

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ, НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ
УКРАЇНИ**

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

Філіппов В.В., професор, д.т.н.

Учбова дисципліна: Оцінка транспортно-експлуатаційного стану
автомобільних доріг

Спеціальність 7.092105

Рішення кафедри про розміщення на порталі ХНАДУ

Дата останнього редагування 01.09.11

Затверджено на засіданні кафедри
протокол №1/1797 від 1.09 2011 р.

зав. кафедрою

В.К. Жданюк

2011

Вступ

Коротка характеристика змісту матеріалу в конспекті лекцій
Курс дисципліни розрахований на 18 годин лекцій, 36 годин практичних занять, самостійне виконання розрахунково - графічних завдань і залік.

Основна мета дисципліни - дати студентам знання в дослідженні технічного рівня та експлуатаційного стану автомобільних доріг загального користування, ознайомити з сучасними методами досліджень транспортно-експлуатаційних характеристик доріг в різні періоди їх експлуатації.

Зміст конспекту (теми).

1. Загальні положення оцінки якості дороги. Характеристики автомобільних доріг України.
2. Система показників транспортно–експлуатаційного стану (ТЕС) автомобільних доріг.
3. Прогнозування інтенсивності дорожнього руху при плануванні розвитку доріг.
4. Оцінка транспортно–експлуатаційних характеристик автомобільних доріг на основі моделювання руху автомобілів та транспортних потоків.
5. Методичні основи оцінки ТЕС дорожнього одягу і земляного полотна.
6. Обґрунтування підсилення дорожнього одягу за результатами обстеження.
7. Автоматизоване проектування в програмі РАДОН2 підсилення дорожнього одягу при капітальному ремонті.
8. Моделювання дії дорожніх нерівностей на коливальну систему автомобіля.
9. Планування обмежених фінансових ресурсів на ремонти і реконструкцію автомобільних доріг.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ДОРОГИ. ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ

- 1. Мета і задачі курсу.**
- 2. Загальні положення оцінки якостей дороги і ТЕС.**
- 3. Характеристики автомобільних доріг України**

1. Мета і задачі курсу.

ТЕС АД – складова частина дисципліни «Експлуатація автомобільних доріг».

Курс розраховано на 18 г. лекцій і 36 г. практичних занять, залік.

Основною метою дисципліни є підготовка фахівців до самостійного вирішення професійних задач, які потрібно вирішувати під час виконання функціональних обов'язків на інженерно-технічних посадах в дорожній галузі. Дисципліна має мету дати студентам знання в дослідженні технічного рівня та експлуатаційного стану автомобільних доріг, ознайомити із сучасними методами досліджень транспортно-експлуатаційних характеристик в різні періоди експлуатації автомобільних доріг, вирішувати завдання планування їх ремонтів та утримання.

Студент, вивчивши курс, повинен знати:

- систему показників оцінки ТЕС АД,
- методи обстеження автомобільних доріг,
- систему показників ТЕС АД і їх оцінку,
- обґрунтовувати на основі показників ТЕС АД необхідність ремонту або реконструкції дороги.

Студент повинен вміти:

- прогнозувати інтенсивність дорожнього руху і оцінювати точність та вірогідність прогнозу інтенсивності графоаналітичним методом та методом найменших квадратів

- оцінювати стан проїзної частини доріг з розрахунком міцності дорожнього одягу з урахуванням втрат міцності під час експлуатації,
- обґрунтовувати необхідність підсилювання дорожнього одягу при капітальному ремонті з розрахунком міцності дорожнього одягу на ЕОМ,
- оцінювати рівність проїзної частини за методом IRI (ЕОМ),
- планувати розподіл обмежених фінансових ресурсів на ремонт доріг (ЕОМ).

До заліку студент допускається по представленні зошита практичних занять із захищеними результатами оцінки ТЕС АД, у тому числі і із застосуванням ЕОМ.

2. Загальні положення оцінки якостей дороги і ТЕС.

Якість дороги. Кожний користувач дороги може дати їй *суб'єктивні* оцінки: незадовільне, добре, відмінне.

Як якість дороги оцінювати *об'єктивно*? Як використовувати результати оцінки?

Щоб вирішити ці питання, потрібно визначитися з термінологією. Термінологія щодо якості в техніці зформовано – в 80-х роках 20-го сторіччя, див. ГОСТ 15467 – 80. Згідно визначенням «якість виробу або виду продукції – сукупність його властивостей, що обумовлюють його придатність задовольняти певні потреби відповідно до його призначення». Термін «якість» стосовно автомобільної дороги можна визначити таким чином..

Якість автомобільної дороги – сукупність її властивостей, що обумовлюють її придатність задовольняти потребі в безпечному, економічному і зручному перевезенні вантажів і пасажирів відповідно до народногосподарського призначення дороги.

Чим забезпечується якість дороги?

Якість дороги забезпечується:

- *технічним рівнем основних споруд дороги – ТР*
- *експлуатаційним станом - ЕС*

- рівнем інженерного устаткування і облаштування - *PIYO*
- рівнем утримання - *PU*.

Близькі до поняття «якість дороги»: транспортно-експлуатаційна якість (ТЕЯ), транспортно-експлуатаційний стан (ТЕС) автомобільних доріг.

ТЕС автомобільних доріг визначається сукупністю транспортно-експлуатаційних властивостей.

Формула якості дороги $TEC = TU + EC + IYO + PU$.

Що тут складається? В арифметичному значенні - нічого. Якість – сукупність властивостей. Тому в цій формулі знак плюс – це операція логічного складання (Відомі логічні операції «і», «або»).

Є кількісні оцінки, і є якісні. Наприклад, екз. оцінка «відмінно», не дивлячись на цифру 5 – якісна оцінка.

Якщо студент по кожній з десяти дисциплін має оцінку 5, то ми не говоримо, що у нього загальна оцінка 50, а говоримо, що він вчиться відмінно. Це загальна оцінка якості його знань.

Оскільки «Якість автомобільної дороги – сукупність її властивостей...», то в нашій проблемі оцінки якості дороги, перш ніж вийти на якісну оцінку, необхідно вимірити, оцінити певні показники властивостей дороги.

Показники технічного рівня (ТУ) – це такі параметри дороги, як ширина земляного полотна і проїзної частини, габарити мостів і шляхопроводів, подовжні ухили, радіуси кривизни, видимість проїзної частини зустрічного автомобіля тощо.

Формуються ці параметри при проектуванні і будівництві дороги, а в процесі експлуатації в більшості випадків залишаються незмінними. Виключення: ширина проїзної частини, видимість та значна частина інших параметрів міняється по періодах року. Радикально параметри ТУ змінюються при реконструкції дороги, деякі - при її капітальному ремонті.

При експлуатації важливо вимірювати параметри дороги. Ці операції входять в систему паспортизації дороги. Як зміряти

довжину, ширину, габарит (висоту)? Як зміряти подовжній, поперечний ухил? З геодезичної практики відомо. Але як зміряти у існуючої дороги радіус в плані, в профілі, видимість? Це достатньо складна та громіздка задача (центр кривої та вершина кута майже завжди недоступні, видимість змінюється з кожним кроком тощо). Геодезичні вимірювання дуже громіздкі, утруднюються безперервним дорожнім рухом. Тому переваги слід надавати ходовим лабораторіям, які оснащені спеціальними датчиками вимірювання, інформаційною системою збереження та обробки електричних сигналів

Згідно визначенню якості дороги показники ТУ обумовлюють рівень безпечного, економічного і зручного перевезення вантажів і пасажирів. Показники ТУ спільно з показниками *експлуатаційного стану* дороги забезпечують (обумовлюють) експлуатаційну швидкість руху автомобілів в транспортному потоці і певний рівень безпеки і зручності руху.

Експлуатаційний стан дороги (ЕС) визначається:

- системою заходів по ремонту та утримання,
- природно-кліматичними чинниками
- параметрами транспортних потоків.

Показники ЕС міняються по періодах року і в процесі експлуатації дороги. Показники ЕС: рівність, зчеплення, міцність земляного полотна, дорожнього одягу, мостів, пропускна спроможність, абсолютні і відносні показники безпеки руху (кількість ДТП, коефіцієнти аварійності, коефіцієнти безпеки), собівартість перевезень вантажів і пасажирів. Як зміряти рівність, зчеплення, міцність земляного полотна, дорожнього одягу, пропускну спроможність? Треба згадати лаб. роботи по експлуатації доріг.

Показники ЕС спільно з показниками технічного рівня визначають забезпечувану дорогою швидкість руху і певний рівень безпеки і зручності руху. Проектувальники параметрами дороги забезпечують розрахункову швидкість руху. Реальна експлуатаційна швидкість руху менше розрахунковій швидкості, закладеній проектувальниками.

До інженерного устаткування і облаштування дороги входять:

- Технічні засоби організації дорожнього руху (ТЗОДР),
- захисні споруди
- будівлі і споруди дорожньої і транспортної служби.

Рівень ІУО формується при проектуванні і будівництві дороги. Дуже часто через нестачу ресурсів на розвиток дорожньої мережі цей початковий рівень невеликий. В процесі експлуатації під час капітальних і поточних ремонтів рівень ІУО підвищується за рахунок вдосконалення всіх складових частин ІУО.

Згідно визначенню якості дороги показники ІУО спільно з показниками ЕС і ТУ обумовлюють забезпечувану дорогою швидкість руху і певний рівень безпеки і зручності руху.

Рівень утримання дороги визначається:

- оснащеністю дорожньо-експлуатаційних організацій ресурсами для утримання дороги (фінансовими, матеріалами для ремонту і утримання, дорожньо-будівельними машинами, кадрами – випускниками учбових закладів)
- рівнем технічної культури.

3. Характеристики автомобільних доріг України

3.1 Формування мережі доріг України

Таблиця 1 - Формування мережі доріг України з 1940 по 2007 рр.

Роки	1940	1945	1950	1955	1960	1965	1970
Протяжність, 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	2007
Протяжність, км	116,7	133,7	145,2	157,2	160,5	161,0	166,2
Приріст мережі %	28,5	*	*	*	*	*	*

3.2 Структура доріг України по категоріях (2007 рік)

Таблиця 2 – Структура державних доріг загального користування

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

Таблиця 3 – Структура місцевих доріг загального користування

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

Висновки: (студентам зробити розрахунок)

Середньо-вагова категорія доріг:

По всій мережі -

Державних -

Місцевих - .

3.3 Відповідність ТУ нормативним вимогам.

Таблиця 4 – Протяжність доріг, побудованих за різними нормативах

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

Висновки: Приблизно 90 % доріг не задовольняють сучасним нормативам.

Контрольні питання.

1. Якість автомобільної дороги. Яке найбільш прийнятне визначення якості автомобільної дороги?
2. Формула якості дороги. Якими складовими забезпечується якість дороги?
3. Показники технічного рівня.
4. Які параметри технічного рівня дороги незмінні в процесі експлуатації? Які параметри технічного рівня дороги змінюються за періодами року?
5. Показники експлуатаційного стану.
6. Протяжність автомобільних доріг України. Яка протяжність державних доріг загального користування? Яка протяжність місцевих доріг загального користування?
7. Середньо-вагова категорія доріг по всій мережі.
8. В який рік з 1940 по 2010 роки був найбільший приріст мережі доріг України?
9. Протяжність доріг, побудованих по різних нормативах, та доріг, що відповідають сучасним вимогам автомобільного транспорту.
10. Для якої категорії довжина місцевих доріг найбільша?

СИСТЕМА ПОКАЗНИКІВ ТЕС

(2 години)

1. Узагальнення систем показників ТЕС.
2. Показники транспортної роботи автомобільної дороги.
3. Система показників якості дорожнього одягу і земляного полотна.
4. Показники загального стану автомобільної дороги і умов руху по ній.
5. Показники ефективності транспортної роботи.
6. Комплексна оцінка ТЕС автомобільної дороги.

1. Узагальнення систем показників ТЕС

Найбільш відомі наступні системи показників, розроблені під керівництвом відомих учених-шляховиків: В.К. Некрасова, О.К. Біруля, В.М. Сиденко, А. П. Васильєва, В. В. Сильянова. Узагальнюючи системи цих авторів, виділяємо наступні групи змінних в часі показників, що характеризують:

- 1- транспортну роботу автомобільної дороги;
- 2- техніко-експлуатаційні якості дорожнього одягу і земляного полотна;
- 3- загальний стан автомобільної дороги і умови руху по ній;
- 4- ефективність транспортної роботи.

2. Показники транспортної роботи автомобільної дороги

1. Інтенсивність руху N – кількість автомобілів, що проходять через деякий перетин автомобільної дороги за одиницю часу (година, доба) – показник, що змінюється в часі (у перебігу години, тижні, місяця, року), вимірюють шляхом вибірових спостережень..

2. Об'сяг руху – сумарна кількість автомобілів, що проходять через дану ділянку автомобільної дороги за визначений період часу, вимірюють шляхом безперервних спостережень.

3. Склад руху p – розподіл в процентному відношенні всього транспортного потоку по видах транспортних засобів (легкові

автомобілі, вантажні автомобілі: важкі, середні, легені, автопоїзда) , вимірюють одночасно з інтенсивністю руху.

4. Вантажонапруженість дороги (брутто) $G_{\text{б}}$ – сумарна маса вантажів і транспортних засобів, що пройшли по даній ділянці дороги в обох напрямках в одиницю часу; т/ рік або т/доба. Знаходять розрахунком за даними інтенсивності та складу руху.

5. Вантажонапруженість (нетто) $G_{\text{т}}$ – теж, але тільки маса вантажів.

6. Пропускна спроможність (здатність) автомобільної дороги P – максимальна кількість автомобілів, яка може пропустити дану ділянку дороги або дорога в цілому в одиницю часу, авт/год, авт/добу.

7. Провізна здатність дороги M – максимальна маса вантажів або кількість пасажирів, які можуть бути перевезені через дану ділянку автомобільної дороги в одиницю часу, вимірюється пас/година або т/година.

8. Коефіцієнт завантаження дороги рухом Z – відношення інтенсивності руху до пропускної спроможності ділянки автомобільної дороги.

9. Швидкість руху V – найважливіший якісний показник транспортної роботи автомобільної дороги і її стану. Залежно від цілей і задач розрізняють наступні види швидкостей: розрахункову, експлуатаційну, миттєву, транспортного потоку, за типами автомобілів, швидкість при пропускній спроможності, швидкість сполучення - середню на маршруті з урахуванням зупинок, розрахункову при ОДР (85 % забезпеченості), базову.

10. Час сполучення – тривалість руху по даному маршруту без урахування зупинок в дорозі; враховуються тільки затримки, що викликані наявністю інших автомобілів і очікуванням на перехрестях, вимірюють в годинах або хвилинах.

11. Питомий час сполучення (темп руху)- середня тривалість проїзду 1 км дороги транспортним потоком, хвилин/км.

3. Система показників якості дорожнього одягу і земляного полотна

Ця група показників характеризує транспортно-експлуатаційні якості дорожнього одягу і земляного полотна.

1. Міцність дорожнього одягу – властивість чинити опір напрузі стиску, здвигу і розтягу в шарах одягу та ґрунтової підстави під дією навантажень від автотранспортних засобів і погодно-кліматичних чинників. Унаслідок складних процесів деформування дорожнього одязі його міцність оцінюється узагальненим показником міцності - модулем пружності, МПа. Методи і прилади визначення модуля пружності.

2. Міцність і стійкість земляного полотна.

Міцність – здатність (властивість) земляного полотна зберігати не деформуючись при дії зовнішніх сил і природних чинників надані йому при будівництві форму і розміри.

Стійкість – здатність (властивість) зберігати передбачені проектом положення в просторі без зсувів і просідань.

Загальна і місцева стійкість. Коефіцієнт запасу стійкості. Методи оцінки міцності і стійкості та вимірювання.

3. Шорсткість дорожнього покриття – властивість дорожнього покриття забезпечувати зчеплення з шиною. Шорсткість визначається наявністю на поверхні покриття малих нерівностей, що визначаються розміром мікровиступів і гостротою кута вершини мікровиступу. Малі нерівності не впливають на деформації шин і не викликають коливання автомобіля. Методи і прилади визначення шорсткості відомі з відповідних лабораторних робіт..

4. Коефіцієнт зчеплення шини автомобіля з дорожнім покриттям φ - показник, що характеризує зчепні якості дорожнього покриття, є відношенням окружного тягового зусилля на ободі ведучого колеса до вертикального навантаження на колесо, при якому починається його прослизання (буксування). Коефіцієнт зчеплення визначається шорсткістю дорожнього покриття.

5. Рівність дорожнього покриття S - властивість поверхні проїзної частини забезпечувати високі ТЕС автомобільної дороги

(зручність і безпека). Оцінюється параметрами коливань автомобіля (амплітуди, віброшвидкість, віброприскорення). При будівництві вимірюється за розміром просвіту між поверхнею і рейкою (мм). При експлуатації доріг рівність вимірюють з використанням поштовхоміру (см/км), або скануванням поверхні проїзної частини з подальшою обробкою даних сканування програмами, що імітують коливання автомобіля.

Від рівності дорожнього покриття істотно залежить швидкість і безпека руху, коефіцієнт опору коченню, витрата палива на перевезення, знос шин, витрати на ремонт автомобіля. Залежності.

6. Зносостійкість дорожнього покриття – показник, що характеризує опірність дорожніх покриттів дії автомобільного руху, вимірюють в мм/рік.

7. Працездатність дорожнього одягу – експлуатаційний показник автомобільної дороги - сумарна маса пропущених по дорозі транспортних засобів між капітальними ремонтами в брутто тонах.

3. Показники загального стану автомобільної дороги і умов руху по ній

До третьої групи показників, що характеризують загальний стан автомобільної дороги і умови руху по ній відносять: надійність, можливість проїзду за будь якими погодноклиматичними умовами (рос. – проездемость), термін служби дороги, абсолютну і відносну аварійність; коефіцієнт аварійності і безпеки.

1. Надійність автомобільної дороги – показник, що характеризує вірогідність безвідмовної роботи автомобільної дороги. При цьому безвідмовність може характеризуватися з погляду міцності дорожнього одягу, пропускної спроможності автомобільної дороги, розрахункової швидкості тощо.

2. Проездемость автомобільної дороги – можливість руху по автомобільній дорозі із заданою швидкістю в різні періоди року.

3. Термін служби автомобільної дороги – період часу від здачі, побудованої автомобільної дороги в експлуатацію до її реконструкції або між капітальними ремонтами.

4. Відносна аварійність – показник, що характеризує рівень аварійності на дорозі і визначається кількістю дорожньо-транспортних подій на 1 млн. авт.км або на 1 млн. автомобілів. Оцінює ступінь небезпеки окремих ділянок.

5. Коефіцієнт аварійності $K_{ав}$ – безрозмірний показник, що є відношенням кількості ДТП на якій-небудь ділянці автомобільної дороги до числа ДТП на еталонній ділянці.

6. Коефіцієнт безпеки $K_{без}$ – безрозмірний показник, що визначає небезпеку окремих ділянок автомобільної дороги на основі зміни швидкості (швидкісного режиму), є відношенням швидкості, забезпечуваної тією або іншою ділянкою автомобільної дороги до швидкості в'їзду на нього з попередньої ділянки.

4. Показники ефективності транспортної роботи

До четвертої групи показників, що характеризують ефективність транспортної роботи, відносять: собівартість перевезень і втрати народного господарства від ДТП.

1. Собівартість перевезень – сума дорожньої і автотранспортної складових витрат на транспортну роботу в даних дорожніх умовах, вимірюють у вартісних одиницях, віднесених до 1 т.км., 1 авт.г., 1 авт.км. [коп/(т.км) коп/(авт.г) коп/(авт.км)].

2. Дорожня складова собівартості перевезень – умовний показник, що характеризує частку витрат на ремонт і зміст доріг в загальній собівартості.

3. Автотранспортна складова собівартості перевезень – витрати автомобільного транспорту при перевезенні вантажів і пасажирів (паливо і змащувальні матеріали, знос і відновлення шин, ремонти автомобіля, зарплата водія, витрати на зміст гаражно-ремонтного господарства).

4. Втрати від ДТП – грошова оцінка втрат народного господарства країни від загибелі і поранення людей, псування вантажів і автомобілів, автомобільних доріг.

5. Втрати від перебування в дорозі вантажів і пасажирів – денежная оцінка втрат народного господарства країни від.

5. Комплексна оцінка ТЕС автомобільних доріг

Для комплексної оцінки ТЕС автомобільних доріг Некрасовим В.К. була запропонована система з чотирьох груп:

I - використовується для оцінки технічного стану дороги і ступеня її придатності для виконання своїх функцій;

II - для оцінки ступеня безпеки руху на дорозі.

III - для оцінки дороги відносно обслуговування автомобільного транспорту і відповідності тієї категорії, до якої вона відноситься;

IV - для оцінки дороги відносно забезпечення її облаштування для обслуговування автомобільного транспорту.

До першої групи показників (технічний стан автомобільних доріг) відносять:

- *коефіцієнт служби*

$$K_{сл} = V_{ф} / V_{р} , \quad (2.1)$$

де $V_{ф}$, $V_{р}$ - фактична і розрахункова швидкості руху;

- *коефіцієнт проїзду*

$$K_{п} = S_{ф} / S_{р} , \quad (2.2)$$

де $S_{ф}$, $S_{р}$ – фактичні і розрахункові (допустимі) показники поштовхоміру, см/км;

- *коефіцієнт слизкості*

$$K_{слз} = \varphi_{ф} / \varphi_{р} , \quad (2.3)$$

де $\varphi_{ф}$ $\varphi_{р}$ – фактичний і розрахунковий (граничний) коефіцієнт зчеплення;

- **коефіцієнт зношеності**

$$K_{\text{зн}} = h / H_0 , \quad (2.4)$$

де h - середній за рік знос покриття, мм;

H_0 - допустимий знос;

- **коефіцієнт міцності**

$$K_{\text{пр}} = E_{\text{ф}} / E_{\text{р}} , \quad (2.5)$$

де $E_{\text{ф}}$, $E_{\text{р}}$ – фактичний і розрахунковий модулі пружності;

До другої групи показників (оцінка ступеня безпеки руху на автомобільній дорозі) відносять:

- **коефіцієнт безпеки**

$$K_{\text{без}} = K_{\text{без ф}} / K_{\text{без р}} , \quad (2.6)$$

де $K_{\text{без ф}}$, $K_{\text{без р}}$ – фактичні і допустимі значення коефіцієнта безпеки (за Бабковим В. Ф.);

- **коефіцієнт аварійності**

$$K_{\text{ав}} = K_{\text{ав ф}} / K_{\text{ав р}} , \quad (2.7)$$

де $K_{\text{ав ф}}$, $K_{\text{ав р}}$ - фактичні і допустимі значення коефіцієнта аварійності (за Бабковим В. Ф.);

- **вартісної коефіцієнт аварійності**

$$K_{\text{ст}} = K_{\text{ст ф}} / K_{\text{ст р}} , \quad (2.8)$$

де $K_{\text{ст ф}}$, $K_{\text{ст р}}$ - фактичні і допустимі значення вартісного коефіцієнта аварійності (за О. А. Дівочкиним).

До третьої групи показників (оцінка автомобільної дороги відносно обслуговування автомобільного транспорту) відносять:

- **коефіцієнт обслуговування рухомого складу**

$$K_{\text{об}} = T_{\text{ф}} / T_{\text{р}} , \quad (2.9)$$

де T_{ϕ} , T_p – фактична і розрахункова пропускні спроможності споруд на автомобільній дорозі (СТО, павільйони, ремонтні бази і ін.) з розрахунку на 1000 км а/д;

- **коефіцієнт забезпечення автомобілів паливом**

$$K_{\text{зап}} = Z_{\phi} / Z_p , \quad (2.10)$$

де Z_{ϕ} , Z_p – фактичне і розрахункове число АЗС на 1000 км дороги; коефіцієнт інтенсивності руху

$$K_{\text{инт}} = N_{\phi} / N_p , \quad (2.11)$$

де N_{ϕ} , N_p - фактична і розрахункова інтенсивності рухи для даної категорії дороги, авт/сут;

- **коефіцієнт завантаження автомобільної дороги рухом**

$$K_z = Z_{\phi} / Z_p , \quad (2.12)$$

де Z_{ϕ} , Z_p – фактичне і допустиме значення коефіцієнта завантаження автомобільної дороги рухом (за В. В. Сильяновим);

- **коефіцієнт часу сполучення**

$$K_t = t_{\phi} / t_p , \quad (2.13)$$

де t_{ϕ} , t_p – фактична і розрахункова тривалість руху на даному маршруті.

До четвертої групи показників (оцінка обладнання дороги для обслуговування автомобільного транспорту) відносять:

- **коефіцієнт забезпечення пасажирів автобусів місцями для очікування**

$$K_{\text{авт}} = a_{\phi} / a_p , \quad (2.14)$$

де a_{ϕ} , a_p – фактична і необхідна кількість павільйонів і станцій для очікування пасажирями автобусів на 1000 км а/д;

- **коефіцієнт обслуговування транзитних пасажирів**

$$K_{\text{тп}} = \Pi_{\phi} / \Pi_p , \quad (2.15)$$

де $P_{\text{ф}}$, $P_{\text{р}}$ – фактичне і розрахункове число пасажирів, водіїв і супроводжуючого персоналу, що проїжджає по дорозі за добу;

- **коефіцієнт забезпечення майданчиками для стоянок і відпочинку**

$$K_{\text{від}} = Q_{\text{ф}} / Q_{\text{р}} , \quad (2.16)$$

де $Q_{\text{ф}}$, $Q_{\text{р}}$ – фактична і розрахункова пропускні спроможності за добу побутових пристроїв для вживання їжі і відпочинку;

- **коефіцієнт санітарно-гігієнічного обслуговування**

$$K_{\text{сан}} = C_{\text{ф}} / C_{\text{р}} , \quad (2.17)$$

де $C_{\text{ф}}$, $C_{\text{р}}$ – фактична і розрахункова пропускні спроможності санітарно-гігієнічних пристроїв (душові туалети).

Вказаний комплекс показників використовують для всебічної оцінки ТЕС і розробці заходу щодо їх поліпшення.

Ще слабо використовується група **екологічних показників**.

Якість оцінки ТЕС дороги можна оцінювати узагальненими або диференціальними показниками. Узагальнені показники діляться на комплексні і інтегральні.

Комплексний показник оцінює функціональні властивості, він характеризує одночасно декілька властивостей. Наприклад, комплексний показник дороги складається з показників дорожнього одягу, облаштування, системи водовідведення і ін.

Інтегральний показник $K_{\text{інт}}$ характеризує відношення сумарного ефекту від експлуатації доріг або окремого їх елемента до сумарних витрат на будівництво і експлуатацію. При оцінці продукції або її експлуатації до одного року

$$K_{\text{інт}} = \frac{Q}{Z_{\text{к}} + Z_{\text{е}}} , \quad | \quad (2.18)$$

де Q – сумарний річний ефект від експлуатації продукції;

$Z_{\text{к}}$ – сумарні капіталовкладення на створення продукції;

$Z_{\text{е}}$ – сумарні експлуатаційні витрати, віднесені до одного року.

Контрольні питання.

- 1. Ученые-дорожники – авторы систем показателей ТЭС.***
- 2. Показатели транспортной работы автомобильной дороги.***
- 3. Показатели прочности дорожной одежды.***
- 4. Показатели устойчивости земляного полотна.***
- 5. Показатели свойств дорожного покрытия.***
- 6. Показатели общего состояния автомобильной дороги и условий движения по ней***
- 7. Показатели эффективности транспортной работы.***

ПРОГНОЗУВАННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ПРИ ПЛАНУВАННІ РОЗВИТКУ ДОРІГ

1. Типові залежності зміни в часі інтенсивності руху.
2. Прогнозування інтенсивності дорожнього руху графоаналітичним методом.
3. Прогнозування інтенсивності дорожнього руху методом найменших квадратів.
4. Оцінка похибки та розрахунки довірчих границь прогнозу інтенсивності з заданою довірчою вірогідністю.
5. Розрахунки в програмі EXCEL та побудова графіків відображення прогнозу інтенсивності

1. Типові залежності зміни в часі інтенсивності руху

Прогнозування інтенсивності руху транспортних потоків є типовою задачею проектування та експлуатації автомобільних доріг. Дані прогнозу використовують в завданнях планування капітальних ремонтів з розрахунками підсилення дорожнього одягу.

Прогнозування базується на даних обліку руху, в основному, на хронологічних таблицях середніх за рік значень добової інтенсивності.

Типові залежності зміни в часі інтенсивності руху: геометричній прогресії

$$N_t = N_o \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right)^t, \quad (3.1)$$

простої прогресії

$$N_t = N_o \left(1 + t \cdot \frac{P}{100}\right), \quad (3.2)$$

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, %.

Частіше всього вибирають як типову залежність (2.1), яка відповідає закону розширеного відтворювання в сучасній економіці.

2. Прогнозування інтенсивності дорожнього руху графоаналітичним методом

Для прогнозу інтенсивності зручно криволінійну залежність (2.1) перетворити в прямолінійну логарифмуванням:

$$y_t = a + b \cdot t, \quad (3.3)$$

де $a = \lg N_0$, $b = \lg(1+p/100)$,

t – роки обліку інтенсивності (при початковому році $t = 0$).

В графоаналітичному методі в полу-логарифмічній шкалі по координатам t та y_t наносять точки обліку інтенсивності на графік. З використанням прозорої лінійки на поле точок наносять пряму лінію, яка відсікає на шкалі y_t значення $a = y_0$. На шкалі t відмічають останній рік T обліку інтенсивності руху та проводять вертикаль до перетинання з раніш побудованою прямою. З точки перетинання проводять горизонтальну лінію на вісь y_t та відмічають на ній значення $b = y_T$.

Інтенсивність в початковий рік N_0 обліку ($t = 0$) знаходять за формулою

$$N_0 = 10^a, \quad (3.4)$$

а темп зростання інтенсивності руху, середній за час обліку, за формулою

$$\left(1 + \frac{p}{100}\right) = 10^{(b-a)/T}. \quad (3.5)$$

3. Прогнозування інтенсивності дорожнього руху методом найменших квадратів

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

$$\Phi(a,b) = \sum_{t=0}^m (\ln N_t - a - b \cdot t)^2, \quad (3.6)$$

де $m = n - 1$.

Для мінімізації відхилень даних обліку інтенсивності від теоретичній залежності диференціюємо (2.4) по невідомим параметрам a та b і прирівнюємо похідні нулю.

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi(a,b)}{\partial a} = -2 \sum_{t=0}^m (\ln N_t - a - b \cdot t) = 0 \\ \frac{\partial \Phi(a,b)}{\partial b} = -2 \sum_{t=0}^m (\ln N_t - a - b \cdot t) \cdot t = 0 \end{cases} \quad (3.7)$$

або

$$\begin{cases} B - n \cdot a - b \cdot A = 0 \\ D - a \cdot A - b \cdot C = 0, \end{cases} \quad (3.8)$$

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

Рішення (2.6) дає формули для розрахунку параметрів a та b

$$a = \frac{DA - BC}{A^2 - Cn}, \quad (3.9)$$

$$b = \frac{BA - Dn}{A^2 - Cn}. \quad (3.10)$$

Потенціювання дає значення параметрів в формулі (3.1), при яких данні обліку інтенсивності руху найближчі до теоретичній кривій (3.1):

$$N_0 = e^a, \quad \left(1 + \frac{p}{100}\right) = e^b. \quad (3.11)$$

4. Оцінка похибки та розрахунки довірчих границь прогнозу інтенсивності з заданою довірчою вірогідністю

4.1 Похибку прогнозу оцінюють середньої квадратичною похибкою m , яку знаходять за правилом «три сігма». Для цього

оцінюють максимальний розмах R , як максимальне відхилення даних обліку інтенсивності від теоретичній залежності: $R = (d_1 + d_2)$, рис. 1. За правилом «три сігма» $m \approx R / 6$.

4.2 Мінімальну N_{\min} та максимальну N_{\max} довірчі границі прогнозу знаходять за формулами

$$N_{\min} = \bar{N}_t - k \cdot m, \quad N_{\max} = \bar{N}_t + k \cdot m, \quad (3.12)$$

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

k – коефіцієнт, якій залежить від вірогідності p довіри до прогнозу (1 при $p = 66\%$, 1.96 при $p = 95\%$, 3 при $p = 99.7\%$).

4.3 Прогноз інтенсивності руху N_T на рік T першого капітального ремонту після кінця обліку з вірогідністю p довіри до прогнозу 95 % виконують з використанням формули

$$N_{\min} \leq N_T \leq N_{\max}. \quad (3.13)$$

5. Розрахунки з використанням програми EXCEL

Завдання лабораторної роботи

1. Обґрунтувати залежність зміни в часі інтенсивності руху як теоретичній для прогнозування методом екстраполяції.
2. Перетворити криволінійну залежність в прямолінійну.
3. Скласти та вирішити систему рівнянь мінімізації відхилень даних обліку інтенсивності від теоретичній залежності,
4. Розрахувати в програмі EXCEL та побудувати графіки відображення прогнозу інтенсивності.
5. Оцінка похибки прогнозування.
6. Розрахувати довірчі границі прогнозу інтенсивності з заданою вірогідністю довіри до прогнозу.

Таблицю в програмі EXCEL для розрахунків і прогнозування складіть у формі таблиці 2.1.

1. Отже, за формулами (3.9)–(3.11) знайдіть параметри a , b , N_0 , p .

2. В стовбці 7 таблиці за формулою (3.1) розрахуйте теоретичні значення інтенсивності руху. Побудуйте графік теоретичного зростання інтенсивності за час обліку, рис. 1.
3. За межами обліку інтенсивності за формулою (3.1) в стовпці 7 таблиці 1 прогнозуйте по рокам зростання інтенсивності руху на термін до першого капітального ремонту дороги після кінця обліку руху (11-20 років). Побудуйте графік зростання прогнозованої інтенсивності, рис. 2.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані обліку і розрахунок коефіцієнтів в системі (3.7)

Роки	Інтенсивність N_{ϕ} , авт/добу	t_i	$\ln N_{\phi}$	t^2	$t_i \cdot \ln N_{\phi}$	$N_0(1+p/100)^t$
1	2	3	4	5	6	7
1993	2039	0	7,62	0	0	2057
1994	2088	1	7,644	1	7,644	2094
1995	2189	2	7,691	4	15,382	2132
1996	2155	3	7,676	9	23,028	2170
1997	2223	4	7,707	16	30,828	2209
1998	2311	5	7,745	25	38,725	2249
1999	2201	6	7,697	36	46,182	2289
2000	2288	7	7,735	49	54,145	2331
2001	2419	8	7,791	64	62,328	2373
2002	2501	9	7,824	81	70,416	2415
2003	2522	10	7,833	100	78,33	2459
2004	2546	11	7,842	121	86,262	2503
2005	2583	12	7,857	144	94,284	2548
2006	2599	13	7,863	169	102,219	2594
2007	2631	14	7,875	196	110,25	2641
		A	B	C	D	
		105	116,402	1015	820,039	

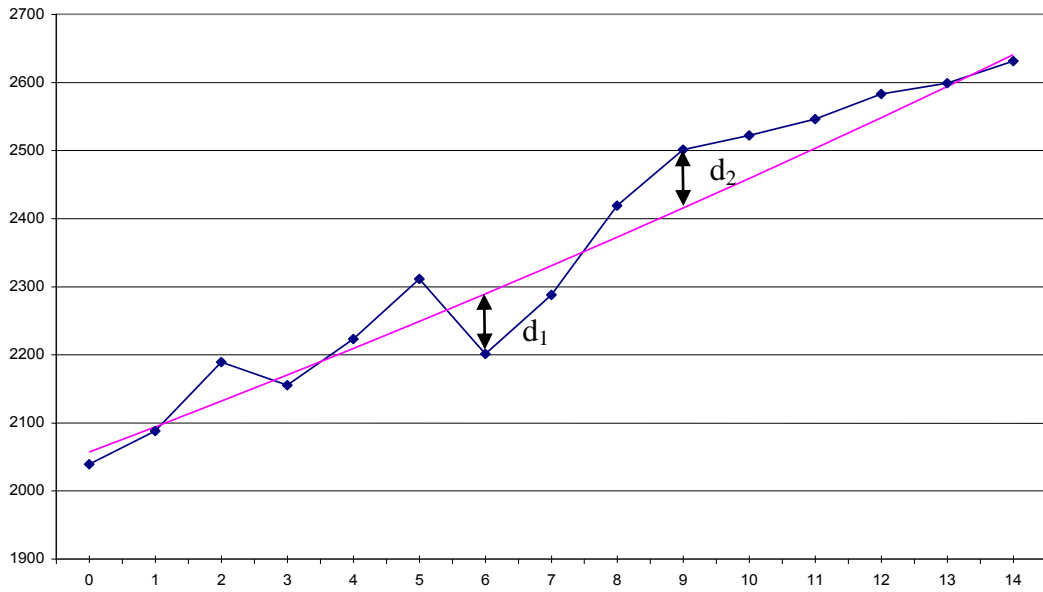


Рисунок 1 – Теоретична крива та дані обліку інтенсивності

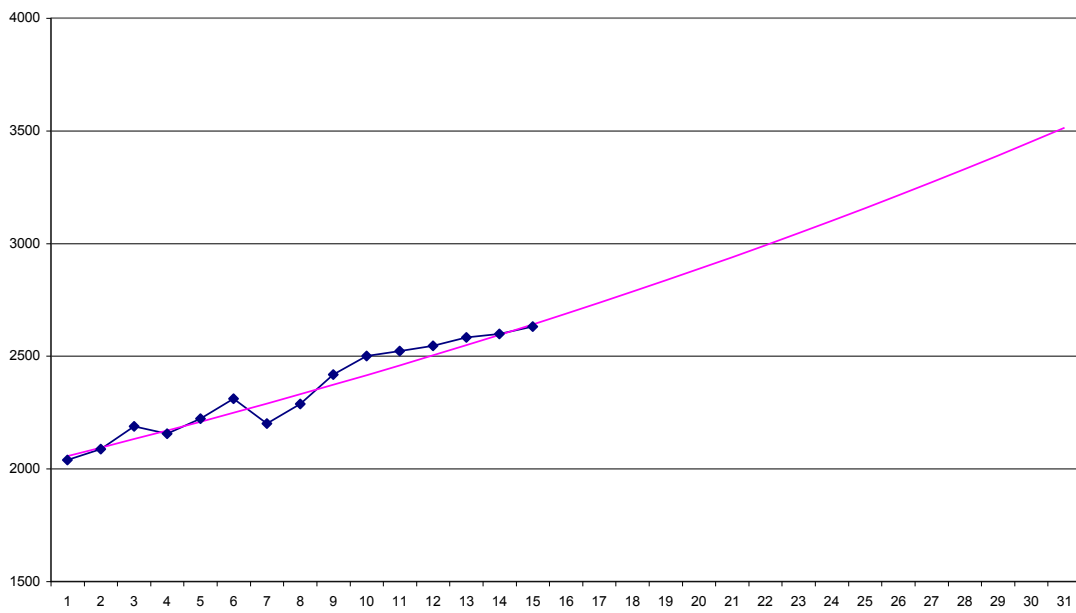


Рисунок 2 – Прогноз зростання інтенсивності руху

Питання по контролю та самоконтролю знань

1. Приведіть основні положення методики прогнозування інтенсивності руху транспортних потоків при вирішенні завдань проектування та експлуатації автомобільних доріг
2. Які дані необхідні для прогнозування інтенсивності руху в задачах обґрунтування капітального ремонту?
3. За якою залежністю найчастіше прогнозують інтенсивність транспортних потоків для обґрунтування ремонту та реконструкції доріг?
4. Обґрунтуйте необхідність використання методу якнайменших квадратів для прогнозування інтенсивності руху транспортних потоків.
5. Приведіть основні формули прогнозування інтенсивності руху транспортних потоків.
6. У який спосіб криволінійну залежність інтенсивності руху в часі перетворюють в прямолінійну для спрощення операцій прогнозу інтенсивності?
7. Опишіть основні процедури виконання цієї роботи з використанням програми EXCEL.
8. Як оцінити похибку методу прогнозування інтенсивності руху транспортних потоків?
9. Як залежать границі прогнозу від вірогідності p довіри до нього?
10. Як виконати прогноз по Вашим даним по формулі (3.12) при вірогідності довіри до прогнозу 80%.

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 різноманітна зміна по періодах року.

Проблема 2: Необхідно моделювати режими руху:

1) усіх автомобілів, що входять до складу ТП,

2) для усіх точок (ПК) дороги із різними дорожніми умовами, тобто, показниками ТР і ЕС.

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, метаю 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 із порівняно незмінними параметрами 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.

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 є метод імітаційного моделювання. У цьому методі досліджуються ті залежності показників режимів руху від параметрів дороги, автомобіля, водія, оточуючої середовища, які важко виявити аналітичним шляхом у вигляді явних формул. Режими руху значно змінюються під час складних погодних 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 як типових автомобілів, так 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 ТР змінюється по сезонах року. Наприклад, так звана ефективна (та, що використовується водієм для впевненого керування на покриттях, що забруднені близько крайок) ширина проїзної частини змінюється як по періодах року, так і в разі недостатнього 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

$$P_k = Gi + G(f_o + \alpha S_p v^2) + K_w v^2 + \delta_k jG / g, \quad (4.1)$$

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 (за 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.

$$0 = Gi + G(f_o + \alpha S_p v^2) + K_w v^2 + \delta_k jG / g + P_T, \quad (4.2)$$

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 (4.1). 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 (4.2) до сили гальмування P_T колісними гальмами додається сила $P_{гд}$ гальмування двигуном.

Проаналізуємо вираз сили тяги P_k та сили гальмування P_T , що входять в рівнянні (4.1) і (4.2):

$$P_k = \frac{M_e \cdot i_o \cdot i_k}{r_k} \eta_{тп}, \quad (4.3)$$

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

$$P_T = \gamma \varphi G + P_{зд} \quad (4.4)$$

де γ - ступінь гальмування колісними гальмами,

φ - коефіцієнт зчеплення,

$P_{гд}$ - гальмівна сила двигуна на примусовому холостому ходу, Н.

В цих останніх рівняннях в явному вигляді ні параметри TP , ні параметри EC (зокрема φ) не виявляються. Але сили P_K та P_T регулюються водієм залежно від дорожньої обстановки, від значень більшості параметрів дороги TP і EC .

Аналіз рівняння (4.1) приводить до висновку, що об'єктивно існує залежність

$$M_e = \psi_1(TP, EC), \quad (3.5)$$

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

$$P_T = \psi_2(TP, EC), \quad | \quad (3.6)$$

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

Тому, слід в алгоритмах імітаційного моделювання запропонувати деяке початкове наближення для цих залежностей. Початкове наближення необхідне для першої ітерації імітаційного моделювання, а потім початкове наближення уточнюються в подальших ітераціях з використанням результатів експериментальних досліджень. Зокрема, уточнюються стали швидкості руху залежно від параметрів дорожніх умов.

Наприклад, початкове наближення для залежності ψ_1 можна прийняти за пропозицією проф. М.Я. Говорущенко (ХНАДУ) щодо вибору водієм режиму руху відповідно до 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 набуті проф. М.Я. Говорущенко (ХНАДУ), 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) встановлюють 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	$V_{max} = 29,2 K_{рш}$.

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

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

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

6. Відповідно до особливостей сприйняття водієм дорожньої обстановки встановлюють експлуатаційний режим руху автомобіля та вирішують рівняння його руху. Зокрема, режим тягового зусилля встановлюють при ухилах більш $i_{ТЗ}$. Величина $i_{ТЗ}$ відповідає типу автомобіля, його завантаженню (від -28 ‰ до 60 ‰). При крутіших спусках, ніж $i_{ТЗ}$, залежно від відстані до кінця спуску встановлюють 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 призначають 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 усталений режим, але зустрінеться ділянка з обмеженою швидкістю V_{\min} , то остаточно встановлюють 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 знаходять 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 обчислюють як швидкість під час тягового зусилля (див. п. 7). Розгін вважається закінченим, якщо під час розгону досягнута швидкість, яка відповідна значенню усталеної швидкості на даній дільниці (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 (4.1), (4.2). Усі режими описуються одним і тим же видом диференційованого рівняння

$$dv/dt = av^2 + bv + c, \quad (4.7)$$

де c - коефіцієнт пов'язаний з поздовжнім ухилом i та частиною коефіцієнту опору руху f_0 , b - з силами тертя деталей автомобіля, a - із обтічністю автомобіля та втратою кінетичної енергії на нерівностях проїзної частини - див. формули (4.1), (4.2).

В формулі (4.7) dv/dt теж саме, що прискорення j в формулах (4.1), (4.2). Взагалі прискорення dv/dt навіть на малій ділянці довжиною ΔS дещо змінюється і тому графік швидкості – крива

лінія, як це показано на рис. 4.1. Тобто, рух на ділянці довжиною ΔS – нерівномірно прискорений (нерівномірно уповільнений). Інтегруючи рівняння (4.7), 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. 4.1. 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 відомою формулою рівномірно прискореного (уповільненого) руху

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + 2j\Delta S}, \quad (4.8)$$

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

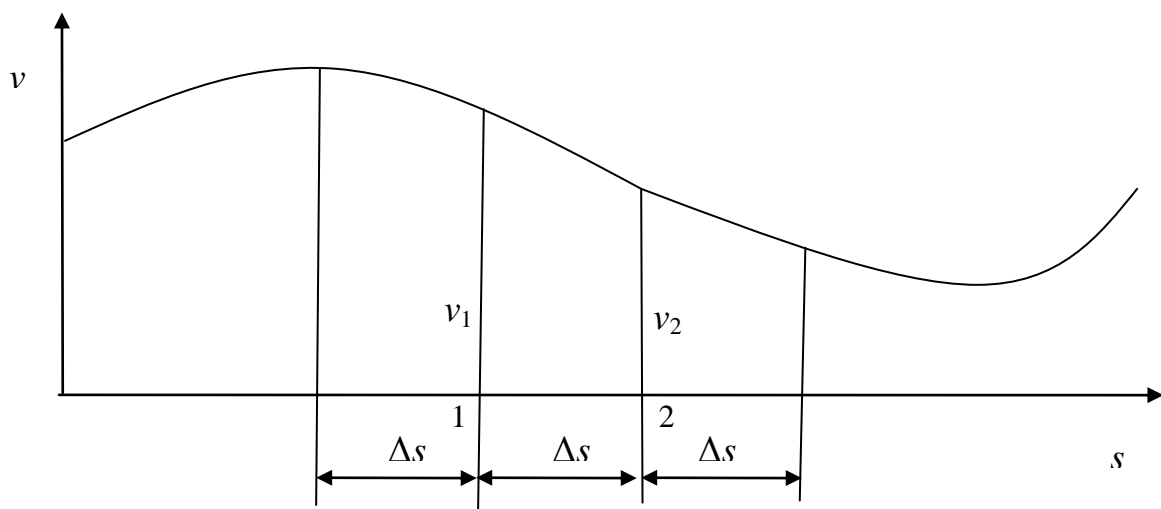


Рис. 4.1 Схема до розрахунку швидкості

Прискорення j (тобто, dv/dt) знаходять за формулою (4.7) після встановлення режиму руху та його параметрів в формулах (4.1) або (4.2). Є тільки одна проблема: щоб знайти прискорення j за цими формулами, треба знати середню швидкість v на ділянці ΔS , а поки що відома тільки початкова швидкість v_1 в точці 1. Ця проблема вирішується чисельним розв'язанням рівняння (4.7) за схемою Ейлера з перерахунком, тобто за декілька ітерацій.

Алгоритм обчислювання показано на рис. 4.2.

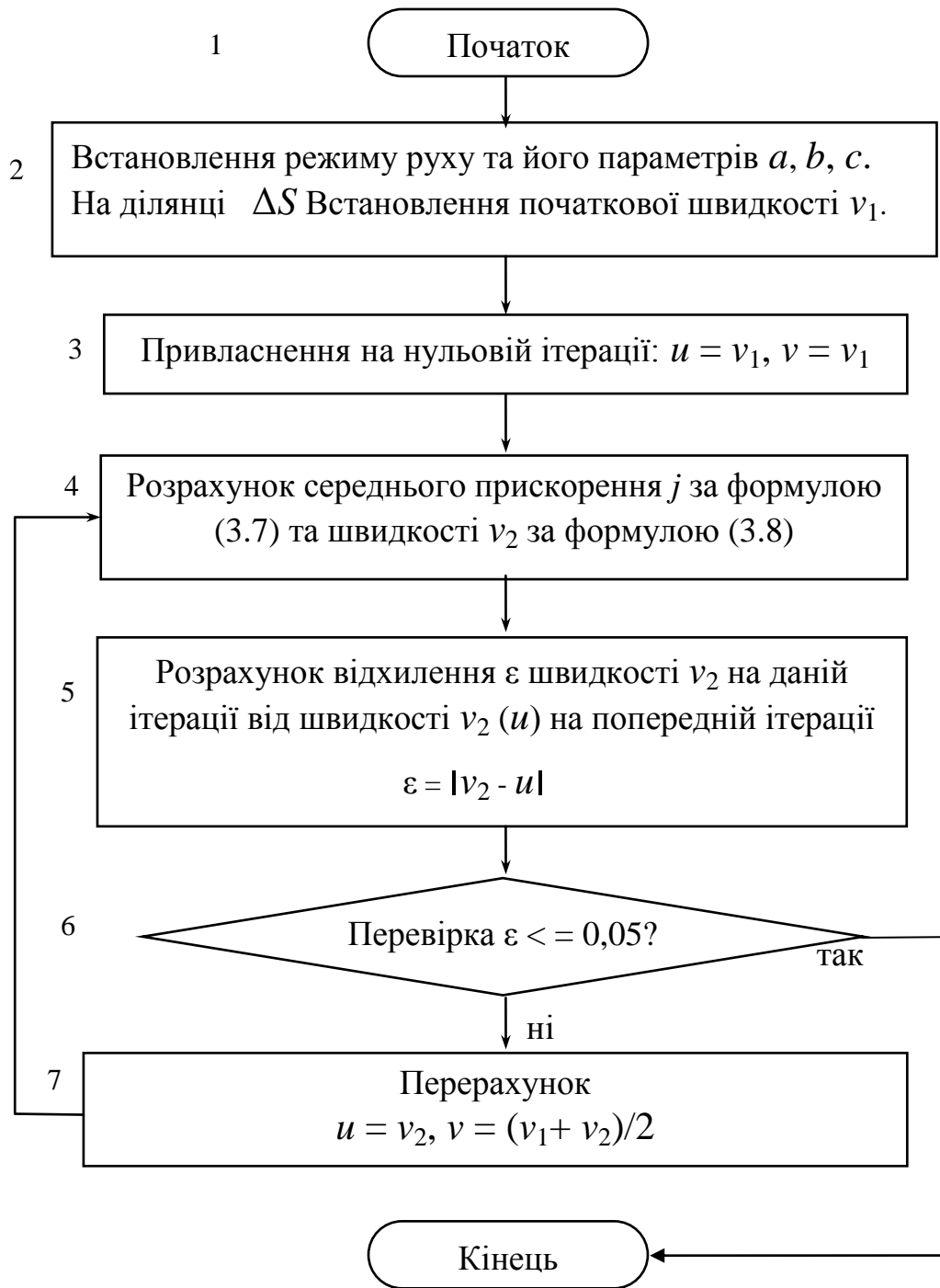


Рис. 4.2 - Схема алгоритму чисельного розв'язання рівняння (3.7) за схемою Ейлера з перерахунком

Позначено: початкова швидкість v_1 – це швидкість в кінці попередньої ділянки, 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 початкової швидкості v_1 . В блоці 4 середнє прискорення j розраховують за формулою(4.7), 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. 4.3. 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.

Найскладніше моделювати режими руху транспортного потоку на двосмугових дорогах. 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_{ϕ} 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

$$S_{\text{мін}} = v_1 \cdot t_{\text{об}} + l_{13} + v_3 \cdot t_{\text{об}}, \quad (4.9)$$

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

v_3 – швидкість зустрічного автомобіля, м/с/

При обґрунтуванні заборони 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 приблизно 10 с, запас $l_{13} \approx 30-50$ м. Наприклад, для дороги 3-ої категорії з розрахунковою швидкістю 100 км/год (28 м/с) за формулою (4.9) $S_{\text{мін}} \approx 750$ 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. 4.3:

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

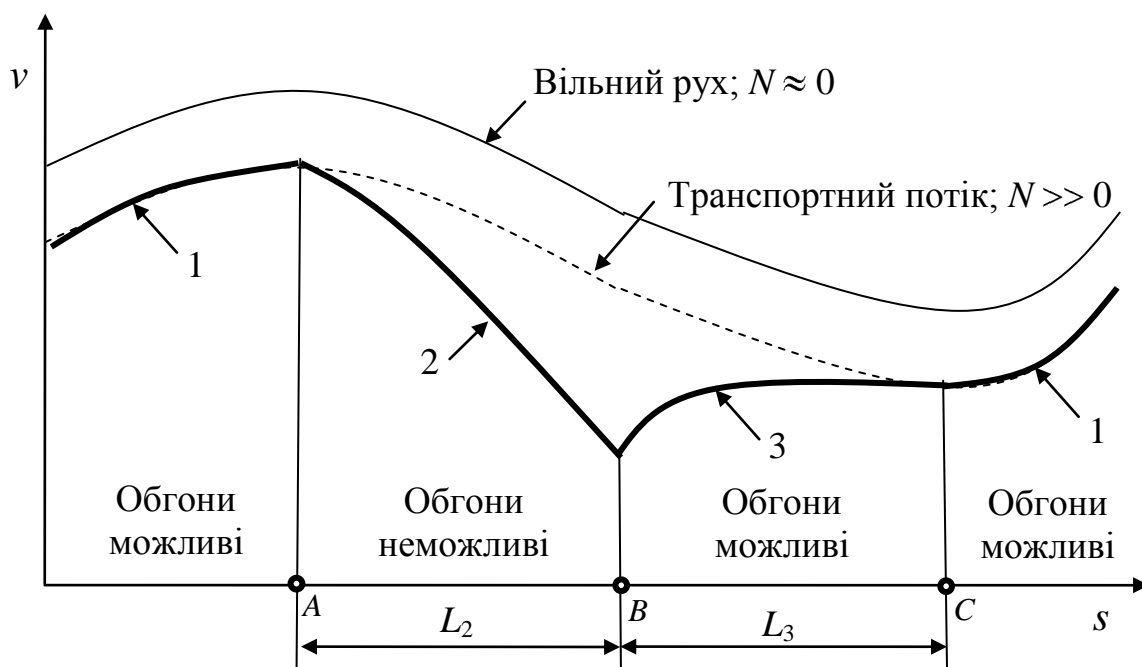


Рис. 4.3 – Графіки швидкості та режими руху транспортного потоку

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.

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.

На дільницях стаціонарного режиму водій швидкохідного автомобілю 1, догнавши тихохідний автомобіль 2, має дві можливості:

- виконати обгін «з ходу»,
- виконати обгін «з чеканням».

Обгін «з ходу» виконують, якщо в момент наближення до тихохідного автомобіля в зустрічному потоці є інтервал, якій достатній для обгону.

Обгін «з чеканням» водій вимушений виконувати, якщо обгін «з ходу» неможливий. Тому водій швидкохідного автомобілю 1 примушений знизити власну швидкість v_1 до швидкості v_2 тихохідного автомобіля та чекати інтервал в зустрічному потоці, якій достатній для обгону. Потім обгін виконують із прискоренням до швидкості (яка часто перевищує початкову v_1), достатній для швидкого об'їзду по зустрічній смузі тихохідного автомобілю та швидкого повернення на власну смугу, тому що з великою швидкістю неминує наближається зустрічний автомобіль.

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

Режим перехідний без обгонів (2) має місце на тих дільницях 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 дільницях, на яких обгони заборонені правилами дорожнього руху (із відповідною розміткою, дорожніми знаками).

Як видно з рис. 4.3, на дільницях перехідного без обгонів режиму руху загальна швидкість транспортного потоку починає відхилятися від тієї швидкості, яка була б, якщо б обгони були можливі – показано пунктиром. Це відхилення суттєво зростає із віддаленням від початку дільниці з неможливими обгонами, тобто, від точки А, тому що той автомобіль 2, що був тихохідним для автомобіля 1, в свою чергу доганяє ще більш тихохідного, а той, в свою чергу, ще більш тихохідного і т.д. Загальна швидкість транспортного потоку суттєво зменшується, зростає кількість

окремих груп (колон), в яких тихохідний автомобіль є ведучим цілої черги швидкохідних автомобілів. Одна черга доганяє другу і приймає її швидкість і т.д. Під час перехідного без обгонів кожний автомобіль примушено переходить із стану бажаної швидкості в стан меншої швидкості.

Режим перехідний без обгонів, що почався в точці A , закінчується через L_2 м в точці B із появою можливості обгонів.

Режим перехідний з обгонами (3) починається відразу же 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.

Як видно з рис. 4.3, на ділянках перехідного з обгонами режиму руху загальна швидкість транспортного потоку починає наближатися до швидкості стаціонарного режиму. Через L_3 м в точці C буде досягнута швидкість стаціонарного режиму, який буде продовжуватися до наступної ділянки із недостатньою для обгонів видимістю.

Кожний із зазначених режимів руху описується диференціально-вірогідними рівняннями. Даними для їх рішення є отримані раніш для кожної точки дороги розподіли швидкостей під час вільного руху усіх автомобілів, що входять до складу транспортного потоку. Результатами рішення є розподіли швидкостей автомобілів транспортного потоку із розрахунковою інтенсивністю та загальні середні швидкості вздовж дороги, як це показано на рис. 3.3.

За графіком загальної середньої швидкості потоку та типових автомобілів потоку (легкових, вантажних, автопоїздів, автобусів тощо) оцінюють відповідність нормативним вимогам показників технічного рівня та експлуатаційного стану дороги.

6. Алгоритм обчислення пропускної здатності дороги.

Моделювання режимів руху автомобілів транспортного потоку дозволяє оцінювати пропускну здатність дороги з використанням наступних положень.

1. Рух транспортного потоку відбувається в часі та в просторі з показниками:
 - N – інтенсивність, авт/година,
 - Λ – щільність, км/година, авт/км.
2. Залежність Інтенсивність-Щільність, тобто залежність руху потоку в просторі і в часі існує в межах $0 \leq \Lambda \leq \Lambda_{\max}$. Особливість її така:
 - якщо $\Lambda = 0$, то рух потоку вільний і $N \rightarrow 0$.
 - якщо $\Lambda = \Lambda_{\max}$, то руху нема, це затор - і тому знову $N=0$.Від вільного руху ($\Lambda = 0, N \rightarrow 0$) до затору ($\Lambda = \Lambda_{\max}, N=0$) інтенсивність змінюється тільки з переходом через максимум, як це відображено на транспортній діаграмі на рис. 4.4.
3. Зрозуміло, що пропускна здатність визначається як максимум N_{\max} залежності Інтенсивність-Щільність в транспортній діаграмі.

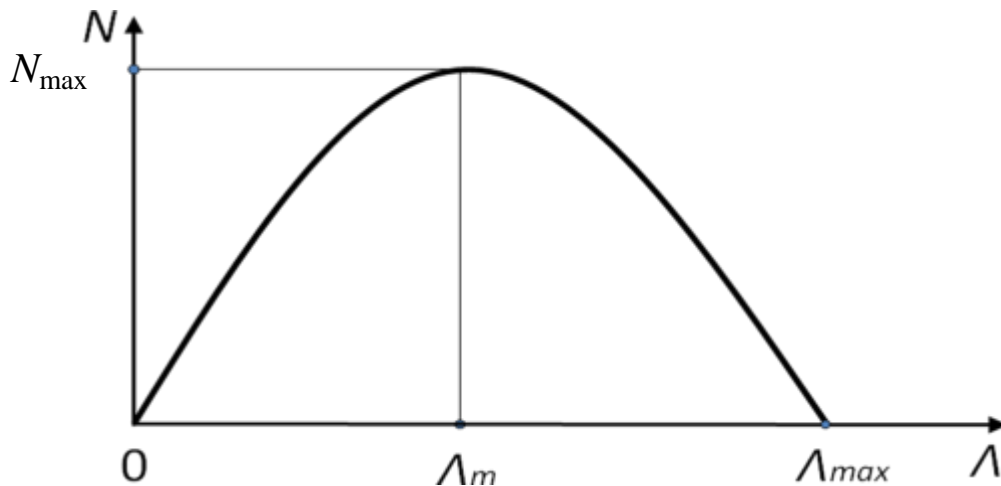


Рис. 4.4 – Основна транспортна діаграма

4. Основна транспортна діаграма дає змогу встановити швидкість транспортного потоку, якщо порівняти одиниці вимірювання параметрів потоку:

- N – інтенсивність, авт/година,
- Λ – щільність, авт/км,
- V - швидкість, км/година.

Отже, маємо

$$\frac{N}{\Lambda} = \frac{\frac{\text{авт}}{\text{година}}}{\frac{\text{авт}}{\text{км}}} = \frac{\text{км}}{\text{година}} = V$$

і остаточно

$$V = \frac{N}{\Lambda} \quad (4.10)$$

Таким чином, для будь-якої точки діаграми відношення N / Λ – це відношення катетів, тобто N / Λ – це тангенс кута α на рис. 4.5

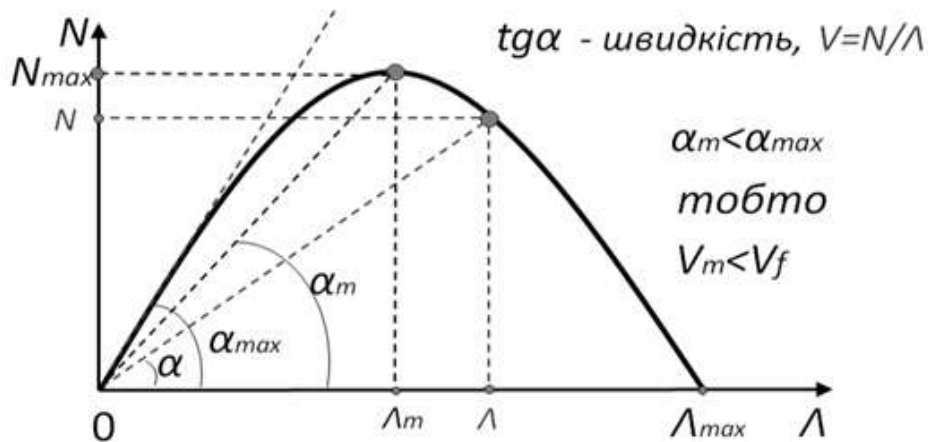


Рис. 4.5 – Швидкість транспортного потоку на транспортній діаграмі

Кут α змінюється від α_{\max} (це вільний рух автомобілів, N , $\Lambda \rightarrow 0$) до 0 (це затор, Λ_{\max} , $N=0$). Тангенс максимального кута α_{\max} – це так звана швидкість вільного руху V_f , тобто $V_f = \text{tg } \alpha_{\max}$. Як слідує з цих залежностей і з діаграми на рис. 4.5, пропускної здатності N_{\max} відповідає кут α_m (швидкість V_m) і щільність Λ_m . З ростом щільності потоку кут α і відповідно швидкість потоку V

знижуються. Максимальній щільності Λ_{\max} відповідає нульовий кут, нульова швидкість і нульова інтенсивність (затор).

5. Залежність швидкості від інтенсивності – це ще один різновид транспортної діаграми. Зверніть увагу, що одному значенню інтенсивності N відповідає два значення швидкості V_1 і V_2 . Лише пропускній здатності N_{\max} відповідає одне значення швидкості V_m .

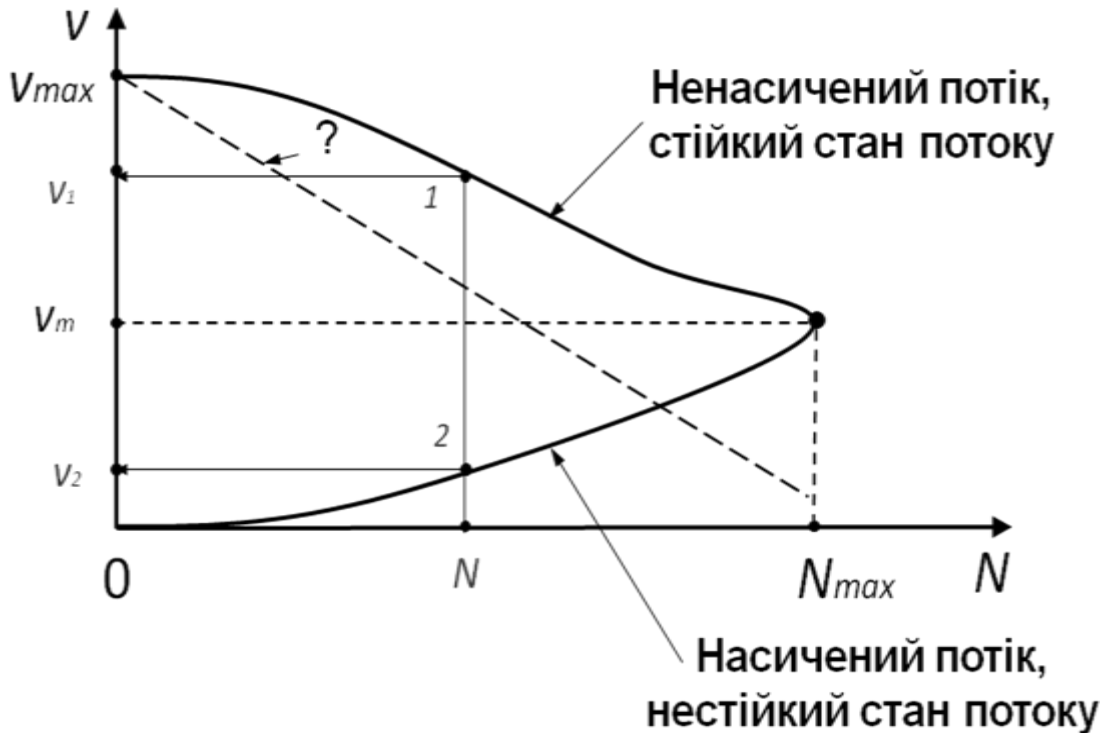


Рис. 4.6 - Залежність швидкості від інтенсивності

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

Програми для EOM *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 ГТУ):

- 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. Опвшить 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.

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ТЕС ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ І ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

1. Загальні принципи оцінки ТЕС дорожнього одягу і земляного полотна.
2. Попередні обстеження дорожнього одягу і земляного полотна.
3. Підготовка до детальних обстежень.
4. Детальні обстеження дорожнього одягу і земляного полотна.

1. Загальні принципи оцінки ТЕС дорожнього одягу і земляного полотна.

Із збільшенням інтенсивності руху транспорту і зростанням вантажопідйомності транспортних засобів збільшуються навантаження на дорожній одяг і земляне полотно (дорожню конструкцію). погодно-кліматичні чинники сприяють погіршенню стану покриття. Зростає кількість пошкоджень проїзної частини і змінюється характер пошкоджень і руйнувань дорожнього одягу, знижується надійність її безвідмовної роботи. В складних погодних умовах ускладнюється режим руху і аварійність на автомобільній дорозі зростає. ТЕС дорожнього одягу і земляного полотна змінюються в процесі експлуатації під впливом багатьох чинників.

Одним з найважливіших показників ТЕС дорожньої конструкції є її надійність, яку оцінюють як вірогідність безвідмовної роботи конструкції протягом всього періоду між капітальними ремонтами. Кількісно рівень надійності визначається як відношення протяжності L_H міцних (непошкоджених) ділянок із значенням коефіцієнта міцності, який повинен мати дорожній одяг до кінця терміну служби між капітальними ремонтами залежно від категорії дороги) до загальної протяжності дороги L , тобто

$$K_n = \frac{L_H}{L}. \quad (5.1)$$

Граничні значення коефіцієнтів надійності для доріг I–II категорії з вдосконаленими капітальними типами покриттів – 0,95; III категорії – 0,90; для доріг з полегшеними типами покриттів III-IV категорії – 0,85; для доріг з перехідними типами покриттів IV-V категорії – 0,60.

Роботи за оцінкою ТЕС дорожньої конструкції проводять в три етапи:

- попередні обстеження;
- підготовка до детальних обстежень;
- детальні обстеження.

2. Попередні обстеження дорожнього одягу і земляного полотна.

Порядок обстеження дорожніх конструкцій з нежорсткими покриттями для оцінки і поліпшення їх стану приведений на рис. 5.1.

Попереднє обстеження починають не раніше, ніж за рік до проведення польових випробувань дорожніх конструкцій. Вигляд і кількість дефектів на дорожньому покритті, межі їх розповсюдження встановлюють на основі візуальної оцінки. Результати обстеження представляють в наступній формі (таблиця 5.1). Всі знайдені дефекти покриття підрозділяють на види відповідно до характерних особливостей (таблиця 5.2).

Таблиця 5.1- Журнал реєстрації дефектів

№ п/п	Характерні ділянки по видах дефектів в порядку їх розташування уздовж дороги	Межі ділянок	
		Початок (км+м)	Кінець (км+м)
1	2	3	4

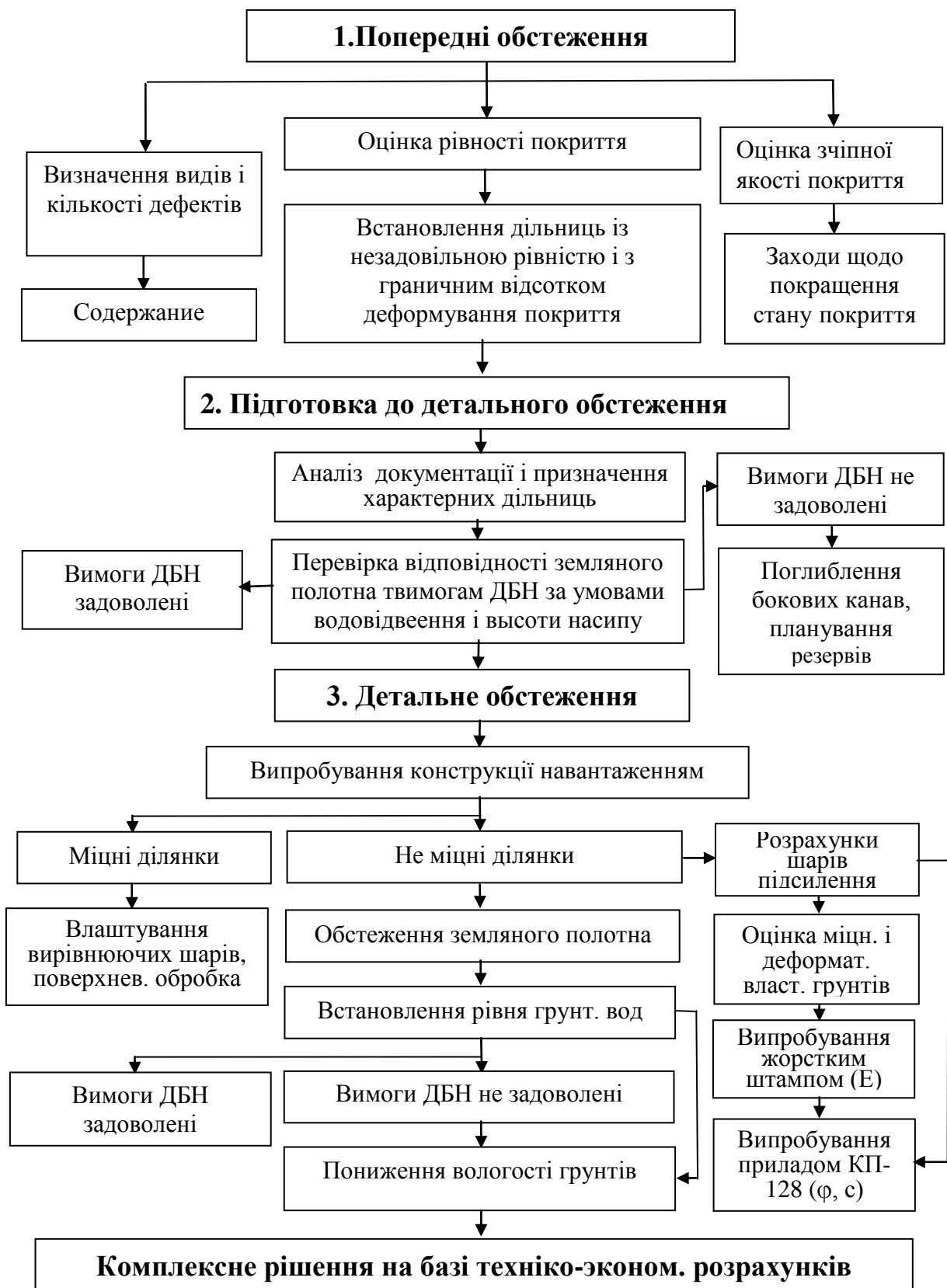


Рис. 5.1 – Порядок обстеження дорожніх конструкцій із нежорстким одягом для оцінки і покращення їх стану

Таблиця 5.2 – Перелік і характеристика дефектів дорожнього одягу нежорсткого типу

Види дефектів дорожнього одягу	Визначення виду дефекту	Основні ознаки	Місце виникнення дефекту	Основні причини дефекту
1	2	3	4	5
1 Деформації	Скривлення покриття, обумовлене зсувом і стисканням			
1.1 Нерівності покриття	Нерівномірна зміна рівня покриття (осідання-опуклість) у поздовжньому і поперечному напрямку	Поздовжня нерівність розвивається поступово, збільшується під час консолідації основи і ґрунтів. Поперечна нерівність, нечітко виявлена деформація по смузі накату		Недостатня і нерівномірна несуча здатність основи і ґрунтів, недостатня зсувостійкість асфальтобетону
1.2 Колійність	Поперечна пластична деформація покриття на смузі накату	Колія характеризується шириною й глибиною	На смузі накату	Важкий та інтенсивний, каналізований рух, недостатня зсувостійкість асфальтобетону
1.3 Хвилі	Поздовжні хвилі, гребінь покриття над його первісним рівнем, супроводжується іншими типами деформацій	Сітки тріщин, пролами. Хвилі мають коротку довжину, але відносно велику амплітуду	На смузі накату (на ділянках раптового гальмування)	Недостатня міцність конструкції, різке гальмування, недостатня зсувостійкість асфальтобетонного покриття чи основи
1.4 Осідання	Різке скривлення профілю покриття у вигляді впадин з округлими краями у визначених зонах	Осідання глибиною до 4 – 5 см	Перед мостами та в інших місцях	Недостатнє ущільнення ґрунту, незадовільний водовідвід
2 Тріщиноутворення	Порушення цілісності покриття			
2.1 Волосяні тріщини	Тонкі дрібні тріщини, найчастіше на смузі накату	Тріщини шириною 1 – 2 мм, чіткіше видні на вологому покритті	На всьому покритті, частіше на смузі накату	Недостатня кількість в'язучого, випалений бітум, утомленість дорожнього одягу

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5
2.2 Сітка тріщин	Безліч тріщин у вигляді сітки	Сітка тріщин у вигляді безлічі багатокутників	Спочатку на смугах накату і крайці проїжджої частини, потім на всьому покритті	Недостатня несуча здатність дорожнього одягу через перезволоження хитливих ґрунтів чи недоуцільнення, втома дорожнього одягу
2.3 Зсув частини дорожнього одягу	Поздовжні тріщини на покритті	Осідання частини дорожнього одягу з утворенням поздовжньої тріщини	На стику основної і розширеної проїжджої частини, на слабких ґрунтах	Недостатня несуча здатність конструкції розширення, консолідація водонасичених слабких ґрунтів
2.4 Облом краю плити	Осідання краю покриття з утворенням подовжніх тріщин і сітки тріщин	Тріщиноутворення починається у поздовжньому напрямку, згодом утворюються сітки тріщин і осідає частина дорожнього одягу	Край покриття	Недостатня несуча здатність краю дорожнього одягу, обумовлена перезволоженням ґрунтів узбіччя, недостатня ширина проїжджої частини
2.5 Поперечні тріщини	Повторювані тріщини, що розвиваються під прямим кутом до осі дороги на визначеній відстані одна від одної	Поперечні тріщини температурного характеру, що розширюються в холодний період року, на відстані 3 – 20 м одна від одної	На покритті напівжорсткого дорожнього одягу й інших конструкціях	Дорожній одяг складається із шарів з різним коефіцієнтом температурного розширення, старіння асфальтобетону чи використання бітумів, що не відповідають вимогам нормативних документів
2.6 Тріщини в хаотичному напрямку	Хаотичні тріщини	Відбиті тріщини у найрізноманітніших напрямках	На напівжорсткому дорожньому одязі	Відбиття тріщин, що виникли в шарах із застосуванням мінеральних в'язучих через недостатню несучу здатність ґрунтів

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5
2.7 Руйнування шва	Поздовжні і поперечні тріщини, що утворюються на з'єднанні двох смуг асфальтобетонного покриття	Тріщини з'являються майже на прямій лінії, що є поздовжньою при укладанні двох смуг асфальтобетонного покриття, чи поперечною при поновленні укладання	На стику з покриттям, що знову укладається	Порушення технології укладання асфальтобетону
2.8 Зсув з розривом по-криття	Горизонтальний зсув шару зносу	Дугоподібні волосяні тріщини у зоні гальмування, що значно розкриваються в процесі руйнування	На ділянках доріг з частим гальмуванням	Недостатнє зчеплення між шарами, тонкий шар зносу (2 – 3 см), незадовільний склад асфальтобетону
2.9 Тріщини в місцях осі-дань	Тріщини в конструкції дорожнього одягу, обумовлені розтягуючими напруженнями	Поздовжні і поперечні тріщини, сітки тріщин	На підходах до мостів, у місцях недостатньої щільності	Недостатня несуча здатність ґрунтової основи, осідання ґрунтів на підході до мосту
3 Дезінтеграція	Розпад матеріалу шару зносу і покриття на шматки			
3.1 Лущення	Дефекти у вигляді поглиблень на невеликих ділянках шару зносу	Утворення неглибоких вибоїв при відшаровуванні шару зносу		Незадовільна якість матеріалів, розшарування суміші при транспортуванні, порушення зв'язку між шарами
3.2 Вибоїни	Місцеві руйнування дорожнього покриття у вигляді поглиблень у верхньому шарі	Вторинне руйнування покриття після утворення в ньому тріщин		Порушення технології укладання і складу суміші, старіння асфальтобетону
3.3 Пролами	Дефекти у вигляді поглиблень більше, ніж у одному шарі в обмеженій зоні	Повне руйнування дорожнього одягу з різким скривленням профілю покриття		Недостатня несуча здатність

Кінець таблиці 5.2

1	2	3	4	5
3.4 Поверхневі вибоїни	Руйнування в шарі зносу у вигляді пластин	Поверхневі вибоїни невеликого розміру		Порушення технології укладання, недостатня кількість в'язучого чи випалене в'язке
4 Руйнування покриття	Руйнування покриття без дезінтеграції матеріалів дорожнього одягу			
4.1 Виступання бітуму	Випотівання органічного в'язучого	Бітум у вигляді плями, що виступає на поверхні покриття		Порушення складу асфальтобет., надлишок бітуму
4.2 Викришування кам'яного матер.	Відшаровування шару зносу	Винос частини кам'яного матеріалу		Недотримання технології укладання шару зносу
4.3 Покриття з відкритою текстурою	Застосування покриття з високою пористістю	Руйнування покриття при повторних циклах промерзання-відтавання		Незадовільні технологія укладання та склад суміші
5. Інші дефекти	Дефекти, викликані порушенням технології та неправильною експлуатацією			
5.1 Руйнування на стику смуг укладання	Руйнування шву, але не у вигляді тріщини	Колієутворення на стику смуг укладання	На стику укладання суміжних смуг	Незадовільна технологія укладання
5.2 Руйнування крайки покриття	Нерівна лінія краю покриття	Осідання краю покриття	На крайці покриття	Відсутність бічного упора, недостат. міцність основи
5.3 Руйнування в місцях сполучення з іншою констр.	Різна реакція неоднакових за несучою здатністю конструкцій дорожніх одягів	Утворення виступу	На підходах до мостів, на переїздах, перехрестях	Осідання ґрунтової основи, недостатне ущільнення конструкції
5.4 Механічне руйнування	Руйнування, обумовлене впливом не передбачених машин і устаткування	Сліди гусениць, руйнування краю покриття снігоприбиральними, великовантажними машинами		Порушення режиму експлуатації дороги

В тих випадках, коли на обстежуваних ділянках покриття доволіно чергуються декілька дефектів що змінять один одного з невеликими зонами розповсюдження, необхідно давати комплексний опис стану покриття з виділенням того дефекту, який найбільш характерний для даної ділянки.

3. Підготовка до детальних обстежень.

Підготовку до детального обстеження проводять одночасно з попереднім обстеженням проїзної частини або безпосередньо після проведення візуального обстеження.

На цьому етапі аналізують:

- подовжній профіль і план траси (проект і факт);
- умови будівництва автомобільної дороги, тобто погоднокліматичні умови у момент зведення земляного полотна і влаштування конструктивних шарів дорожнього одягу, технологію виробництва робіт на всіх етапах (журнали виробництва робіт);
- заходи щодо утримання автомобільної дороги і дані про час проведення ремонтних робіт, види ремонтів з вказівкою стану дорожнього одягу перед ремонтом, обсяг і технологію виконаних робіт, якість робіт і матеріалів, що застосовувалися, погоднокліматичні умови при виробництві робіт (паспорт, акти приймання, журнали виробництва ремонтних робіт і т. д.);
- дані обліку складу і інтенсивності руху за весь період експлуатації, що передуює обстеженню;
- дані про фактичний стан покриття і результати раніше проведених обстежень (звіти за оцінкою міцності дорожнього одягу, дефектні відомості, звіти про весняні і осінні огляди автомобільної дороги і т. д.).

За наслідками аналізу призначають характерні ділянки, що вимагають детальних обстежень. За характерну приймають ділянку, відмінну від сусідніх хоча б однією з наступних ознак: конструкцією дорожнього одягу, ґрунтом земляного полотна і типом поперечного профілю, типом місцевості за умов зволоження, технологією влаштування дорожнього одягу і якістю матеріалів, що

застосовувалися, інтенсивністю руху, станом покриття по видах дефектів.

Межі і властивості характерних ділянок приводять в зведеній відомості (рис. 5.2: АБДЗ – асфальтобетон дрібнозернистий; ЧЩ – чорний щебінь; розташування контрольної точки уточнюють в процесі проведення детальних обстежень).

Кілометри	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41																
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 15%;"> <table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>АБДЗ – 4</td></tr> <tr><td>АБМЗ – 4</td></tr> <tr><td>ЧЩ – 10</td></tr> <tr><td>Гравій – 22</td></tr> <tr><td>Пісок – 20</td></tr> </table> </div> <div style="width: 60%; text-align: center;"> <table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>АБДЗ-4 см</td><td>1980</td></tr> <tr><td>Щебінь-17</td><td>1969</td></tr> <tr><td>Пісок - 20</td><td></td></tr> </table> </div> <div style="width: 15%;"> <table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>АБМЗ – 4</td></tr> <tr><td>АБМЗ – 4</td></tr> <tr><td>ЧЩ – 11</td></tr> <tr><td>Гравій – 30</td></tr> <tr><td>Пісок – 14</td></tr> </table> </div> </div>	АБДЗ – 4	АБМЗ – 4	ЧЩ – 10	Гравій – 22	Пісок – 20	АБДЗ-4 см	1980	Щебінь-17	1969	Пісок - 20		АБМЗ – 4	АБМЗ – 4	ЧЩ – 11	Гравій – 30	Пісок – 14	Конструкція дорожнього одягу											
АБДЗ – 4																												
АБМЗ – 4																												
ЧЩ – 10																												
Гравій – 22																												
Пісок – 20																												
АБДЗ-4 см	1980																											
Щебінь-17	1969																											
Пісок - 20																												
АБМЗ – 4																												
АБМЗ – 4																												
ЧЩ – 11																												
Гравій – 30																												
Пісок – 14																												
Грунт земляного полотна	Суглінок важкий						Супісь																					
Тип місцевості за умовами зволоження	Тип I			Тип II																								
Приведена інтенсивність руху	Обліковий пункт № 2 630 авт/добу					Обліковий пункт № 3 900 авт/добу																						
Стан покриття за видами дефектів	Часті тріщини			Рідкі тріщини, місцями окремі тріщини і вибоїни			Окремі і рідкі тріщини																					
Характерні ділянки і розташування контрольних точок	<u>км 28+070</u> 1,2 м		<u>км 32</u> 1,2 м		<u>км 36+520</u> 1,2 м			<u>км 41+000</u> 1,4 м																				

Рис. 5.2 – Приклад зведеної відомості результатів оцінки стану проїзної частини і аналіза документованих даних

При визначенні меж характерних ділянок суміжні ділянки можуть бути з'єднані за інших рівних умов, якщо:

- розрахункові (проектні) модулі пружності дорожніх конструкцій відрізняються не більше ніж на 5 %;
- необхідні модулі пружності конструкцій, визначені по фактичних інтенсивностях розрахункового руху при дотриманні першої умови, відрізняються не більше ніж $\pm 5\%$.

3. Детальні обстеження дорожнього одягу і земляного полотна.

Полеві випробування дорожніх конструкцій проводять в розрахунковий і не розрахунковий періоди року за умови приведення отриманих результатів до розрахункового року (періоду).

Випробування починають з дорожніх конструкцій на контрольних точках (КТ). На кожній характерній ділянці вибирають одну КТ в такому місці на покритті, де стан його по видах дефектів є характерним для даної ділянки. Якщо в межах характерної ділянки розвинені декілька дефектів, що займають приблизно однакові площі, то КТ розташовують на ділянці з гіршим станом покриття. КТ розташовують на смузі накату, яка найближча до кромки покриття. Місце розташування КТ повинне бути відзначено на покритті яскравою водостійкою фарбою у вигляді прямокутника розміром 10 × 20 см, витягнутому в подовжньому напрямі.

Контрольні випробування здійснюють методом статичного навантаження колесом автомобіля. Для випробувань застосовують вантажний двовісний автомобіль з навантаженням на колесо 30-50 кН, тиск повітря в шинах – 0,50-0,55 МПа. Шини задніх коліс автомобіля повинні мати дорожній тип малюнка протектора і бути у хорошому стані.

Якщо випробування було виконано не розрахунковим автомобілем, то, приймають $\mu = 0,3$ і результати випробувань приводять до розрахункового навантаження по формулі:

$$E_A = K_A \frac{Q_K}{l} \quad (5.2)$$

де E_A - модуль пружності дорожньої конструкції, МПа;

K_A - коефіцієнт, рівний 0,36 МПа·см / кН;

Q_K - навантаження на колесо автомобіля, що використовується, кН;

l - величина зміряного оборотного прогинання.

Навантаження на колесо перевіряють за допомогою переносних гідравлічних або автомобільних терезів. Для вимірювання оборотних прогинань використовують прогиномір з довгою базою важеля (КП-204). Високопродуктивні лінійні випробування з використанням, наприклад, установки короткочасного динамічного навантаження типу УДН-НК конструкції МАДІ і ін.

При одночасному використуванні методів статичного і тимчасового навантаження проводять тарировані випробування з метою приведення результатів лінійних випробувань до зіставного вигляду.

Лінійні випробування проводять рівномірно по смузі накату (1-1,5 м від кромки покриття) в обсязі:

- 20 випробувань на кожному кілометровому відрізку характерної ділянки і на кожному відрізку характерної ділянки завдовжки менше 1 км при розрахунковому рівні надійності дорожнього одягу 0,85-0,90;

- 28 випробувань – при рівні надійності 0,95;

- 12 випробувань – при рівні надійності 0,75-0,80;

- 10 випробувань – при рівні надійності 0,5-0,6;

Якщо розрахунковий рівень надійності обстежуваного дорожнього одягу не відомий, то на кожному відрізку проводять 30 випробувань.

При вимірюваннях міцності можуть бути різні варіанти польових випробувань дорожнього одягу навантаженням:

- тільки в розрахунковий період;
- тільки в нерозрахунковий період;
- безперервні – в розрахункові і нерозрахункові періоди року;
- комбінований метод, коли лінійні випробування проводять в нерозрахункові періоди року, а контрольні випробування – безперервно протягом всього сезону випробувань.

Контрольні випробування в розрахункові (весняні) періоди року повинні бути початі за 7-10 днів до звичайного терміну обмеження руху в районі обстежуваної дороги і продовжені протягом всього періоду найбільшої виснаженості дорожньої конструкції. На кожній КТ випробування проводять через день з 1400 до 1700. Загальний період випробувань на контрольній точці – не менше 30-35 днів.

Для приведення результатів випробувань до розрахункового року паралельно з випробуваннями на КТ визначають вогкість ґрунту земляного полотна. Для цього виривають шурфи на узбіччі безпосередньо поблизу КТ і періодично (один раз в 3-5 днів) відбирають проби ґрунту з-під проїзної частини для виявлення зміни відносної вогкості ґрунту в часі. Необхідно прагнути, щоб лінійні випробування були закінчені раніше, ніж вимірювання на КТ.

В нерозрахункові періоди на кожній КТ проводять одноразове випробування з вимірюванням температури покриття і вогкості ґрунту земляного полотна в шурфі, відритому на узбіччі. Крім того, на кожному виді дорожнього одягу одну з КТ випробовують протягом одного дня через кожні дві години з 8-00 до 17-00 з одночасним вимірюванням температури покриття. Причому протягом цього часу не повинні випадати осідання. Випробування з використанням прогиноміру можна проводити при температурі покриття не вище 50° С.

Питання по контролю та самоконтролю знань

1. Приведіть залежність для розрахунку надійності дорожньої конструкції.
2. Приведіть форму журналу для реєстрації дефектів проїзної частини.
3. Назвіть види і характерні особливості дефектів покриття.
4. Приведіть приклад зведеної відомості результатів оцінки стану проїзної частини і аналізу документальних даних
5. Опишіть основні процедури випробування дорожньої конструкції методом статичного навантаження колесом автомобіля.

ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДСИЛЕННЯ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ОБСТЕЖЕННЯ

- 1. Оцінка міцності шарів дорожнього одягу за результатами розкриття.**
- 2. Розрахунок міцності дорожнього одягу, що експлуатується .**
- 3. Обґрунтування капітального ремонту з підсиленням дорожнього одягу**
- 4. Конструювання підсилення дорожнього одягу з рорахунком його міцності на ЕОМ.**

1. Оцінка міцності шарів дорожнього одягу за результатами розкриття.

Випробування за оцінкою міцності дорожнього одягу методом визначення прогину під колесом автомобіля дають можливість визначити фактичну міцність дорожніх конструкцій в будь-який період часу. Проте при цих випробуваннях не представляється можливим, за винятком окремих випадків, визначити міцність при розрахунковому стані дорожнього одягу з перезволоженим – ґрунтовим робочим шаром. Розрахунковий стан характеризується певною повторюваністю по роках і короткочасним розрахунковим періодом. Це утрудняє безпосереднє отримання розрахункових характеристик міцності дорожнього одягу на експлуатованих дорогах. Для визначення міцності дорожнього одягу при розрахунковому стані може бути рекомендований один з наближених методів – метод розрахунку загальної міцності за оцінкою окремих шарів.

В нормативних методиках ВСН 46-83, ВБНВ.2.3-218-186-2004 визначення еквівалентного модуля не охоплює всього різноманіття конструкцій дорожнього одягу одного і того ж типу і різноманітності стану окремих шарів. Чинники, які при цьому слід враховувати:

- залежність міцності окремого шару від міцності становлячих компонентів матеріалу шару і різного стану в'язучого;

- особливості технологічних процесів перемішування і ущільнення матеріалів цих шарів;
- відмінності в умовах служби шарів, а саме – можливий ступінь зволоження з різних джерел, місце в багатошаровій системі дорожнього одягу і, отже, ступінь дії навантажень;
- ступінь зносу шарів покриттів за період служби.

Методика визначення еквівалентного модуля пружності дорожнього одягу ґрунтується на вимірюваннях в типових місцях товщини шарів дорожнього одягу і на оцінці міцності кожного шару з урахуванням фактичного стану матеріалу шару, який істотно змінився під дією навантаження і природних чинників.

При необхідності розрахунку фактичної міцності нежорстких дорожніх одягів за даними розкриття оцінювання стану кожного шару одягу рекомендується виконувати за допомогою чотирьох поправочних коефіцієнтів: коефіцієнта впливу міцності складових шару – $K_{мц}$, коефіцієнта впливу в'язучого – $K_{в}$, коефіцієнта впливу якості технології – $K_{т}$, коефіцієнта впливу умов служби – $K_{с}$.

Числові значення поправочних коефіцієнтів для оцінювання розрахункової фактичної міцності нежорстких дорожніх одягів, наведені в таблиці 6.1.

Основні положення методики визначення модуля пружності дорожнього одягу, зводяться до наступного.

В межах обстежуваної ділянки дороги, що має постійну конструкцію дорожнього одягу, проводять зовнішній огляд дорожнього одягу з оцінкою стану в балах і виділяють, за станом покриття, найхарактерніші місця, де повинне бути розкриття.

Розкриття дорожнього одягу проводять на смузї накату на всю товщину до ґрунтової підстави. Розміри розкриття в плані 50x50 см. В процесі розкриття виділяють окремі шари і описують найхарактернішого стану матеріалу і шару в цілому на основі візуального огляду стінок поперечника з попереднім їх очищенням. Вид ґрунту земляного полотна, стан матеріалу в шарах дорожнього одягу, на кожному поперечнику характерних ділянок дороги на зовнішній смузї накату на відстані 1 – 2 м від краю проїжджої частини виконують розкриття дорожнього одягу. При розкритті визначають тип, товщину, вологість і стан підстиляючого ґрунту, а також виділяють окремі шари дорожнього одягу і виконують опис

найбільш характерного стану матеріалу і шару в цілому. Виділення кожного шару виконується на основі візуального огляду стінок вирубки з попереднім їхнім очищенням.

Шари можуть бути виділені за видом матеріалу, за такими зовнішніми ознаками, як колір, запах (при вмісті органічного в'язучого). При розташуванні крупнопористих шарів (щебених, шлакових) на піщаній основі окремі щебінки можуть вклинюватися в поверхню шару. Не слід допускати в цьому випадку помилки і виділяти границю щебеневого шару за нижньою гранню окремих щебінок.

У процесі розбирання дорожнього одягу робиться опис кожного шару за такими ознаками:

- товщину шару вимірюють за периметром вирубки в чотирьох місцях з точністю до 0,5 см; обчислюють середню товщину кожного шару для даного місця випробування.
- оцінюють матеріал шару за міцністю (відзначається наявність роздавлених щебінок, внутрішній знос, ступінь забруднення матеріалу);
- відзначають стан покриття щодо деформативності й зносу (наявність тріщин, сіток тріщин, осідань, лущення асфальтобетонного покриття).
- для матеріалів, укріплених органічним в'язучим, відзначають якість і кількість в'язучого в шарі (недостатня кількість або надлишок в'язучого в шарі, ступінь рівномірності розподілу в'язучого в шарі), ступінь в'язкості в'язучого.
- оцінюють технологічні особливості кожного шару (ступінь ущільнення, наявність рухливості матеріалу, візуально – фракційний склад, нерівномірна товщина шару, занижена товщина шару порівняно з необхідним мінімальним ступенем перемішування із в'язучим).
- оцінюють особливості, пов'язані з умовами служби шару (місце розташування шарів у системі, ступінь зволоження матеріалу й джерела зволоження, вимивання в'язучого в шарі, сліди розмокання матеріалу).

Стосовно матеріалу кожного шару, з урахуванням властивостей і можливої типової технології будівництва, встановлюють найбільш характерні розрахункові величини модулів

деформації. За допомогою шкали поправочних коефіцієнтів, на основі візуального оцінювання, при розкритті вносять виправлення величини модулів деформації шарів. Після цього встановлюють розрахункові фактичні значення модулів деформації кожного шару дорожнього одягу за залежністю:

$$E_{\phi_{ш}} = E_n \cdot K_m \cdot K_v \cdot K_T \cdot K_c. \quad (6.1)$$

За даними виміру товщини й встановлених фактичних значень розрахункових модулів деформації шарів визначається еквівалентний розрахунковий модуль деформації дорожнього одягу E_{ef} .

Таблиця 6.1 – Значення поправочних коефіцієнтів

Найменування коефіцієнта	Можливі відхилення від норми	Числове значення коефіцієнта
1	2	3
K _{мц} – вплив міцності складових шару	Матеріал шару однорідний, міцний. Руйнувань і зносу немає.	1,00
	На покритті окремі рідкі тріщини (поперечні, поздовжні, косі).	0,90
	На покритті деформації у вигляді частих тріщин (поперечних, поздовжніх, косих).	0,80 – 0,85
	На покритті значні деформації у вигляді сітки тріщин розміром 0,5 – 0,6 м у поперечнику.	0,65 – 0,70
	На покритті значні деформації на площі у вигляді густої дрібної сітки тріщин зі сторонами менше 15 – 20 см у поперечнику й осіданнями у місці тріщин зі сторонами не менше 15 – 20 см у поперечнику й осіданнями в місцях тріщин.	0,45 – 0,50
	У щелевому шарі є окремі роздавлені щебінки (5 – 10 %), спостерігається внутрішній знос або в шарі щебеню утримується до 10 % дріб'язку розміром менше 2 мм.	0,85 – 0,90
	Вміст роздавлених щебінок у шарі становить 15 – 20 % або у шарі присутній дріб'язок (менше 2 мм) – 15 – 20 %.	0,65 – 0,70
	Вміст роздавлених щебінок у шарі становить 25 – 30 % або у шарі присутній дріб'язок (менше 2 мм) – 25 – 30 %.	0,45 – 0,50
Матеріал шару цілком розпався під впливом навантаження.	0,30	

К _в – вплив в'язу- чого	Матеріал повністю оброблений в'язучим (рівномірно), що забезпечує міцне зчеплення.	1,00
	Брак в'язучого в шарі (на поверхні окремих щебінок світлі плями, наявність в шарі необроблених агрегатів).	0,90
	Наявність в шарі в достатній кількості в'язучого досить високої в'язкості або рідкого в'язучого, що не забезпечує належного міцного зчеплення матеріалу.	0,70 – 0,80
	Ледь помітні сліди в'язучого в шарі (результат недостатнього дозування). Надлишковий вміст в'язучого в шарі (жирна суміш).	0,50 – 0,60 0,80 – 0,85
К _т – вплив якості техно- логії	Шар щільний, міцно зв'язаний, рівномірної і достатньої товщини, рухливості в шарі немає, розподіл в'язучого у шарі рівномірний.	1,00
	Занижена товщина шару в порівнянні з необхідною, значне коливання товщини шарів по периметру. Матеріал шару неоднорідний, розподіл в'язучого в шарі нерівномірний.	0,85 – 0,90
	Недостатнє ущільнення зв'язних шарів. Шар порівняно легко розбирається за допомогою інструмента (брухту, лопати).	0,80
	Шар пухкий, рухливий, зв'язність у шарі відсутня (недоущільнення або застосування одномірного матеріалу). У верхній частині ґрунтової основи є окремі дрібні щебінки (у невеликій кількості), що підвищує міцність шару.	0,50 – 0,60 1,10 – 1,20
К _с – вплив умов служби	Шар міцний, щільний, сухий, має достатнє зчеплення. Слідів розмокання матеріалу і вимивання в'язучого немає.	1,00
	Є незначне зволоження матеріалу шару, що не викликає поки що його руйнування.	0,90 – 0,95
К _с – вплив умов служби	Є постійні джерела зволоження. Матеріал шару зволожений, забруднений, помітне вимивання в'язучого.	0,70 – 0,80
	Матеріал шару зволожений, сліди розмокання матеріалу.	0,60 – 0,70
	Матеріал шару повністю розпався внаслідок зволоження	0,55 – 0,6

Приклад встановлення фактичних значень модулів пружності кожного шару одягу.

1. Перший шар - дрібнозернистий асфальтобетон.

По ВБН В.2.3.-218-186-2004 (Додаток Е, табл.Е.1) для дрібнозернистого асфальтобетону на бітумі БНД 130/200 визначаємо $E_{\text{табл}}=2600$ МПа. Поправочні коефіцієнти:

- $k_{\text{п}}=0,80$, оскільки на покритті є деформації у вигляді частих тріщин;
- $k_{\text{в}}=0,90$, оскільки був відзначений недолік в'язучого в шарі;

- $k_T=0,88$, оскільки занижена товщина шару в порівнянні з проектною; матеріал шару неоднорідний, розподіл терпкого в шарі нерівномірний;
- $k_c=0,95$, оскільки є помітне зволоження матеріалу шару, що не викликає ще його руйнування.

$$E_{\phi 1}=2600 \cdot 0,80 \cdot 0,90 \cdot 0,90 \cdot 0,95=1600 \text{ МПа}$$

2. Другий шар - чорний щебінь, влаштований методом просочення бітумом.

По ВБН В.2.3.-218-186-2004 (Додаток Е, табл.Е.5) визначаємо $E_{\text{табл}}=500$ МПа. Поправочні коефіцієнти:

- $k_{\Pi}=0,88$, оскільки в щепеневому шарі є окремі роздавлені щебінки (5-10 %);
- $k_B=0,83$, оскільки в шарі міститься надлишок терпкого (суміш жирна);
- $k_T=0,80$, оскільки переважає недостатнє ущільнення шару. Шар порівняно легко розбивається за допомогою лому;
- $k_c=0,90$, оскільки є незначне зволоження матеріалу шару.

$$E_{\phi 2}=500 \cdot 0,90 \cdot 0,83 \cdot 0,80 \cdot 0,90 = 268 \text{ МПа.}$$

3. Третій шар - щебінь фракціонований з магматичних порід марки 800-1400, укладений за способом заклинки.

По ВБН В.2.3.-218-186-2004 (Додаток Е, табл.Е.5) визначаємо $E_{\text{табл}}=300$ МПа. Поправочні коефіцієнти:

- $k_{\Pi}=0,70$, оскільки вміст в шарі роздавлених щебінок 15-20 %;
- $k_T=0,80$, оскільки спостерігається понижена товщина шару в порівнянні з тією, що вимагається;
- $k_c=0,80$, оскільки було відзначено зволоження шару.

$$E_{\phi 3}=300 \cdot 0,70 \cdot 0,80 \cdot 0,80 = 134 \text{ МПа.}$$

4. Четвертий шар - середнезернистий пісок.

По ВБН В.2.3.-218-186-2004 (Додаток Е, табл.Е.5) визначаємо $E_{\text{табл}}=100$ МПа. Поправочні коефіцієнти:

- $k_{\Pi}=1,00$, оскільки матеріал шару однорідний;

- $k_T=0,80$, оскільки було відзначено недостатнє ущільнення шару;
- $k_c=0,80$, оскільки матеріал шару був зволожений.

$$E_{ф4}=100 \cdot 1,00 \cdot 0,80 \cdot 0,80 = 64 \text{ МПа.}$$

5. Модуль пружності важкого суглинку був прийнятий по ВБН В.2.3.-218-186-2004 (табл. Д.7) залежно від вогкості ґрунту $W_L=0,86$:

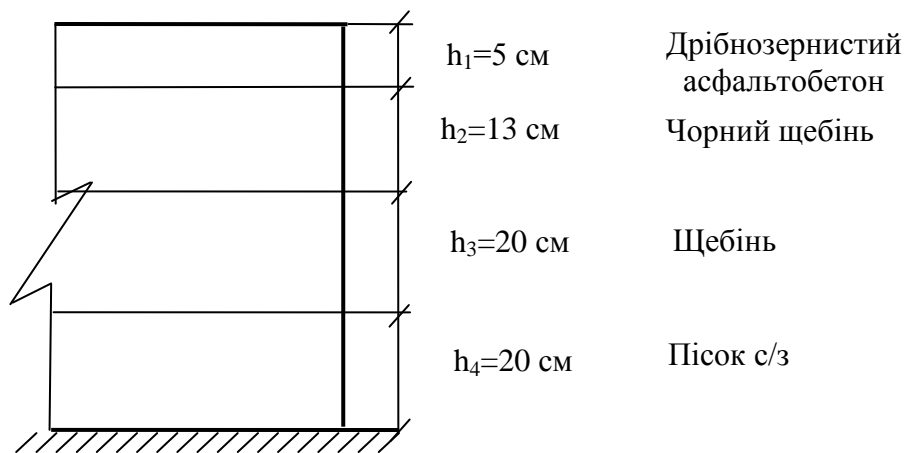
$$W_L, E_{гр}=13 \text{ МПа.}$$

2. Розрахунок міцності дорожнього одягу, що експлуатується

Загальний модуль пружності дорожнього одягу розраховують, починаючи зверху вниз, з використанням стандартних номограм.

Приклад розрахунку.

Конструкція дорожнього одягу і товщини шарів за результатами розкриття приведена на рис. 6.1.



Суглинок важкий

Рис. 6.1 Конструкція дорожнього одягу

Розрахунки виконуємо у відповідності з ВБН В.2.3.-218-186-2004. Встановлюємо по табл. Ж.1 (Додаток Ж) параметри розрахункового навантаження:

$$P = 100 \text{ кН}; \rho = ; D = 37,0 \text{ см.}$$

4. Розраховуємо еквівалентний загальний модуль пружності дорожнього одягу (знизу - вгору). Використовуємо номограму на рис. 3.13 в ВБН В.2.3.-218-186.

$$1) \frac{h_4}{D} = \frac{20}{37} = 0,54; \quad \frac{E_{\text{сп}}}{E_4} = \frac{13}{64} = 0,20; \text{ по номограмі: } \frac{E_{\text{з}}^{\text{IV}}}{E_{\text{сп}}} = 0,37;$$

$$E_{\text{з}}^{\text{IV}} = 0,37 \cdot E_4 = 0,37 \cdot 64 = 24 \text{ МПа};$$

$$2) \frac{h_3}{D} = \frac{20}{37} = 0,54; \quad \frac{E_{\text{з}}^{\text{IV}}}{E_3} = \frac{24}{134} = 0,18; \text{ по номограмі: } \frac{E_{\text{з}}^{\text{III}}}{E_4} = 0,36;$$

$$E_{\text{з}}^{\text{III}} = 0,36 \cdot E_3 = 0,36 \cdot 134 = 48 \text{ МПа};$$

$$3) \frac{h_2}{D} = \frac{13}{37} = 0,35; \quad \frac{E_{\text{з}}^{\text{III}}}{E_2} = \frac{48}{263} = 0,18; \text{ по номограмі: } \frac{E_{\text{з}}^{\text{II}}}{E_3} = 0,29;$$

$$E_{\text{з}}^{\text{II}} = 0,29 \cdot E_2 = 0,29 \cdot 263 = 76 \text{ МПа};$$

$$4) \frac{h_1}{D} = \frac{5}{37} = 0,14; \quad \frac{E_{\text{з}}^{\text{II}}}{E_1} = \frac{76}{1565} = 0,05. \text{ по номограмі: } \frac{E_{\text{з}}^{\text{I}}}{E_2} = 0,06;$$

$$E_{\text{з}}^{\text{I}} = 0,06 \cdot E_1 = 0,06 \cdot 1565 = 94 \text{ МПа}.$$

Таким чином, еквівалентний загальний модуль пружності дорожнього одягу 94 МПа.

3. Обґрунтування капітального ремонту з підсиленням дорожнього одягу

Для обґрунтування капітального ремонту:

- розраховують необхідний модуль пружності відповідно до прогнозованої інтенсивності і складу руху
- розраховують коефіцієнт міцності і, якщо необхідно, ухвалюють рішення про посилення дорожнього одягу.

Приклад.

Знаходимо необхідний модуль пружності $E_{\text{потр}}$ дорожнього одягу залежно від N - сумарної кількості проїздів розрахункового навантаження за термін служби дорожнього одягу, приведеної до розрахункової навантаження.

В прикладі $N=302600$ авт. По рис. 3.2 ВБН В.2.3.-218-186-2004 визначаємо $E_{\text{потр}}=190$ МПа. По табл. 3.7 ВБН визначаємо

мінімальний модуль пружності $E_{\min}=225$ МПа. Оскільки $E_{\text{потр}} \leq E_{\min}$, то в подальших розрахунках приймаємо $E_{\text{потр}} = E_{\min} = 225$ МПа.

В табл. 3.1 ВБН для дороги III категорії знаходимо $K_{\text{мц}}$ – коефіцієнт запасу міцності за критерієм граничного стану при згині, $K_{\text{мц}}=1,33$.

Таким чином, необхідно підсилити існуючу конструкцію дорожнього одягу з загальним модулем пружності 94 МПа до необхідного модуля пружності $E_{\text{потр}} = 225$ Мпа, який повинна мати конструкція на прикінці міжремонтного строку служби 12 років. При конструюванні приймаємо в момент ремонту будівельний модуль пружності $E_{\text{буд}} = E_{\text{потр}} \cdot K_{\text{мц}}=225 \cdot 1,33=300$ Мпа за умовою зниження цього модуля за строк служби 12 років до потрібного модуля 225 Мпа.

5. Конструювання підсилення дорожнього одягу з розрахунком його міцності на ЕОМ.

Конструювання виконують в програмі *RADON*, виконуючи відповідну лабораторну роботу.

Питання по контролю та самоконтролю знань

1. Назвіть види і характерні особливості дефектів покриття.
2. На яких місцях характерних ділянок дороги виконують розкриття дорожнього одягу?
3. Які параметри окремих шарів і підстиляючого ґрунту визначають при розкритті дорожнього одягу?
4. За якими ознаками виконується опис кожного шару у процесі розбирання дорожнього одягу?
5. За якими чотирма поправочними коефіцієнтами оцінюють стан кожного шару одягу для подальшого розрахунку фактичної міцності нежорстких дорожніх одягів?
6. Яким чином встановлюють найбільш характерні розрахункові величини модулів пружності матеріалу кожного шару за даними розкриття дорожнього одягу?
7. Яким чином визначається еквівалентний розрахунковий модуль пружності дорожнього одягу $E_{\text{еф}}$ за даними його розкриття?

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 очікуваним 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 внутрішнь-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, щебених сумішей, оброблених бітумною емульсією, фракційного щебеню, обробленого в'язким бітумом шляхом просочення, а також із фракційного щебеню, влаштованого за принципом роз-клинки дрібним щебенем чи гранульованим активним шлаком, укріпленою методом просочення цементопіщаною сумішшю, а також цементобетоном.

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 щебеню, з щебеню, 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 щебеню; 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, щебених 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 квазистатична);

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 малозв'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 поведінки 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 малозв'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 малозв'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 7.1).

Таблиця 7.1 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:

$$K_{мц} \leq E_{заг} / E_{потр} , \quad (7.1)$$

де $K_{мц}$ – коефіцієнт міцності дорожнього одягу, знайдений таблицею 7.1 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 малозв'язних шарах не виникали неприпустимі залишкові деформації. Деформації зсуву в конструкції не будуть накопичуватись, якщо забезпечена умова:

$$K_{мц} = \frac{T_{зр}}{T} , \quad (7.2)$$

де $K_{мц}$ – необхідне мінімальне значення міцності, що визначається з урахуванням заданого коефіцієнта надійності (див. таблицю 7.1)

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 тріщин, тобто повинна бути забезпечена умова:

$$K_{мц} \leq R_{32} / \sigma_r \quad (7.3)$$

де $K_{мц}$ – необхідний коефіцієнт міцності з урахуванням заданого рівня надійності (таблиця 7.1);

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.

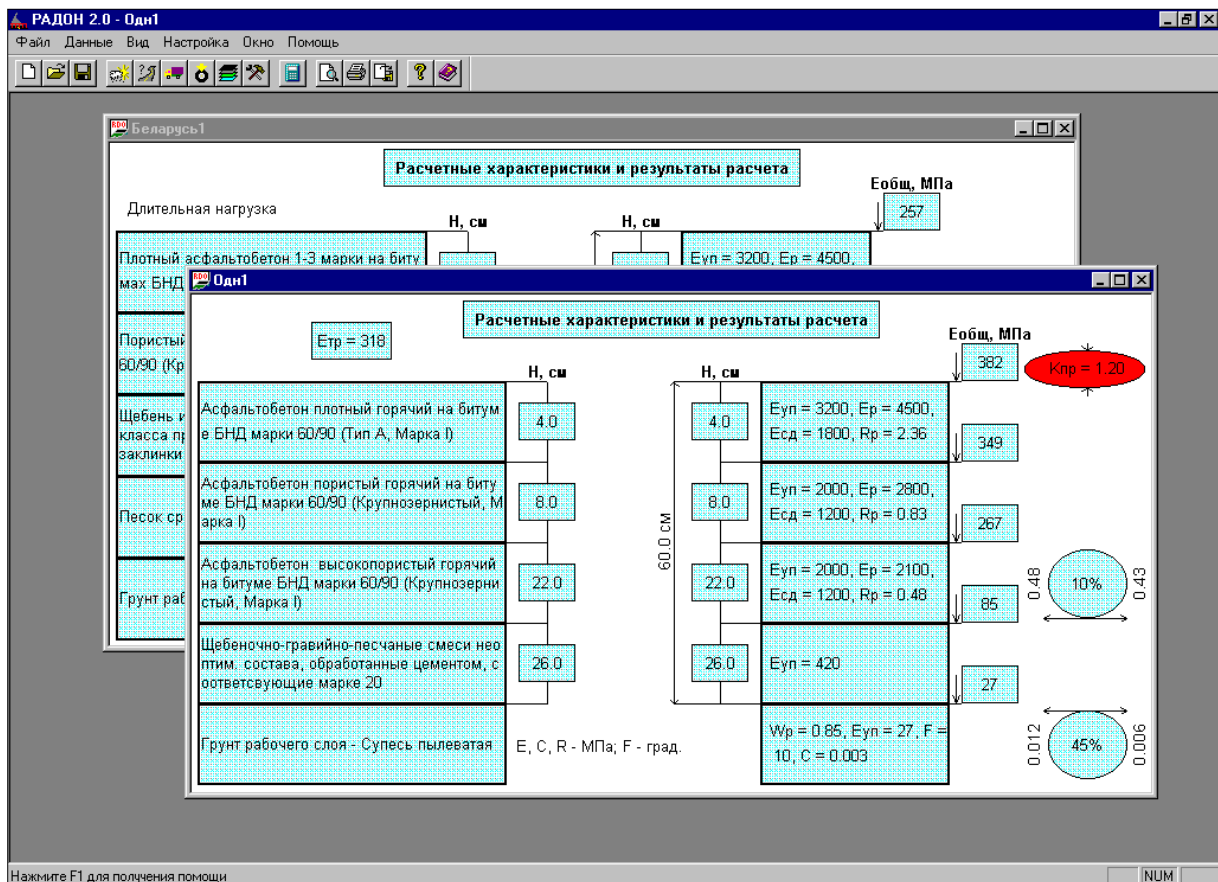


Рис. 7.1 – Головне вікно програми РАДОН з результатами розрахунків

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.Токареєв, заст. гол. інженера Харківського Промтранспроєкта. 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 малозв'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 щодо матеріалів і автомобілів в базу.
- Створення нового або відкриття існуючого проекту.
- Введення і редагування даних щодо конструкції дорожнього одягу і параметрів розрахунку.
- Розрахунок конструкції в різних режимах.
- Візуальний аналіз 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. Опішіть 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. Опішіть особливості дорожнього одягу, який конструювали та розраховували за індивідуальними даними з використанням програми РАДОН.

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 коливної 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. 8.1.

Таблиця 8.1 - 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 Клас Е. Дуже незадовільна Поріг втручання	До 2 від 2 до 4 від 4 до 6 від 6 до 8 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.	Автомагістралі 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 споживочих 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.

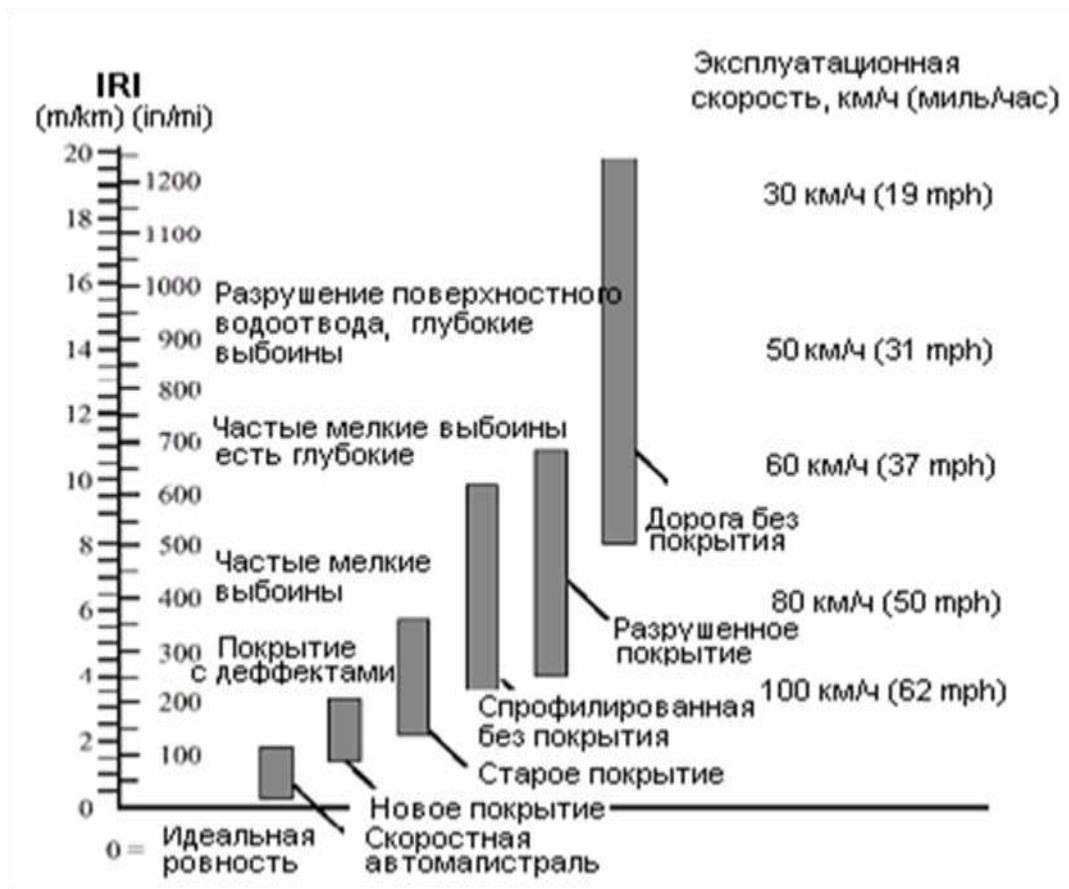


Рис. 8.1 – Шкала оцінки допустимої швидкості за показником *IRI*

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. 8.2.

На рис. 8.3 показано поздовжній профіль поверхні проїзної частини, якій сканований приладом *Dipstiks*.

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

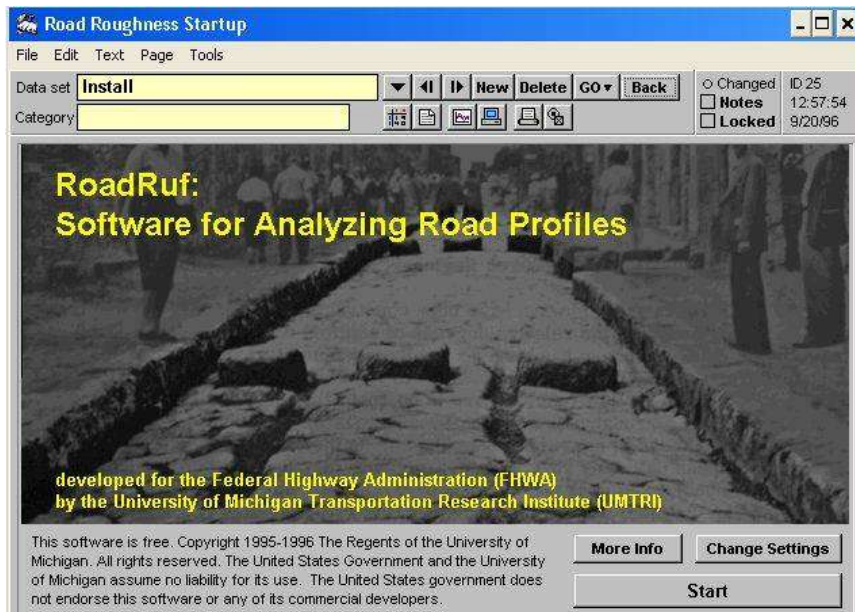


Рис. 8.2 – Основне вікно програми *Road Ruf*

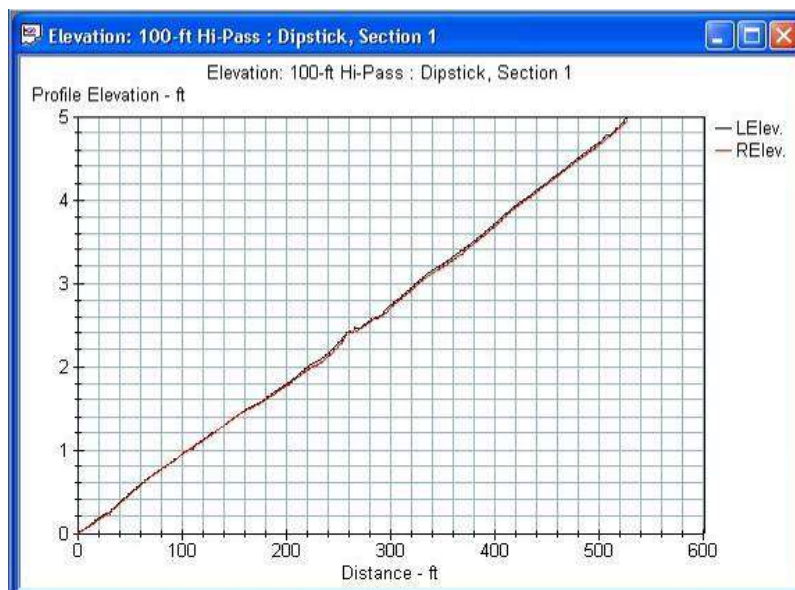


Рис. 8.3 – Поздовжній профіль поверхні проїзної частини, яка сканована приладом *Dipstiks*

3. Розрахункова схема коливальної системи автомобіля.

В програмі *Road Ruf* використовується розрахункова схема коливальної системи автомобіля, див. рис. 8.4, з параметрами:

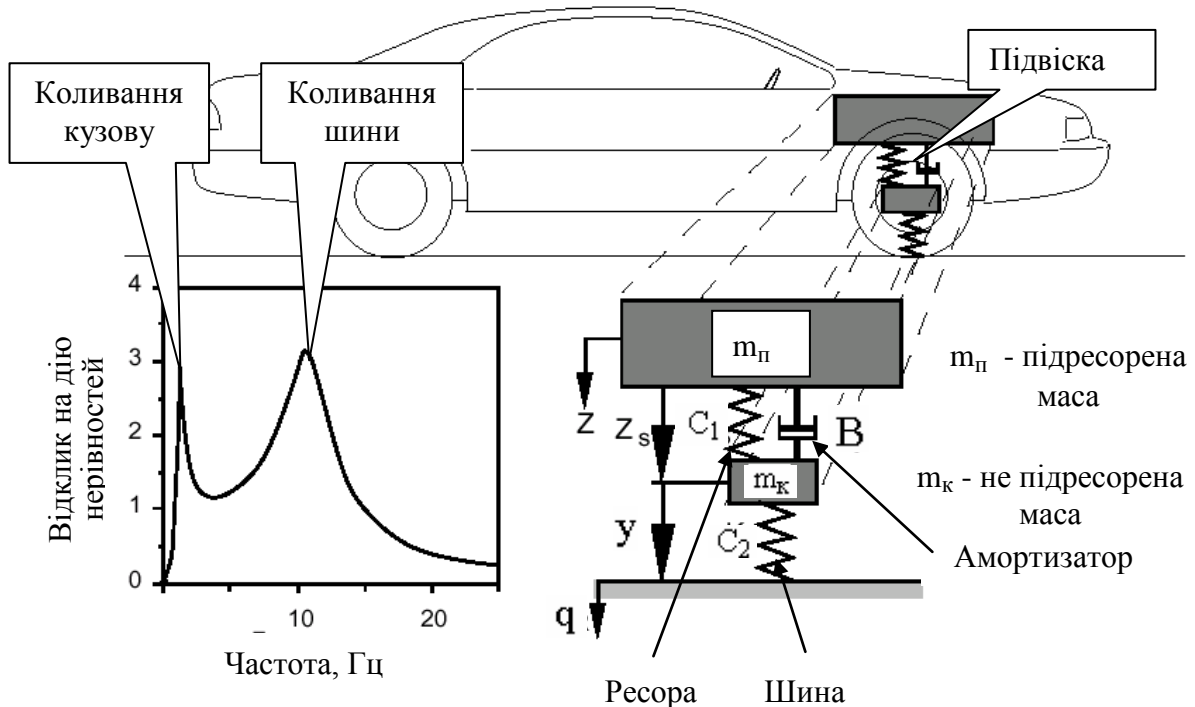


Рис. 4.4 – Розрахункова схема коливальної системи автомобіля

m_n – підресорена маса (кузов і рама з укріпленими на ній механізмами), кг,

m_k – 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 :

$$\begin{cases} m_n \ddot{z} + B(\dot{z} - \dot{y}) + C_1(z - y) = 0 \\ m_k \ddot{y} - B(\dot{z} - \dot{y}) - C_1 z + (C_1 + C_2)y = C_2 q \end{cases} \quad (8.1)$$

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. 8.6.

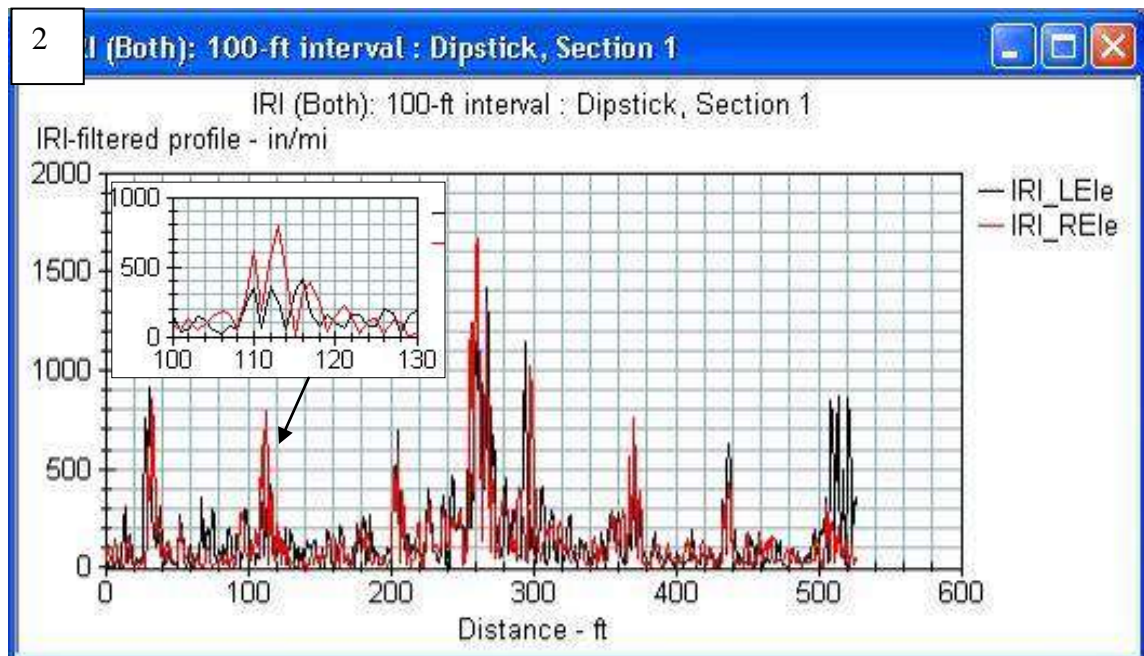
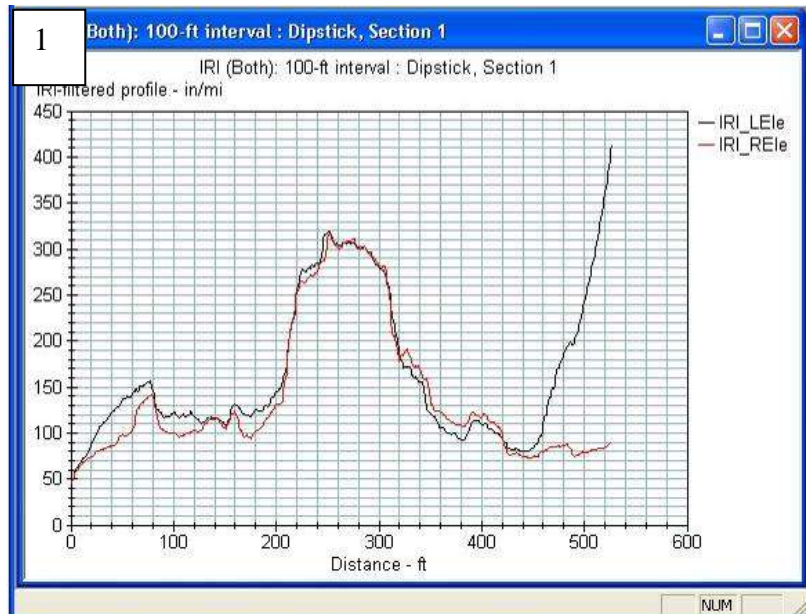


Рис. 8.5 – Розподіл середніх (1) та «миттєвих» (2) значень *IRI*

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 1 story 2 ROADRUF 3 PROFILE 4 TUTORIAL 5 6 7

Filename	Start: ft	End: ft	IRI: LElev.	(in/mi) RElev.	RN: 0-5 LElev.	RElev.	Both
C:\ROADRUF\PROFILES\TUTORIAL\DIPSTK31.ERD							
	.00	528.00	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	528.00	378.99	104.23	2.09	3.54	2.58

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

Рис. 8.6 – Таблиця результатів моделювання: 1, 2 – початок та кінець ділянок по 50 футів довжиною, 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 № 9

ПЛАНУВАННЯ ОБМЕЖЕНИХ ФІНАНСОВИХ РЕСУРСІВ НА РЕМОНТИ І РЕКОНСТРУКЦІЮ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

1. **Методи планування витрат на ремонтні і будівельні роботи дорожнього господарства.**
2. **Обґрунтування щорічної потреби в ремонтах при умові своєчасного фінансування дорожньої галузі.**
3. **Зростання недоремонтів при тривалому недофінансуванні дорожньої галузі.**
4. **Основи оптимізації та процедура планування.**

1. **Методи планування витрат на ремонтні і будівельні роботи дорожнього господарства.**

Методи планування затрат дор. господарства на ремонтні і будівельні роботи на автомобільних 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.

1.1 Статистичний метод

Обсяги бюджетного фінансування доріг загального користування, наприклад за 2001-2006 рр., див. рис. 9.1, дають підставу для статистичної екстраполяції обсягів фінансування на ближні наступні роки.

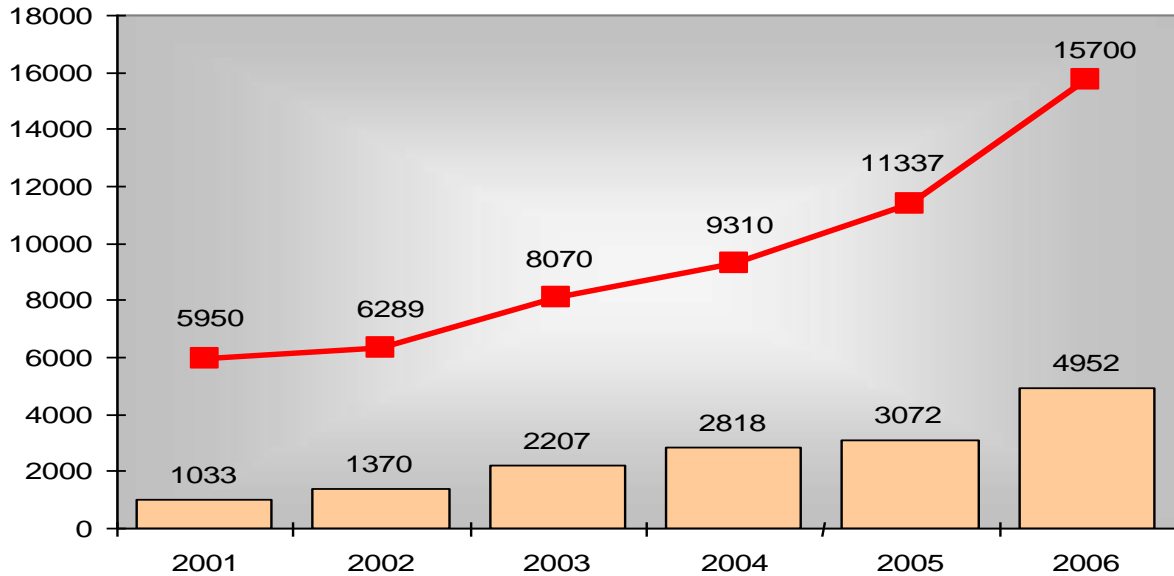


Рис. 9.1. – Фінансування в 2001-2006 р.

1.2. 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.

1.3 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.

Нормовані в ВБН Г.1-218-050-2001 міжремонтні строки служби дорожніх одягів $T_{кр}$ і служби покриття $T_{пр}$, в першу чергу залежать від категорії дороги і типу покриття, див. 9.1 і 9.2, і дещо змінюються за дорожньо-кліматичними зонами.

Таблиця 9.1 – 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 9.2 – 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

1.4. Метод показників експлуатаційного стану

Метод базується на вимірюваних показниках міцності, рівності зчеплення:

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

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

Звичайно, показники міцності, рівності, зчеплення вимірюють ходовими лабораторіями лише на державних дорогах, а 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. 9.3, яку розроблено в ХНАДУ. Необхідність ремонтів встановлюють за граничними значеннями індексу експлуатаційного стану дороги, які наведені в табл. 9.4.

Таблиця 9.3 – 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 зношено, 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.

Список усіх доріг райавтодору або облавтодору, які потребують того, чи іншого ремонту в рік планування, складають у відповідності із динамікою експлуатаційного стану доріг. Спрощеній моделі динаміки експлуатаційного стану, на рис. 1.2 відповідає табл. 9.4,

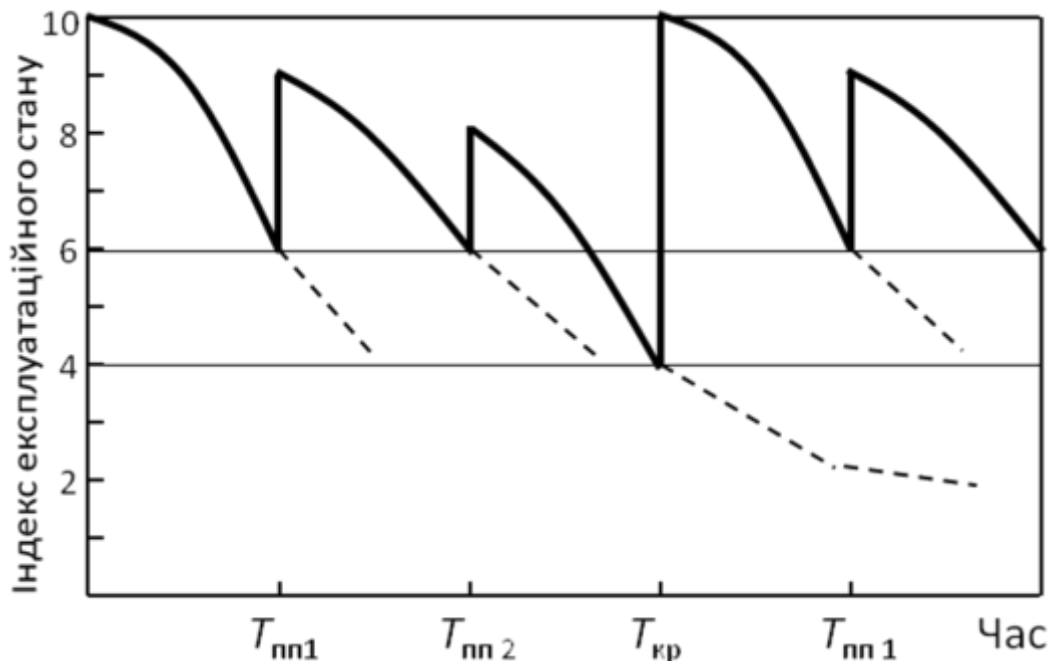


Рис. 9.2 Спрощена модель динаміки експлуатаційного стану

Таблиця 9.4– 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

1.5. Метод мінімізації транспортних витрат в народному господарстві

Оптимальну стратегію розвитку дорожньої галузі засновано на мінімізації транспортних витрат в народному господарстві.

Транспортні витрати P включають дорожню C_d і автотранспортну $C_{авт}$ складові, а також грошову оцінку витрат $C_{дтп}$ від

ДТП, втрат $C_{\text{пас}}$ від перебування пасажирів в дорозі, втрат $C_{\text{дс}}$ від дії транспорту на навколишнє середовище.

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

Метод базується на використанні нормованих міжремонтних термінів, див. табл. 9.1, 9.2. Для будь-якої групи дорожньої мережі довжиною L км, довжина доріг $L_{\text{кр}}$, яка щороку потребує капітальних ремонтів, визначається за формулою

$$L_{\text{кр}} = L/T_{\text{кр}} \cdot \quad (9.1)$$

Для поточних ремонтів існує залежність

$$L_{\text{пр}} = (L - L_{\text{кр}}) / T_{\text{пр}}', \quad (9.1a)$$

де $T_{\text{пр}}'$ середній час (роки) між поточними ремонтами (час між капітальними ремонтами поділити на кількість поточних ремонтів між двома капітальними).

У відповідності із табл. 1.1 і 1.5 розраховано довжину доріг, яка щороку потребує капітальних ремонтів при своєчасному фінансуванні дорожньої галузі, див. табл. 9.4.

Таблиця 9.4 – 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. 9.5, то щорічне необхідне фінансування, наприклад, капітальних ремонтів державних доріг складе приблизно 3.5 млрд. грн., див. табл. 9.6.

Табл. 9.5– Середня вартість ремонтів та утримання (тис.грн./км)

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.	1000	150	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 9.65 – Щорічне необхідне фінансування капітальних ремонтів державних доріг

Категорії	I	II	III	IV	V	Всього за покриттям
Цементобет.	266.7	134.0	21.7	0.3		422.7
Асфальтобет.	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 за катег.	1110.3	1692.7	701.8	44.4	0.0	3549.2

Аналогічно знаходять витрати на поточні ремонти і утримання.

Таким чином, щорічне необхідне фінансування державних (місцевих) доріг дорівнює:

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 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. 9.5б 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 багато років напруженої роботи усієї дорожньої галузі.

3. 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 (9.1) і дорівнює $L_{кр}$ (див. табл. 9.4). Наприклад, при своєчасному фінансуванні щорічна довжина державних доріг першої категорії з цементобетонним покриттям, що потребують капітального ремонту, $L_{кр} = 33.3$ км, див. табл. 9.6.

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

$$\Delta L_{кр} = L_{кр} \times (1 - f). \quad (9.2)$$

При фактичному фінансуванні на рівні $f=0.6$ (60 % від нормативної потреби) за перший рік недоремонт по капітальному ремонту зазначених цементобетонних доріг 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

$$\Delta L_{кр} = TL_{кр} \times (1 - f). \quad (9.3)$$

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) є причиною зростання вартості ремонтних робіт на дорогах групи недоремонту (не менш ніж 120-140 %), що обумовлює зменшення величини f , і наближає дороги до критичного стану;
- 2) суттєво погіршують експлуатаційний стан доріг, внаслідок чого зростають витрати на поточні ремонти та утримання, що також зменшує f ;
- 3) 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. 9.3, 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. 9.1

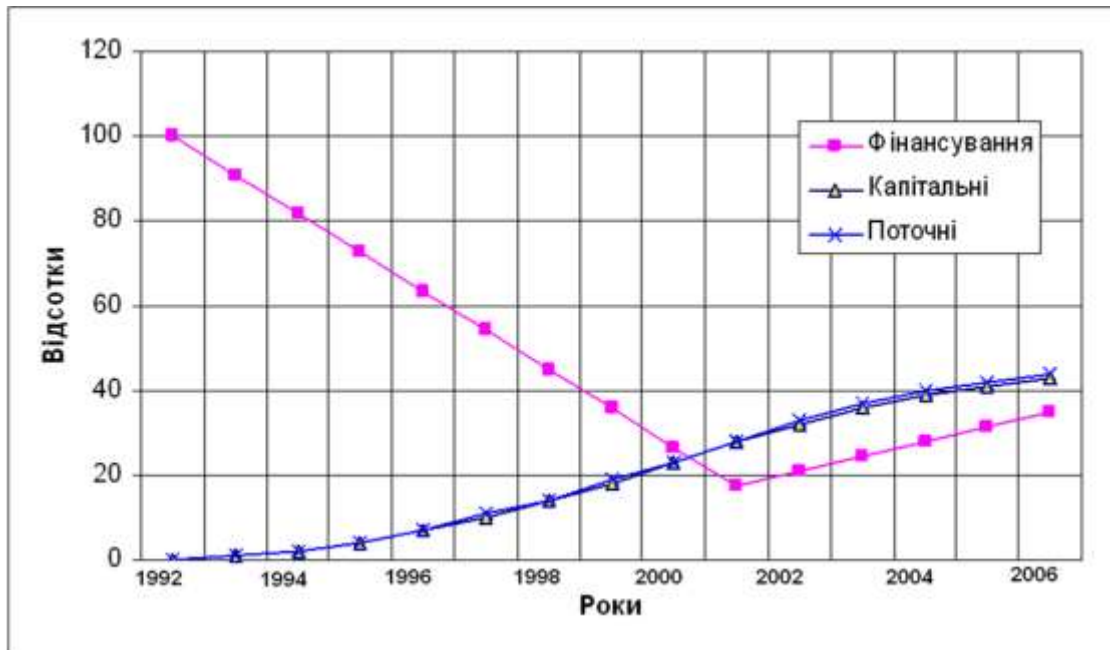


Рис. 9.3 Динаміка зростання недоремонтів в період 1991 – 2006 р.

В 2005 році кафедрою будівництва та експлуатації автомобільних доріг ХНАДУ були запропоновані варіанти фінансування державних доріг за критерієм зниження недоремонтів, рис. 9.4.

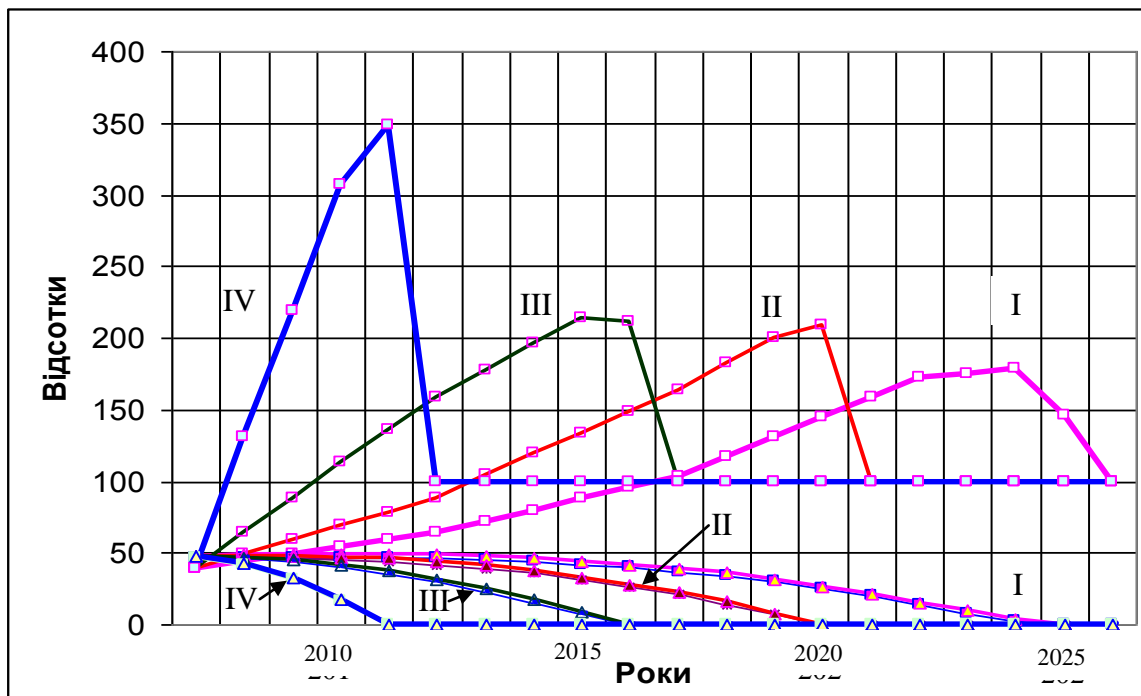


Рис. 9.4 - Варіанти фінансування (зверху) для ліквідації недоремонтів (знизу).

4. Основи оптимізації та процедура планування.

Внаслідок недостатнього фінансування не можуть бути своєчасно відремонтовані всі дороги, які потребують ремонту в поточному році. Якщо мати на увазі, що фінансові ресурси на ремонті 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. У такий спосіб забезпечується найбільший економічний ефект від ремонту.

Отже, в оптимальному плануванні обмежених фінансових ресурсів 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:

$$E_i = (P'_i - P''_i) / C_i; \quad T_i = 1 / E_i, \quad (9.4)$$

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

Обчислені коефіцієнтом ефективності E_i є підставою для встановлення списку, впорядкованого по значущості тих ділянок доріг, ремонт яких приведе до найбільшого зниження транспортних витрат. Тобто, усі ділянки доріг, що підлягають ремонту, ранжирують за коефіцієнтом ефективності E_i . Таким чином, на перше місце ставиться та ділянка, для якої коефіцієнт ефективності E_i найбільший (а термін окупності найменший) і т.д. для всіх ділянок, а на останнє місце - ділянка, для якої коефіцієнт ефективності E_i найменший (а термін окупності найбільший).

Закінчують планування підсумовуванням накопичувальною сумою витрат на ремонти за ранжируванням списком доріг. В кожному рядку списку доріг 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.

Найбільш складною процедурою зазначеного планування є обчислення транспортних витрат на ділянці i до та після ремонтів.

4.1. Розрахунок транспортних витрат

Транспортні витрати в формулі (1.4) обчислюються для кожної ділянки за загальною формулою (до або після ремонту), як сумарні, приведені до базового року – року фінансування

$$P = \sum_{t=0}^{t=T} (P_{\text{утр},t} + P_{\text{авт},t} + P_{\text{пас},t} + P_{\text{НС},t} + P_{\text{ДТП},t}) \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (9.5)$$

де $P_{\text{утр},i}$, $P_{\text{авт},i}$, $P_{\text{пас},i}$, $P_{\text{НС},i}$, $P_{\text{ДТП},i}$ - 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

$$P_{\text{утр}} = c_{\text{утр}} \cdot l \cdot k_j, \quad (9.6)$$

де $c_{\text{утр}}$ – 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

$$P_{\text{авт}} = 365 N_t l \cdot k_e \cdot s, \quad (9.7)$$

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

$$N_t = N_0 (1 + p/100)^t, \quad (9.8)$$

де N_0 – 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.

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

Таблиця 9.11 – Залежності відношення v_{ϕ} / v_n від індексу j

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
v_{ϕ} / v_n	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-климатичних 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

$$C_{nac} = 365 c_{mv} l \left(\frac{N_{nac} m_{nac}}{V_{nac}} + \frac{N_l m_l}{V_l} \right), \quad (9.11)$$

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

P_{nac} - середня кількість пасажирів в автобусі;

N_{nac} - інтенсивність автобусів, авт/добу;

V_{nac} - 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.

Грошову оцінку втрат від ДТП на 1 км дороги знаходять за формулою

$$C_{\text{ДТП}} = B \times m_{\text{ДТП}} \times c_{\text{ДТП}}, \quad (9.12)$$

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

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

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

Витрати C_i в формулі (9.3) на ремонт (поточний, або капітальний) кожній ділянці дороги пропорційні її довжині l аналогічно за формулою (9.5):.

Задача оптимізації планування обмежених фінансових ресурсів розв'язується за допомогою програми **ПЛАН**, див. рис. 9.5, розробленій в ХНАДУ за завданням «УкрАвтоДору» для використання в практичній роботі структурних підрозділів

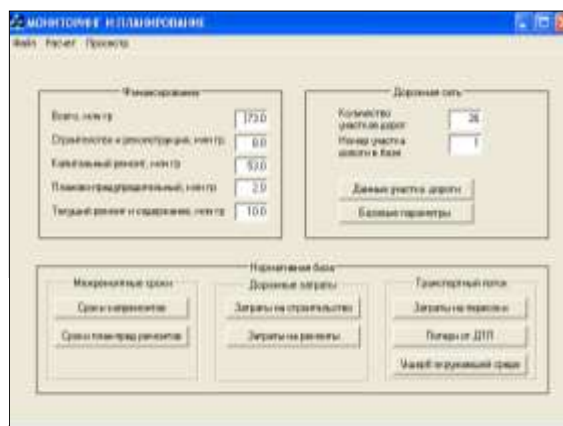


Рис. 9.5– Головне вікно програми «ПЛАН»

дорожньої галузі.

4.2. Склад алгоритму планування ремонтів 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 доріг 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) ранжирований 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?
2. Яка кількість доріг побудована не за сучасними (СНиП 2.05.02-85, ДБН В.2.3-4-2000, ДБН В.2.3-4-2007) нормативами?
3. В яких роках фінансування дорожньої галузі було найменшим?
4. Вкажіть чинники, від яких залежать нормативні терміни капітальних і планово - попереджувальних ремонтів доріг.
5. Вкажіть міжремонтні строки служби дорожнього одягу $T_{кр}$ і покриття $T_{пр}$ для доріг з асфальтобетонним покриттям.
6. Вкажіть приблизні співвідношення між вартістю будівництва дороги $C_б$, кап.ремонту $C_{кр}$, поточного ремонту $C_{пр}$ і утримання $C_у$ для дороги II категорії з асфальтобетонним покриттям.
7. Які два основні методи оцінки експлуатаційного стану автомобільних доріг застосовують в дорожніх організаціях?

8. За якими граничними індексами експлуатаційного стану дороги необхідні капітальний або поточний ремонти?
9. За якою залежністю визначається довжина доріг, яка щороку потребує капітальних (поточних) ремонтів?
10. За якою залежністю визначається довжина недоремонтованих доріг внаслідок недостатнього фінансування?
11. Яким повинен бути подальший рівень фінансування для ліквідації недоремонту, що склався внаслідок недостатнього фінансування?
12. Обґрунтуйте критерій оптимального планування обмежених фінансових ресурсів на ремонти доріг.
13. Приведіть залежності для обчислення транспортних витрат.
14. Ремонт якої автомобільної дороги більш доцільно фінансувати, якщо коефіцієнти економічної ефективності $E_1 = 0.1$ і $E_2 = 0.2$?
15. Які дані по проїзній частині вводять в програму ПЛАН?
16. Які дані транспортного потоку вводять в програму ПЛАН?
17. Які дані при необхідності корегують в нормативній базі програми ПЛАН?
18. Вкажіть послідовність операцій планування обмежених фінансових ресурсів на ремонти автомобільних доріг в алгоритмі програми ПЛАН.

Учбово-нормативна література.

1. Васильев А. П., Сиденко В. М. *Експлуатація автомобільних доріг і організація дорожнього руху.*- М.: Транспорт, 1990.- 304 с.
2. ВБН В.2.3-218-186-2004 *Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.*
3. Кудрявцев М. М. *Оцінка транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг: Навч. посіб. – Харків: ХДАДТУ, 2000. – 92 с.*
4. П-Г.1-219-113-97. *Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України. Київ: Укравтодор, 1997.*
5. Прусенко Є. Д. *Постійні пристрої на автомобільному транспорті: Навч. посіб. – К.: ІСДО, 1993. – 208 с.*
6. Сильянов В. В. *Транспортно-експлуатаційні якості автомобільних доріг. М.: Транспорт, 1984. – 287 с.*
7. Стороженко М. С. *Формирование и повышение технического уровня автомобильных дорог. – К.: УМКВО, 1989*
8. Філіппов В.В. *Методичні матеріали до практичних занять з дисципліни «Транспортно-експлуатаційний стан автомобільних доріг»: Сайт ХНАДУ, 2010.*
9. Філіппов В.В. *Методичні матеріали до лабораторних занять з дисципліни «Комп'ютерне моделювання», Сайт ХНАДУ, 2010.*