

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ ІНСТИТУТ**

**ТРАНСПОРТ
І ШЛЯХИ СПОЛУЧЕНЬ
(КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ)**

ГОРЛІВКА 2010

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ ІНСТИТУТ**

ПІНДУС Б.І.

**ТРАНСПОРТ
І ШЛЯХИ СПОЛУЧЕНЬ
(КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ)**

Затверджено на засіданні методичної комісії факультету АД Протокол № від 2010 р.	Затверджено на засіданні кафедри проектування доріг і штучних споруд протокол № від 2010р.
---	---

ГОРЛІВКА 2010

Тема: Роль транспортного процесу в народному господарстві

Література :

1. Громов Н.Н., Панченко Т.А., Чудновский А.Д. Единая транспортная система. М.: Транспорт, 1987, стр. 5 – 46.
2. Транспорт страны Советов. Под ред. И.В.Белова. М.: Транспорт, 1987, стр. 9 – 38.

1.2 Транспортна система країни

В системі єдиного народногосподарського комплексу країни транспорт займає особливе місце. Він являється однією із галузей, що формують інфраструктуру народного господарства. За думкою класиків (К.Маркс) транспорт являється четвертою сферою матеріального виробництва незалежно від того, що перевозиться транспортом – вантажі чи пасажери. Як відомо, трьома основними галузями являються добувна промисловість, землеробство і оброблювальна промисловість.

Транспорт забезпечує переміщення продуктів праці і засобів праці із місць виробництва до місць вживання, складаючи необхідні умови для постійного функціонування виробництва.

Транспорт не виробляє нових продуктів (товарів) , а тільки забезпечує зміну місця знаходження вантажів і людей, що перевозяться. Всякий продукт тільки тоді готовий до вживання, коли ві пройде іноді досить складний шлях. Наприклад, бавовна від місць її зростання повинна пройти дуже складний шлях до місць її переробки. Усередині бавовноперероблювальних комбінатів сирець і напівфабрикати переміщуються із цеха в цех до виконання усіх необхідних виробничих процесів, тобто до отримання готової продукції – тканин та інше. Готову продукцію необхідно доставити в магазини чи на фабрики по виготовленню одягу. Одяг також необхідно перевезти в місце його реалізації. Тобто, ще раз повторимо, що всякий продукт, усякий виріб

повинен здійснити складний шлях транспортування від його виробництва до реалізації.

В зв'язку з цим відмітимо, що усяке громадське виробництво, розширення сфери промислового використання ресурсів, розвиток економічних і культурних зв'язків як усередині країни, так і з закордонними країнами, вимоги обороноздатності країни не можуть бути забезпечені без відповідного розвитку усіх видів транспорту.

Транспорт, як міжгалузевий комплекс і вид господарської діяльності характеризується складною структурно – функціональною будовою. Являючись одним із загальних умов виробництва, транспорт виконує перевезення не тільки районами країни, між підприємствами в межах економічних районів і промислових вузлів, але й усередині підприємств.

Транспорт, як вид господарської діяльності, можна представити собі як систему, що складається із двох підсистем – транспорт загального і незагального користування.

Транспорт загального користування і є транспорт сфери обертання, який переміщує різні види продукції між виробниками і споживачами. Тільки він, строго кажучи, може розглядатись як специфічна і самостійна галузь матеріального виробництва.

Транспорт незагального користування переміщає сировину, матеріали та інші види, які ще не поступили в сферу обороту продукції, а також виробничий персонал усередині підприємств, об'єднань та інших іноді досить крупних територіальних утворень, обслужуючи промислове і сільськогосподарське виробництво, виконує внутрівиробничі перевезення будівельних організацій, підприємств торгівлі, постачання, збуту та інше. Як вид діяльності цей транспорт може бути названий технологічним (внутрівиробничим) або промисловим транспортом. Промисловий транспорт виконує свої функції на стадії виробництва. Його робота розглядається як частина виробничого процесу того промислового підприємства, яке він обслуговує.

Кожна із підсистем в свою чергу характеризується складною внутрішньою структурою. В склад транспорту загального користування входять залізничний, морський, річний, автомобільний, повітряний і трубопровідний види транспорту. Іноді до транспорту загального користування відносять лінії електропередач, як спосіб транспортування електроенергії.

Сукупність усіх видів транспорту разом з відповідними шляхами сполучень складає транспортну систему країни.

Для забезпечення нормального функціонування транспортної системи необхідно, щоб усі види транспорту працювали в тісному зв'язку один з другим, щоб виконувався принцип раціонального розподілу перевезень за їх дальністю, за видами вантажів та інше.

Більш детально про області використання того чи іншого виду транспорту буде говоритись при вивченні спеціальних дисциплін. (Транспорт і шляхи сполучень та інші).

1.2 Динаміка і розподіл перевезень між різними видами транспорту

До розпаду бувшого Радянського Союзу і загальної кризи економіки спостерігався постійний ріст промислового і сільськогосподарського виробництва, вантажообігу, капітального будівництва, що в свою чергу визначало постійний ріст вантажних і пасажирських перевезень на усіх видах транспорту. В порівняння з 1913 роком, на 1985 рік, сумарний вантажообіг транспорту виріс в 61 раз, в тому числі на залізничному транспорті – в 48 разів, на морському – в 46 разів, на річному – в 9 разів. Найбільш значними темпами збільшуються перевезення вантажів на найбільш молодих видах транспорту: автомобільному і трубопровідному.

Вантажообіг усіх видів транспорту у 1985 році у бувшому СРСР склав 7807,6 млрд.т.км. з 1960 по 1985 роки вантажообіг транспортної системи СРСР збільшився в 5,6 разів. Об'єм перевезень збільшився у 2,9 раза.

Значно змінюється доля участі різних видів транспорту у вантажних і пасажирських перевезеннях.

Так в 1940 році вантажообіг залізничного транспорту складав 421 млрд.т.км., а автомобільного – 8,9 млрд.т.км. Об'єм перевезень відповідно складав: залізничним транспортом - 605 млн.т. автомобільним – 856,6млн.т. трубопровідний транспорт виконував роботу тільки 3,8 млрд.т.км, тобто 0,7% від вантажної роботи, що виконувалась усіма видами транспорту.

В 1985 році вантажообіг залізничного транспорту склав 3718,4 млрд.т.км, автомобільного 476,2 млрд.т.км, трубопровідного – 2443,1 млрд.т.км. Об'єм перевезень відповідно склав: залізничного транспорту – 3951 млн.т. (при середній дальності перевезень більше 940км.), автомобільного – 25873млн.т.(при середній дальності 18км.), трубопровідного – 631млн.т.(при середній дальності 3500км.).

Аналогічна картина спостерігається і в перевезеннях пасажирів. В 1940 році пасажирообіг транспорту загального користування складав:

Залізничного – 100,4 млрд.пасажиро-км.;

Морського – 0,9 млрд.пасажиро-км.;

Річного – 3,8 млрд.пасажиро-км.;

Автомобільного – 3,4 млрд.пасажиро-км.;

Повітряного – 0,2 млрд.пасажиро-км.

В 1985 році пасажирообіг відповідно склав:

Залізничного – 374 млрд.пасажиро-км.;(збільшився у 3,7 раза)

Морського – 2,6 млрд.пасажиро-км.(збільшився \approx у 3 рази)

Річного – 5,9 млрд.пасажиро-км.(збільшився у 1,55 раза)

Автомобільного – 446,6 млрд.пасажиро-км.(збільшився у 131 разів);

Повітряного – 188,4 млрд.пасажиро-км.(збільшився у 942 рази)

Об'єм пасажирських перевезень відповідно склав (млн.. чол..)

Вид транспорту	1940	1985	Збільшення
Залізничний	1377	4166	≈3
Морський	9,7	50,3	5,19
Річний	73,4	132	1,8
Автомобільний	590	47006	79,67
Повітряний	0,4	112,6	281,5

По вантажній роботі на першому місці знаходиться залізничний транспорт. На другому – трубопровідний, на третьому – автомобільний.

По об'ємам перевезень в тонах на першому місці знаходиться автомобільний транспорт, на другому – залізничний.

По об'ємам пасажирських перевезень і пасажирообігу,01 на першому місці знаходиться автомобільний транспорт.

Роль автомобільного транспорту і його місце в єдиній транспортній системі очевидна.

1.3 Структура і показники перевізного процесу

Перевізний процес на усіх видах транспорту складається із трьох частин: початкової операції; власне переміщення із пункту відправлення до пункту споживання; кінцевої операції.

Початкові операції, як правило, включають в себе подачу рухомого складу під завантаження, документальне оформлення перевезень, вивід рухомого складу з вантажного фронту (для залізничного транспорту) та інші операції. В пункті призначення виконуються кінцеві операції: відбувається розформування поїздів, подача рухомого складу під розвантаження, власне розвантаження, документальне оформлення та інше.

Характеризуючи власне переміщення, слід відмітити, що в ряді випадків при доставці вантажів виконується переформування на шляху

слідування поїздів, заміна тягачів, довантаження суден в проміжних портах та інше.

Планування, облік та аналіз діяльності транспорту опираються на систему показників, за допомогою яких заміряють об'єм і якість його роботи. Для кожного виду транспорту використовується своя специфічна система показників. Одночасно використовується група показників загальна для усіх видів транспорту.

Для вимірювання перевізної роботи використовують наступні показники: об'єм перевезень вантажів в тонах; вантажообіг в тоно-кілометрах (вантажна робота); об'єм перевезень пасажирів; пасажирообіг в пасажиро-кілометрах.

Показник "об'єм перевезень" враховує масу перевезених вантажів і визначається як

$$Q_B = \sum q_i, \quad (1.1)$$

де q_i – кількість відправленого вантажу з 1, 2, ..., n-го пункту мережі.

Показник "вантажобіг" (вантажна робота) враховує масу і відстань транспортування і розраховується як добуток маси перевезеного вантажу на відстань перевезення l , тобто

$$G_B = \sum q_i l_i. \quad (1.2)$$

Важливим показником являється середня дальність перевезень вантажів, яка визначається як частка від ділення вантажообігу на об'єм перевезень

$$l_{\text{сеп}} = \frac{G_B}{Q_B}. \quad (1.3)$$

Інтенсивність вантажних перевезень на мережі оцінюється показником "середня вантажонапруженість"

$$q_{\text{сеп}} = \frac{G_B}{L_e}, \quad (1.4)$$

де L_e – експлуатаційна довжина мережі, км.

Аналогічні показники визначаються і відносно пасажирських перевезень:

”Об’єм пасажирських перевезень”

$$Q_{\text{п}} = \sum q_{\text{п}} ; \quad (1.5)$$

”Пасажирообіг”

$$G_{\text{п}} = \sum g_{\text{pi}} \ell_i ; \quad (1.6)$$

”Пасажиронапруженість”

$$q_{\text{п сер}} = \frac{G_{\text{п}}}{L_e} . \quad (1.7)$$

Так як більшість видів транспорту виконують і вантажні, і пасажирські перевезення, то їх сумарну роботу по вантажному і пасажирському руху визначають як приведений вантажообіг

$$G_{\text{прив}} = G_{\text{в}} + k G_{\text{п}} , \quad (1.8)$$

де k – коефіцієнт переведення пасажиро-кілометрів в тоно-кілометри.

На різних видах транспорту значення цього коефіцієнта різні.

Загальна інтенсивність перевезень мережі вимірюється приведеною вантажонапруженістю

$$q_{\text{прив}} = \frac{G_{\text{прив}}}{L_e} . \quad (1.9)$$

Важливим показником перевізної роботи являється швидкість доставки вантажів і пасажирів

$$v_{\text{дост}} = \frac{\ell_{\text{сер}}}{t_{\text{сер}}} , \quad (1.10)$$

де $\ell_{\text{сер}}$ – середня дальність перевезень вантажу чи поїздки пасажирів;

$t_{\text{сер}}$ – середній час, витрачений на перевезення 1т вантажу чи 1 пасажирів від пункту відправлення до пункту призначення.

Швидкість доставки може бути визначена окремо для вантажів і для пасажирів.

До числа економічних показників роботи транспорту відноситься собівартість перевезень, (яка за звичаєм вимірюється в гривнях за ткм чи

пасажиро-км.) і продуктивність праці (яка вимірюється в ткм. на одного працівника транспорту, зайнятого на перевезеннях).

Собівартість перевезень вантажів і пасажирів на будь-якому виді транспорту визначається за формулою

$$S = C_e / G_v (G_p), \quad (1.11)$$

де C_e – експлуатаційні витрати за розрахунковий період;

$G_v (G_p)$ – вантажообіг чи пасажирообіг за той же період.

У відповідності з існуючим порядком планування і обліку при розрахунку собівартості в складі C_e враховують:

на залізничному транспорті – усі експлуатаційні витрати, пов'язані з перевезеннями;

на морському транспорті – витрати на отримання плавскладу і експлуатацію транспортного флоту;

на річному флоті – усі експлуатаційні витрати, пов'язані з перевезеннями, за винятком витрат на шляхове господарство, вантажно – розвантажувальні роботи і допоміжне господарство;

на автомобільному транспорті – усі експлуатаційні витрати, пов'язані з перевезеннями вантажів і пасажирів, за винятком витрат на утримання автомобільних доріг.

Продуктивність праці одного працюючого за рік

$$Pr = \frac{G_{priv}}{N}, \quad (1.12)$$

де N – середньомісячна кількість робітників, пов'язаних безпосередньо з перевезеннями.

Часто визначається продуктивність праці на одиницю рухомого складу, на одиницю потужності, на одиницю вантажопідйомності та інше.

Рівень технічного оснащення транспорту характеризується такими показниками як протяжність шляхів сполучення, чисельністю парку транспортних засобів, загальною вантажопідйомністю рухомого складу, потужністю рухомого складу та іншими.

Основні показники, що характеризують використання транспортних засобів в часі: обіг, середньодобовий пробіг і швидкість руху.

Обігом називається період часу, затрачений транспортною одиницею на виконання одного перевізного циклу, тобто від попереднього до наступного завантаження.

Кількість кілометрів шляху, який проходить в середньому транспортна одиниця за добу, називається середньодобовим пробігом.

Розрізняють чотири види швидкості руху транспортних засобів:

- ходову або крейсерську, яка заміряється безпосередньо після стадії розгону;

- технічну, що представляє собою швидкість за час чистого руху;

- експлуатаційну або комерційну, яку на залізничному транспорті називають дільничною. Це середня швидкість руху з урахуванням стоянок на проміжних пунктах в межах ділянок;

- маршрутну, що представляє собою середню швидкість на всьому шляху слідування

Важливими показниками потужності являються пропускна і провізна здатність транспортної системи.

Пропускною здатністю називається максимальна кількість одиниць рухомого складу, яке може бути пропущено по даному об'єкту (відрізку шляху) за одиницю часу.

Провізна здатність об'єкту транспорту – це максимальна кількість тон вантажів (чи пасажирів), яка може бути перевезена за розрахунковий період.

Існує і ряд інших показників, за якими можна оцінити якість роботи транспорту: надійність, доступність в часі, регулярність і точність перевезень та інші.

ЛЕКЦІЯ № 2

Тема: Загальні відомості про автомобільні дороги

Література:

1. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. Ч.1., с. 10 – 34.
2. Білятинський О.А. та інші. Проектування автомобільних доріг. Київ: Вища школа. Ч.1, 1997, с. 10 – 31.
3. Методичні вказівки до виконання курсового проекту № 1 "Основи проектування доріг".
4. Справочник инженера дорожника – Проектирование автомобильных дорог. Под ред. Г.А.Федотова, 1989г.
5. Справочник – Проектирование и строительство автомобильных дорог. Под ред. В.И.Заворицкого, Киев, 1996г.
6. Державні будівельні норми. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. ДБН В.2.3-4:2007.

2.1 Роль автомобільних доріг в транспортній системі країни

Перевезення вантажів і пасажирів виконуються по мережі шляхів сполучень, яка, як уже відомо, складається із залізниць і автомобільних доріг, авіаційних трас, річних і морських судноплавних ліній. Рідини і гази транспортують по трубопроводах. Електроенергія транспортується по лініях електропередач. Усі види транспорту разом з відповідними шляхами сполучень утворюють єдину транспортну систему і працюють у взаємній ув'язці, доповнюючи один одного, створюючи можливості найбільш доцільного використання кожного із них.

Залізничний транспорт виконує основну масу вантажних і пасажирських перевезень на далекі відстані. Проте надходження і прийом вантажів на залізниці пов'язані з навантажувальними станціями. Тому

залізничний транспорт неодмінно повинен працювати в сполученні з іншими видами транспорту, що обслуговують його під'їзні шляхи. В під'їзних шляхах мають потребу також пристані і аеропорти. Роль під'їзних шляхів виконують автомобільні дороги.

Автомобільний транспорт може приймати вантажі безпосередньо на місці їх формування і доставляти їх до місць призначення без перевантажень (від воріт до воріт). Тому він являється найбільш ефективним видом транспорту для перевезень на порівняно короткі відстані, так як в залежності від стану дорожньої мережі вантажі на відстані до 200-400 км автомобільним транспортом доставляються швидше, ніж залізничним. В зв'язку з створенням мережі магістральних доріг автомобільний транспорт придбав тепер самостійне значення для перевезень на далекі відстані швидкопсувних і термінових вантажів, оскільки його середня швидкість доставки вище, ніж по залізниці завдяки відсутності втрат часу на переформування поїздів на вузлових станціях. Пасажирські перевезення виконуються транспортом з більшою частотою рейсів, ніж по залізниці.

Загальний об'єм вантажів і пасажирів, що перевозиться автомобільним транспортом, значно перевищує їх кількість, що перевозиться іншими видами транспорту. Автомобільними дорогами перевозиться \approx в 6-7 разів більше вантажів, ніж по залізницях; пасажирів - \approx в 4 рази.

Автомобільні дороги, що поєднують населені пункти, промислові центри і сільськогосподарські райони між собою і з навантажувально-розвантажувальними пунктами інших видів транспорту, утворюють мережу автомобільних доріг. Вантажі, що перевозяться по окремих напрямках у відповідності з потребами народного господарства, утворюють вантажопотоки різної величини.

Накреслення мережі автомобільних доріг перш за все повинно відповідати напрямкам головних вантажних і пасажирських перевезень. Основою дорожньої мережі являється мережа автомобільних магістральних удосконалених доріг державного значення для швидкісних дальніх

пасажирських і вантажних перевезень, що пов'язує між собою основні економічні райони країни, і її головні центри. При плануванні мережі автомобільних магістралей важливу роль відіграє забезпечення адміністративних, культурних і господарських зв'язків між крупними адміністративними центрами і потреб оборони країни.

Розвитком і доповненням доріг державного значення являються дороги міжобласного значення, які виконують ті самі функції в межах області. Обласні дороги, в свою чергу, складають основу мережі доріг районного значення.

Необхідно відмітити, що чим нижче підпорядкованість дороги, тим більшу роль відіграють в виборі напрямку конкретні вантажопотоки тих чи інших підприємств. Чим вище адміністративне значення дороги, тим більше по ній переміщається автомобілів і тим більш удосконаленою її влаштовують.

Накреслення дорожньої мережі являється одним із елементів планування. Воно визначається на основі розміщення виробничих сил країни і повинно забезпечити їх подальший розвиток. Значні кошти, уже витрачені на побудову існуючих доріг, заставляють при проектуванні дорожньої мережі максимально використовувати існуючі дороги з твердими покриттями. Тому в планах розвитку дорожньої мережі важливе місце завжди займають роботи по реконструкції доріг – налаштування старих доріг до вимог сучасного швидкісного автомобільного руху.

Дорожні мережі проектують на основі глибокого аналізу економіки району, яка визначає потреби в перевезеннях. Схема мережі автомобільних доріг періодично (як правило, через 5 років) корегується з метою найкращого обслуговування мережею усіх потреб у перевезеннях.

За словами проф. ХАДІ Л.Назарова, за усі роки Радянської влади дорожнім будівництвом ніхто серйозно не займався і ніхто цю проблему в державному масштабі не вирішував. Щорічний приріст доріг з 1950 по 1960 роки складав усього 9тис.км, пізніше – 15тис.км. і тільки в 12 п'ятирічці

планувалось трохи більше 30 тис.км за рік. В той час як в США він складав 100 тис.км. На початок 1998 року в Україні було усього 172 тис. км. доріг , в кращому випадку приближувалися до міжнародних стандартів, в США – 6500 тис. км. доріг, які являються практично еталоном.

Розподіл мережі автомобільних доріг за державами світу дуже нерівномірний:

Бельгія – $2440\text{км}/1000\text{км}^2$, або $2,44\text{км}/\text{км}^2$;

Німеччина -> $1600\text{км}/1000\text{км}^2$, або $>1,6\text{км}/\text{км}^2$;

Англія – $1415\text{км}/1000\text{км}^2$, або $1,415\text{км}/\text{км}^2$;

Італія - $981\text{км}/1000\text{км}^2$, або $0,981\text{км}/\text{км}^2$;

Польща - $960\text{км}/1000\text{км}^2$, або $0,96\text{км}/\text{км}^2$;

США - $700\text{км}/1000\text{км}^2$, або $0,7\text{км}/\text{км}^2$;

Україна – $285,4\text{км}/1000\text{км}^2$, або $0,285\text{км}/\text{км}^2$;

Нерівномірно розподіляється мережа автомобільних доріг і по території бувшого Радянського Союзу:

Естонія - $368\text{км}/1000\text{км}^2$, або $0,368\text{км}/\text{км}^2$;

Грузія - $222\text{км}/1000\text{км}^2$, або $0,222\text{км}/\text{км}^2$;

Україна - $285\text{км}/1000\text{км}^2$, або $0,285\text{км}/\text{км}^2$.

Мережу автомобільних доріг мінімальної густоти має Росія і Середньоазіатські держави.

Найбільшу густоту доріг в Україні має

Тернопільська обл. – $406\text{км}/1000\text{км}^2$;

Львівська обл.. - $376\text{км}/1000\text{км}^2$;

Чернівецька обл.. - $370\text{км}/1000\text{км}^2$;

Вінницька обл.. - $367\text{км}/1000\text{км}^2$;

Хмельницька обл.. - $343\text{км}/1000\text{км}^2$;

Донецька обл.. знаходиться на 10-му місці – $309,5\text{км}/1000\text{км}^2$.

Багато існуючих доріг було побудовано ще до війни за старими технічними нормативами для змішаного автомобільного і гужового руху. Окремі їхні ділянки не задовольняють вимогам сучасного інтенсивного руху

автомобілів. Необхідна поступова їх перебудова з максимальним використанням земляного полотна і дорожнього одягу, на які було затрачено багато труда і коштів.

2.2 Транспортно – експлуатаційні характеристики автомобільних доріг

Сучасна автомобільна дорога розрахована на переважний пропуск одного виду транспортних засобів – автомобілів. Гусеничні машини, руйнуючі дорожній одяг, повинні рухатись по паралельних ґрунтових дорогах або по спеціально влаштованих тракторних шляхах. Тому основними видами рухомого складу доріг являються різні типи автомобілів – автобуси, легкові та вантажні автомобілі, автопоїзди. Допускається проїзд мотоциклів, тракторів і сільськогосподарських машин на пневмоході.

Як всяка інженерна споруда, автомобільна дорога може забезпечити пропуск тільки тих навантажень і в тій кількості, на яку розрахована при проектуванні. Між тим прогрес в автомобілебудівництві приводить до безперервного удосконалення і зміни типів автомобілів, моделі яких міняються на кожному заводі через кілька років. Існує тенденція до збільшення вантажопідйомності автомобілів.

Кожна дорога служить десятки років і тому неможливо завчасно точно передбачити параметри автомобілів, які будуть по ній їздити в майбутньому. Економічно недоцільно в той же час будувати дороги з надлишковим запасом міцності, розрахованим на багато років вперед. Тому розроблені стандарти на габарити і навантаження від автомобілів, якими повинна керуватись автомобільна промисловість і до яких пристосовують норми на елементи автомобільних доріг.

Окремі автомобілі, різні за типами, ступені завантаження і технічному стану, слідуючи в одному напрямку з різними швидкостями по самостійних маршрутах, утворюють на дорозі транспортний потік. Очевидно, що чим

більше автомобілів рухається в потоці, тим більш високі вимоги повинні бути пред'явлені до улаштування дороги. При обґрунтуванні вимог до різних елементів дороги використовують різні характеристики транспортного потоку. Для призначення числа смуг руху автомобілів при обґрунтуванні ширини земляного полотна і проїзної частини вирішальне значення кількість автомобілів, що проходять по дорозі за визначений час. За основну характеристику руху по дорогах приймають загальну кількість автомобілів, що проходять через деякий переріз дороги за одиницю часу (добу, годину), яку називають інтенсивністю руху.

За звичаєм при оцінці умов роботи дороги інтенсивність руху виражають в фактичній кількості автомобілів, що проходять, підсумовуючи автомобілі незалежно від їх типів. Іноді для уточнення в складі руху показують відсоток легкових, вантажних автомобілів і автобусів.

Тому для характеристики кількості автомобілів, яке дорога може пропустити, фактичну інтенсивність руху іноді приводять до еквівалентної кількості легкових автомобілів. Для цього вводять коефіцієнти приведення, які характеризують, скільки легкових автомобілів могли би проїхати по ділянці дороги за час проїзду одного вантажного автомобіля або автопоїзда. На ці коефіцієнти множують число автомобілів кожного типу. Тобто

$$N_{\text{екв}} = \sum N_i K_{\text{пр.і}} \quad (2.1)$$

Згідно ДБН В.2.3-4:2007 при визначенні приведенної інтенсивності руху використовують коефіцієнти наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти приведення транспортних засобів до легкового автомобіля

Ч.ч.	Тип транспортного засобу	$K_{\text{пр}}$
1	2	3
1	Мотоцикл без коляски та мопед	0,5
2	Мотоцикл з коляскою	0,75
3	Легковий автомобіль	1,0

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
4	Вантажний автомобіль вантажопідйомністю, т	
	до 1	1,0
	від 1 до 2	1,5
	від 2 до 6	2,0
	від 6 до 8	2,5
	від 8 до 14	3,0
	понад 17	3,5
5	Автопоїзд вантажопідйомністю, т	
	до 12	3,5
	від 12 до 20	4,0
	від 20 до 30	5,0
	понад 30	6,0
6	Колісний трактор з причепами вантажопідйомністю, т	
	до 10	3,5
	понад 10	5,0
7	Автобус	3,0
8	Автобус зчеплений (здвоєний)	5,0
<p>Примітка 1. При проміжних значеннях вантажопідйомності транспортних засобів коефіцієнти приведення визначають інтерполяцією.</p> <p>Примітка 2. Коефіцієнти приведення для спеціальних автомобілів приймають як для базових автомобілів відповідної вантажопідйомності.</p>		

Інтенсивність руху міняється за довжиною окремих ділянок дороги, збільшуючись поблизу міст, крупних населених пунктів і залізничних станцій, і зменшуючись на середніх ділянках маршрутів. Інтенсивність руху непостійна на протязі доби і різко знижується в нічний час. Не остається вона постійною і на протязі року. В святкові та вихідні дні рух вантажних

автомобілів знижується, а легкових, навпаки, збільшується. В зв'язку з відміченими частими коливаннями величини інтенсивності руху на дорогах її можна надійно характеризувати тільки середніми величинами за розрахунковий період часу.

При проектуванні доріг рух частіше усього характеризують його середньою величиною за рік, яку називають **середньорічною добовою інтенсивністю руху**. Допускається користуватись також інтенсивністю в години найбільшого завантаження дороги рухом.

Важливою характеристикою, за якою визначається категорія дороги, являється перспективна інтенсивність, яка визначається за формулами:

$$N_t = N_0 (1 + b t); \quad (2.2)$$

$$N_t = N_0 (1 + b)^t; \quad (2.3)$$

$$N_t = N_0 e^{bt}. \quad (2.4)$$

В ряді випадків користуються інтенсивністю в годину, яку в залежності від добової знаходять за формулами:

$$N_{\text{год}} \approx \frac{1}{6} \cdots \frac{1}{10} N_{\text{доб}}; \quad (2.5)$$

$$N_{\text{год}} \approx 0,1 N_{\text{доб}}; \quad (2.6)$$

$$N_{\text{год}} \approx 0,076 N_{\text{доб}}. \quad (2.7)$$

Інтенсивність руху не являється вичерпною характеристикою руху; для рішення деяких задач проектування і експлуатації автомобільних доріг використовують ряд інших характеристик.

Так, наприклад, для розрахунку дорожнього одягу мають значення не тільки кількість, але й величина навантажень. Один проїзд важкого автомобіля чинить на дорогу більш руйнівну дію, ніж прохід великого числа більш легких автомобілів. Ця обставина враховується пере розрахунком фактичної інтенсивності руху в еквівалентну приведену інтенсивність руху одного із важких автомобілів, який приймається за розрахунковий.

При проектуванні промислових автомобільних доріг, де рух легкових автомобілів практично відсутній, транспортний потік характеризується вантажнапруженістю – масою нетто вантажів, що перевозяться за рік. Між інтенсивністю руху і вантажнапруженістю існує залежність

$$Q_B = \sum N_i q_i \gamma_i \beta_i T_{\text{роб}} , \quad (2.8)$$

або
$$Q_B = N_B q_B \gamma \beta T_{\text{роб}} , \quad (2.9)$$

де
$$q_{\text{сер}} = \sum q_i p_i , \quad (2.10)$$

q_i – вантажопідйомність i -го типу автомобілів;

p_i – доля i -го типу в складі вантажних автомобілів;

γ, β – коефіцієнти використання пробігу і вантажопідйомності;

$T_{\text{роб}}$ – кількість робочих днів в році.

2.3 Класифікація автомобільних доріг

Автомобільні дороги задовольняють різні транспортні потреби держави і мають господарське, адміністративно-політичне, культурне і оборонне значення. Від значення дороги, характеру і важливості транспортного зв'язку, що обслуговується дорогою, залежать інтенсивність, рухомий склад і швидкість руху по дорозі, вага автомобілів, сезонні коливання інтенсивності, взаємне розташування доріг та багато іншого.

В залежності від народногосподарського і адміністративного значення автомобільні дороги України згідно з законом «Про автомобільні дороги» поділяються на дороги загального користування, відомчі та приватні. Дороги загального користування діляться на дороги державного та місцевого значення (п. 4.1.1 ДБН В.2.3-4:2007). Автомобільні дороги державного значення підрозділяються на міжнародні, національні та регіональні. Дороги місцевого значення підрозділяються на територіальні, обласні та районні.

Міжнародні дороги призначені для забезпечення міжнародних автомобільних зв'язків. Національні дороги пов'язують столицю з обласними центрами, важливими промисловими і культурними центрами. Регіональні дороги поєднують адміністративні центри областей, значні промислові центри між собою, з державними магістральними дорогами, з залізничними вузлами, портами, курортами.

Місцеві дороги поєднують сільські населені пункти з районними центрами, районні центри між собою і т.п.

Відомчі дороги включають дороги розташовані територіях промислових підприємств а також під'їзди до них, внутрігосподарські дороги фермерських та інших сільськогосподарських підприємств, службові і патрульні автомобільні дороги вздовж каналів, трубопроводів, ліній електропередач і інш.

До приватних відносяться дороги, які являються власністю юридичних чи фізичних осіб.

Від значення автомобільних доріг для народного господарства в переважній більшості випадків залежить інтенсивність руху по них; чим інтенсивніше рух, тим більш досконалою повинна бути дорога.

В залежності від народногосподарського значення дороги і величини перспективної на 20 років інтенсивності руху, яка відраховується від року завершення розробки проекту, автомобільні дороги загального користування ділять на п'ять категорій (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – технічна класифікація автомобільних доріг

Категорія дороги	Розрахункова перспективна інтенсивність руху, авт/добу	
	У транспортних одиницях	У приведених до легкового автомобіля
1	2	3
I - а	понад 10000	понад 14000
I - б	понад 10000	понад 14000

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
II	від 3000 до 10000	від 5000 до 14000
III	від 1000 до 3000	від 2500 до 5000
IV	від 150 до 1000	від 300 до 2500
V	до 150	до 300

Примітка 1. I-а – автомагістраль.

Примітка 2. Категорію дороги можна визначати за розрахунковою інтенсивністю руху у транспортних одиницях, якщо кількість легкових автомобілів становить менше 30 відсотків від загального транспортного потоку.

Дороги I категорії в свою чергу в залежності від їх взаємного розташування з дорогами, з якими вони перетинаються, діляться на дві під категорії: I а та I б. до доріг I а категорії відносять магістральні автомобільні дороги державного значення, які не допускають перехрещення з іншими дорогами в одному рівні.

I б категорію складають автомобільні дороги з інтенсивністю більше 10000 авт/добу, але не віднесені до категорії I а, тобто такі що допускають перехрещення в одному рівні з другорядними дорогами.

Дороги I, II, і III категорій звично являються державними, а дороги IV і V категорій являються дорогами місцевого значення.

Усі елементи кожної категорії розраховують на забезпечення безпечного руху одиночних легкових автомобілів при хорошій видимості в суху погоду або при зволоженій чистій поверхні покриття дороги з розрахунковою швидкістю, що відповідає даній категорії дороги.

Розрахункову швидкість руху при проектуванні автомобільних доріг слід приймати на основі визначеної категорії та конкретних умов прокладення залежно від рельєфу місцевості згідно з таблицею 2.3 (таблиця 4.4 ДБН В.2.3-4:2007).

Таблиця 2.2 – Розрахункова швидкість руху

Ч. ч.	Категорія дороги	Розрахункова швидкість, км/год.		
		основна рівнинна місцевість	Допустима на місцевості	
			горбистій	гірській
1	I-а	150	120	100
2	I-б	140	110	80
3	II	120	100	60
4	III	100	80	50
5	IV	90	60	30
6	V	90	40	30

Примітка 1. До горбистої місцевості належить рельєф, часто порізаний глибокими долинами з різницею позначок дна долин і вододілів понад 50м на відстані не більше 0,5 км, з бічними глибокими ярами і нестійкими схилами, долинами передгірських рік з бічними притоками.

Примітка 2. До гірської місцевості належать ділянки перевалів (плюс один кілометр в кожний бік від перевалу) через гірські хребти і ділянки гірських ущелин із складними, сильно порізаними або нестійкими схилами, ділянки розповсюдження пластичних зсувів ґрунтів та осипів, долини гірських рік з бічними притоками

Основна розрахункова швидкість руху для доріг I категорії відповідає максимальним швидкостям, які можуть розвивати сучасні легкові автомобілі. По дорогах нижчих категорій проходить рух тих же автомобілів, що по дорогах вищих категорій. Проте дороги III – V категорій обмежують можливості автомобілів в повній мірі використати свої динамічні якості. Тому в ряді випадків, коли це не призводить до подорожання будівництва, допускається керуватись більш високими розрахунковими швидкостями.

ЛЕКЦІЯ № 3

Тема : Теоретичні основи руху автомобілів по дорогах

Література: В.Ф.Бабков, О.В.Андреев. Проектирование автомобильных дорог, ч.1 стр. 34 – 62.

3.1 Рух автомобіля по дорозі. Опори руху автомобіля

Усі елементи сучасної автомобільної дороги повинні забезпечувати можливість безпечного руху автомобілів з розрахунковою швидкістю. Чим вища інтенсивність руху по дорозі, тим більші взаємні перешкоди відчують автомобілі, і швидкість їх руху знижується. Тому вимоги до окремих елементів траси дороги встановлюють із умови руху по дорозі одиночного автомобіля.

Автомобіль, що рухається по дорозі, зазнає складної системи переміщень: поступального руху на прямих, обертання навколо вертикальної осі при русі по закругленням, коливання в поздовжньому і поперечному напрямках, які викликаються наїздами коліс на нерівності покриття та інше. Не усі ці особливості руху поки що можуть бути в повній мірі враховані при проектуванні доріг і тому при обґрунтуванні вимог до елементів доріг в плані і профілі умовно допускають, що автомобіль рухається без коливань по рівній, твердій поверхні, що не деформує.

Фактичний режим руху автомобіля по дорозі визначається трьома факторами – експлуатаційними властивостями автомобілів, дорожніми умовами, які забезпечують можливість розвивати ту чи іншу швидкість, і індивідуальними можливостями водіїв, які вибирають в залежності від сприйняття ними дорожніх умов найбільш зручну для себе швидкість, при цьому як правило, неповністю використовуючи допустимі конструкцією динамічні можливості автомобілів. Для забезпечення проектом дороги

можливості безпечного, економічного, зручного і приємного проїзду необхідне комплексне урахування взаємного впливу відмічених факторів.

Сила тяги, що розвивається двигуном на ведучих колесах автомобіля, тратиться на подолання сил опору руху.

В найбільш загальному випадку прискореного руху на підйом на автомобіль діють наступні сили опору: опір коченню P_f , опір руху на підйом P_i , опір повітря P_w , інерційні сили самого автомобіля і частин його механізмів, що крутяться P_j , які виникають при зміні швидкості руху. Сили опору коченню і опору повітряного середовища завжди діють на рухомий автомобіль. Опори руху на підйом і сили інерції в залежності від поздовжнього профілю дороги і режиму руху автомобіля можуть бути відсутніми або навіть мати від'ємний знак, сприяючи руху (наприклад, при опусканні під гору або при гальмуванні).

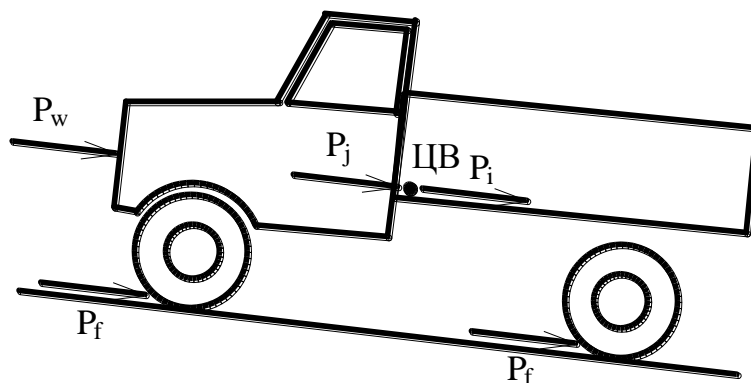


Рисунок 3.1 – Сили опору руху, що діють на автомобіль

Опір коченню викликається витратами енергії на деформацію шин і дороги. На рівних цементобетонних і асфальтобетонних покриттях основним фактором, що визначає опір кочення, являється обтиснення шин. На менш рівних покриттях (щебених, гравійних, буличних мостових, ґрунтових дорогах) приєднуються наїзди колеса на нерівності покриття, деформації шин і колеса при утворенні колії та інше.

В загальному випадку опір кочення прямо пропорціональний тиску на дорогу

$$P_f = G_{\text{авт}} f, \quad (3.1)$$

де $G_{\text{авт}}$ – вага автомобіля;

f – коефіцієнт опору коченню.

Коефіцієнт опору коченню залежить від типу покриття. Значення коефіцієнту f наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Значення коефіцієнту опору коченню

Покриття	f
Цементобетонне і асфальтобетонне	0,01-0,02
Із щебеню або гравію, оброблених органічним в'язучими матеріалами з рівною поверхнею	0,02-0,025
Із щебеню або гравію, не оброблених в'язучими, з невеликими вибоїнами	0,03-0,04
Булижна мостова	0,04-0,05
Ґрунтова дорога, рівна, суха і щільна	0,03-0,06
Рілля, перезволожений заболочений ґрунт, сипучі піски	0,15-0,30

При швидкостях руху перевищуючих 60 км/год коефіцієнт опору коченню визначають за формулою

$$f_v = f_0 (1 + 4.5 \cdot 10^{-5} V^2), \quad (3.2)$$

Аеродинамічний опір повітряного середовища руху автомобіля викликається:

лобовим тиском, обумовленим різницею тисків повітря спереду і позаду автомобіля;

тертям повітря по боковій поверхні автомобіля і опором, що створюються виступаючими частинами автомобіля – крилами, дзеркалами, номерними знаками та інше;

затратами потужності на завихрення повітряних струмин за автомобілем, біля коліс і під кузовом;

опором повітря, яке проходить через радіатор і підкапотній простір.

Сумарна сила опору повітря визначається за відомою формулою аеродинаміки

$$P_w = \frac{K_n F V^2}{13}, \quad (3.3)$$

де K_n – коефіцієнт опору повітря;

F – площа лобової проєкції автомобіля, яка визначається за формулами:

для легкових автомобілів $F = 0.8 B H$;

для автобусів і вантажних автомобілів $F = 0.9 B H$

(B і H – габаритні ширина і висота автомобіля);

V – швидкість руху автомобіля з урахуванням швидкості і напрямку вітру.

Опір руху на підйом з похилом I утворюється в результаті необхідності додаткових затрат енергії на переміщення автомобіля по нахиленій поверхні дороги на деяку висоту. Очевидно, що при піднятті автомобіля на висоту H , виконується робота $A = G \cdot H$. Аналогічно робота по подоланню сили опору на підйом на відстані L складе $A = P_i \cdot L$. Так як це одна і та ж робота, то $P_i \cdot L = G \cdot H$, звідки

$$P_i = \frac{GH}{L} = GI \quad (3.4)$$

Таким чином, коефіцієнтом опору на підйом служить поздовжній похил дороги.

Опір інерційних сил автомобіля (P_j), який виникає внаслідок зміни його швидкості, складається із сил інерції поступального руху і інерційних моментів частин автомобіля, що вертяться.

При масі автомобіля $m = \frac{G}{g}$ і швидкості автомобіля V (в м/с) величина інерційної сили поступального руху

$$P_j = m \frac{dv}{dt} = \frac{G}{g} \frac{dv}{dt} = G j, \quad (3.5)$$

де $\frac{dv}{dt}$ - прискорення автомобіля;

$j = \frac{1}{g} \frac{dv}{dt}$ - відносне прискорення.

Вплив інерції частин автомобіля, що вертяться, враховується введенням поправочного коефіцієнта $\delta_{\text{вер}}$.

Вираз інерційної сили набуде вигляду

$$P_j = \delta_{\text{вер}} G_j. \quad (3.6)$$

Чим більше передаточне число коробки передач, тим вище значення коефіцієнта $\delta_{\text{вер}}$. Для прямої передачі коефіцієнт коливається в межах 1,03 – 1,07, при інших передачах збільшується приблизно по залежності

$$\delta_{\text{вер}} = 1,04 + n i_k^2, \quad (3.7)$$

де i_k – передаточне число коробки передач;

n – коефіцієнт, рівний 0,03-0,05 для легкових автомобілів і 0,05-0,07 - для вантажних.

3.2 Рівняння руху автомобіля. Динамічні характеристики автомобіля

Механічна енергія, що виробляється двигуном автомобіля, передається через трансмісію автомобіля на його ведучі колеса.

Крутячий момент колеса M_k викликає появу пари сил – одна із них окружна сила P_k , яка прикладена до площі контакту шини з покриттям, друга сила тягове зусилля P_p – передається через ведучий міст і ресори на раму автомобіля і викликає його рух.

Величина тягового зусилля P_p рівна:

$$P_p = \frac{M_k}{r_k}, \quad (3.8)$$

де $r_k = 1r_0$ – радіус кочення ведучих коліс з урахуванням обтиснення шини в зоні контакту з покриттям. (1 – коефіцієнт деформації, рівний: 0,945-0,95 для вантажних автомобілів, і 0,93-0,935 для легкових автомобілів).

Крутячий момент на ведучих колесах M_k визначається за формулою

$$M_k = M_e i_k i_0 \eta, \quad (3.9)$$

де i_k – передаточне число коробки передач;

i_0 – передаточне число головної передачі;

η – механічний коефіцієнт корисної дії трансмісії (ККД).

Тягове зусилля відповідно складе

$$P_p = \frac{M_e i_0 i_k}{r_k} \eta. \quad (3.10)$$

Враховуючи, що крутячий момент, що розвивається двигуном, пов'язаний з його потужністю N_e (кВт) і частотою обертання колінчатого валу n_e (об/хв) залежністю $M_e = \frac{N}{n_e}$, вираз (3.10) можна привести до вигляду

$$P_p = 9.55 \frac{N_e i_0 i_k}{n_e r_k} \eta. \quad (3.11)$$

Кожній швидкості руху V (км/год) відповідає строго визначене число обертів колінчатого валу

$$n_e = \frac{i_0 i_k V}{0.377 r_k}. \quad (3.12)$$

За відомим числом обертів n_e , користуючись графіком зовнішньої швидкісної характеристики двигуна знаходять потужність N_e і за формулою (3.11) тягове зусилля P_p .

Тягове зусилля витрачається на подолання сил опору, тобто

$$P_p = P_f \pm P_i \pm P_j + P_w. \quad (3.13)$$

Вираз (3.13) представляє собою *рівняння руху автомобіля*.

В залежності від співвідношення зовнішніх опорів отримуємо рух з постійною швидкістю, розгін або гальмування автомобіля.

Перенісши величину опору повітря, що залежить від швидкості руху, в ліву частину рівняння і підставивши значення опорів, отримаємо:

$$P_p - P_w = Gf \pm Gi \pm Gj. \quad (3.14)$$

Розділивши праву і ліву частину виразу (3.14), отримаємо:

$$\frac{P_p - P_w}{G} = f \pm i \pm j. \quad (3.15)$$

Різницю між повною силою тяги на ведучих колесах і опором повітря, віднесена до одиниці ваги автомобіля (вираз зліва знаку рівності у 3.15), академік Є.О.Чудаков назвав динамічним фактором

$$D = \frac{P_p - P_w}{G}. \quad (3.16)$$

Динамічний фактор характеризує запас тягового зусилля на одиницю ваги автомобіля, що рухається зі швидкістю V , який може бути витрачений на подолання дорожніх опорів ($f \pm i$) і на прискорення автомобіля j . Графік залежності динамічного фактора від швидкості руху при повному навантаженні на автомобіль, названо динамічною характеристикою автомобіля (Рис.).

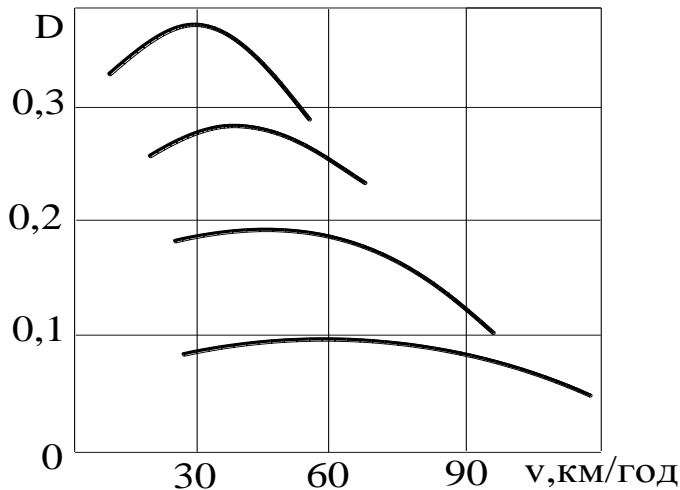


Рисунок 3.2 – Динамічні характеристики автомобіля

Графіки динамічних характеристик за звичаєм будують стосовно до випадку повного завантаження автомобілів:

$$D_{\text{пов}} = \frac{P_p - P_w}{G_{\text{пов}}}.$$

При зміні навантаження на автомобіль вираз, що стоїть в чисельнику, не міняється, оскільки він залежить тільки від швидкості руху. Тому при постійній швидкості зберігається відношення $D_{\text{пов}} G_{\text{пов}} = D_1 G_1 = P_p - P_w$.

$$\text{Звідки} \quad D_1 = D_{\text{пов}} \frac{G_{\text{пов}}}{G_1}. \quad (3.17)$$

Тобто при неповному завантаженні автомобіля його динамічний фактор обернено пропорційний сумі корисного навантаження на автомобіль і його власній вазі.

3.3 Зчеплення шин з поверхнею дороги

Тягове зусилля на колесах автомобіля, що забезпечується потужністю двигуна, може бути розвинуто тільки в тому випадку, якщо між ведучими колесами і дорогою є достатнє зчеплення. Величину відношення максимального тягового зусилля P_p до вертикального навантаження на колесо G_k , при перевищенні якого починається пробуксовування ведучого колеса або прослизання загальмованого, називають коефіцієнтом зчеплення і позначають буквою φ . Тобто

$$\varphi = \frac{P_p}{G_k}. \quad (3.18)$$

Для того, щоб покращити умови зчеплення шини з покриттям і зробити найбільш ефективним витиснення води із зони контакту шини з дорогою при коченні по мокрому покриттю, поверхню бігової доріжки пневматичних шин роблять рифленою, влаштовуючи на ній випуклий рисунок – протектор.

В зв'язку з різною жорсткістю шини в напрямку кочення і в поперечному напрямку сила зчеплення шини з покриттям неоднакова при різних напрямках прикладеної сили. В зв'язку з цим нормують дві величини коефіцієнта зчеплення:

коефіцієнт поздовжнього зчеплення - коефіцієнт зчеплення, що відповідає початку пробуксовування або прослизання колеса при його коченні без дії бокової сили. Його використовують при розрахунку шляху, що проходить автомобіль під час гальмування, і при визначенні підйомів, що долають автомобілі;

коефіцієнт поперечного зчеплення – поперечна складова коефіцієнта зчеплення при зміщенні колеса під кутом до площини руху, коли колесо одночасно і крутиться, ковзає вбік.

Багаточисельні дослідження коефіцієнта зчеплення показали, що на його величину більше впливає стан дорожнього покриття, ніж його тип. Одним із факторів, що зменшують величину коефіцієнта зчеплення, являється знос покриття. По мірі його зносу зменшується і шорсткість, що призводить і до зменшення його зчеплення з колесом. Значно знижує коефіцієнт зчеплення суміш із продуктів зносу шин, пилу, грязі з водою, ця суміш діє як змазка, що розділяє гуму і покриття, знижується зчеплення і з ростом швидкості. Зниження коефіцієнта зчеплення зі збільшенням швидкості більш відчутне на мокрих покриттях. При наявності на покритті плівки води товщиною в кілька міліметрів, при високих швидкостях між колесом і покриттям утворюється водяний клин, який утворює гідродинамічну підйомну силу, що знижує тиск колеса на дорогу.

В зв'язку з тим, що під час гальмування швидкість руху міняється в широких межах, при розрахунках шляху гальмування виходять із величини коефіцієнтів зчеплення, що відноситься до швидкості 30-40км/г, приймаючи їх за середні для усього процесу гальмування. В залежності від стану покриття коефіцієнти поздовжнього зчеплення мають наступні значення:

Таблиця 3.3

Стан покриття	φ
Сухе шорстке	0,7 і більше
Сухе гладке	0,6

Вологе	0,5
Мокре	0,4 – 0,3
Грязне	0,3 – 0,2
Обледеніле	0,1 – 0,05

Умови зчеплення пневматичних шин з поверхнею дороги пов'язані з погодними умовами. Величина коефіцієнта зчеплення міняється на протязі року, підвищуючись літом і значно понижуючись в період зимової ожеледі.

Коефіцієнт зчеплення шини з покриттям – важлива умова забезпечення транспортних якостей дороги, так як від нього залежить можливість реалізації тягового зусилля автомобіля, стійкість автомобіля проти заносу на кривих в плані і можливість своєчасно зупинити автомобіль перед несподівано виниклим пішоходом або перешкодою.

Чим відповідальніше призначення дороги і чим трудніші умови руху по окремих її ділянках, тим більш високі вимоги пред'являються до величини коефіцієнта зчеплення. При передачі дороги в експлуатацію будівельні норми передбачають вимоги до коефіцієнта поздовжнього зчеплення покриття в слабо зволоженому стані при швидкості руху автомобілів 60 км/г, наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Умови руху	Характеристика ділянок дороги	Коефіцієнт зчеплення, не менше
Легкі	Прямі ділянки, криві з радіусами більше 1000 м, поздовжній похил не більше 30‰ при укріпленому узбіччі	0,45
Затруднені	Ділянки з кривими в плані з радіусами 250-1000 м, з поздовжніми похилами від 30 до 60‰	0,50 – 0,45
Небезпечні	Ділянки з недостатньою видимістю, похилами, які перевищують розрахунковий, зони примикань і перехрещень в одному рівні	0,60

Як відмічалось раніше, умови зчеплення коліс з поверхнею дороги обмежують динамічні можливості автомобіля, оскільки при малих

коефіцієнтах зчеплення великі тягові зусилля, що забезпечуються потужністю двигуна, не можуть бути використані через недостаток зчеплення між колесами та покриттям. Тому поряд з динамічними характеристиками по потужності двигуна при тягових розрахунках використовуються також динамічні характеристики за умовами зчеплення, які отримують із рівняння тягового балансу при заміні в рівнянні руху автомобіля величини сили тяги P_p по потужності двигуна її максимальним значення, можливим за умовами зчеплення шини з покриттям $P_p = G^I \varphi$, тобто

$$G^I \varphi = Gf \pm Gi \pm Gj + K_b F \frac{V^2}{13}, \quad (3.19)$$

де G^I – навантаження від ведучих коліс на дорогу;

V – швидкість автомобіля, км/г;

K_b – коефіцієнт опору повітря.

Відносячи надлишок зчеплення над опором повітря до одиниці ваги автомобіля отримаємо вираз динамічної характеристики по зчепленню:

$$D_{зч} = \frac{G^I \varphi - K_b F \frac{V^2}{13}}{G} = f \pm i \pm j. \quad (3.20)$$

Динамічний фактор по зчепленню повинен бути більшим динамічного фактору за тяговим зусиллям, тобто $D_{зч} > D$.

3.4 Задачі, що вирішуються за допомогою графіка динамічних характеристик автомобіля

Графік динамічних характеристик дає можливість вирішити ряд задач по дослідженню умов руху автомобіля по дорозі (рис. 3.3):

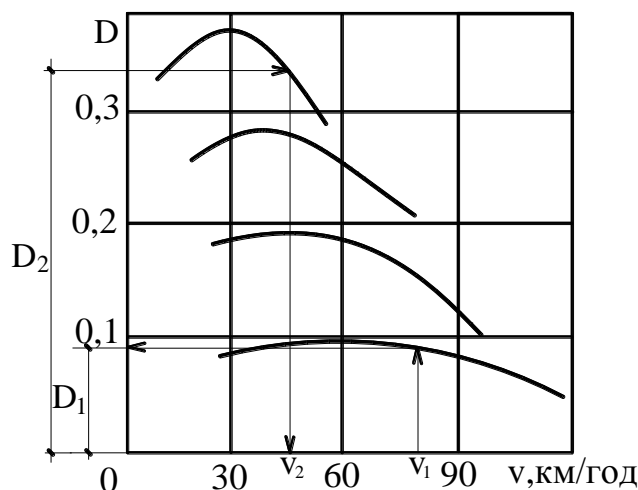


Рисунок 3.3 - Використання графіка динамічних характеристик для тягових розрахунків

1. Визначення величини максимального похилу, який долає автомобіль при тій чи іншій постійній швидкості руху.

Для рішення цієї задачі на графіку динамічних характеристик від абсциси, що відповідає завданій швидкості руху v_1 , виставляють перпендикуляр до перетину з кривою динамічної характеристики. Ордината цієї точки А дає значення динамічного фактора D_1 , рівне сумі $i_1 + f + j$.

Оскільки передбачається, що рух відбувається з постійною швидкістю, $j = 0$ і тому $i_1 = D_1 - f$.

2. Визначення постійної швидкості, з якою автомобіль може подолати завданий похил i_2 .

Необхідний для виконання цієї умови динамічний фактор дорівнює:

$$D_2 = f + i_2 \quad (3.21)$$

Отриманий результат необхідно перевірити на достатність зчеплення шин з покриттям. Якщо точка на графіку розташована нижче кривої динамічної характеристики за умовами зчеплення (наприклад, при коефіцієнті зчеплення φ_2), тягове зусилля, що розвивається при швидкості v_2 , не викликає пробуксовування. Якщо ж ця точка розташована вище (при

коефіцієнті зчеплення ϕ_1), то максимальна можлива швидкість руху v_3 визначатиметься умовами зчеплення.

3. Визначення прискорення, що розвивається при розгоні.

При коефіцієнті опору коченню f , похилі i та деякій початковій швидкості v прискорення поступального руху автомобіля (м/с^2) буде:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g}{\delta_{об}} [D_v - (f + i)], \quad (3.22)$$

де v – швидкість автомобіля (м/с);

$\delta_{об}$ – коефіцієнт впливу мас автомобіля, що крутяться.

4. Визначення довжини шляху, на якому при збільшенні чи зменшенні поздовжнього похилу відбувається зміна швидкості автомобіля від V_1 до V_2 , що відповідає новому похилу.

Якщо автомобіль виїзжає на ділянку з більшим похилом, то залишок його живої сили $\frac{m(v_1^2 - v_2^2)}{2}$ витрачаючись на подолання додаткового похилу, сприяє поступовій зміні швидкості.

При зміні швидкості руху, від'ємне прискорення при сповільненні поступово зменшується. Коли воно зменшиться до нуля, подальший рух відбувається з постійною швидкістю (так званий рівноваговий рух). Довжина ділянки, на якій знову установиться рівновагова швидкість визначається за наступними формулами:

$$L_1 = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g\delta_{об}j} \quad \text{чи} \quad L_1 = \frac{V_1^2 - V_2^2}{254\delta_{об}j}. \quad (3.23)$$

3.5 Гальмування автомобіля

Для негайної зупинки автомобіля або зниження його швидкості використовується гальмування. На сухому шорсткому покритті найбільш ефективним являється гальмування, при якому обертаючий момент двигуна перестає передаватись на ведучі колеса і накопичена автомобілем жива сила (кінетична енергія) поступово поглинається тертям колодок до гальмівного

барабана. Проте при вологій поверхні покриття і малій величині коефіцієнта зчеплення таке гальмування небезпечне і може призвести до заносу автомобіля. В таких випадках гальмування починають на режимі холостого ходу двигуна при підключених ведучих колесах і відключають їх тільки після значного пониження швидкості.

Для характеристики інтенсивності уповільнення автомобіля при гальмуванні з відключеними ведучими колесами, коли рухомою силою автомобіля являється його інерція, може бути використане рівняння руху автомобіля, записане в наступному вигляді (рівняння гальмування):

$$G j = P_r + P_\omega \pm P_i + P_f, \quad (3.24)$$

P_ω , P_i , і P_f – сили опору рухові;

$P_r = \gamma_r G$ – гальмівна сила;

G – вага автомобіля; γ_r – коефіцієнт гальмівної сили (інтенсивності гальмування), який дорівнює відношенню суми гальмівних сил, що виникають на усіх гальмівних колесах, до ваги автомобіля.

Параметр γ_r залежить від конструктивних особливостей гальмівної системи автомобіля і її стану, а також від інтенсивності гальмування водієм. Інтенсивність гальмування визначається метою гальмування і може змінюватись в широких межах – від легкого пригальмовування до повної блокування коліс з рухом юзом при аварійному гальмуванні. На величину параметра γ_r впливає також рівність проїзної частини, так як при русі по покриттю, що має нерівності, виникають коливання автомобіля, при яких в окремі моменти ресори розжимаються, зменшуючи тиск автомобіля на дорогу.

Коефіцієнт γ_r характеризує використання гальмівних можливостей автомобіля. У сучасних автомобілів з гальмами на усіх колесах при рівному покритті дороги граничне можливе значення γ_r чисельно рівне величині коефіцієнта зчеплення шини з покриттям ϕ .

Підставляючи в попереднє рівняння (3.24) значення опорів руху, отримаємо, що від'ємне прискорення при гальмуванні, що характеризує інтенсивність уповільнення автомобіля, рівне:

$$j = \frac{P_{\omega}}{G} + \gamma_r \pm i + f. \quad (3.25)$$

Оскільки при гальмуванні швидкість автомобіля швидко знижується, а при швидкостях, менших 30 км/г, опір повітря незначний, його впливом на процес гальмування за звичаєм нехтують, приймаючи $P_{\omega}/G = 0$, що вносить в результати розрахунку помилку, що не перевершує 5%.

Так як $j = \frac{1}{g} \frac{dv}{dt}$, а $\frac{dv}{dt} = a$, то отримаємо прискорення у вигляді

$$a = g (\gamma_r \pm i + f). \quad (3.26)$$

Величина шляху, на якому водій може зупинити автомобіль, що рухається з розрахунковою швидкістю (гальмівний шлях), важлива характеристика безпеки руху. Вона має велике значення для обґрунтування ряду норм на елементи плану і профілю автомобільних доріг.

Розрахунковий гальмівний шлях складається із трьох складових: шляху, що проходить автомобіль за період реакції водія, шляху ефективного гальмування та зазору безпеки між автомобілем та перешкодою, який звично приймають рівним довжині автомобіля

$$L_{\text{розр}} = \ell_1 + \ell_2 + \ell_3. \quad (3.27)$$

При сучасних розрахунках за період реакції водія приймають одну секунду, тому $\ell_1 = v \cdot 1 = \frac{V}{3.6}$ (v – швидкість в м/с; V – швидкість в км/г).

Шлях ефективного гальмування визначається за формулою

$$\ell_2 = \frac{K_e v^2}{2g(\varphi \pm i + f)} = \frac{K_e V^2}{254(\varphi \pm i + f)}. \quad (3.28)$$

$$\text{Таким чином } L_{\text{розр}} = \frac{V}{3.6} + \frac{K_e V^2}{254(\varphi \pm i + f)} + \ell_3. \quad (3.29)$$

ЛЕКЦІЯ № 4

Тема: Рух автомобілів на кривих в плані

Література: В.Ф.Бабков, О.В.Андреев. Проектирование автомобильных дорог, ч.1 стор. 63 - 87.

4.1 Особливості руху автомобілів по кривих

На автомобіль, що рухається по криволінійній ділянці дороги, в точці кривої, радіус кривизни якої рівний R , діє відцентрова сила:

$$C = \frac{m v^2}{R}, \quad (4.1)$$

де m – маса автомобіля;

v – швидкість руху автомобіля в м/с.

Відцентрова сила, перпендикулярна до напрямку руху, справляє на автомобіль, на водія і на пасажирів перекидаючу і зсувну дію. Вона також ускладнює умови управління автомобілем.

На кривих малих радіусів відцентрова сила викликає деформацію шин в поперечному напрямку. При цьому збільшуються витрати пального і підвищується знос шин. В нічний час проїзд криволінійних ділянок ускладнюється тим, що світло фар освічує дорогу перед автомобілем на меншу відстань, ніж на прямих ділянках.

Усі перераховані негативні фактори проявляються тим сильніше, чим менше радіус кривої в плані. Тому безпека, зручність і економічність руху автомобілів з розрахунковою швидкістю можливі тільки при призначенні досить великих радіусів кривих.

В загальному вигляді вираз для визначення радіуса кругових кривих в плані може бути отримано із наступних міркувань.

При русі по кривій на автомобіль діють дві сили, прикладені в центрі ваги (рис.): відцентрова сила C , яка направлена в зовнішню сторону закруглення; вага автомобіля – G ,

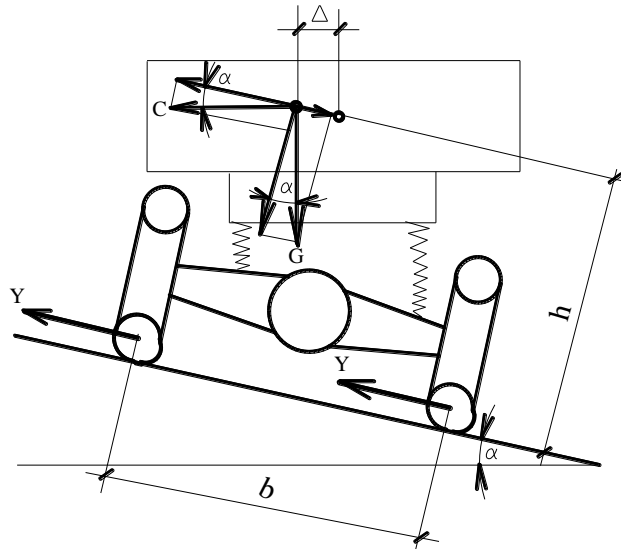


Рисунок 4.1 – Сили, що діють на автомобіль при русі на кривій в плані

Проектуючи обидві сили на напрямок поперечного похилу проїзної частини, отримаємо:

$$Y = \frac{m v^2}{R} \cos \alpha \pm mg \sin \alpha, \quad (4.2)$$

де Y – підсумкова сила, що намагається зсунути автомобіль з дороги, називається **поперечною силою**.

В залежності від напрямку поперечного похилу дороги складова ваги автомобіля, що дорівнює $mg \sin \alpha$, може мати знак плюс або мінус.

Оскільки кут α малий, можна прийняти $\cos \alpha = 1$, а $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha = i$.

Тоді

$$Y = \frac{m v^2}{R} \pm mg i. \quad (4.3)$$

Розділивши праву і ліву частину вираз (4.3) на вагу автомобіля mg ,

отримаємо

$$\frac{Y}{mg} = \frac{v^2}{gR} \pm i,$$

звідки

$$R = \frac{v^2}{g \left(\frac{Y}{mg} \pm i \right)}. \quad (4.4)$$

це рівняння показує, що необхідна величина радіуса закруглення залежить не від абсолютної величини поперечної сили Y , а від її відношення до ваги автомобіля:

$$\mu = \frac{Y}{mg}. \quad (4.5)$$

Це відношення прийнято називати *коефіцієнтом поперечної сили*.

Вводячи позначення (4.4) в (4.4), отримаємо

$$R = \frac{v^2}{g (\mu \pm i)}.$$

Виразивши швидкість в км/г, та підставивши $g = 9,81 \text{ м/с}$, отримаємо

$$R = \frac{V^2}{127(\mu \pm i)}. \quad (4.6)$$

4.2 Коефіцієнт поперечної сили

Як уже відмічалось раніше, діюча на автомобіль при проїзді по кривій малого радіусу поперечна сила справляє на нього ряд дій – намагається зсунути його з дороги або перекинути, затрудняє управління, знижує комфортність поїздки, а також, складаючи додаткові опори руху, збільшує витрати пального. З урахуванням цих дій і визначають гранично допустиме значення коефіцієнта поперечної сили.

Стійкість проти заносу являється важливішою умовою безпечного руху автомобіля по кривій. Зміщенню автомобіля вбік під дією відцентрової сили перешкоджає зчеплення шин з покриттям. Прикладені до ведучих коліс автомобіля поперечна сила Y і тягове зусилля P складають в площі контакту шини з покриттям сумарне зсувне зусилля Q , яке направлене під кутом до траєкторії руху. Для стійкості автомобіля необхідно, щоб виконувалась умова:

$$\sqrt{Y^2 + P^2} = Q \leq G\varphi, \quad (4.7)$$

G – вага автомобіля;

φ – коефіцієнт зчеплення шини з покриттям.

Критичним для стійкості автомобіля являється випадок інтенсивного гальмування з блокуванням коліс на кривій, коли робота сил тертя шини і дороги майже повністю використовується на погашення кінетичної енергії поступального руху автомобіля і тільки мала її доля остається на опір зміщенню автомобіля вбік.

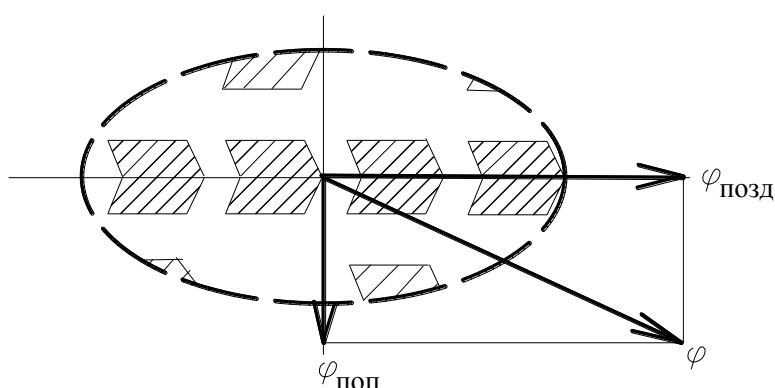


Рисунок 4.2 – Складові коефіцієнта зчеплення

Складові коефіцієнта зчеплення в поздовжньому φ_1 і поперечному φ_2 напрямках пов'язані між собою залежністю: $\varphi_2 = \sqrt{\varphi^2 - \varphi_1^2}$. (4.8)

Для стійкості автомобіля на кривій проти заносу необхідно, щоб виконувалась умова $\varphi_2 G > Y$. звідси витікає вимога, щоб $\varphi_2 > \frac{Y}{G} = \mu$, тобто коефіцієнт поперечної сили μ не повинен перевищувати коефіцієнта поперечного зчеплення φ_2 . Чим більша частина загального коефіцієнта зчеплення φ використовується для подолання поздовжнього похилу або для гальмування автомобіля, тим менша частина поперечної складової остається для опору зсуву автомобіля на кривій. Тому при виконанні тягових розрахунків виходять з умови, що $\varphi_1 = (0,7 - 0,8)\varphi$. В цьому випадку відповідно коефіцієнт поперечного зчеплення φ_2 складе $(0,7 - 0,6)\varphi$.

Стійкість автомобіля проти перекидання забезпечується перевищенням значення утримуючого моменту над перекидаючим (див. рис. 4.1). складаючи рівняння моментів сил, що діють на автомобіль, відносно осі, що проходить через центри площ контактів зовнішніх коліс, отримаємо:

$$Yh \leq mg \left(\frac{b}{2} - \Delta \right) \cos \alpha; \quad \text{але } \cos \alpha \approx 1$$

Звідси
$$\frac{Y}{mg} \leq \frac{1}{2h} (b - 2\Delta) \quad \text{або} \quad \mu \leq \frac{b - 2\Delta}{2h}. \quad (4.9)$$

У виразі (4.9) Δ – зміщення центру ваги під дією відцентрової сили; b – ширина колії; h – висота центра ваги.

Для сучасних автомобілів $\frac{b - 2\Delta}{2h} \approx 0,6$. Отже для стійкості автомобіля

проти перекидання необхідно, щоб коефіцієнт поперечної сили не перевищував 0,6.

В нормальних умовах експлуатації автомобілів і при звичайних швидкостях руху коефіцієнт поперечної сили не досягає такого значення. Тому перекидання звично бувають пов'язані з наїздом колеса автомобіля на перешкоду при заносі.

Зручність поїздок для пасажирів при русі автомобіля по кривій також визначається значенням коефіцієнта поперечної сили. При заїзді на криву водій і пасажери відчують діючу на них відцентрову силу, яка нахилиє їх вбік. Тому важливо, щоб величина відцентрової сили не перевищувала значення, при яких проїзд по кривій становиться неприємним.

За даними чисельних досліджень встановлено, що при коефіцієнті поперечної сили $\mu = 0,1$ пасажир, який не дивиться на дорогу, не може відрізнити, рухається автомобіль по кривій чи на прямолінійній ділянці дороги. При $\mu = 0,15$ рух по кривій відчувається слабо, а при $\mu = 0,2$, явно відчуваючи рух, пасажир уже відчуває легку незручність. При $\mu = 0,3$ в'їзд з прямої ділянки на криву відчувається як поштовх, що нахилиє пасажера вбік. Тому вважають, що для забезпечення зручності проїзду по дорозі для

пасажирів величина коефіцієнтів поперечної сили μ на кривих не повинна перевищувати 0,15, а в складних умовах 0,2.

Економічність автомобільних перевезень на криволінійних ділянках доріг також залежить від коефіцієнта поперечної сили. Багаточисельними дослідженнями доведено, що при русі автомобіля по кривій ускладнюються умови управління автомобілем, збільшуються витрати палива, збільшується знос шин в наслідок їх бокової деформації, а значить і суттєво підвищується собівартість автомобільних перевезень. Щоб суттєво не підвищувати собівартість автомобільних перевезень необхідно забезпечити значення коефіцієнта поперечної сили не більше 0,1.

4.3 Призначення величини радіусів в плані

Для забезпечення безпеки, зручності і економічності руху з розрахунковими швидкостями слід призначати величини радіусів кривих в плані на автомобільних дорогах виходячи з найменшого значення коефіцієнта поперечної сили μ . Радіус кривої в плані визначається за відомою формулою

$$R = \frac{V^2}{127(\mu \pm i)}$$

В ряді випадків (складний рельєф, цінні землі, різні будівлі та інше) приходиться допускати менші значення радіусів, які б обов'язково забезпечували стійкість автомобіля проти заносу при русі з розрахунковою швидкістю при сприятливому стані дороги, але викликаючи пониження зручності і економічності користування дорогою на ділянці кривої. В усіх випадках гранична допустима величина діючої на автомобіль при проїзді по кривій поперечної сили не повинна перевищувати сили зчеплення його коліс

з покриттям. В протилежному випадку відбудеться занос і автомобіль буде викинений з покриття.

В таблиці 4.1 наведені допустимі максимальні значення коефіцієнта поперечної сили для різних вимог стійкості і використання автомобіля.

Таблиця 4.1

Вимоги	Гранично допустимі значення μ на покритті		
	Сухому $\varphi = 0,6$	Мокрому $\varphi = 0,4$	Покритому льодом $\varphi = 0,2$
Стійкість проти перекидання	0,60	0,60	0,60
Стійкість проти заносу	0,36	0,24	0,12
Забезпечення зручності поїздки для пасажирів	0,15	0,15	0,15
Економічність експлуатації автомобіля	0,10	0,10	0,10

При відносно сприятливих умовах місцевості для розрахунків найменшої величини радіуса доцільно орієнтуватися на значення $\mu = 0,05$ – $0,1$, приймаючи його тим меншим, ніж вище розрахункові швидкості руху. В державних нормах при визначенні мінімальних радіусів було прийнято $\mu = 0,12$ для розрахункової швидкості 150 км/г і $\mu = 0,18$ для швидкості 60 км/г .

Сучасні норми на проектування автомобільних доріг встановлюють наступні значення допустимих в трудних умовах радіусів кривих в плані в залежності від швидкості руху по дорозі (таблиця 4.2)

Таблиця 4.2

$V, \text{км/г}$	150	140	120	110	100	90	80	60	50	30
$R, \text{м}$	1200	1100	800	700	600	450	300	150	100	30

Якщо дорогу будують у відкритій рівнинній місцевості, збільшення радіуса скорочує її довжину і зменшує будівельні і транспортні витрати. Тому в сприятливих для прокладання дороги умовах рекомендується призначати як можна більші радіуси кривих, не менше 3000 м , умови руху по яких практично не відрізняються від умов на прямих ділянках.

На кривих малих радіусів часто буває незабезпечена безпека руху з розрахунковою швидкістю в нічний час, оскільки ділянка дороги, що освітлюється фарами, буває менше розрахункової відстані видимості. Важливість задоволення вимог безпеки в нічний час підкреслюється тими обставинами, що при інтенсивності руху вночі приблизно в 10 разів меншій, ніж вдень, половина дорожньо-транспортних пригод відбувається в темний період доби.

За умови видимості в нічний час радіуси кривих в плані слід розраховувати за формулою

$$R = \frac{30S}{\alpha}, \quad (4.10)$$

де α – кут розвору пучка фар, приблизно рівний 2° .

4.4 Перехідні криві

В момент заїзду автомобіля з прямолінійної ділянки на криву в плані умови руху міняються. Оскільки крива малого радіусу забезпечує меншу безпечну швидкість руху, ніж попередня прямолінійна ділянка, водії знижують швидкість. Спостереження показали, що швидкість знижується на усіх кривих з радіусом менше 600м. На автомобіль починає діяти відцентрова сила. Теоретично вона прикладається моментально. Практично ж – в межах короткої ділянки, на якій водій повертає стернове колесо.

Щоб зміна умов руху не походила досить швидко, що неприємно для пасажирів, а в несприятливих погодних умовах може призвести до заносу автомобілів, між прямою ділянкою і кривою малого радіусу вводять так звану *перехідну криву*, в межах якої кривизна осі дороги плавно змінюється від 0 на прямій ділянці до $1/R$ в початковій точці кругової кривої.

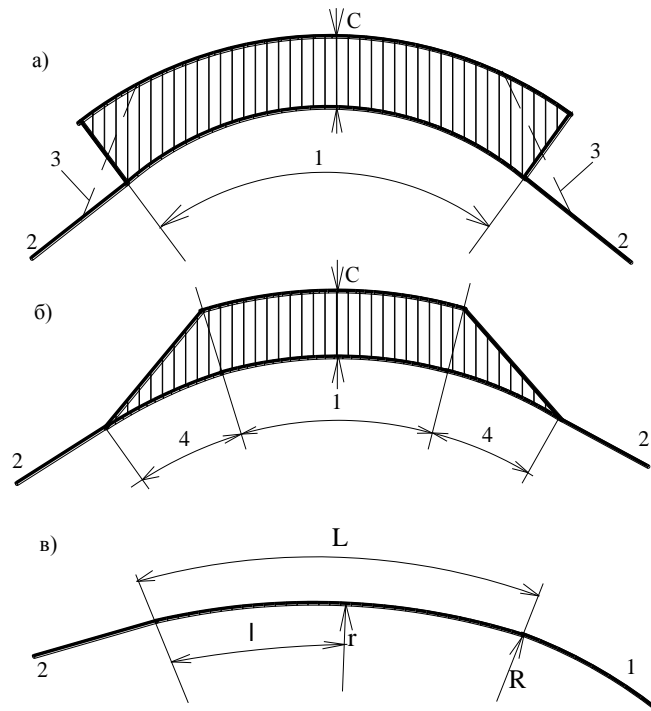


Рисунок 4.3 – Схема до виводу рівняння перехідної кривої

. Для виведення рівняння перехідної кривої використовуються два підходи:

1. Вважають, що зміна швидкості відбувається в межах перехідної кривої. Перехідну криву, отриману при такому підході, прийнято називати гальмівною кривою.

2. Вважають, що рух по перехідній кривій відбувається без зміни швидкості, тобто $V_{кр} = V_{пр}$. Рівняння перехідної кривої в цьому випадку набуває вигляду

$$r = \frac{C}{l}, \quad \text{де } C = R L \quad (4.11)$$

Вираз (4.11) представляє собою рівняння клотоїди (радіоїдальної спіралі, радіоїди, спіралі Корню) - основної перехідної кривої, що використовується на сучасних автомобільних дорогах.

Радіус кривизни клотоїди зростає обернено пропорційно її довжині. Якщо до перехідної кривої не пред'являються спеціальні вимоги забезпечення зорової плавності траси, то її довжину призначають виходячи із умов, щоб відцентрова сила наростала в часі проїзду кривої досить повільно не

викликаючи неприємних почуттів у пасажирів. Для цього швидкість наростання відцентрового прискорення j повинна бути нижче значень, що викликають неприємні відчуття пасажирів.

При розробці технічних умов різних країн величину j приймають у межах від 0,3 до 1 м/с³. Норми на проектування доріг в Україні виходять із величини $j = 0,8$ м/с³, що близько відповідає фактичним режимам руху на дорогах.

Час проїзду перехідної кривої, на протязі якого величина відцентрового прискорення рівномірно зростає від нуля до v^2/R , складає $t = \frac{v^2}{Rj}$ (де v – швидкість автомобіля, м/с).

Звідси необхідна довжина перехідної кривої (в м.):

$$L = vt = \frac{v^3}{Rj} \quad (4.12)$$

Або, виражаючи швидкість V в км/год, отримаємо L (в м.):

$$L = \frac{V^3}{47Rj} \quad (4.13)$$

За діючими в Україні нормами (ДБН В.2.3 – 4:2007) перехідні криві влаштовують на дорогах усіх категорій на кривих з радіусами 2000 і менше.

Найменші довжини перехідних кривих наведені в таблиці 4.3 (таблиця 5.9 ДБН)

Таблиця 4.3

у метрах

Радіус колової кривої	30	50	60	80	100	150	200	250	300	400	500	600-1000	1000-2000
Довжина перехідної кривої	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120	100

Наведені довжини перехідних кривих слід розглядати як мінімально допустимі. Нормативну довжину перехідних кривих доцільно збільшувати в 1,5 – 2 рази, оскільки це надає трасі дороги зорову плавність, що сприяє проїзду кривої без зниження швидкості.

При проектуванні автомобільних доріг, призначених для руху з високими швидкостями, перехідні криві перетворюються із допоміжного елемента кривих малих радіусів в самостійний елемент траси дороги в плані і профілі, рівноправний з прямими і кривими.

Крім клотоїди, при проектуванні автомобільних доріг для розбивки перехідних кривих іноді використовують рівняння інших кривих, які в загальному відповідають вимогам закономірної зміни кривизни. Найбільше розповсюдження після клотоїди мають:

Кубічна парабола – крива, у якої радіус кривизни обернено пропорційний абсцисі ($\rho = \frac{C}{X}$);

Лемніската Бернуллі – крива, у якої радіус обернено пропорційний довжині хорди a , що стягує початок координат з точкою на кривій, що розглядається ($\rho = \frac{C}{a}$).

Різниця в ординатах перехідних кривих, розрахованих за різними формулами, часто знаходиться в межах точності розбивки і менше, ніж можливе відхилення автомобіля при русі від середньої траєкторії руху. Найбільше поширення в практиці проектування доріг в якості перехідної кривої отримала клотоїда, рівняння якої в прямокутній системі координат має вигляд:

$$X = \ell - \frac{\ell^5}{40C^2} + \frac{\ell^9}{3456C^4} - ; \quad (4.14)$$

$$Y = \frac{\ell^3}{6C} - \frac{\ell^7}{336C^3} + \frac{\ell^{11}}{42240C^5} - , \quad (4.15)$$

де ℓ - відстань від початку перехідної кривої до точки з координатами X і Y .

Кут (в радіанах), що утворюється дотичними до початку і кінця перехідної кривої, характеризується довжиною кривої L і радіусом в кінці кривої R

$$\beta = \frac{L^2}{2C} = \frac{L}{2R}. \quad (4.16)$$

$$1 \text{ рад} = 57,296^\circ$$

Введення перехідних кривих викликає зміщення основної кругової кривої в середину кута. Ця обставина повинна враховуватись при призначенні кутів повороту і радіусів кривих, так як величина бісектриси збільшується на величину зміщення кривої в середину кута (Рис. 4.4).

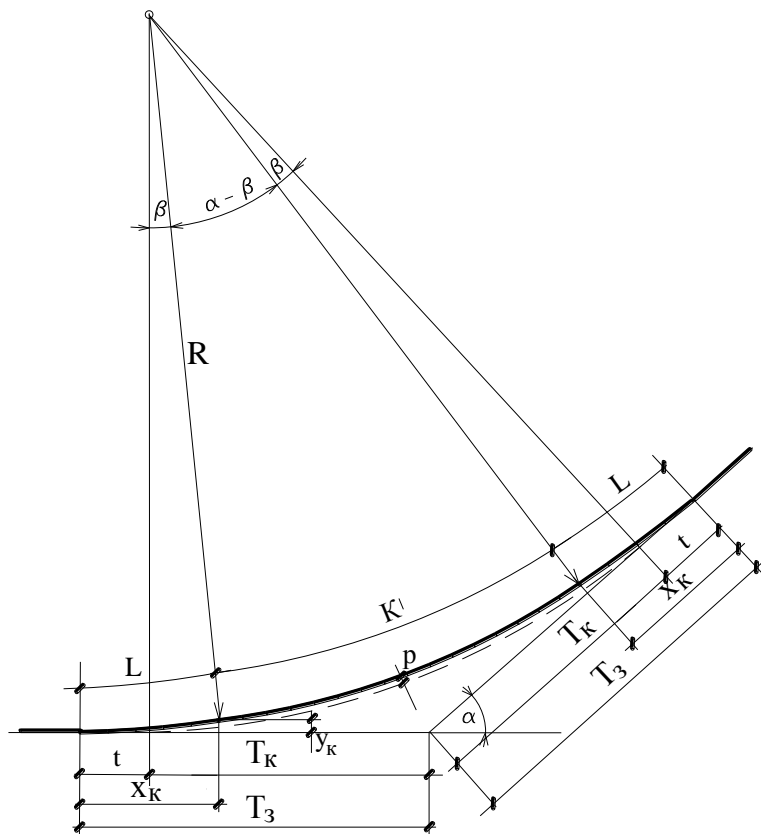


Рисунок 4.4 – Схема заокруглення з перехідними кривими

$$p = Y_k - R(1 - \cos\beta), \quad (4.17)$$

де Y_k – ордината кінця перехідної кривої.

Перехідна крива вписується частково за рахунок прямолінійної ділянки, довжина якої визначається додатковим тангенсом перехідної кривої

$$t = X_k - R \sin \beta, \quad (4.18)$$

і частково за рахунок колової кривої. Довжина колової кривої при цьому зменшується на довжину перехідної кривої і розраховується за формулою

$$K^I = \frac{\pi R (\alpha - 2\beta)}{180^\circ}. \quad (4.19)$$

Розбивка перехідної кривої можлива, якщо виконується умова $2\beta < \alpha$. Якщо ця умова не виконується, повинна бути зменшена довжина перехідної кривої або збільшений радіус R . Елементи закруглення з перехідною кривою розраховуються за наступними формулами:

$$T_3 = T_k + t; \quad (4.20)$$

$$K_3 = 2L + K^I; \quad (4.21)$$

$$B_3 = B_k + p; \quad (4.22)$$

$$D_3 = 2T_3 - K_3. \quad (4.23)$$

$$\text{де } T_k = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad B_k = R \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) - \text{елементи закруглення без}$$

перехідної кривої.

4.5 Розширення проїзної частини на кривих

При повороті автомобіля кожне його колесо рухається по самостійній траєкторії, в наслідок чого ширина смуги проїзної частини, що займає автомобіль, збільшується. Щоб зустрічні автомобілі не мішали один одному при русі по кривих малих радіусів, проїзну частину на кривих малих радіусів необхідно розширювати.

Виходячи із допущення, що траєкторія руху автомобіля в межах кривої являється коловою, можна отримати приблизний вираз для необхідного розширення однієї смуги руху на кривій. Із подібності трикутників ABC і BCD знаходимо:

$$\frac{AC}{BC} = \frac{BC}{CD} \quad \text{або} \quad AC(2R - AC) = \ell^2.$$

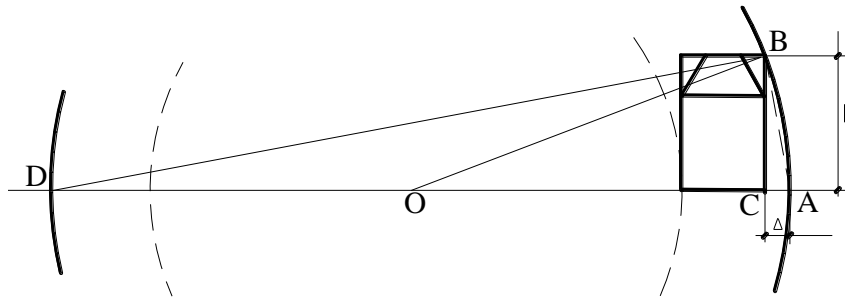


Рисунок 4.5 – Схема до визначення величини розширення

Нехтуючи в дужках величиною AC малою в порівнянні з $2R$ отримаємо, що необхідна величина розширення однієї смуги руху становитиме

$$\Delta = AC = \frac{\ell^2}{2R}. \quad (4.24)$$

Отримана формула розширення (4.24) базується на чисто геометричних міркуваннях і не враховує неминучих відхилень автомобіля при русі від середньої траєкторії. Тому її використовують тільки для малих швидкостей руху. При високих швидкостях руху розширення рекомендується приймати більшим, враховуючи вплив швидкості руху V (км/г) за імперичною формулою

$$\Delta = \frac{\ell^2}{2R} + \frac{0.05V}{\sqrt{R}}. \quad (4.25)$$

Згідно ДБН В.2.3-4:2007 (п.5.1.13) при радіусах кривих 1000 м і менше необхідно передбачити розширення проїзної частини з внутрішнього боку кривої за рахунок узбіччя або в бік розділювальної смуги, при цьому ширина узбіччя повинна бути для доріг I і II категорій не менше 1,5 м і не менше 1 м для доріг інших категорій, а ширина розділювальної смуги не менше нормативної для відповідної категорії.

Величина повного розширення однієї смуги проїзної частини доріг на горизонтальних кривих наведена в таблиці

Радіус кривої в плані	1000	850	650	575	425	325	225	140	95-30
Величина розширення	0,30	0,35	0,40	0,50	0,65	0,80	1,10	1,50	1,75
Примітка. У випадку коли радіус кривої в плані відрізняється від величин, наведених у таблиці, величину розширення однієї смуги проїзної частини необхідно визначити інтерполяцією.									

В межах кругової кривої розширення має постійну величину, а потім поступово зменшується на протязі перехідних кривих.

4.6 Віражі

При проїзді по кривих автомобілі, що рухаються по зовнішній стороні проїзної частини, похил якої направлений від центра кривої, володіють меншою стійкістю, ніж автомобілі, що слідуєть в зустрічному напрямку, так як складова ваги, паралельна похилу проїзної частини, додається до відповідної проекції відцентрової сили. Крім того, ускладнюється управління автомобілем в зв'язку з більшою, ніж для смуги зустрічного руху, величиною бокового уводу шин. Улаштування ж кривих великих радіусів не завжди можливо за місцевими умовами. Тому для підвищення стійкості автомобіля і більшої впевненості управління на кривих влаштовують односкилий поперечний профіль – віраж – з похилом проїзної частини і узбіччя до центру кривої.

При відсутності віражів швидкість на кривих знижується. Тому у відповідності з діючими нормами проектування автомобільних доріг віражі влаштовують на усіх кривих з радіусами меншими 3000 м на дорогах I категорії і 2000 м – на інших.

Поперечний похил віража, необхідний для забезпечення швидкості руху v (м/с), при заданій величині радіусу кривої може бути призначений за таблицею 5.3 [ДБН] в межах від 25 до 60‰.

Перехід від двосхилого профілю дороги до односхилого на віражах здійснюється в межах перехідної кривої, а при її відсутності – на прилеглих ділянках прямої, довжина якої дорівнює довжині перехідної кривої. Перехід від двосхилого профілю дороги до односхилого на віражах називають відгоном віражу. Мінімальну довжину відгону, згідно рисунку 4. визначають за формулою

$$L_{\text{від}} = \frac{B i_{\text{впр}}}{i_{\text{дод}}}, \quad (4.26)$$

де B – ширина проїзної частини;

$i_{\text{впр}}$ – похил віражу;

$i_{\text{дод}}$ – додатковий поздовжній похил на відгоні віражу.

Додатковий поздовжній похил зовнішньої крайки проїзної частини по відношенню до проектного поздовжнього похилу на ділянці відгону віражу не повинен перевищувати для доріг:

- I-а; I-б та II категорій) - 5‰;
- III, IV категорій в рівнинній місцевості - 10‰;
- III, IV, V категорій в гірській та горбистій місцевостях - 20‰.

Поперечний похил зовнішнього узбіччя на віражі слід призначати таким же, як і проїзної частини дороги. Похил внутрішнього узбіччя не змінюється, якщо він не менший ніж похил віражу або збільшується до похилу віражу.

Перехід від прийнятого похилу узбіччя при двосхилому профілі до похилу проїзної частини виконують на ділянках завдовжки 10 м до початку відгону віражу.

При поперечному похилі віражу, рівному похилу проїзної частини на прямій ділянці, для переходу до односхилого профілю поступово повертають зовнішню половину проїзної частини навколо осі дороги.

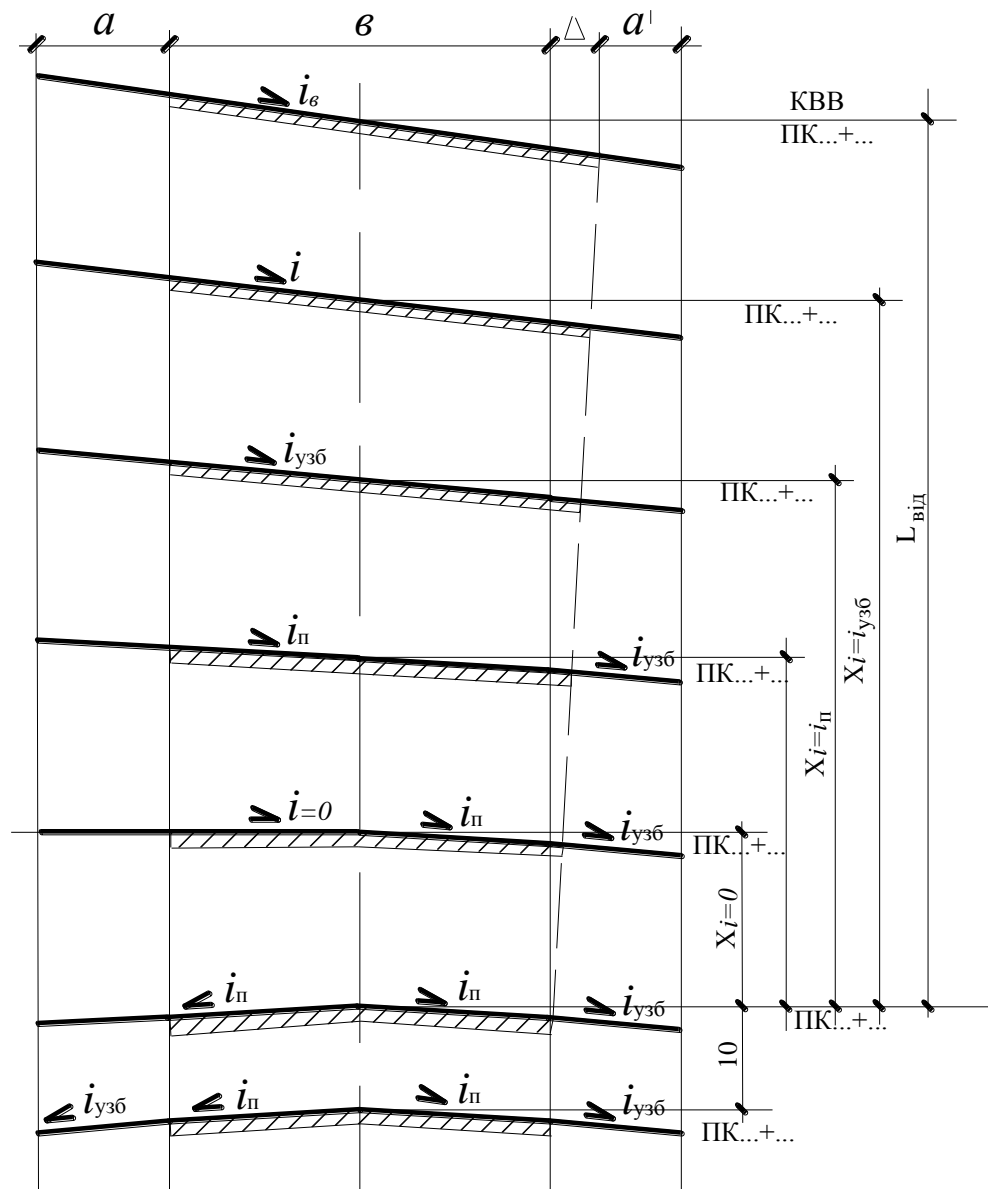


Рисунок 4.6 – Схема відгону віража

При похилі віражу більшому похилу проїзної частини, для переходу до односхилого профілю спочатку повертають зовнішню половину проїзної частини навколо осі дороги до досягнення зовнішньою смугою похилу внутрішньої смуги. Потім всю проїзну частину разом з зовнішнім узбіччям повертають навколо внутрішньої крайки до досягнення похилу внутрішнього узбіччя. Потім, при похилі віражу більшому похилу узбіччя, проїзну частину разом з узбіччями повертають навколо внутрішньої брівки до досягнення

необхідного похилу віражу. При цьому вісь проїзної частини зміщується в середину на половину величини розширення покриття Δ .

Відстань від початку відгону віражу до поперечника з похилом i_x на зовнішній частині закруглення визначають за формулою

$$X_{ix} = \frac{(i_x + i_{\pi})L}{i_b + i_{\pi}}, \quad (4.27)$$

де i_{π} - похил проїзної частини;

i_b – похил віражу;

L – довжина відгону віражу (довжина перехідної кривої).

Похил зовнішньої половини проїзної частини і узбіччя в поперечнику, розташованому на відстані X від початку відгону віражу відповідно визначається за формулою

$$i_x = \frac{X(i_b + i_{\pi})}{L} - i_{\pi}. \quad (4.28)$$

У наведених формулах прийнято похили направлені в середину закруглення вважати додатковими, а в звороту сторону - від'ємними.

4.7 Вимоги до видимості на дорогах

На прямій горизонтальній ділянці водій бачить перед собою дорогу на великій відстані. На кривих в плані і біля переломів поздовжнього профілю видима ділянка дороги значно скорочується. В таких місцях при проектуванні повинна бути штучно забезпечена розрахункова видимість – відстань перед автомобілем, на якій водій повинен бачити перед собою дорогу, щоб помітивши перешкоду, усвідомити її небезпеку і устигнути її об'їхати або загальмувати і зупинитись.

В теорії проектування доріг запропоновано кілька схем видимості, які розглядають умові руху автомобілів, а також розташування автомобілів і перешкод на дорозі. Усі ці схеми можуть бути розділені на дві принципово різні групи:

схеми, що передбачають зупинку автомобіля перед перешкодою або зустрічним автомобілем;

схеми, що виходять із умови об'їзду автомобілем перешкоди або обгону попутного автомобіля з заїздом на суміжну смугу руху.

У першому випадку використовують формулу для визначення відстані (в метрах), на якій водій може зупинити автомобіль:

$$S = \frac{V}{3.6} + \frac{K_e V^2}{254(\varphi \pm i + f)} + l_3. \quad (4.29)$$

Існує багато схем для розрахунків видимості із умови обгону, які містять ряд припущень про режими і траєкторії руху автомобілів. Ми зупинимось на схемі запропонованій проф.М.С.Замахаєвим (рисунок), згідно якої автомобіль, що обганяє, повинен повернутись на свою смугу до зустрічі з з автомобілем, що рухається по зустрічній смузі. Розрахункова відстань видимості у цьому випадку визначається за формулою

$$S = L_1 + L_2 + L_3 = \left(l_0 + l_1 + 2l_4 + \frac{K_e v_1^2}{2g\varphi} \right) \frac{v_1 + v_3}{v_1 - v_2}, \quad (4.30)$$

де l_4 – довжина автомобіля;

l_1 – шлях, що пройде автомобіль за час реакції водія;

l_0 – деякий запас (5 – 10 м).

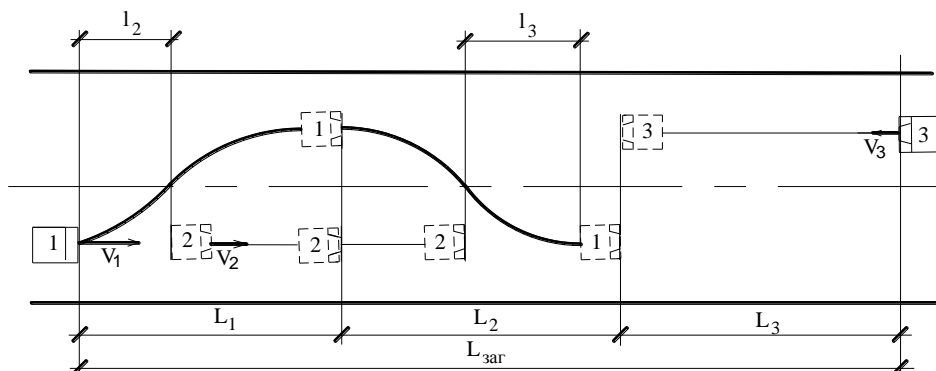


Рисунок 4.7 – Схема до визначення відстані видимості за умови можливості обгону

Найменша відстань видимості нормується в залежності від розрахункової швидкості руху (таблиця 5.6 ДБН).

Найменша відстань видимості, м	Розрахункова швидкість, км/год									
	150	140	120	110	100	90	80	60	50	30
для зупинки автомобіля	300	300	250	225	200	175	150	85	75	45
Зустрічного автомобіля			450	400	350	300	250	170	130	90

Для доріг в густо забудованій місцевості, особливо в міських умовах, а також на перетинах з автомобільними дорогами і залізницями в одному рівні забезпечення безпеки руху вимагає достатньої бокової видимості придорожньої смуги. Водій автомобіля повинен мати можливість завчасно побачити на вулиці дитину, яка вибігає з двору чи з тротуару, а на перетинах в одному рівні – наближаючийся автомобіль чи поїзд.

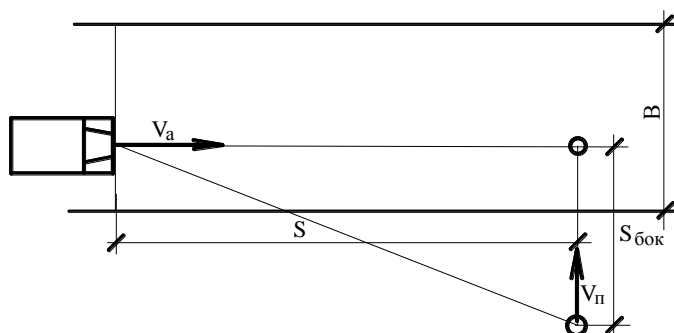


Рисунок 4.8 – Схема до визначення бокової видимості

Мінімальна необхідна відстань бокової видимості визначається за умови однакового часу під'їзду автомобіля і добігання дитини (перешкоди):

$$t_{\text{доб}} = \frac{S_{\text{бок}}}{v_{\text{доб}}} \quad ; \quad t = \frac{S}{v} \quad , \quad \text{звідки } S_{\text{бок}} = \frac{v_{\text{доб}}}{v} S \quad , \quad (4.31)$$

де v – розрахункова швидкість автомобіля;

$v_{\text{доб}}$ – швидкість добігання дитини;

S – розрахункова відстань видимості за умови зупинки перед перешкодою.

4.8 Забезпечення видимості на кривих в плані

Видимість на кривих в плані перевіряють для автомобілів, що слідує по крайній внутрішній смузі руху. При цьому приймають, що око водія розташовано в 1,5 м від внутрішньої крайки покриття і на висоті 1,2 м. це відповідає положенню водія легкового автомобіля. Оскільки під видимістю розуміють довжину шляху, який автомобіль проходить по дорозі, відстань видимості при перевірці міряють по траєкторії руху автомобіля.

В рівнинній місцевості при прокладанні дороги в насипу видимість на кривих в плані, як правило, забезпечується. При прокладанні дороги в виїмці чи в лісистій місцевості видимість може бути обмежена внутрішнім укосом виїмки або деревами, розташованими на внутрішній частині закруглення. В таких випадках приходиться влаштовувати вирубку лісу чи зрізку внутрішнього укосу виїмки.

На практиці для побудови границь зрізки перешкод в зоні видимості частіше усього використовують графічний метод. На плані закруглення, намальованому в крупному масштабі (рисунок), на траєкторії руху автомобіля намічають ряд точок, від яких відкладають відстані видимості. Потім кінці цих відрізків поєднують прямими лініями, огинаючи яких визначає границю видимості. Намічаючи рівень зрізки в виїмках, необхідно враховувати заростання їх в подальшому травою і випадання снігу. Тому низ зрізки потрібно розташовувати не менше ніж на 0,3 – 0,5 м нижче рівня ока водія. Найбільш доцільно доводити зрізку в виїмках до рівня поверхні дороги.

Існують і аналітичні методи визначення величини зрізки. При цьому розглядаються два випадки: коли довжина кривої K менше, ніж необхідна відстань видимості S і коли $K > S$. У першому випадку величина зрізки визначається за формулою

$$\delta = R_1 \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) + \frac{1}{2} \left(S - \frac{\pi R \alpha}{180} \right) \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (4.32)$$

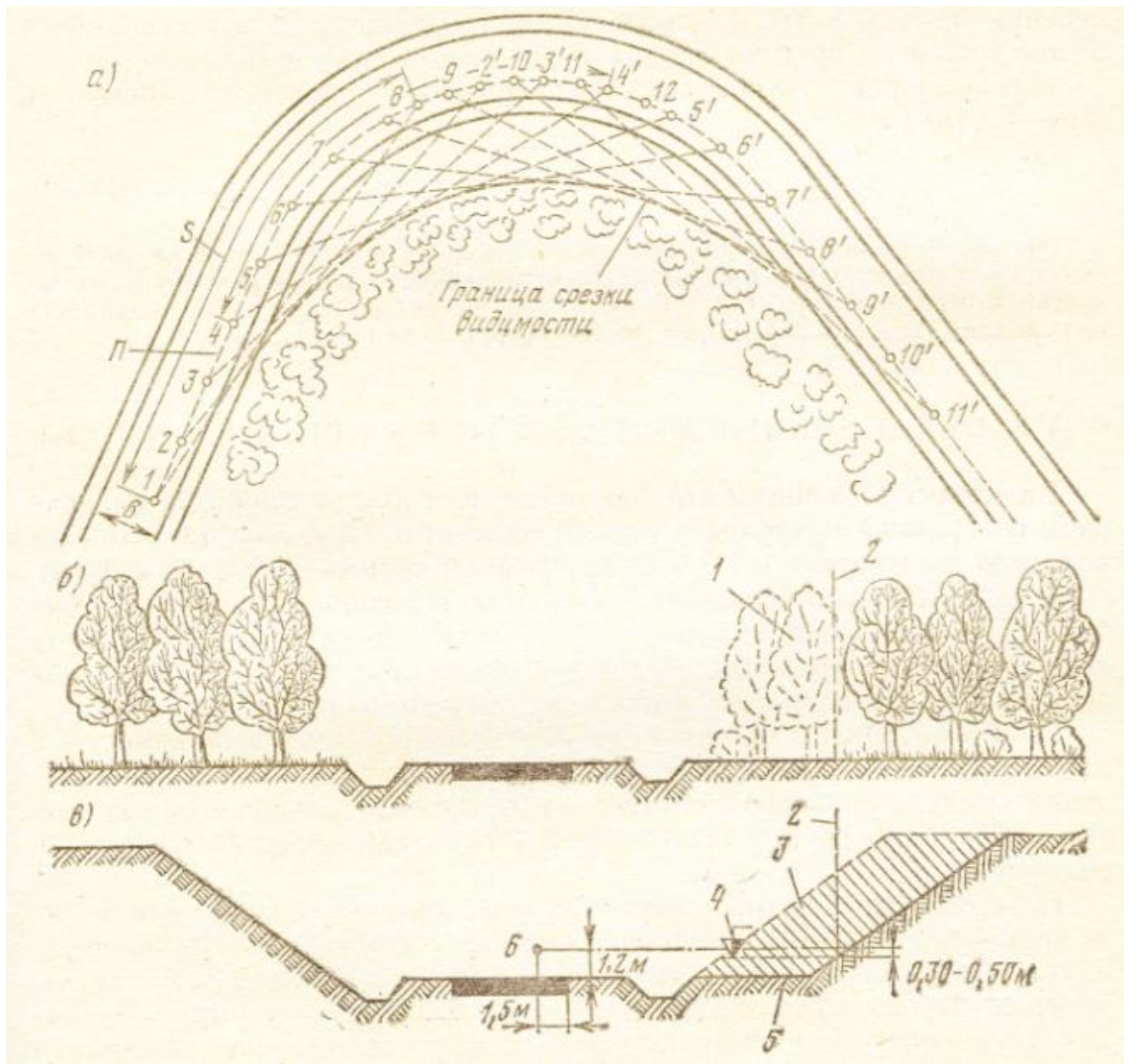


Рисунок 4.9 – Схема до визначення границь зрізки

У другому випадку

$$\delta = R_1 \left(1 - \cos \frac{\alpha_1}{2} \right), \quad (4.33)$$

де
$$\alpha_1 = \frac{S \cdot 180}{\pi R_1}. \quad (4.34)$$

в обох випадках в межах кривої величину зрізки можна прийняти постійною і провести границю зрізки по концентричному колу. Зрізка повинна починатись на прямій чи на перехідній кривій на відстані видимості S від початку і кінця кривої.

ЛЕКЦІЯ № 5

Тема: Вимоги до елементів дороги в поздовжньому і поперечному профілі

Література: В.Ф.Бабков, О.В.Аедреев. проектирование автомобильных дорог, ч.І. стр.87 – 98/

5.1 Нормування величини поздовжніх похилів на дорогах

Як відомо, поздовжній похил може визначатись за формулою

$$i = D - f. \quad (5.1)$$

Користуючись цією формулою можна розрахувати величину граничного підйому стосовно до конкретного типу автомобіля і зайданим умовам навантаження.

Проте реальний потік руху по дорогах складається із автомобілів різних типів, завантажених в різній степені і маючих різний технічний стан. Склад транспортних потоків може мінятись в процесі служби дороги. Тому можливість нормування вимог до поздовжніх похилів на дорогах виходячи з конкретних динамічних характеристик якого-небудь одного типу автомобіля, що прийнятий за розрахунковий, може виникнути тільки в обмежених випадках, наприклад в промисловому транспорті при відкритій розробці корисних копалин в кар'єрах, коли зарані відомий типаж автомобілів.

При розробці технічних умов на проектування автомобільних доріг загального користування необхідно враховувати ряд техніко-економічних міркувань. Тому при нормуванні граничних величин поздовжніх похилів виходять із принципу найменших сумарних витрат для народного господарства, оцінюючи сукупно вплив похилів на вартість будівництва доріг і на експлуатаційні показники автомобільного транспорту – швидкість руху, витрати палива і використання вантажопідйомності автомобілів.

При нормуванні величини поздовжнього похилу виходять не із розрахункових швидкостей, які навіть на підйомах середньої крутизни можуть розвивати тільки деякі типи автомобілів, а із міркувань мінімуму сумарних затрат на будівництво дороги і на експлуатацію автомобільного транспорту на побудованій дорозі. При цьому не слід забувати, що допущене для пониження вартості будівництва погіршення умов руху буде відобразитися на експлуатації автомобільного транспорту на протязі довгого терміну і через деякий час може бути потрібною реконструкція дороги. Таким чином, нормування величини поздовжнього похилу – задача техніко-економічна.

В принципі підхід до нормування величин поздовжнього похилу зводиться до наступного.

При подоланні якої-небудь ділянки підйому з різними поздовжніми похилами на вартість будівництва в основному впливають об'єми земляних робіт. Вартість будівництва, віднесена до одного автомобіля, що пройшов за час, на протязі якого повинні виправдатись затрати на будівництво (директивний термін окупності), буде виражатись в залежності від величини поздовжнього похилу гіперболічними кривими (рисунок 5.1). Будівельні витрати, віднесені до одного автомобіля, будуть тим менші, чим вище інтенсивність руху.

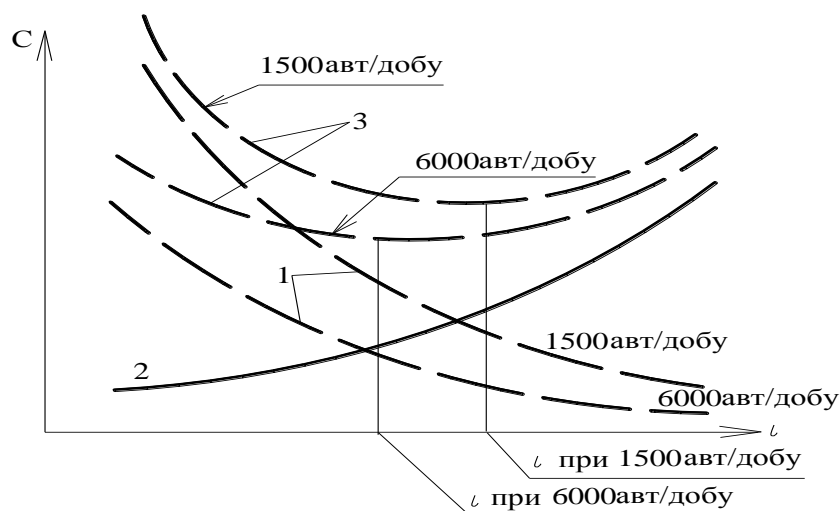


Рисунок 5.1 – Схема до визначення оптимальної величини поздовжнього похилу

Експлуатаційні затрати автомобільного транспорту на проїзд одного автомобіля, навпаки, зростають з збільшенням поздовжніх похилів (суцільна лінія на графіку), не змінюючись в залежності від прийнятого терміну окупності будівельних витрат.

Оптимальне значення поздовжнього похилу відповідає мінімуму сумарних затрат. Воно тим менше, чим вище розрахункова інтенсивність руху.

В ДБН В.2.3-4:2007 установлені наступні максимальні поздовжні похили при різних розрахункових швидкостях (таблиця):

Розрахункова швидкість, км/г	150	140	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30
Поздовжній похил,‰	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	90	100

Одночасно рекомендується, якщо це не пов'язано з значним подорожанням вартості будівництва, проектувати дороги усіх категорій з похилами, не перевищуючими 30‰.

В особливо трудних умовах місцевості допускається збільшувати величину поздовжнього похилу доріг не більше ніж на 15-20‰ проти наведених вище норм при умові техніко-економічного обґрунтування народногосподарської ефективності цього рішення. Проте довжина таких ділянок повинна бути обмежена, так як збільшення похилу негативно впливає на транспортно-експлуатаційні характеристики доріг. Чим більше довжина підйому, тим сильніше проявляється вплив поздовжнього похилу на умови руху автомобіля.

5.2 Вертикальні криві

Вертикальні криві на автомобільних дорогах описують по колу, рівняння якого записується у вигляді

$$X^2 + Y^2 = R^2. \quad (5.2)$$

При великих значеннях радіусу R і невеликих ділянках кривих, що використовуються, колова крива мало відрізняється від квадратної параболи з рівнянням

$$y = \pm \frac{x^2}{2R}, \quad (5.3)$$

де R – радіус кривизни на початку координат, розташованому в вершині кривої. Знак «плюс» відповідає опуклим, знак «мінус» - угнутим.

В зв'язку з малою величиною поздовжніх похилів на автомобільних дорогах абсцису x можна прийняти без скільки-небудь відчутних похибок рівною довжині ділянки кривої l . Похил в деякій точці вертикальної кривої A на відстані l_A від її вершини:

$$i_A = \frac{dy}{dx} = \frac{x}{R} \approx \frac{l_A}{R}. \quad (5.4)$$

Ця приблизна залежність дозволяє отримати ряд формул, які пов'язують похили дотичних до кривої з іншими її елементами (рисунок 5.2)

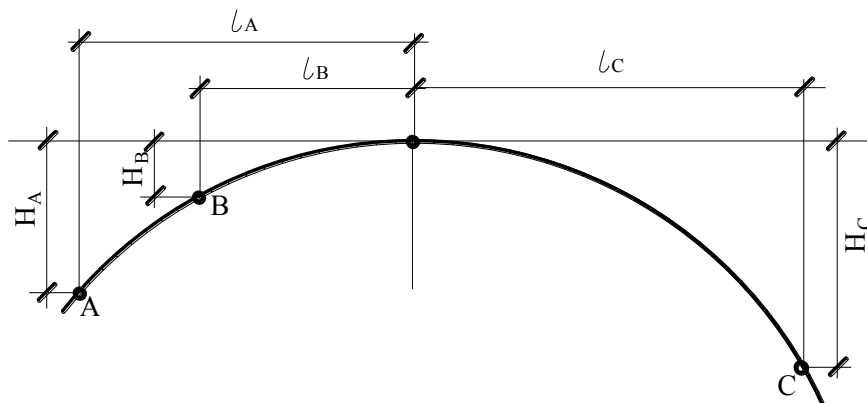


Рисунок 5.2 – Схема вертикальної кривої

Відстань від вершини кривої до точки A з похилом i_A

$$l_A = R i_A; \quad (5.5)$$

відстань між точками A і B , які мають похили i_A та i_B

$$l = l_A - l_B = R (i_A - i_B); \quad (5.6)$$

різниця відміток точки C з похилом i_C і вершини кривої

$$h_C = \frac{\ell_C^2}{2R} = \frac{(R i_C)^2}{2R} = \frac{i_C^2 R}{2}; \quad (5.7)$$

Різниця відміток точок, похили яких складають i_A та i_C

$$h_C = \frac{\ell_C^2}{2R}; \quad h_A = \frac{\ell_A^2}{2R}; \quad \Delta h = h_C - h_A = \frac{R}{2}(i_C^2 - i_A^2). \quad (5.8)$$

Величину радіусу опуклих колових вставок визначають за умови забезпечення розрахункової видимості поверхні дороги водієм автомобіля.

Порівняльні розрахунки показали, що задоволення цієї вимоги забезпечує і вимоги безпеки і зручності руху, так як в цьому випадку негативний вплив на управляємість і стійкість автомобіля відцентрової сили, що виникає при проїзді кривої і зменшуючої зчипну вагу автомобіля, дуже незначний.

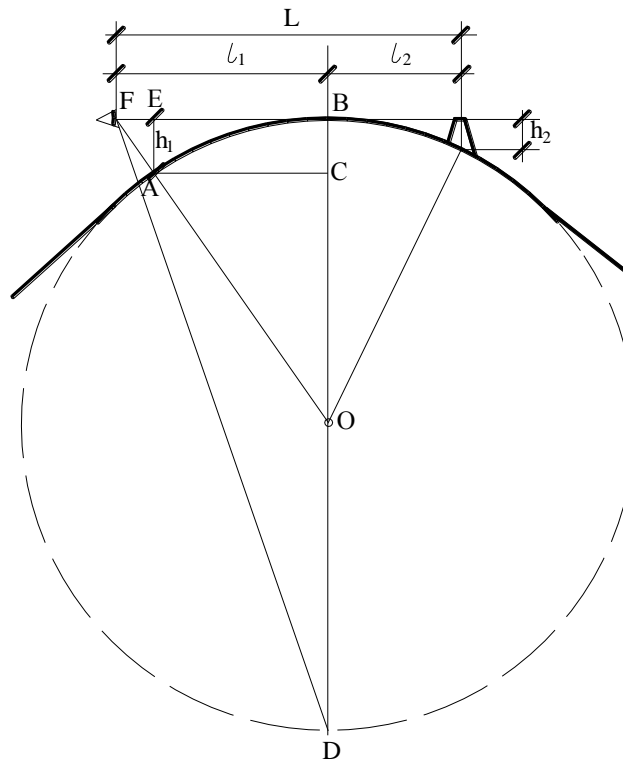


Рисунок 5.3 – Схема до визначення радіуса вертикальної опуклої кривої

Розрахунок виходить із простих геометричних співвідношень (Рис.5.3). Нехай h_1 - підвищення очей водія над поверхнею дороги, h_2 – підвищення перешкоди, видимість якої повинна бути забезпечена. Згідно

креслення, розрахункова величина видимості на опуклій кривій складається із двох відрізків: l_1 і l_2 . Поширюючи на розглядуваний випадок закономірності, справедливі для колових кривих, отримаємо із подібності трикутників ABC і ACD:

$$\frac{BC}{AC} = \frac{AC}{CD} \quad \text{або} \quad BC \cdot CD = AC^2. \quad (5.9)$$

Оскільки радіуси вертикальних кривих значно перевищують величини h_1 і h_2 , можна, не допускаючи істотної помилки, прийняти

$$BC \approx h_1; \quad CD \approx 2R - h_1 \approx 2R; \quad AC \approx l_1.$$

Підставляючи ці значення в рівняння (5.9), отримаємо:

$$l_1 = \sqrt{2h_1 R}.$$

Аналогічно можна визначити

$$l_2 = \sqrt{2h_2 R}.$$

Тож розрахункова відстань видимості складе

$$L = l_1 + l_2 = (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})\sqrt{2R},$$

звідки

$$R = \frac{L^2}{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}. \quad (5.10)$$

для випадку зустрічі двох однотипних автомобілів, нехтуючи різницею між рівнем очей водіїв і висотою автомобілів ($h_1 \approx h_2$), отримаємо

$$R = \frac{L^2}{8h_1}. \quad (5.11)$$

При розрахунках на видимість поверхні дороги величина $h_2 = 0$ і, відповідно,

$$R = \frac{L^2}{2h_1}. \quad (5.12)$$

Радіус увігнутих кривих визначають виходячи з величини відцентрової сили, допускаємої за умови самопочуття пасажера і

перевантаження ресор.

При допустимому відцентровому прискоренні a маємо

$$\frac{v^2}{R} = a, \quad \text{звідки} \quad R = \frac{v^2}{a}. \quad (5.13)$$

При розробці норм на проектування вертикальних кривих приймали $a = 0,5 - 0,7 \text{ м/с}^2$.

Увігнуті криві малих радіусів незручні для руху в нічний час, так як світло фар освічує поверхню покриття близько до автомобіля на відстані, меншій розрахункової видимості. Тому радіуси увігнутих вертикальних кривих, визначені із величини відцентрової сили, повинні бути перевірені на забезпечення видимості при світлі фар.

Величина радіусу увігнутої кривої за умови видимості в нічний час визначається за формулою

$$R \approx \frac{L^2}{2(h_\phi + L \sin \alpha)}, \quad (5.14)$$

де α – кут розвору пучка променю фар.

Державні будівельні норми (ДБН В.2.3-4:2007) рекомендують, якщо це можливо за місцевими умовами і не приводить до подорожання будівництва, використовувати радіуси вертикальних опуклих кривих не менше 70000 м і увігнутих кривих – 8000 м.

Якщо за умовами рельєфу та іншими місцевими умовами неможливо дотриматись цього правила, допускається знижувати нормативні параметри до гранично допустимих, визначених відповідно до розрахункових швидкостей.

Розрахункова швидкість, км/год	150	140	120	110	100	90	80	60	50	30
Найменший радіус опуклої кривої, м	30000	25000	15000	12500	10000	7500	5000	2500	1500	600
Найменший радіус увігнутої кривої, м	8000	7000	5000	4000	3000	2500	2000	1500	1200	600

5.3 Ширина проїзної частини і узбіччя

Одним із важливих питань, що вирішуються при проектуванні автомобільних доріг, являється призначення ширини проїзної частини і узбіччя. Як показують спостереження, навіть при бажанні водія їхати точно по прямому напрямку, автомобіль фактично рухається по деякій синусоїдальній траєкторії. Відхилення цієї траєкторії від прямої тим більше, чим вище швидкість руху. Тому, чим вище швидкість руху автомобіля, тим більша ширина смуги руху йому необхідна на проїзній частині.

Існує ряд теорій, за якими визначається ширина проїзної частини. Ми зупинимось на теорії, яка прийнята при розробці технічних норм (ДБН). Згідно цієї теорії ширина проїзної частини дороги з двома смугами руху визначається за формулою

$$B = b + c + 2y + x, \quad (5.15)$$

де b – ширина кузова автомобіля;

c – колія автомобіля (відстань між зовнішніми гранями сліду найбільш широко розтавлених коліс;

y – відстань від зовнішньої грані сліду колеса до краю проїзної частини;

x – зазор між кузовами зустрічних автомобілів.

Розрахункові значення x і y М.Ф.Хорошилов пропонує визначати за емпіричними формулами:

$$\begin{aligned} x &= 0.3 + 0.1\sqrt{2V} \\ y &= \sqrt{0.1 + 0.0075V} \end{aligned}, \quad (5.16)$$

де x і y в метрах, V – км/год.

При русі в одному напрямку, по сусідніх смугах проїзної частини, наприклад при обгоні:

$$\begin{aligned} x &= 0.3 + 0.075 \sqrt{V_1 + V_2} \\ y &= \sqrt{0.1 + 0.0075 V} \end{aligned} \quad (5.17)$$

Рисунок 5. Схема до визначення ширини смуги руху

Розглянуті формули передбачають випадок руху по проїзній частині, поєднаній в одному рівні з міцним рівним узбіччям. При наявності біля крайки проїзної частини бордюра, який підвищується на проїзною частиною, як показує досвід, водії, боячись наїзду на них, не використовують край покриття на ширину, рівну двом-трьом висотам бордюра.

При обґрунтуванні необхідної ширини смуги руху слід розглядати два можливих випадки зустрічі автомобілів: перший – легкових автомобілів, що мають невелику ширину, але високі швидкості, другий – вантажних автомобілів з широкими кузовами, але які рухаються з меншими швидкостями.

Призначення ширини проїзної частини – задача техніко – економічна. На дорогах з малою інтенсивністю руху для зниження витрат на будівництво приймають меншу ширину смуги руху, свідомо передбачаючи пониження швидкості при небагато чисельних зустрічах автомобілів. В складних гірських умовах іноді допускають побудову доріг з проїзною частиною на одну смугу руху з улаштуванням спеціальних розширень, на яких один із автомобілів чекає проїзду зустрічного. З кожного розширення повинно бути видно наступне.

Будівельні норми передбачають наступну ширину однієї смуги руху, в середньому задовольняючу сучасним умовам руху по дорогах:

На дорогах I і II категорій	3,75 м
” ” III ”	3,5 м
” ” IV ”	3,0 м.

На дорогах V категорії проїзна частина влаштовується шириною 4,5 м, що передбачає заїзд автомобіля одним колесом на узбіччя при зустрічах і обгонах.

В пересіченій місцевості, де автомобільні дороги складаються із підйомів і спусків, що чергуються, швидкість автомобілів змінюється на протязі підйомів і спусків. Більшість із водіїв спеціально підвищують швидкість в нижній частині спусків, щоб накопивши енергію легше подолати наступній підйом. Тому на ділянках високих швидкостей бажано влаштовувати більш широку проїзну частину. Будівельні норми передбачають збільшення ширини смуги руху в межах середньої частини угнутих кривих при алгебраїчній різниці поєднаних похилів 60‰ і більше на 0,5 м на дорогах II і III категорій і на 0,25 м на дорогах IV і V категорій.

Підйоми крутіші за 30-40‰ автомобілі великої вантажопідйомності, які мають малий запас потужності, а автопоїзди можуть подолати тільки з досить низькими швидкостями, часто не більше 10-15 км/г, змушуючи увесь транспортний потік слідувати за ними з тією ж швидкістю. Проби окремих автомобілів здійснити обгін з заїздом на смугу зустрічного руху часто приводять до дорожніх пригод.

Для виділення із основного потоку автомобілів, володіючих низькими динамічними якостями, на дорогах з інтенсивним рухом (150-200 авт/год в сторону підйому) проїзну частину розширюють, влаштовуючи додаткові смуги в напрямку, що веде на підйом (рис). Ширину додаткових смуг назначають не менше 3,5 м. Щоб перелаштування автомобілів не створювали перешкод руху транспортного потоку, додаткові смуги повинні починатися

не менш, ніж за 50 м до початку підйому і продовжуватися не менш ніж на 100 м за підйомом. Для ефективної роботи додаткову смугу необхідно виділити із основної проїзної частини нанесеною на покритті лінією розмітки і позначити вказівними знаками.

Улаштування узбіч по обі сторони проїзної частини повинно забезпечити міцність країв дорожньої смуги і можливість з'їзду і стоянки автомобілів. При ремонтах покриття на узбіччі складають матеріал, а іноді використовують їх для об'їзду. Мінімально допустимою являється така ширина узбіччя, при якій габарити автомобіля, що зупинився на ній, не вдаються в межі проїзної частини. Для більшості типів автомобілів цій умові відповідає ширина 3,75 м, що прийнята для доріг I і II категорії. Для остальных категорій прийнято: III категорія – 2,5м, IV категорії – 2.0м, V категорії – 1,75м.

На дорогах вищих категорій і в межах населених пунктів узбіччя повинно бути укріплене, так як заїзд колеса на брудне узбіччя у вологий період року з великою швидкістю небезпечний із-за можливості заносу, а дорога забрудниться ґрунтом, що заноситься колесами.

Біля проїзної частини на дорогах I і II категорій з капітальним покриттям узбіччя укріплюють влаштуванням крайових смуг шириною 0,75 м, а на дорогах III і IV категорій – на 0,50 м.

5.4 Смуга відводу

Смуга місцевості, що виділяється для розташування на ній дороги, побудови допоміжних споруд і посадки придорожніх зелених насаджень, називається смугою відводу. Вона передається в розпорядження дорожніх організацій і вилучається із відому тих землекористувачів, за якими була закріплена до будівництва дороги. В зв'язку з високою народногосподарською цінністю земель, пригідних для сільськогосподарського використання і лісного господарства згідно нормам відводу

земель для автомобільних доріг ширину смуги землі, що відводиться, обмежують фактичними границями земляного полотна, збільшеними з кожної сторони на 1 м.

При будівництві доріг на цінних землях не допускається влаштувати бокові резерви і кавальєри. У випадках, коли неможливо закласти в стороні від дороги ґрунтові кар'єри для відсипки насипу, в порядку виключення відводять в тимчасове користування смугу для закладання неглибоких резервів з тим, щоб при будівництві був збережений родючий гумусний шар. Після відсипки насипу резерв повинен бути вирівняний, покритий ґрунтом і приведений до стану, придатного для використання в сільському господарстві.

Додаткові площі, необхідні для улаштування нагірних каналів, випрямлення русел під мостами, зрізок для забезпечення видимості, посадки декоративних насаджень, споруд водовідводу, схрещення доріг, стоянок для автомобілів і майданчиків для відпочинку, будівель обслуговування руху і інших дорожніх споруд, відводяться на основі детального обґрунтування необхідності в них в проектах.

При сучасних методах механізованого будівництва доріг неможна забезпечити виконання робіт, обмежуючись шириною самої дорожньої смуги. Необхідні місця для розміщення видаленого рослинного ґрунту, улаштування тимчасових доріг для перевезення матеріалів під час будівництва, об'їздів під час перебудови доріг та інше. Для цієї цілі в розпорядження будівників тимчасово виділяють додаткові площі, які після закінчення робіт повинні бути повернені землекористувачам в стані, придатному для сільськогосподарських робіт.

В таблиці 5.1 наведені середні площі відводу земель для будівництва автомобільних доріг на 1 км довжини дороги при поперечному похилі місцевості менше 1:20; при похилах від 1:20 до 1:10 площі постійного відводу для доріг усіх категорій, крім III, збільшують на 0,1 га, а для доріг III категорії – на 0,2 га.

Таблиця 5.1 – Норми відводу землі на 1 км дороги

Категорія дороги	Кількість смуг руху	Загальна площа смуги відводу, га, на землях			
		сільськогосподарського призначення		не пригідних для сільського господарства	
		постійний відвід	тимчасовий відвід	постійний відвід	тимчасовий відвід
I	8	6,3	1,8	7,4	2,3
	6	5,5	1,7	6,4	2,2
	4	4,7	1,6	5,5	2,1
II	2	3,1	1,4	3,9	2,0
III	2	2,6	1,3	3,6	2,0
IV	2	2,4	1,3	3,5	2,0
V	1	2,1	1,2	3,3	2,0

Таким чином, середня ширина смуги відводу в залежності від категорії дороги коливається від 63 до 21 м на родючих сільськогосподарських землях і від 74 до 33 м – на землях, не придатних для сільського господарства (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Ширина смуги відводу

Категорія дороги	Кількість смуг руху	Загальна ширина смуги відводу, м, на землях			
		сільськогосподарського призначення		не пригідних для сільського господарства	
		постійний відвід	тимчасовий відвід	постійний відвід	тимчасовий відвід
I	8	63	18	74	23
	6	55	17	64	22
	4	47	16	55	21
II	2	31	14	39	20
III	2	26	13	36	20
IV	2	24	13	35	20
V	1	21	12	33	20

ЛЕКЦІЯ № 6

Тема: закономірності руху транспортних потоків

Література: В.Ф.Бабков, О.В.Аедреев. проектирование автомобильных дорог, ч.І. стр.98 – 112.

5.1 Режими руху автомобілів. Характеристики режимів руху потоків автомобілів

Розглянуті раніше вимоги до елементів дороги забезпечують можливість руху з розрахунковою швидкістю одиночних автомобілів, водіям яких нічого не мішає вибрати допустимий для них режим руху і реалізувати динамічні можливості автомобілів. Фактично по дорогах проходить рух великої кількості автомобілів різних типів з різними динамічними характеристиками, габаритами, різної степені завантаження, в різному технічному стані. Ними управляють водії різної кваліфікації, з різними індивідуальними особливостями.

Множина автомобілів, що рухаються по дорозі, утворюють потоки, які рухаються назустріч один одному. В кожному транспортному потоці відбувається взаємодія автомобілів. Між автомобілями, що рухаються, установлюються інтервали, величина яких залежить від багатьох факторів: швидкості руху, індивідуальних особливостей водіїв, дорожніх умов. Різними водіями по різному сприймаються і оцінюються умови руху. Виникає необхідність в обгонах тихохідних автомобілів швидкохідними, що складає перешкоди для зустрічного руху.

Умови руху по дорозі суттєво міняються з збільшенням інтенсивності руху. З зміною інтенсивності руху змінюється і зручність проїзду. На степінь зручності проїзду по дорозі, легкість управління автомобілем, ефективність використання автомобільного транспорту і витрати палива безпосередній вплив чинить завантаження дороги рухом, що характеризується коефіцієнтом

завантаження Z , який представляє собою відношення фактичної інтенсивності руху до пропускної здатності

$$Z = \frac{N_{\phi}}{N_{п.з.}} \quad (6.1)$$

В залежності від ступеня завантаження дороги автомобілями розрізняють чотири характерних режими транспортних потоків, пов'язуючи з ними поняття про рівні зручності руху:

- вільний потік (рівень зручності руху А), коефіцієнт завантаження $Z < 0.2$ – одиночні автомобілі, що їдуть по дорозі на відстанях, при яких автомобілі взаємно не впливають на умови руху;

- частково пов'язаний потік (рівень зручності Б), коефіцієнт завантаження $Z = 0.2 - 0.45$, рух проходить у вигляді невеликих груп, що складаються із кількох автомобілів, що відрізняються динамічними якостями і рухаються на близькій відстані один за другим;

- пов'язаний потік (рівень зручності В), коефіцієнт завантаження $Z = 0.45 - 0.70$, рух відбувається у вигляді великих груп автомобілів з затрудненими умовами для обгону;

- щільний або насичений потік (рівень зручності Г), коефіцієнт завантаження $Z = 0.7 - 1.0$, автомобілі рухаються один за одним. Обгони становляться практично неможливими. В місцях погіршення дорожніх умов можливі утворення заторів.

6.2 Характеристики режимів руху потоків автомобілів

В якості узагальненої характеристики режиму руху потоку являється середня швидкість. Швидкості руху автомобілів на якій-небудь ділянці дороги міняються в порівняно широкому інтервалі. Чим щільніший потік, тим менше в ньому різниця в швидкостях окремих автомобілів. При інтенсивності руху, що відповідає частково пов'язаному потоку, криві розподілу числа автомобілів за швидкістю мають дзвоникоподібне

накреслення, характерне для нормальної кривої розподілу а середня швидкість може визначатись за формулою

$$V_{\text{сер}} = \sum V_i p_i , \quad (6.2)$$

p_i – доля автомобілів, що рухаються зі швидкістю V_i .

Швидкості і режими транспортних потоків характеризуються також кумулятивними кривими.

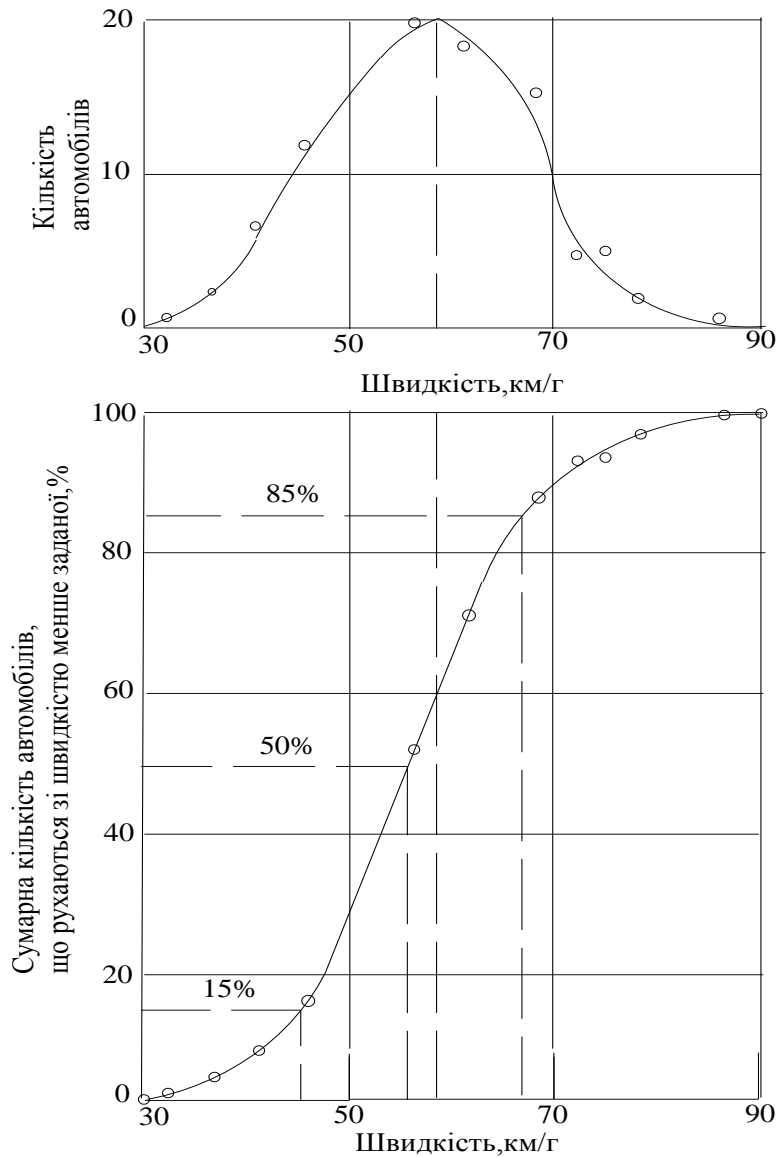


Рисунок 6.1 – Закономірність розподілу руху між автомобілями в транспортному потоці

Забезпеченість 50% виражає середню швидкість транспортного потоку. Її, як уже відомо, приймають за основну характеристику транспортного потоку.

Якщо транспортний потік складається із кількох груп автомобілів, які володіють різко відмінними динамічними якостями, але при порівняно малій інтенсивності руху практично не впливають на умови руху одна одної, криві розподілу для потоку в цілому являється сумою кривих для окремих груп, що його складають, і можуть мати кілька вершин.

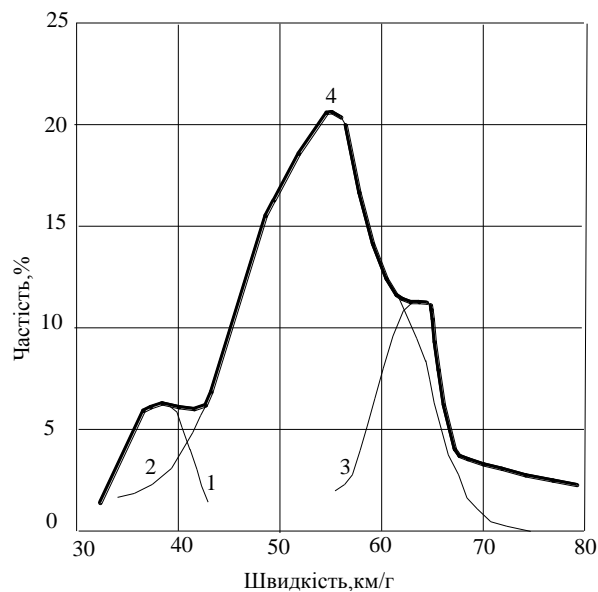


Рисунок 6.2 – Крива розподілу швидкостей для різнотипових автомобілів

Важливою характеристикою транспортних потоків являється також щільність транспортного потоку – кількість автомобілів, що проходяться на одиницю довжини однорідної за транспортними якостями ділянки дороги.

Між щільністю, інтенсивністю і швидкістю руху існує зв'язок у вигляді

$$q = N / V \quad (6.3)$$

Зв'язок між щільністю і інтенсивністю руху виражається графіком, який має вигляд

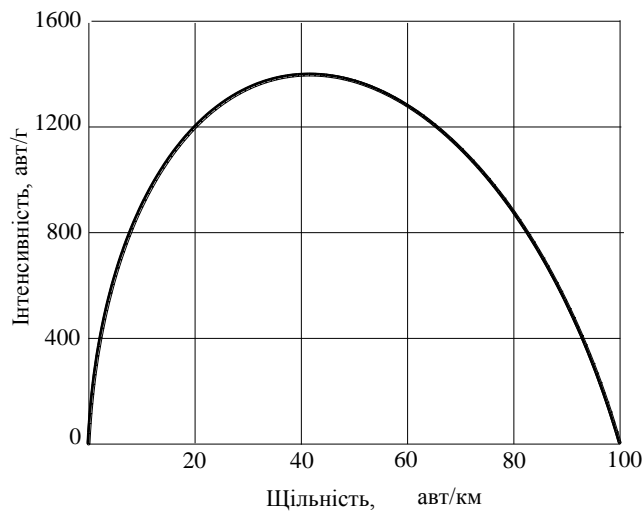


Рисунок 6.3 – Графік залежності між щільністю транспортного потоку і його інтенсивністю

Ця графічна залежність інтенсивності від щільності представляє собою основну діаграму транспортного потоку $N = f(q)$. Згідно цієї діаграми

$$q = \frac{N}{v}; \quad (6.3)$$

$$v = \frac{N}{q}. \quad (6.4)$$

Максимум кривої залежності щільності транспортного потоку від його інтенсивності відповідає найбільшій кількості автомобілів, яку може пропустити дана ділянка дороги. Цю величину прийнято називати **пропускною здатністю дороги**.

Для проектування перехресть і примикань доріг, а також розробки заходів по організації руху має значення інтервал в часі між автомобілями, що слідує один за другим.

6.3 Пропускна здатність дороги і визначення кількості смуг руху

Як уже встановлено, максимальна кількість автомобілів, яка може пройти по дорозі за певний відрізок часу – називається **пропускною**

здатністю дороги. Вона залежить від швидкості руху і від степені організованості руху.

Відрізняють два види пропускної здатності як характеристики дороги:

- максимальну теоретичну здатність, яку визначають розрахунками за формулами динамічної задачі теорії руху транспортних потоків для ідеалізованого колонного руху однотипних автомобілів в сприятливих дорожніх умовах (пряма горизонтальна ділянка з сухим шорстким покриттям);

- практичну типичну пропускну здатність – найбільше число автомобілів, яке може бути пропущено ділянкою дороги в сприятливих дорожніх умовах.

Пропускна здатність тої чи іншої ділянки дороги, в процесі експлуатації може мінятись в широких межах в залежності від погодних умов, складу руху і запропонованих заходів по організації руху.

Для визначення максимальної пропускної здатності скористуємося спрощеною динамічною задачею теорії транспортних потоків. Розглянемо пропускну здатність смуги руху, по якій слідує з дотримуванням постійних відстаней між однотипними автомобілями транспортний потік. Визначимо мінімальну безпечну відстань між двома автомобілями в потоці (динамічний габарит).

Після того, як перший автомобіль з якої-небудь причини почне гальмувати, задній автомобіль за час t_1 (період реакції водія) проходить шлях $l_1 = t_1 v$.

Внаслідок можливої різниці в стані гальм переднього і заднього автомобілів гальмівний шлях переднього може бути меншим і тоді задній автомобіль додатково до l_1 наблизиться до переднього на відстань

$$l_2 = S_3 - S_n = \frac{v^2(K_3 - K_n)}{254(\varphi \pm i + f)}, \quad (6.5)$$

де S_3 і S_n – гальмівний шлях заднього і переднього автомобілів;

K_3 і K_n – коефіцієнти експлуатаційного стану гальм обох автомобілів;

V – швидкість автомобіля, км/год.

Для безпеки руху водії повинні витримати також деякий запас відстані між автомобілями, що зупинились – l_3 . Таким чином безпечна відстань між автомобілями повинна бути

$$S = l_1 + l_2 + l_3 = \frac{V}{3.6} + \frac{V^2(K_3 - K_n)}{254(\varphi \pm i + f)}. \quad (6.6)$$

А довжина ділянки, що приходить на один автомобіль на дорозі

$$L = S + l_4, \text{ (м)}$$

де l_4 – довжина автомобіля.

Час, на протязі якого автомобіль знаходиться на цій ділянці, складає

$$t = \frac{L}{1000 V} \text{ (год)} \quad (6.7)$$

Отже пропускна здатність смуги руху (авт/год) складає:

$$A = \frac{1}{t}, \text{ тобто } A = \frac{3600v}{L} \text{ або } A = \frac{1000V}{L}, \quad (6.8)$$

де v – швидкість в м/с;

V – швидкість в км/год.

Таким чином
$$A = \frac{1000V}{\frac{V}{3.6} + \frac{V^2(K_3 - K_n)}{254(\varphi \pm i + f)} + l_3 + l_4}. \quad (6.9)$$

Існує ряд інших залежностей. Серед них залежність, яка може бути отримана із міркувань, що передній автомобіль зупиняється моментально, тобто $K_n = 0$.

$$A = \frac{1000V}{\frac{V}{3.6} + \frac{V^2 K_3}{254(\varphi \pm i + f)} + l_3 + l_4}. \quad (6.10)$$

Дослідження формули (6.10) показує, що максимум пропускної здатності 1100 – 1600 авт/год відповідає швидкості руху 20 – 40 км/год.

Іншу залежність отримаємо із міркувань, що стан гальм і режими гальмування автомобілів однакові, тобто $K_3 = K_п$.

Тоді
$$A = \frac{1000 V}{\frac{V}{3.6} + l_3 + l_4}. \quad (6.11)$$

Тут пропускна здатність не залежить від коефіцієнта зчеплення, що взагалі то не відповідає дійсності.

Залежності (6.10 і 6.11) можуть бути зображені графічно.

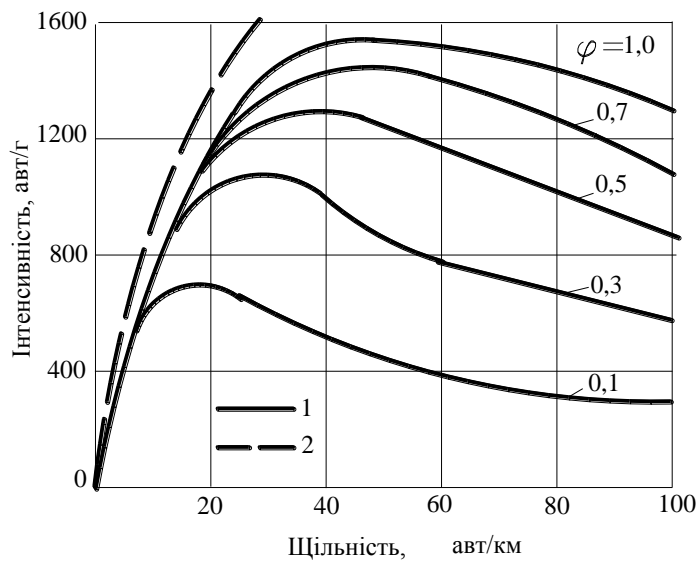


Рисунок 6.4 – Теоретична пропускна здатність смуги руху при різних значеннях коефіцієнта зчеплення:

1 – за рівнянням (6.10);

2 – за рівнянням (6.11).

Наведені залежності служать для визначення максимальної теоретичної пропускної здатності. Як видно із графіка, пропускна здатність не являється постійною величиною, а залежить від величини коефіцієнта зчеплення (тобто від погодних умов). різні ділянки дороги володіють різною пропускною здатністю. Очевидно, що ділянка дороги з найменшою пропускною здатністю визначає пропускну здатність усього перегону дороги між сусідніми населеними пунктами або примиканнями інших доріг.

Практична типічна пропускна здатність може бути отримана шляхом накладання графіків залежності пропускної здатності від швидкості руху і залежності швидкості потоку від інтенсивності руху.

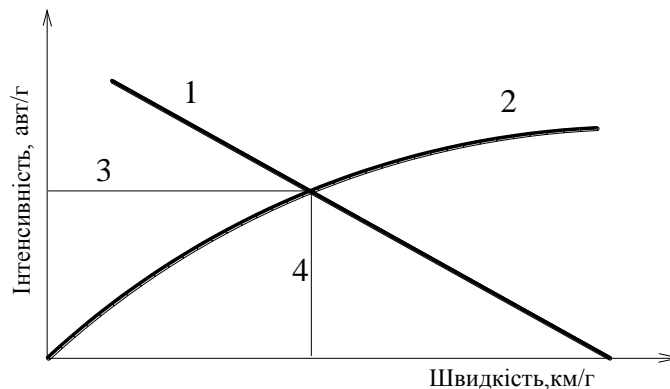


Рисунок 6.5 – Залежність пропускної здатності дороги від швидкості транспортного потоку:

- 1 – залежність швидкості від інтенсивності;
- 2 – пропускна здатність, розрахована за інтервалом між автомобілями при різних швидкостях, але при $K_3 = K_n$;
- 3 - типічна пропускна здатність смуги;
- 4 – швидкість руху при типічній пропускній здатності.

За дослідженнями Н.Ф.Хорошилова типічна пропускна здатність смуги при рівномірному рельєфі складає:

- для доріг II категорії 1200 авт/год;
- для доріг III категорії 1000 авт/год;
- для доріг IV категорії 850 авт/год;
- для доріг V категорії 650 авт/год.

Кількість смуг руху на багато смугових дорогах визначається за залежністю

$$n = \frac{N_r \cdot \varepsilon}{z \cdot A}, \quad (6.12)$$

де N_r – інтенсивність руху (авт/ год), приведена до легкових автомобілів;

ε – коефіцієнт сезонної нерівномірності руху (1,2 – 1,5);

A – типічна пропускна здатність, авт/год;

Z – коефіцієнт завантаження, що призначається в залежності від бажаного рівня зручності руху (0,2 – 0,7).

