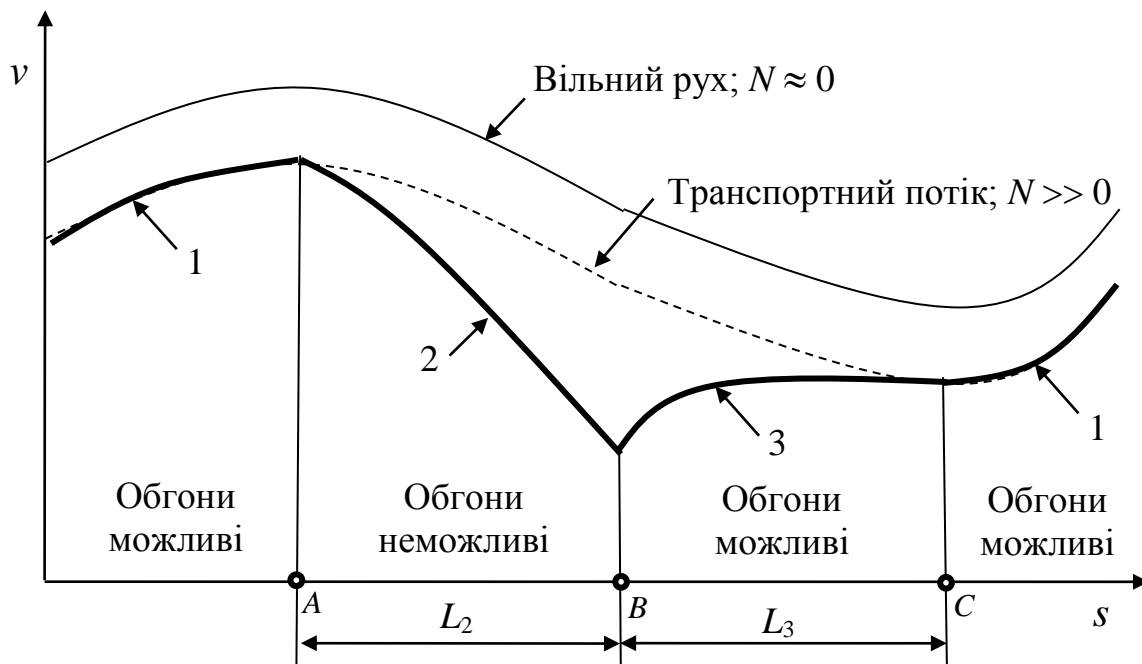


Рис. 3.3 – Графіки швидкості та режими руху транспортного потоку

Стаціонарний режим (1) має місце на ділянках із видимістю дороги і зустрічних автомобілів, яка достатня для обгонів. Кількість обгонів під час стаціонарного режиму обмежена тільки інтенсивністю зустрічного потоку, так як із її зростанням зменшується можливість обгону, кількість, вірогідність інтервалів в зустрічному потоці, які достатні для обгонів.

Загальна швидкість транспортного потоку зменшується приблизно лінійно пропорційно загальній інтенсивності потоку.

Режим перехідний без обгонів (2) має місце на тих ділянках дороги, на яких обгони неможливі внаслідок малої видимості (наприклад, на кривих малого радіусу в плані із малими відстанями до зелених насаджень, огорож, будівель тощо, або на опуклих вертикальних кривих) або на ділянках, на яких обгони заборонені правилами дорожнього руху (із відповідною розміткою, дорожніми знаками).

Режим перехідний без обгонів, що почався в точці *A*, закінчується в точці *B* із появою можливості обгонів.

Режим перехідний з обгонами (3) починається відразу ж після режиму (2) в точці *B*.

Із появою можливості обгонів водії починають реалізувати «відкладені» обгони. Майже усі обгони – це обгони «з чеканням». Обгін виконують із прискоренням до швидкості (яка часто перевищує v_1). Тому що кількість «відкладених» обгонів значна, і тому, що час руху з малою швидкістю в чергах за тихохідними автомобілями великий, водії реалізують обгони, вибираючи в зустрічному потоці менші інтервали, ніж в стаціонарному режимі, і це знижує безпеку руху.

6. Комп'ютерна програма оцінки транспортно-експлуатаційних характеристик автомобільних доріг по періодам року на основі моделювання руху автомобілів та транспортних потоків.

Програми для ЕОМ *Road_0* і *Road_1* розроблені на кафедрі будівництва і експлуатації автомобільних доріг ХНАДУ для оцінки транспортно – експлуатаційних характеристик автомобільних доріг по періодам року при вирішенні завдань планування робіт по експлуатації доріг та їх ремонту і реконструкції. В математичних моделях програм «*Road_0* і «*Road_1*» використані результати досліджень МАДІ, КАДІ і ХАДІ, наукових шкіл професорів В.Ф.Бабкова, О.К.Біруля, О.П.Васильєва, Є.М.Лобанова, В.В.Сильянова, В.В.Філіппова, Я.В.Хомяка і ін.

Моделювання полягає в імітації руху розрахункового транспортного потоку в тих дорожніх умовах, які визначені:

- технічним рівнем дороги, обумовленим проектним рішенням та його реалізацією при будівництві,
- експлуатаційним станом дороги в різні погодно-кліматичні періоди її служби, та зміною цього стану в часі експлуатації та після ремонтів,
- технічними засобами організації дорожнього руху,
- складом і інтенсивністю транспортних потоків.

Транспортно – експлуатаційні характеристики автомобільних доріг оцінюють по системі показників - результатам моделювання режимів руху транспортних потоків.

Техніко-економічні показники включають:

- максимальну швидкість одиночного автомобіля, вибраного в якості розрахункового при повному використуванні потужності двигуна, з обмеженням швидкості елементами дороги і дорожньої обстановки - для оцінки відповідності технічного рівня дороги вимогам ДНБ по розрахунковій швидкості,
- швидкість основних типів автомобілів транспортного потоку, у тому числі автобусів і автопоїздів, середню швидкість і час руху транспортного потоку - для вирішення задач організації руху,
- витрати на перевезення вантажів і пасажирів (паливо, шини, ремонт автомобіля і інші) - для техніко-економічної оцінки ефективності капітальних вкладень в будівництво, ремонти та реконструкцію доріг,
- епюри видимості дороги і автомобіля, у тому числі окремо в плані і в профілі - для оцінки відповідності проектного рішення вимогам ДБН по видимості.

Безпеку руху оцінюють за методом проф. В.Ф.Бабкова (МАДІ):

- за коефіцієнтами безпеки, на основі епюри максимальної швидкості одиночного автомобіля, вибраного як розрахункового,
- за коефіцієнтами аварійності.

Екологічні та енергетичні показники включають:

- епюри витрат палива та епюри емісії шкідливих речовин відпрацьованих газів автомобілів транспортного потоку,
- рівень концентрації шкідливих речовин в придорожньому просторі.
- розподіл рівня транспортного шуму поблизу дороги.

Студенти опановують методику моделювання за індивідуальними даними режимів руху транспортних потоків комп'ютерними програмами *Road_0* і *Road_1* у відповідній лабораторній роботі.

Питання по контролю та самоконтролю знань

1. Приведіть основні положення оцінки транспортно – експлуатаційних характеристик автомобільних доріг по періодам року за результатами моделювання в програмах *Road_0* і *Road_1*.
2. Перелікуйте експлуатаційні режими руху автомобілів, які необхідно моделювати для оцінки транспортно – експлуатаційних характеристик автомобільних доріг.
3. Опишіть особливості режимів руху автомобілів в залежності від показників технічного рівня дороги та її експлуатаційного стану.
4. Приведіть схему алгоритму імітаційного моделювання режиму руху автомобіля відповідно до особливостей сприйняття водієм дорожньої обстановки.
5. Приведіть схему алгоритму чисельного розрахунку швидкості автомобіля.
6. Опишіть особливості режимів руху транспортного потоку.
7. Опишіть особливості моделювання режимів руху транспортних потоків.
8. Для рішення яких задач будівництва, ремонту та реконструкції доріг використовують техніко-економічні показники за результатами моделювання?
9. За якими показниками транспортно – експлуатаційних характеристик обґрунтовують необхідність робіт з

поліпшенням технічного рівню та експлуатаційного стану доріг?

10. Які вихідні показники враховані для моделювання роботи дороги в різні періоди року?
11. Приведіть основні види ремонтних робіт на дорозі за Вашими даними, які привели до підвищення транспортно – експлуатаційних характеристик дороги.

ТЕМА №4

МОДЕЛЮВАННЯ ДІЇ ДОРОЖНІХ НЕРІВНОСТЕЙ НА КОЛИВАЛЬНУ СИСТЕМУ АВТОМОБІЛЯ

1. Основні методи оцінки рівності під час експлуатації автомобільних доріг.
2. Комп'ютерна програма *Road Ruf* оцінки рівності за показником *IRI*.
3. Розрахункова схема коливальної системи автомобіля в методі *IRI*.
4. Результати моделювання в програмі *Road Ruf* дії дорожніх нерівностей на коливальну систему автомобіля.

1. Основні методи оцінки рівності під час експлуатації автомобільних доріг.

Оцінка рівності проїзної частини необхідна для планування термінів та об'ємів поточних ремонтів при відновленні експлуатаційних властивостей дороги. Метод оцінки рівності за показниками поштовхоміру (см/км) є стандартним в СУСП (система управління станом покриття). Основним недоліком поштовхоміру є те, що він не здатний характеризувати параметри нерівностей та їх розподіл на стандартній ділянці 1 кілометр.

В зарубіжній дорожній практиці з недавнього часу для оцінки рівності покриттів використовується показник *IRI* (*International Roughness Index*) – міжнародний індекс рівності. Значну частину довготривалих науково-технічних досліджень рівності за показником *IRI* спонсовано Всесвітнім Банком. З 1990 р. Федеральна Дорожня Адміністрація (*FHWA*) США вимагає оцінки рівності дорожніх покриттів за шкалою *IRI* для включення їх в систему моніторингу експлуатаційних показників автомобільних доріг (*HPMS - Highway Performance Monitoring System*). У відомій системі *HDM* рівність дорожніх покриттів так само оцінюється за шкалою *IRI*, а експлуатаційна швидкість – по графіку на рис.4.1. Система *HDM* (Модель Стандартів Проектування і Утримання Автомобільних Доріг) розроблена Всесвітнім Банком для комплексної оцінки дорожніх проектів, розробки інвестиційних дорожніх програм і аналізу стратегій розвитку дорожньої мережі. Класифікаційні характеристики рівності за показником *IRI* в різних державах наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Характеристики рівності за методом *IRI*

Країна, місце використання показника <i>IRI</i>	Характеристика рівності	Значення <i>IRI</i> , м/км
Бельгія, 1984 р.	Клас А. Відмінна Клас В. Добра Клас С. Середня Клас D. Задовільна	До 2 від 2 до 4 від 4 до 6 від 6 до 8

Країна, місце використання показника <i>IRI</i>	Характеристика рівності	Значення <i>IRI</i> , м/км
	Клас Е. Дуже незадовільна Поріг втручання	більше 8 більше 6
Швеція, 1988 р.	Відмінна Добра Середня Задовільна Незадовільна	до 1,5 1,5 - 2,5 2,5 - 3,5 3,5 - 4,5 > 4,5
Фінляндія, 2000 р.	Автомобільні 2-смугові державні і національні дороги Інші дороги загального користування	до 1,7 до 1,9 до 2,1
Міжнародний експеримент (Світовий банк, Бразилія, 1982 р.)	Злітно-посадочні смуги в аеропортах і високошвидкісні автомобільні дороги Нові дорожні покриття Дороги під час експлуатації	0,8 - 1,3 1,3 - 3,3 2,3 - 5,5
Міжнародний експеримент <i>FILTER</i> (<i>PIARC</i> , Нідерланди, Німеччина, 1998 р.)	Добра Середня Незадовільна	до 1,5 від 1,5 до 3,5 більше 3,5

Всесвітній Банк також використовує прийнятий *AASHO* індекс споживацьких властивостей покриття *PSI* (*Pavement Serviceability Index*), залежний від *IRI*. Із звичною для нас шкалою в п'ять балів індекс *PSI* обчислюється за формулою $PSI = 5.0 - IRI/100$ при значеннях *IRI* не вище 300 дюймів на милю. В цій шкалі «П'ятірка» - за рівність при *IRI* не більше 50, а «Двійка» - при *IRI* приблизно 250-300 дюймів на милю.



Рис. 4.1 – Шкала оцінки допустимої швидкості за показником *IRI*

2. Комп'ютерна програма *Road Ruf* оцінки рівності за показником *IRI*.

Для оцінки рівності за показником *IRI* нерівності дорожнього покриття скануються частіше усього лазерними сканерами, встановленими на ходовій лабораторії. За рубежом відомими приладами для сканування дорожніх та аеродромних покриттів є *Dipstik*, *ICCS*, *KJLAWS*. Шаг від 0.2 до 1 м, що приблизно відповідає довжині відтиску шини автомобіля на дорожньому покритті. Дані сканування обробляються відповідної комп'ютерною програмою для детальній та інтегрованої оцінки розподілу нерівностей на ділянці дороги. Найбільш відомою комп'ютерною програмою є програма *Road Ruf*, яка створена Транспортною лабораторією Мічиганського університету, рис. 4.2.

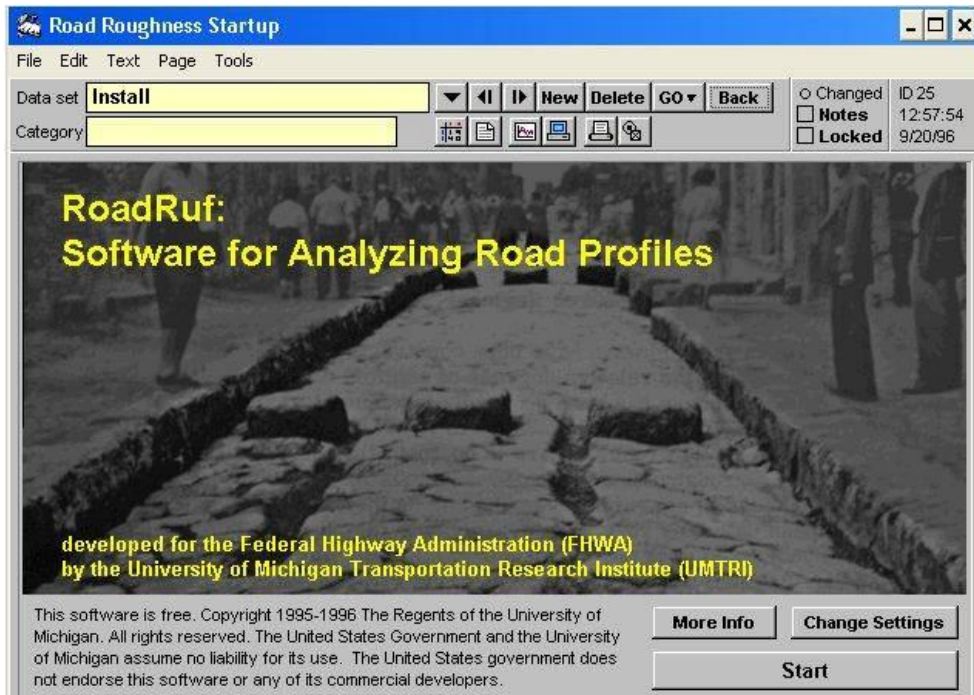


Рис. 4.2 – Основне вікно програми *Road Ruf*

На рис. 4.3 показано поздовжній профіль поверхні проїзної частини, якій сканований приладом *Dipstiks*.

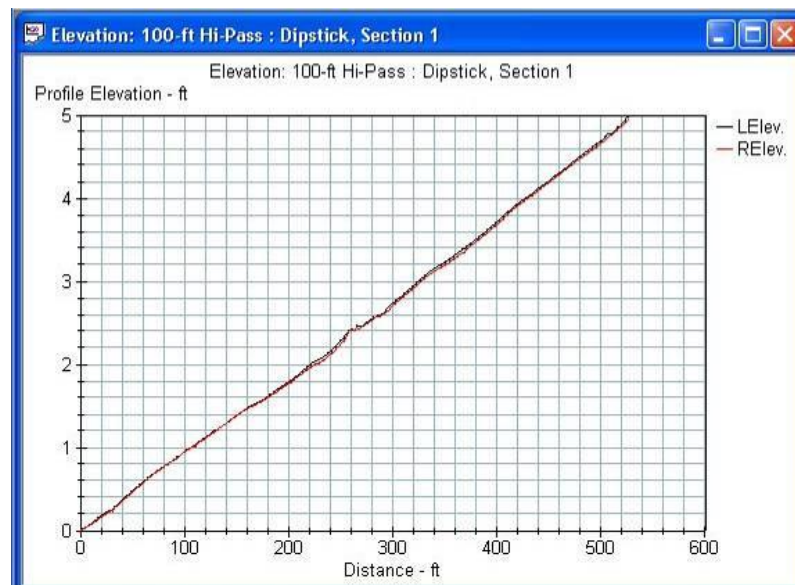


Рис. 4.3 – Поздовжній профіль поверхні проїзної частини, яка сканована приладом *Dipstiks*

В програмі *Road Ruf* моделюється дія нерівностей проїзної частини на коливальну систему автомобіля.

3. Розрахункова схема коливальної системи автомобіля.

В програмі *Road Ruf* використовується розрахункова схема коливальної системи автомобіля, див. рис. 4.4):

m_{Π} – підресорена маса (кузов і рама з укріпленими на ній механізмами), кг,

m_{κ} – не підресорена маса (в основному, колеса з осями мостами), кг,

C_1 – жорсткість ресори підвіски, Н/м,

B – коефіцієнт опору амортизації, що характеризує загасання коливань в підвісці, Н·с/м,

C_2 – жорсткість шини, Н/м,

q – вертикальна координата нерівного подовжнього профілю дороги, м,

Z – вертикальна координата кузова, якій коливається, м.

Рівняння руху моделі коливальної системи, мають вигляд :

$$\begin{cases} m_{\Pi} \ddot{z} + B(\dot{z} - \dot{y}) + C_1(z - y) = 0 \\ m_{\kappa} \ddot{y} - B(\dot{z} - \dot{y}) - C_1 z + (C_1 + C_2)y = C_2 q \end{cases} \quad (4.1)$$

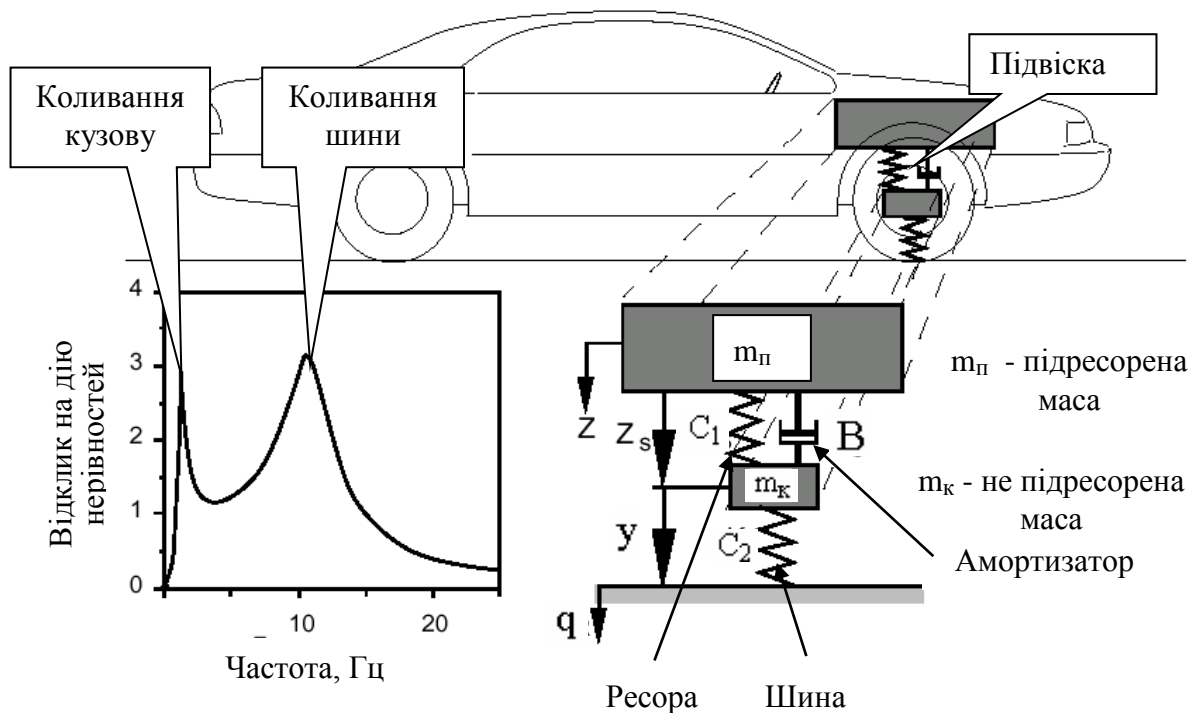


Рис. 4.4 – Розрахункова схема коливальної системи автомобіля

4. Результати моделювання дії дорожніх нерівностей на коливальну систему автомобіля в методі *IRI*.

Основні результати моделювання в програмі *Road Ruf* показані на рис. 4.5 та в табл. на рис. 4.6.

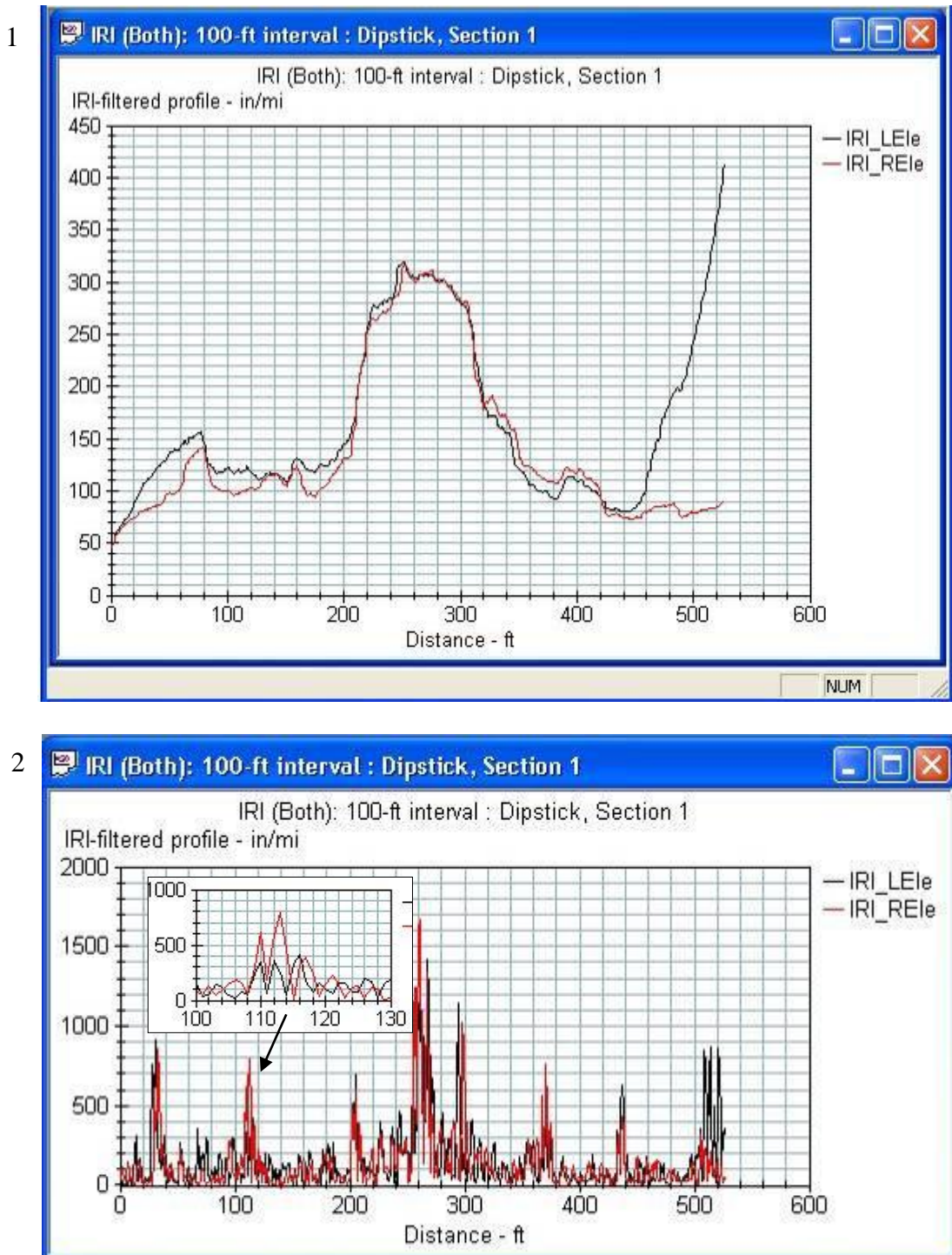


Рис. 4.5 – Розподіл середніх (1) та «миттєвих» (2) значень *IRI*

QL Pad - 198.LPF

File Edit Search Options Help

* IRI and Ride Number Calculation
 * Last modified at UMTRI September 14, 1996
 * Copyright (c) 1996 The Regents of the University of Michigan. All Rights Reserved.

Input files from story ROADRUF PROFILE TUTORIAL

Filename	Start: ft	End: ft	IRI: LElev.	(in/mi) RElev.	RN: 0-5 LElev.	RElev.	Both
C:\ROADRUF\PROFILES\TUTORIAL\DIPSTKS1.ERD							
	.00	526.00	165.92	142.85	2.67	2.71	2.69
	.00	50.00	149.71	122.64	2.23	2.49	2.35
	50.00	100.00	119.47	70.74	3.43	3.88	3.63
	100.00	150.00	122.47	127.96	3.25	2.76	2.97
	150.00	200.00	91.93	79.90	3.69	4.08	3.86
	200.00	250.00	195.24	180.50	2.23	2.42	2.32
	250.00	300.00	432.65	441.76	1.49	1.35	1.42
	300.00	350.00	117.43	118.66	3.62	3.53	3.57
	350.00	400.00	119.88	148.30	3.25	3.07	3.16
	400.00	450.00	95.40	87.04	3.44	3.55	3.49
	450.00	500.00	71.64	63.61	3.91	3.36	3.59
	500.00	526.00	378.99	104.23	2.09	3.54	2.58

C:\ROADRUF\ANALYSES\198.LPF Mod Ins Num

Рис. 4.6 – Таблиця результатів моделювання: 1, 2 – початок та кінець ділянок по 50 футів, 3, 4 – показники *IRI* (дюйм/міля) для лівої та правої колії, 5, 6 - оцінка рівності в балах для лівої та правої колії, 7 – для обох колій

Студенти опановують методику дії дорожніх нерівностей на коливальну систему автомобіля в методі *IRI* за індивідуальними даними з використанням комп'ютерної програми *Road Ruf* у відповідній лабораторній роботі.

Питання по контролю та самоконтролю знань

1. Обґрунтуйте необхідність оцінки рівності проїзної частини для планування термінів та об'ємів поточних ремонтів з відновленням експлуатаційних властивостей дороги.
2. Приведіть особливості оцінки рівності за методом *IRI*.
3. Приведіть основні параметри розрахункової схеми коливальної системи автомобіля.
4. Опішіть вихідні дані та результати комп'ютерного моделювання дії проїзної частини на коливальну систему автомобіля.

ТЕМА №5

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ В ПРОГРАМІ РАДОН2 ПІДСИЛЕННЯ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ПРИ КАПІТАЛЬНОМУ РЕМОНТІ

1. **Задачі і принципи конструювання дорожнього одягу.**
2. **Загальні положення розрахунку дорожнього одягу на міцність.**
3. **Розрахунок дорожніх одягів за критеріями граничного стану.**
4. **Програма РАДОН автоматизованого проектування дорожнього одягу.**

1. **Задачі і принципи конструювання дорожнього одягу**

Єдність конструювання й розрахунку. Проектування дорожнього одягу нежорсткого типу – це єдність конструювання й розрахунку дорожньої конструкції на міцність, морозостійкість і осушення з техніко-економічним обґрунтуванням варіантів з метою вибору найбільш економічного за даних умов.

Задачі конструювання дорожнього одягу:

- вибір типу покриття;
- призначення кількості конструктивних шарів основи (додаткової основи);
- розміщення шарів у конструкції і попереднє призначення їх товщини;
- попередня оцінка необхідності призначення додаткових морозозахисних заходів з урахуванням дорожньо-кліматичної зони, типу ґрунту робочого шару земляного полотна та схеми зволоження робочого шару на різних ділянках;
- попередня оцінка необхідності призначення заходів для осушення конструкції, а також для підвищення її тріщиностійкості;
- оцінка доцільності зміцнення чи поліпшення верхньої частини робочого шару земляного полотна.

Принципи конструювання. Конструюючи дорожній одяг

нежорсткого типу, необхідно керуватися наступними **принципами**:

а) конструкція дорожнього одягу повинна задовольняти транспортно-експлуатаційні вимоги, які ставляться до дороги певної категорії з очікуванням у перспективі складом й інтенсивністю руху, з урахуванням зміни інтенсивності протягом заданих міжремонтних термінів і передбачуваних умов ремонту й утримання;

б) конструкція одягу може бути прийнята типовою чи розроблена індивідуально для кожної ділянки або ряду ділянок дороги, що характеризуються подібними природними умовами (грунт робочого шару земляного полотна, умови його зволоження, клімат, забезпеченість місцевими дорожньо-будівельними матеріалами і т. ін.); перевагу варто віддавати перевіреним на практиці типовій конструкції;

в) у районах, недостатньо забезпечених стандартними кам'яними матеріалами, допускається (з відповідним обґрунтуванням) застосовувати місцеві кам'яні матеріали, побічні продукти промисловості та ґрунти, властивості яких можуть бути поліпшені шляхом їх обробки в'язучими матеріалами (цемент, бітум, вапно, активні золи віднесення і т. ін.);

г) конструкція повинна бути технологічною й забезпечувати можливість максимальної механізації й автоматизації дорожньо-будівельних процесів; для досягнення цієї мети кількість шарів і видів матеріалів у конструкції повинна бути мінімальною;

д) конструкція повинна враховувати реальні умови проведення будівельних робіт (літня чи зимова технологія і т. ін.) і досвід служби доріг у конкретному заданому районі.

Капітальні дорожні одяги з асфальтобетонними покриттями застосовують переважно на дорогах I, II і III категорій, на основних внутрішньо-господарських дорогах великих промислових підприємств і важливих будівельних об'єктів, а з відповідним техніко-економічним обґрунтуванням - на дорогах IV категорії.

Вид, марку і тип асфальтобетону для покриття в залежності від категорії дороги і кліматичних умов потрібно намічати відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-119. В основному слід застосовувати щільний асфальтобетон I – II марок типів А, Б, В, Г. Для умов дорожньо-кліматичних зон У-I і У-II на дорогах I і II категорій

переважно слід використовувати асфальтобетони типів Б і Г.

Для капітальних дорожніх одягів товщину асфальтобетонного покриття, що влаштовується з порівняно дорогих матеріалів, слід призначати близькою до мінімальної конструктивної, верхній шар основи капітальних дорожніх одягів потрібно влаштовувати головним чином з монолітних матеріалів – з пористого асфальтобетону, щебневих сумішей, оброблених бітумною емульсією, фракційного щебню, обробленого в'язким бітумом шляхом просочення, а також із фракційного щебню, влаштованого за принципом роз-клинки дрібним щебнем чи гранульованим активним шлаком, укріпленою методом просочення цементопіщаною а також цементобетонною сумішшю.

Для влаштування нижньої частини основи в залежності від розрахункових умов руху слід надавати перевагу монолітним (укріплені ґрунти і кам'яні матеріали), а також зернистим матеріалам.

Дорожні одяги полегшеного типу з удосконаленими покриттями (асфальтобетонні, з чорного щебню, з щебню, обробленого в'язучим способом просочення, з щебенево-піщаних сумішей, оброблених органічним чи мінеральним в'язучим, з піщаних або супіщаних ґрунтів, оброблених органічним чи мінеральним в'язучим) доцільно застосовувати на дорогах III, IV категорій, а також при стадійному будівництві дорожніх одягів на дорогах II категорії.

Основи для полегшених дорожніх одягів з удосконаленим покриттям призначають з монолітних або зернистих матеріалів. При цьому на дорогах III та IV категорій доцільно влаштовувати основу дорожнього одягу з чорного щебню; щебенево-піщаних сумішей, оброблених емульсією та іншими в'язучими; різних матеріалів і ґрунтів, а також побічних продуктів промисловості, що оброблені неорганічними або комбінованими в'язучими, щебневих і щебенево-гравійних сумішей. Попередньо товщину покриття з асфальтобетону для полегшених дорожніх одягів слід призначати від 4 см до 6 см, а в разі використання інших матеріалів – від 6 см до 8 см. Остаточну товщину покриття визначають розрахунком.

Дорожні одяги з покриттями перехідного типу (щебеневі і гравійні з міцних гірських порід, з маломіцних кам'яних матеріалів і

ґрунтів, що укріплені органічними, неорганічними чи комбінованими в'язучими, доцільно передбачати на дорогах IV та V категорій, а також в разі стадійного будівництва дорожнього одягу на дорогах III категорії.

2. Загальні положення розрахунку дорожнього одягу на міцність

Задача розрахунку полягає в визначенні товщини шарів дорожнього одягу у варіантах, намічених при конструюванні, чи в виборі матеріалів з відповідними деформаційними характеристиками і характеристиками міцності шарів заданої товщині.

Розрахунок дорожнього одягу на міцність заснований на наступних **передумовах**:

а) напружено-деформований стан дорожнього одягу під дією навантаження описується рішеннями лінійної теорії пружності для шаруватого півпростору з урахуванням умов сполучення шарів на контактах; сили інерції через їх малість у розрахунку не враховуються (задача квазістатична);

б) граничний стан дорожнього одягу характеризується показниками, які залежать від властивостей матеріалу кожного шару дорожнього одягу і ґрунту земляного полотна, а також від їхнього розміщення й умов роботи в конструкції.

Критерії граничного стану дорожніх одягів. Розрахунок дорожніх одягів засновано на трьох критеріях граничного стану – **пружному прогині** дорожнього одягу під навантаженням, **опорі згину** монолітних шарів і **опорі зсуву** ґрунтів і шарів з мало зв'язних матеріалів.

Граничний прогин дорожнього одягу є комплексною характеристикою деформативної здатності дорожнього одягу і визначає відповідність необхідної монолітності та рівності покриття.

Опір згину монолітних шарів і опір зсуву ґрунтів і шарів з мало-зв'язних матеріалів є характеристиками міцності дорожнього одягу.

Навантаження конструкції. За розрахункову схему навантаження конструкції колесом автомобіля приймається

пружний круговий штамп діаметром D , що передає рівномірно розподілене навантаження з питомою величиною p .

Конструкцію дорожнього одягу на автомобільних дорогах слід розраховувати під розрахункове навантаження I – II категорій доріг: гр. A_1 – 115 кН; III – IV категорій: гр. A_2 – 100 кН; V категорії: гр. Б – 60 кН).

Дорожні одяги на перегонах доріг потрібно розраховувати на короткочасну багаторазову дію рухомих навантажень. Тривалість дії навантажень при сучасних швидкостях руху вантажних автомобілів необхідно приймати рівною 0,1 с, у цьому випадку в розрахунок приймаються значення модуля пружності і характеристики міцності матеріалів і ґрунту, визначені теж при тривалості дії навантаження 0,1 с.

Одяг на зупинках автобусів і тролейбусів, перехрестях доріг, на підходах до пересічень із залізничними і трамвайними шляхами і т. ін. потрібно розраховувати на багаторазову короткочасну дію навантаження, а також на тривале одноразове навантаження. У розрахунках одягу на тривалу дію навантаження використовують значення модуля пружності матеріалів і ґрунтів і характеристики їх міцності, які визначені при тривалості навантаження не менше 600 секунд.

Одяг на стоянках автомобілів і узбіччях доріг слід розраховувати на тривале навантаження (600 секунд). Через малу повторність впливу навантажень тут можна вести розрахунок на одиничне навантаження.

Особливості поведження дорожніх одягів під час експлуатації в залежності від температури. У розрахунках на міцність дорожніх одягів з асфальтобетонним покриттям необхідно враховувати зазначені особливості. У той час, як покриття найбільш напружено працює при низьких позитивних температурах, ґрунт земляного полотна і шари одягу із мало зв'язних матеріалів сприймають великі напруження при підвищених весняних температурах, коли модуль пружності асфальтобетону істотно знижується. Тому у розрахунку асфальтобетонного покриття на розтяг при згині характеристики його повинні відповідати низьким весняним температурам. У розрахунку шарів із мало зв'язних матеріалів, а також ґрунту на опір зсуву модуль пружності

асфальтового бетону покриття повинний відповідати весняним підвищеним температурам.

Надійність та міцність дорожнього одягу. Дорожній одяг потрібно розраховувати з урахуванням надійності, яка визначається як імовірність безвідмовної роботи конструкції протягом усього періоду між капітальними ремонтами. Відмова – це такий стан дорожнього одягу і відповідний йому коефіцієнт міцності, при якому потрібно проведення капітального ремонту раніше нормативного терміну. Кількісним показником служить рівень надійності як відношення довжини міцних конструкцій, що не потребують капітального ремонту, до загальної довжини ділянки з даним значенням запасу міцності.

Необхідний коефіцієнт надійності K_n дорожнього одягу визначає мінімальне значення коефіцієнта міцності $K_{мц}$, який дорожній одяг повинний мати до кінця терміну служби між капітальними ремонтами. Коефіцієнти K_n та K_m нормовані у залежності від категорії дороги, капітальності одягу (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 Коефіцієнти надійності та міцності дорожнього одягу

Категорія дороги	Тип дорожнього одягу	Коефіцієнт надійності, K_n	Коефіцієнт запасу, $K_{мц}$, за критерієм граничного стану		
			згин монолітних шарів	пружний прогин	зсув у незв'язних шарах
Ia	Капітальний	0,97	1,39	1,50	1,51
Iб - II	Капітальний	0,95	1,35	1,43	1,48
III	Капітальний	0,90	1,29	1,33	1,40
IV	Полегшений	0,85	1,27	1,29	1,38
V	Перехідний	0,75	1,19	1,23	1,25

3. Розрахунок дорожніх одягів за критеріями граничного стану

Розрахунок дорожніх одягів за допустимим пружним прогином. Конструкція дорожнього одягу відповідає вимогам надійності і міцності за критерієм пружного прогину, якщо:

$$K_{мц} \leq E_{заг} / E_{потр} , \quad (5.1)$$

де $K_{мц}$ – коефіцієнт міцності дорожнього одягу, знайдений таблицею 5.1 у залежності від допустимого рівня надійності;

$E_{заг}$ – загальний модуль пружності конструкції;

$E_{потр}$ – потрібний модуль пружності конструкції з урахуванням капітальності одягу, типу покриття й інтенсивності дії навантаження.

Розрахунок за умовою зсувостійкості в ґрунті земляного полотна та шарів із мало зв'язних матеріалів. Дорожній одяг проектують із розрахунку, щоб під дією короточасних, чи довгострокових навантажень за строк служби в ґрунті земляного полотна та в мало зв'язних шарах не виникали неприпустимі залишкові деформації. Деформації зсуву в конструкції не будуть накопичуватись, якщо забезпечена умова:

$$K_{мц} = \frac{T_{зр}}{T} , \quad (5.2)$$

де $K_{мц}$ – необхідне мінімальне значення міцності, що визначається з урахуванням заданого коефіцієнта надійності (див. таблицю 5.1)

T – розрахункове активне напруження зсуву (частина зсувного напруження, непогашена внутрішнім тертям) в найбільш небезпечній точці конструкції від діючого тимчасового навантаження;

$T_{зр}$ – гранична величина активного напруження зсуву (в тій самій точці), перевищення якої викликає деформацію зсуву.

Розрахунок монолітних шарів на розтяг при згині. Зазначений розрахунок виконують для монолітних шарів дорожнього одягу – з асфальтобетону, полімер-асфальтобетону, матеріалів і ґрунтів, укріплених комплексними і неорганічними в'язучими. Напруження в цих шарах, що виникають при прогині одягу під дією повторних короточасних навантажень не повинні

викликати порушення структури матеріалу й призводити до утворення тріщини, тобто повинна бути забезпечена умова:

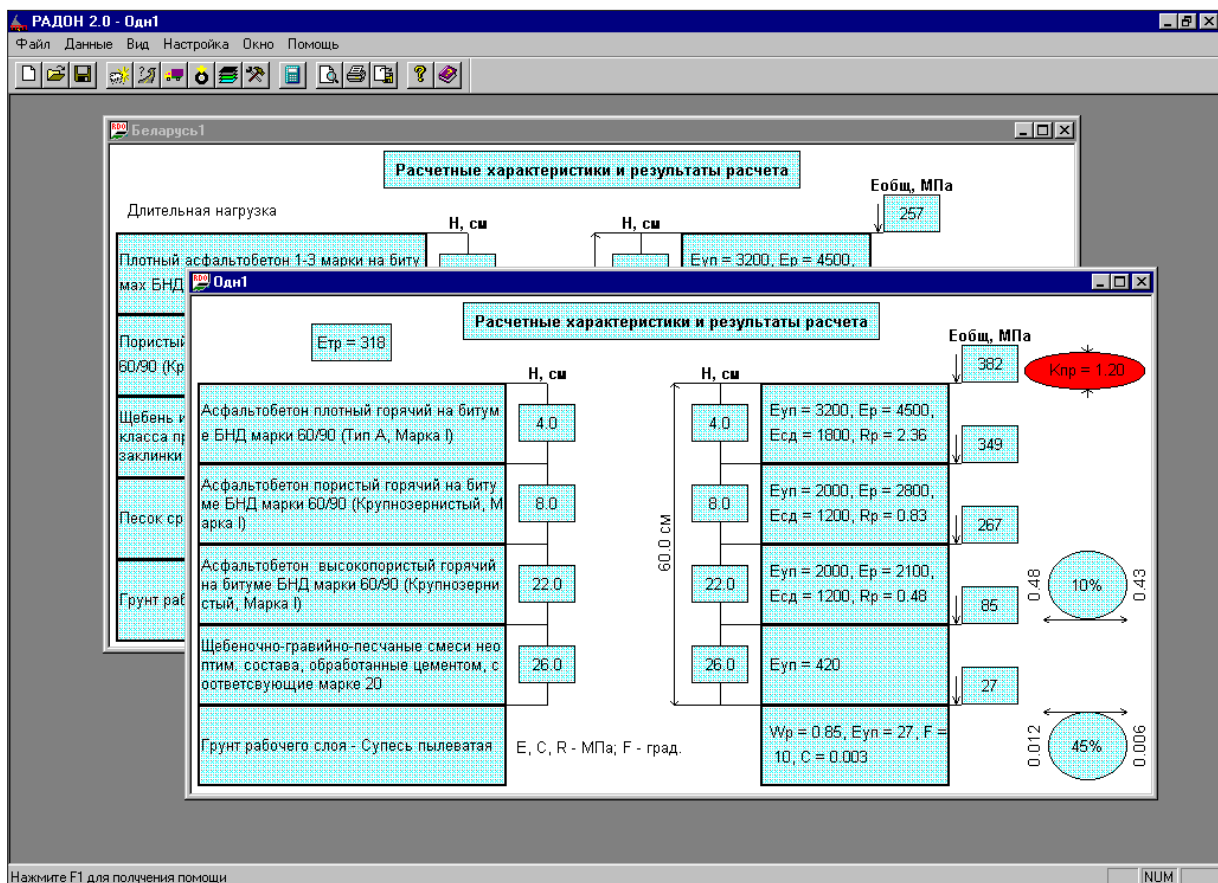
$$K_{мц} \leq R_{32} / \sigma_r \quad (5.3)$$

де $K_{мц}$ – необхідний коефіцієнт міцності з урахуванням заданого рівня надійності (таблиця 5.1);

R_{32} – гранично допустиме напруження розтягу матеріалу шару з урахуванням втоми;

σ_r – найбільше напруження розтягу у розглянутому шарі, що встановлюється розрахунком.

4. Програма РАДОН автоматизованого проектування дорожнього одягу.



Програма РАДОН 2.0 призначена для конструювання й розрахунку нежорсткого дорожнього одягу по галузевих дорожніх

нормативах України, Російської Федерації і Республіки Білорусь. Автор алгоритму і програми - Л.О.Токарев, заст. гол. інженера Харківського Промтранспроекта. Програма РАДОН 2.0 є складовою частиною відомої системи проектування CREDO III.

Функції програми РАДОН 2.0:

- приведення фактичного складу руху до розрахункового навантаження;
- визначення розрахункових характеристик ґрунтів робочого шару;
- розрахунки міцності за критеріями пружного прогину дорожнього одягу під навантаженням, опору згину монолітних шарів і опору зсуву ґрунтів і шарів з мало зв'язних матеріалів;
 - проектування морозозахисних та теплоізоляційних шарів;
 - визначення необхідної товщини дренажних шарів;
 - мінімізація запасу міцності конструкції з урахуванням фізико-механічних характеристик матеріалів шарів.

До складу додаткових функцій, що стосуються нових конструктивних рішень, відносяться наступні:

- обґрунтування конструкції дорожнього одягу з використанням армуючих прошарків з синтетичних матеріалів;
- перевірка достатності товщини асфальтобетонних шарів, що укладаються на жорсткі і тріщинуваті підстави з використанням тріщино-перериваючих прошарків;
- посилення існуючих одягів з урахуванням ступеня зносу конструктивних шарів за даними натурних розкриттів;
- посилення існуючих покриттів на підставі даних зміряного загального модуля пружності конструкції;
- перевірка стійкості основ дорожніх покриттів із збірних залізобетонних плит при дії на них автомобільного навантаження;
- розрахунок і перевірка конструкції на дію навантаження з підвищеним тиском в шинах і різним типом коліс (одне і двох балонних) з нестандартним навантаженням на вісь.

Загальна послідовність дій в РАДОН 2.0 наступна:

- Початкова установка програми на жорсткий диск, настройка баз даних і прикладів.
- Внесення даних за матеріалами і автомобілями в базу.
- Створення нового або відкриття існуючого проекту.
- Введення і редагування даних по конструкції дорожнього одягу і параметрам розрахунку.
- Розрахунок конструкції в різних режимах.
- Візуальний перегляд результатів розрахунку, підготовка результатів до друку.
- Збереження даних проекту і вихід з програми.

Студенти опановують методикау автоматизованого проектування дорожнього одягу за індивідуальними даними з використанням комп'ютерної програми РАДОН 2.0 у відповідній лабораторній роботі.

Питання по контролю та самоконтролю знань

1. Перелікуйте основні задачі конструювання дорожнього одягу.
2. Якими принципами необхідно керуватися, конструюючи дорожній одяг нежорсткого типу.
3. Приведіть особливості конструювання дорожніх одягів: капітальних, полегшеного типу, перехідного типу.
4. Перелікуйте основні функції програми РАДОН.
5. Які додаткові функції щодо нових конструктивних рішень виконує програма РАДОН.
6. Опишіть загальну послідовність дій в програмі РАДОН.
7. Які дані треба ввести в програму РАДОН для визначення потрібного модуля пружності дорожнього одягу?
8. У який спосіб розміщують в дорожнього одягу його шари та призначають матеріали кожного шару?
9. Як враховують особливості поведження дорожніх одягів під час експлуатації в залежності від температури?
10. Опишіть особливості дорожнього одягу, який конструювали та розраховували за індивідуальними даними з використанням програми РАДОН.

ТЕМА №6

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЇ СУМІШІ В ПРОГРАМІ MIX-XADI

- 1. Проблеми автоматизації технологічного проектування будівельних галузей.**
- 2. Проблеми технологічного проектування складу асфальтобетонної суміші.**
- 3. Алгоритм пошуку найщільнішої і найдешевшої суміші.**
- 4. Програма MIX-XADI автоматизованого проектування асфальтобетонної суміші.**

1. Проблема автоматизації технологічного проектування будівельних галузей.

Для інтенсифікації будівельних галузей і якісного підвищення властивостей будівельних об'єктів необхідна повна, комплексна автоматизація, починаючи від проектування до будівництва та експлуатації. Автоматизація найбільшою мірою розвивається для вирішення задач конструювання об'єктів, у меншій мірі – для задач оптимізації їх функціональних властивостей, а ще вкрай меншій – для вирішення технологічних задач. Таким чином, в будівельних галузях автоматизація не є повною, не є комплексною. Це, по-перше, знижує ефективність технологічних процесів, а по-друге, знижує ті досягнення автоматизованого функціонального та конструкторсько проектування, які реалізуються під час «ручного» проектування технологічних процесів. На прикладі однієї з найважливіших задач проектування складу асфальтобетонних сумішей показано, що автоматизація технологічного проектування може відчутно підвищити ефективність дорожнього будівництва.

2. Проблеми технологічного проектування складу асфальтобетонної суміші

Задачу проектування складу асфальтобетонної суміші звичайно вирішують на АБЗ відповідно до вимог державних

стандартів до зернового складу мінеральної частини, наприклад, ДСТУ Б В.2.7-119-2003 (Україна), СТБ 1033-2004 (Білорусь), ГОСТ 9128—97 (Росія).

Результати практичних розрахунків складу суміші по відомих методиках показують, що, по-перше, рішення не завжди знаходиться за одну спробу, необхідне неодноразове коректування складу суміші.

По-друге, часто, при заданій гранулометрії початкових матеріалів рішення не може бути знайдене, незалежно від того, уручну або автоматизовано виконується розрахунок. Тому або міняють гранулометрію вихідних матеріалів, або, що набагато частіше, допускають невеликі виходи повних залишків на ситах для одержуваної суміші за нормовані стандартами межі. Такого роду практика вимагає досить великих витрат часу на проектування суміші, але, що саме головне, досить часто приводить до порушення стандартів.

По-третє, не завжди, а практично дуже рідко знаходиться варіант склад суміші, який забезпечує максимально щільну упаковку мінеральних зерен, і, отже, щонайвищу якість суміші по цьому показнику.

По-четверте, практично дуже рідко знаходиться найдешевший варіант складу суміші.

Мало допомагають рішенням вказаних проблем практично не вживані в практиці спроби автоматизації проектування асфальтобетонних сумішей.

3. Алгоритм пошуку найщільнішої і найдешевшої суміші

Для методичного забезпечення роботи технологів АБЗ, а найголовніше, для оптимізації властивостей асфальтобетонної суміші і її економічних показників, в ХНАДУ проф. В.К.Жданюк та проф. В.В.Філіппов розробили алгоритм і програму автоматизації технологічного проектування складу суміші. У програмі в повній відповідності з положеннями національних стандартів розв'язуються дві найважливіші задачі:

- пошук найщільної суміші,
- пошук найдешевої суміші.

У алгоритмі програми найщільнішою вважається така суміш, яка найближча до серединної нормативної кривої повних залишків проектованої суміші. найдешевшою вважається суміш, вартість початкових матеріалів в якій мінімальна при повній відповідності гранулометрії суміші національним стандартам.

Принципи рішення першої задачі зводяться до наступного. Прийнято, що найщільнішу упаковку мінеральних зерен для суміші заданого гранулометричного типу теоретично забезпечує серединна нормативна крива повних залишків проектованої суміші. Наприклад, по ДСТУ В.2.7-119-2003 для дрібнозернистого асфальтобетону, щільного, типу А, безперервного гранулометричного складу, марки І, для верхнього шару покриття значення серединної нормативної кривої приведені в останньому рядку таблиці.

Таблиця - Нормовані межі повних залишків для суміші АБ.Др.Щ.А.НП І (по ДСТУ б В.2.7-119-2003)

Нормовані межі повних залишків	Кількість (%) зерен розміром, мм										
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,14	0,07	<0,07
Мінімум	0	8	19	45	58	67	74	80	86	89	5
Максимум	5	17	33	55	73	82	88	91	94	95	11
Середина	2,5	12,5	26	50	65,5	74,5	81	85,5	90	91,5	8

Ступінь наближення суміші до серединної нормативної кривої, що забезпечує найщільнішу упаковку мінеральних зерен, оцінюється по середньо-квадратичному відхиленню

$$s = \sqrt{\frac{\sum [A_{ci} - 0.5(A_{\max,i} + A_{\min,i})]^2}{n - 1}}, \quad (1)$$

де A_{ci} – значення повних залишків для i -ої фракції деякого варіанту заданої суміші,

$A_{\max,i}$ і $A_{\min,i}$ – відповідно максимум і мінімум нормованих згідно ДСТУ меж повних залишків заданої суміші,

n – кількість сит для заданої суміші.

Звичайно, при автоматизованому розрахунку показник наближення s розраховується тільки для варіантів, що не виходять за максимуми $A_{\max,i}$ і мінімуми $A_{\min,i}$. Тим самим забезпечується аналіз тільки тих варіантів, які відповідають стандарту.

Принципи рішення другої задачі зводяться до направленого пошуку варіанту, для якого мінімальні витрати Z початкових матеріалів (без вартості терпкого)

$$C = 0,01(D_{щ1} \times C_{щ1} + D_{щ2} \times C_{щ2} + D_{п1} \times C_{п1} + D_{п2} \times C_{п2} + D_{мп} \times C_{мп}), \quad (2)$$

де $D_{щ1}$ – об'ємна частка, %, щебня, наприклад, не крупніші 20 мм,

$D_{щ2}$ – об'ємна частка, %, щебня, наприклад, крупною до 5 мм,

$D_{п1}$ і $D_{п2}$ – об'ємна частка, %, піску відповідно першому і другому різновиду, наприклад, роздрібнюваного і природного,

$D_{мп}$ – об'ємна частка, %, мінерального порошку,

$C_{щ1}$, $C_{щ2}$, $C_{п1}$, $C_{п2}$, $C_{мп}$ – вартості матеріалів, що входять до складу суміші, грн/м³.

Результати автоматизованого проектування по алгоритму програми показують, що число варіантів складу суміші, повністю відповідних стандарту, надзвичайно високе, і при деяких початкових даних число варіантів перевершує десятки і навіть сотні тисяч (це можна перевірити в лабораторній роботі). Звичайно, при такій безлічі варіантів знайти уручну варіант найщільнішої упаковки або найдешевшої суміші надзвичайно скрутно, практично неможливо.

4. Програма MIX-XADI автоматизованого проектування асфальтобетонної суміші.

Розроблена в ХНАДУ відповідно до висловлених принципів програма автоматизації проектування складу асфальтобетонної суміші (рис.6.1) включає блоки:

- загальних даних,
початкових матеріалів,

- розрахунку,
- аналізу і документування табличних і графічних результатів розрахунку.

Рис. 6.1 – Головне вікно програми MIX-XADI

У блоці загальних даних спочатку настраюються на регіональні стандарти ДСТУ б В.2.7-119-2003, СТБ 1033-2004 або ГОСТ 9128—97, і вводять дані про вихідні матеріали.

Після настройки на регіональні стандарти в повній відповідності з ними формуються нормативні вимоги до даної суміші:

- призначення суміші (для верхніх шарів покриття або для нижніх і підстиляючих шарів),
- клас суміші (гаряча або холодна),
- вид суміші (грубозерниста, дрібнозерниста або піщана),
- група асфальтобетону (щільний, пористий, високопористий),
- марка асфальтобетону (I, II),
- різновид гранулометрії (безперервна або переривиста),

Після виконання розрахунку висвічується число варіантів складу мінеральної частини суміші, повністю відповідних стандарту.

Результати автоматизованого проектування показують його високу ефективність. У тестовому прикладі варіант найщільнішої суміші відрізняється від початкового варіанту по показнику середньо-квадратичного відхилення: для початкового варіанту 3.57%, для найщільнішої суміші 1.48%. За вартістю мінеральних матеріалів найдешевша суміш (45 грн/м³) відрізняється на 25 % від початкового варіанту (60 грн/м³).

Динаміку направленою пошуку найщільнішої або найдешевшої суміші аналізують при пошуку відповідного компромісного варіанту по критерію «якість - вартість». Критерій «якість - вартість» встановлює технолог-проектувальник суміші. В деяких випадках остаточним варіантом може бути варіант найщільнішої або найдешевшої суміші: найщільніша суміш звично найдешевша, а найдешевша суміш - найщільніша.

Студенти опановують методику автоматизованого проектування складу асфальтобетонної суміші за індивідуальними даними з використанням комп'ютерної програми MIX-XADI у відповідній лабораторній роботі.

Питання по контролю та самоконтролю знань

1. Перелікуйте основні проблеми технологічного проектування складу асфальтобетонної суміші.
2. Приведіть особливості алгоритму автоматизованого проектування складу асфальтобетонної суміші.
3. За яким критерієм виконується пошук найщільнішої суміші.
4. За яким критерієм виконується пошук найдешевшої суміші.
5. Які дані необхідні для автоматизованого проектування складу асфальтобетонної суміші в програмі MIX-XADI.
6. Опишіть загальну послідовність дій в програмі MIX-XADI.
7. Опишіть особливості асфальтобетонної суміші, яку проектували за індивідуальними даними з використанням програми MIX-XADI.