

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра загальнотехнічних дисциплін та професійного навчання

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри ЗТДПН

_____ Цись О. О.

Реєстраційний № _____

« ____ » _____ 2021 р.

« ____ » _____ 2021 р.

**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА ТЕХНОЛОГІЧНИХ
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ З
ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Магістерська робота студента
Факультету дошкільної і
технологічної освіти
групи ТОА-м -16
освітньо-кваліфікаційний рівень
магістр
спеціальності
014.10
Середня освіта (Трудове навчання
і технології)
Майфельд Дмитро Сергійович
Керівник: доцент, к.т.н.
Філатов Сергій Валентинович

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФІЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ.....	8
1.1. Вибір і обґрунтування методів теоретичних досліджень.....	8
1.2. Методика чисельних досліджень та постановка задачі.....	12
Висновки до розділу 1.....	18
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДОТИЧНИХ НАПРУЖЕНЬ У СИСТЕМІ «АВТОМОБІЛЬНЕ КОЛЕСО – ДОРОГА».....	20
2.1. Програма розрахунків задач МГЕ.....	20
2.2. Побудова розрахункових схем.....	22
2.3. Термінологія для задання вхідної інформації.....	25
2.4. Роздрукування програми на мові Delphi.....	26
2.5. Аналіз моделювання напружено-деформованого стану колеса автомобіля у віртуальному середовищі.....	27
Висновки до розділу 2.....	28
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ДОСЛІДЖЕННЯ ВВІГНУТОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФІЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОРОГИ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ.....	30
3.1. Вплив профілю поперечного перерізу технологічної дороги загального користування на тягові та швидкісні характеристики автомобілів.....	30
3.2. Вплив поперечного профілю технологічної дороги загального	

	3
користування на оптимізацію режиму роботи автомобілів.....	33
3.3. Технологія будівництва щебених технологічних автомобільних доріг загального користування з ввігнутих поперечним профілем.....	34
3.4. Методика організації досліджень студентів автотранспортного профілю технологічних характеристик доріг.....	45
Висновки до розділу 3.....	51
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55
ДОДАТКИ.....	60

ВСТУП

Актуальність дослідження. Найбільш поширеним видом транспорту на відкритих роботах чи роботах з вантажоперевезень є автомобільний. Перевага автомобільного транспорту — це висока маневреність і мобільність, що особливо виявляється в складних умовах експлуатації родовищ. Маневреність полягає в спроможності швидкого, гнучкого переміщення, вивертання, установки в зручне для навантажування і розвантажування положення, можливості здійснення поворотів у межах обмеженої площі. Мобільність характеризується високою рухливістю, простотою перенесення місць навантаження і розвантаження, швидким приведенням в робочий стан, можливістю заміни окремих машин у випадку їхньої несправності під час роботи, незалежність від ліній живлення енергією.

Завдяки цим перевагам — високій мобільності, маневреності, автономності та універсальності в експлуатації, транспортні засоби особливо широко використовуються в грузоперевезеннях. Найбільшого розвитку він набув у США, Канади, Латинської Америки, Австралії. У США понад 85% вантажу перевозиться автомобілями. В Бразилії, Мексиці, Австралії, ПАР використовують тільки автомобілі, в яких значну роль відіграє успішний розвиток автомобільної промисловості.

США відзначає збільшення вантажопідйомності автомобілів, але тенденції до збільшення питомої потужності двигуна немає. Вважається раціональнішим підвищення тягових якостей автомобілей за рахунок вдосконалення конструкції трансмісії, підвищення ККД, а також за рахунок якісного утримання технологічних доріг і зниження енерговитрат на одиницю перевезеної продукції.

Після того, як наша команда прийняла участь у міжнародному кейс-чемпіонаті від Metinvest та вийшла у півфінал, я вирішив продовжувати дослідження теми конструкції автомобільних доріг та впливу опору кочення на ефективність експлуатації автомобілів.

Диплом півфіналіста представлено у додатку А.

На основі вище зазначеного **темою магістерської роботи** було обрано:
«Розробка технології будівництва технологічних автомобільних доріг загального користування з використанням математичного моделювання»

Мета дослідження: розробити зміст та технологію будівництва технологічної автомобільної дороги загального користування, довести доцільність використання технології, розробити методику використання змісту в освітньому процесі на технолого-педагогічних факультетах.

Завдання дослідження:

1. З'ясувати, вибрати та обґрунтувати методи теоретичних досліджень.
2. Описати принципи роботи програми для математичного моделювання та дослідити вплив різного поперечного профілю дороги на опір кочення.
3. Розробити технологію будівництва технологічних автомобільних доріг загального користування та констатувати доцільність будівництва автомобільних доріг з ввігнутим поперечним профілем.
4. Розробити та апробувати методику досліджень студентів автотransпортного профілю технологічних характеристик автомобільних доріг.

Об'єктом дослідження є: основні параметри технологічних автомобільних доріг загального користування; основні параметри автомобільного колеса; система фахової підготовки бакалаврів автотransпортного профілю.

Предметом дослідження є: математична модель впливу поперечного профілю автомобільної дороги та технологія будівництва технологічної автомобільної дороги загального користування; методика організації досліджень студентів автотransпортного профілю технологічних характеристик автомобільних доріг.

У дослідженні було використано наступні **методи**: аналіз технічної, психолого-педагогічної та методичної літератури, визначення ключових позицій дослідження, осмислення новаторських рішень та досліджень зарубіжних компаній щодо технології будівництва автомобільних доріг та теорії опору кочення автомобільного колеса, математичне моделювання задля визначення, аналізу та узагальнення одержаних даних, математична обробка результатів дослідження, контент-аналіз планів фахової підготовки бакалаврів автотранспортного профілю, пілотажний педагогічний експеримент.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблена нами технологія будівництва технологічних автомобільних доріг загального користування може бути використана в будівництві або реконструкції доріг з метою зменшення енерговитрат на одиницю перевезеного вантажу, збільшення строку експлуатації шин вантажних автомобілів; розроблена методика і плани-конспекти занять можуть бути використані в системі фахової підготовки бакалаврів автотранспортного профілю.

Структура кваліфікаційної роботи: складається зі вступу, трьох розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків.

База дослідження. Дослідницька робота проводилась на базі факультету дошкільної та технологічної освіти Криворізький державний педагогічний університет.

Публікації:

1. Цись О. О., Майфельд Д. С. Освітній веб-сайт кафедри як засіб реалізації потокової моделі комбінованого навчання студентів технологічно-педагогічних спеціальностей. *Графічна підготовка як складова професійної освіти вчителя трудового навчання і технологій*: зб. наук. праць Всеукраїнської науково-практичної конференції. Вінниця: ВСПУ ім. Коцюбинського, 2018. С. 70 – 72.

2. Торіна В. М., Майфельд Д. С. Використання модульного об'єктно-орієнтованого динамічного навчального середовища в освітньому процесі. *Підготовка майстра виробничого навчання, викладача професійного навчання до впровадження в освітній процес інноваційних технологій: матеріали Всеукраїнського науково-методичного семінару*. Глухів: ГНПУ ім. Довженка, 2021. (див. додаток Б)

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФІЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ.

1.1. Вибір і обґрунтування методів теоретичних досліджень

Аналіз дослідження показує, що основними методами дослідження при вирішенні проблем напружено-деформованого стану тіл є аналітичні та чисельні методи та їх моделювання на еквівалентних матеріалах.

Метод еквівалентних матеріалів (МЕМ) дозволяє відтворювати різні позиції в моделі, виконуючи їх у достатньому наближенні до характеру виробництва всіх важливих гірничотехнічних ситуацій. Проте, якщо досліджуване явище відрізняється великою складністю, обумовленою значним числом діючих факторів, зв'язок між якими мало вивчений, то не можна з достатньою обґрунтованістю скласти необхідні константи і критерії.

У складних задачах механіки застосування аналітичних методів не завжди можливо. Такі задачі вирішуються чисельними методами кінцевих елементів, кінцевих різниць і граничних інтегральних рівнянь або граничних елементів.

Метод кінцевих різниць (МКР) [29] є класичним наближенням методу розв'язування задач теорії пружності. Суть методу полягає в тому, що значення знайденої функції, переміщення, визначається у вузлових точках, а похідні замінюються з різниць. Заміна похідних функцій здійснюється кількома способами.

Метод вимагає індивідуального підходу до кожної проблеми, він дуже складний при вирішенні неоднорідних та змішаних задач, а також при використанні нерегулярних сіток.

Метод граничних інтегральних рівнянь (МГІР) або граничних елементів (МГЕ) заснований на теорії потенціалу та теорії інтегральних сингулярних рівнянь [30]. Основою чисельної реалізації методу є перехід від

функціональних інтегральних відношень до їх алгебраїчних аналогів. Досягненням методу є те, що дискретні параметри вводяться лише на межі тіла, що призводить до вирішення задач на одиницю меншої розмірності, але з більшою плавністю знайденої функції, що, в свою чергу, знижує точність вирішення, особливо в місцях максимальних градієнтів функції.

Метод кінцевих елементів (МКЕ) [7] складається в апроксимації суцільного середовища з безкінечним числом ступенів свободи сукупністю кінцевих елементів, що має обмежене число ступенів свободи.

Елементи з'єднані у вузли і між ними певним чином встановлюється взаємозв'язок. Мінімізація функціональної потенціальної енергії для дискретного еквівалента неперервного середовища дозволяє звести проблему до вирішення системи лінійних рівнянь замість важких диференціальних рівнянь у приватних похідних.

За допомогою методу скінченних елементів можна обчислити напружено-деформований стан плоских та тривимірних тіл довільної форми, однорідних та неоднорідних з лінійною та нелінійною постановкою задачі. Досягненням методу є можливість точного накладання будь-яких граничних умов, використання сіток з елементами будь-якої складності. В даний час метод скінченних елементів є універсалом серед числових методів для вирішення практичних задач.

МГЕ розглядає можливості в нелінійних задачах, де частина границі, в якій реалізується та чи інша гранична умова, не відома заздалегідь. Загальний підхід тут, як і в МКЕ, полягає у застосуванні ітераційних алгоритмів так, щоб на кожному кроці необхідно було побудувати рішення відповідної лінійної задачі; тобто на кожному кроці ітераційного процесу спочатку невідомий кордон вважається умовно заданим, потім будується рішення лінійної задачі для фіксованої області, знаходиться розбіжність в граничних умовах та обчислюється поправка до форми невідомої межі, після чого процес повторюється.

Як відомо, цей тип алгоритму є досить ефективним лише тоді, коли для вибору етапу ітераційного процесу використовуються спеціальні процедури. Тому варто розглянути ще одну можливість розв'язування задач з невідомою межею [29].

У деяких випадках початкова проблема може бути зведена до варіаційної задачі мінімізації функціоналу на кордоні з обмеженням у вигляді рівності та нерівності або до вирішення варіаційних нерівностей [7]. У свою чергу, такі варіаційні задачі зводяться до задач математичного програмування, чисельні методи вирішення яких добре розроблені у [29].

Як приклади цього підходу ми можемо навести роботи [29, 30], де автори дійшли висновку, що в нелінійних задачах слід віддавати перевагу прямим МГЕ. Користувачам важливо, що в багатьох випадках існуючі програми МГЕ є ефективнішими, ніж програми МКЕ та МКР.

Найслабшим місцем МКЕ є те, що це, по-перше, теоретично схема дискретизації цілого тіла, і це неминуче призводить до великої кількості скінченних елементів, особливо в тривимірних задачах з віддаленими межами, в межах кожного з яких не всі невідомі змінні постійно змінюються, а по-друге, це часто призводить до нереальних розривів у значеннях фізичних величин між сусідніми елементами.

Наявні МГЕ розробляються на основі інтегральних рівнянь. Ці методи широко використовуються без використання доказів. У результаті вони стають реалізованими в алгоритмах на швидкодіючих ЕОМ, безпосередньо використовуваних практиками. Значний внесок у МГЕ насамперед був зроблений С.Г. Міхліним [33, 34], що обговорює інтегральні рівняння, як із скалярними, так і з векторними виразами.

О. Зенкевич успішно використав варіаційний метод для отримання коефіцієнтів МГЕ, що призводить до поєднання МГЕ та МКЕ до систем лінійних алгебраїчних сингулярних рівнянь із симетричними матрицями [34].

Незважаючи на великі успіхи, досягнуті раніше в класифікації та аналізі властивостей інтегральних рівнянь, виявилось, що жоден з авторів,

очевидно, не розглядав можливості побудови заснованого на цих рівняннях загального чисельного алгоритму розв'язання задачі МГЕ в теорії кочення колеса в залежності від поперечного профілю автодороги.

Таким чином, МГЕ охоплює широкий спектр фізичних проблем: постійні та летючі потенційні потоки, проблеми статичної та динамічної теорії [33].

Усі МГЕ використовують принцип суперпозицій і тому застосовані до повністю лінійних систем, або можуть бути апроксимовані як такі.

МГЕ зменшує розмірність вихідної задачі на одиницю, тобто для двовимірних задач ми отримуємо одновимірне граничне інтегральне рівняння, а для тривимірного - лише двовимірне інтегральне рівняння по поверхні.

МГЕ включає моделювання тільки граничної геометрії системи. Як тільки отримана необхідна інформація про межу, то можуть бути обчислені значення перемінних, що описують рішення, у будь-яких послідовно вибраних внутрішніх точках.

Крім того, розв'язок повністю безперервний по всьому тілу. Виявляється, обидві функції унікальні для МГЕ і виділяють його серед можливих альтернатив.

Завдяки безперервності рішення можна знайти значення змінних у будь-якій заданій внутрішній точці, наприклад, в областях концентрації напружень в пружних або пружно-пластичних тілах.

Яким би потужним чи елегантним не був числовий метод, його потенціал може бути повною мірою реалізований, лише якщо він добре запрограмований. У цьому сенсі МГЕ вимагає значних зусиль з боку програміста і менше від майбутнього користувача, ніж метод кінцевих елементів [33].

Тому використання МГЕ при моделюванні процесу кочення колеса автомобіля залежно від поперечного профілю технологічної дороги

загального користування дозволить побачити приховані напруження, що виникають.

1.2. Методика чисельних досліджень та постановка задачі

Варто знати, що в Україні діє єдиний стандарт, що передбачає відповідний стан покриття проїздної частини. Незважаючи на це, стан доріг є незадовільним. Так як в світі є тенденція до збільшення вантажопідйомності, самоскиди та тягачі разом з іншими вантажівками руйнують й без того незадовільне дорожнє покриття через перевантаження.

Сили, які виникають у дорозі під час проїзду перевантажених автомобілів викликають деформацію дорожнього покриття як нової дороги, так і дороги з незадовільним станом.

У роботі пропонується розглянути конструкцію та переваги технологічної дороги загального користування з ввігнутих поперечним профілем.

В нашому дослідженні ми прийшли до того, що уникнути тенденції до збільшення вантажопідйомності ми не в силах, а ось зменшити дію сил, що викликають деформацію дорожнього покриття ми зможемо.

Метою математичного моделювання було визначити вплив поперечного профілю дороги на параметри руху колеса. Враховуючи [34], що колесо можна розглядати в плоскій постановці, відповідно вирішені плоскі завдання. Сили та моменти, показані на (рис. 1.1), діють на справжнє колесо при його русі.

Для опису характеристик шини, сил та моментів, що діють на неї, необхідно прийняти систему координат, яка повинна служити відправною точкою для визначення різних параметрів. Одна з цих систем координат рекомендована товариством автомобільних інженерів США [25] і показана на наступному малюнку. Як видно з рис. 1.1., походження цієї системи лежить у контактні центру шини з опорною поверхнею дороги. Вісь X — лінія перетину площини колеса з площиною опорної поверхні; позитивний напрямок осі

збігається з напрямком руху колеса вперед. Вісь Z перпендикулярна до площини опорної поверхні, позитивний напрям — вниз. Вісь Y розташована з площини опорної поверхні, її напрямок підібраний таким чином, щоб система координат була ортогональною праворуч. Шість зусиль і три моменти діють на шину з опорної поверхні. Тягова сила, або поздовжня, F_x - це сила, що діє в напрямку осі X з боку дороги. Сила опору коченню F_o , що діє в напрямку, протилежному осі X . Бічна сила F_y діє в напрямку осі Y , сила F_c діє від коліс у напрямку, протилежному до осі Y , нормальна сила F_z діє в напрямку осі Z і сила F_d - це сила, що діє на шину з боку дороги. Момент перекидання M_x - момент відносно осі X , момент опору коченню M_y - момент відносно осі Y та момент повороту, M_z - момент відносно осі Z , що діє на шину збоку дороги.

За допомогою цієї системи ви можете знайти багато робочих параметрів шини. Наприклад, поперечне зміщення центру нормального тиску. Існують також важливі кути, пов'язані з шиною, що котиться: σ - кут бічного уводу між напрямком руху колеса та лінією перетину середньої площини його обертання з поверхнею дороги, γ - кут розвалу колеса між площиною XZ і середньою площиною обертання колеса, α - кут нахилу сходження колеса, це кут між площиною XZ та напрямком обертання колеса. Бічна сила в площині контакту шини з дорогою є функцією цих кутів.

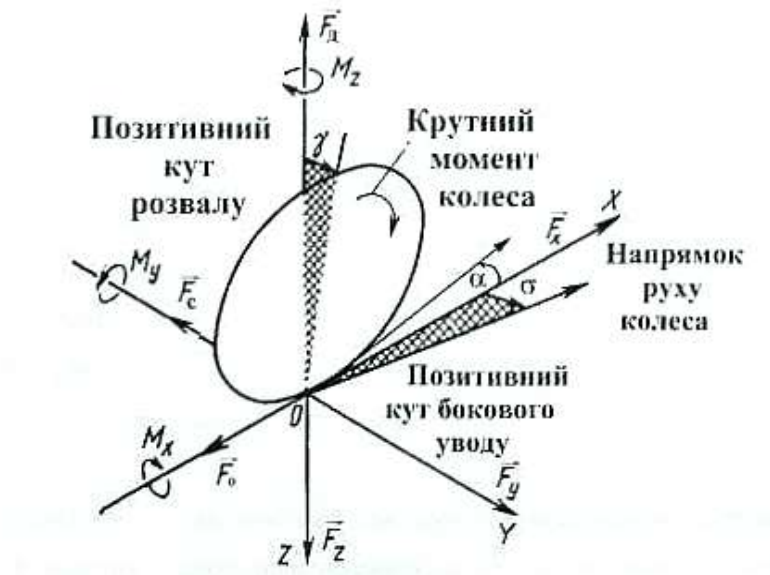


Рис.1.1. Система координат для колеса автомобіля.

Сили діючі на колесо автомобіля при його русі по технологічним дорогам загального користування з різноманітним кутом нахилу поперечного профілю β представлені на (Рис.1.2 – 1.3).

Автомобільне колесо піддається нормальній силі навантаження G , силі реакції на дорогу R , тяговій силі в площині обертання колеса F_t , силі сходження коліс F_n , силі уводу колеса $F_{ув}$ та зусилля опору коченню $F_{ск}$.

При русі колеса по опуклому профілю (Рис.1.2) технологічної автодороги загального користування під дією сил, що виникають від кута сходження коліс σ , деформація в передній частині колеса набагато більша, ніж у задній, що характеризується підвищеним моментом сили уводу $M_{F_{ув}}$, момент сили сходження M_{F_n} і крутним моментом опору кочення $M_{кр}$. Деформація плями контакту з вираженим зміщенням поздовжньої осі нагадує форму "бобоподібної" форми, а не еліпсоїдної форми, що в свою чергу призводить до значного збільшення коефіцієнта опору коченню.

Рухаючись уздовж увігнутого профілю (рисунок 1.3), колесо також піддається силам уводу $F_{ув}$ і сходження F_n . Величина деформації в передній частині колеса зменшується порівняно з опуклим профілем дороги, оскільки кут поперечного профілю дороги β зменшує крутний момент опору кочення

$M_{кр}$ і допомагає колесу рухатися відносно своєї осі, при цьому пляма контакту вже схожа на правильний еліпс, а саме це і підтверджує значне зниження опору під час кочення колеса, так як сили, що виникають у плямі контакту, прямопропорційні навантаженню на саме колесо, а опір коченню шини на твердій поверхні визначається головним чином 95%-м гістерезисом, деформацією передньої частини шини через прогин її каркаса при коченні [28, 31].

В ході дослідження було помічено, що деформація передньої частини шини відносно осі її кочення та відносно нормального навантаження, що прикладається до неї, становить $0,1G$, тобто 10% від нормального навантаження на колесо автомобіля.

Ці рисунки відрізняються один від одного лише напрямками сил від сходження F_n і уводу $F_{ув}$ на колесах. Оскільки ці сили сильно впливають на опір кочення колеса автомобіля, зміна поперечного перерізу технологічної дороги загального користування також вплине на його опір кочення.

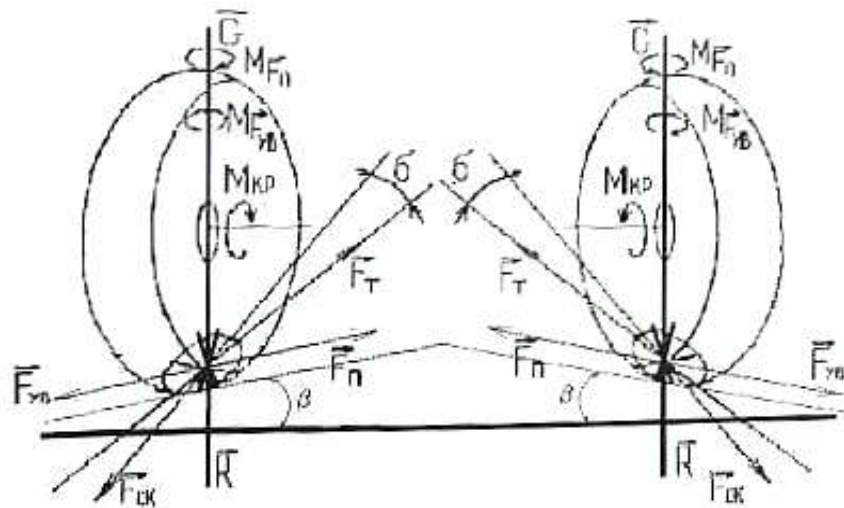


Рис. 1.2. Схеми сил, що діють на колесо автомобіля при опуклому профілю дороги

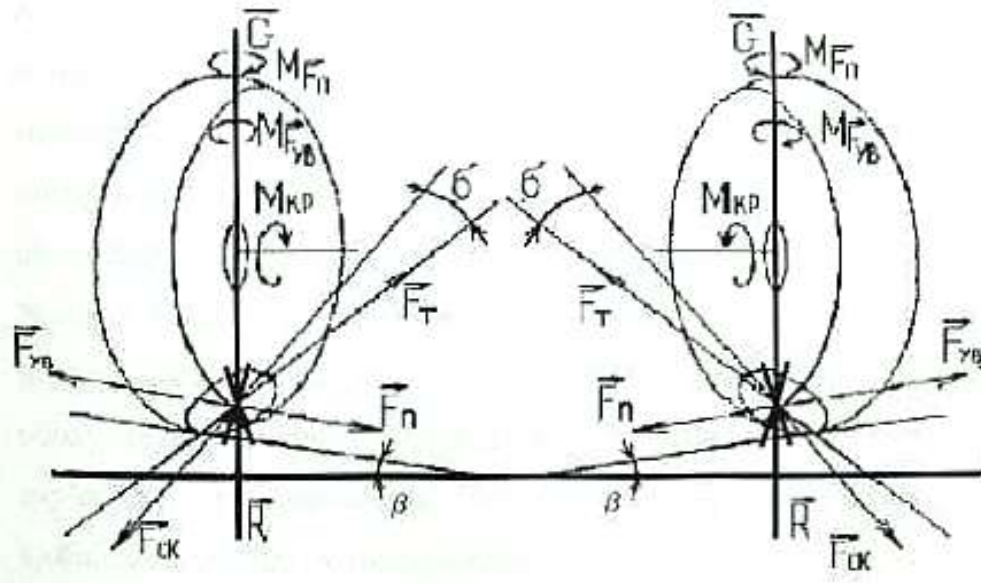


Рис. 1.3. Схема сил, що діють на колесо автомобіля при ввігнутому профілю дороги

Розглядаючи конструктивні параметри колеса щодо його опору коченню, необхідно мати правильне уявлення про взаємозв'язок між втратами енергії в шині під час його кочення, сил та напруг, що діють у плямі контакту в системі шина — дорога. При цьому необхідно підтримувати мінімальне значення коефіцієнта опору кочення, застосовуючи визначене значення поперечного профілю технологічної дороги загального користування, залежно від її подовжнього нахилу.

Отже, вибір оптимального поперечного профілю технологічної дороги загального користування суттєво вплине на коефіцієнт опору кочення автомобіля, а отже, і на транспортні витрати.

Постановка чисельної задачі. Моделювання виконується за умов:

- одного колеса - внаслідок симетричності системи відносно подовжнього положення автомобіля на шляху;
- моделювання деформацій нижньої частини колеса;
- для автомобіля навантаження на одне колесо при порожньому автомобілі - 14500 кг, при завантаженому – 33000 кг;

– шина R33.Б 00-51HC50 E-4 (зовнішній діаметр – 3050 мм, посадочний діаметр – 1650 мм, ширина – 820 мм, модуль пружності $E = 25000$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,3-0,5$).

Схему граничних умов при моделюванні подано на рис. 1.4.

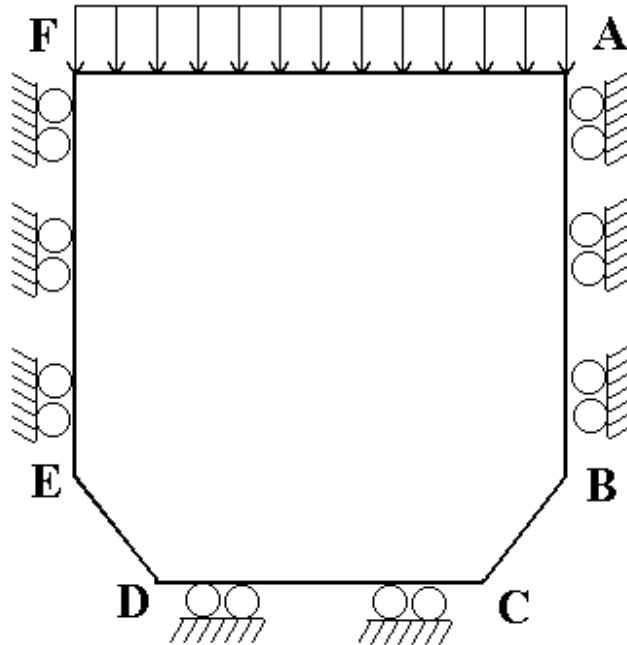


Рис. 1.4. Схема розрахункової моделі з граничними умовами для колеса автомобіля

На вертикальних гранях колеса [AB] і [EF] діє умова $U = 0$, де U – горизонтальний зсув, мм. На плечових частинах колеса [BC] і [DE], $\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \tau_{xy} = 0$, де σ_{xx} , σ_{yy} , τ_{xy} – компоненти поля напружень, МПа. На верхній межі колеса [AF] $\sigma_{yy} = P_a$, де P_a – вага автомобіля, що приходить на одне колесо, кг.

Зміна профілю моделюється пропорційною зміною розподіленої сили від маси автомобіля на нижній межі [CD] $F = 0$, де F – пропорційно розподілена сила, Н. У точці C $\sigma_{xx} = \alpha_e \cdot F_t$, де F_t – сила тяги, Н; α_e – емпіричний коефіцієнт.

Розрахункова гранично-елементна модель (рис.1.5) включає 36 вузлів, 36 елементів і 184 польові точки. Триангуляція розрахункової області

виконувалась так, щоб забезпечувалися граничні умови і прийнятна точність розрахунку.

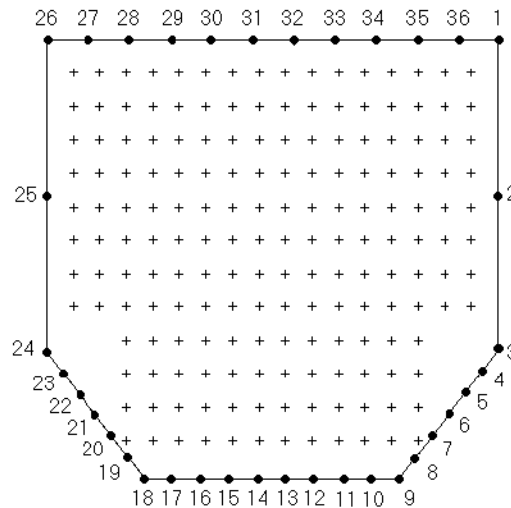


Рис. 1.5. Схема гранично-елементної моделі для колеса автомобіля

Досліджувалися наступні варіанти:

- 1 Деформування колеса на горизонтальній поверхні, $\beta_n = 0 \%$.
- 2 Деформування колеса при опуклому профілі дороги $\beta_n = 30, 60, 90\%$.
- 3 Деформування колеса при ввігнутому профілі $\beta_n = 30, 60, 90 \%$.

У такий спосіб було виконано 7 розрахунків, на підставі яких встановлено закономірності зміни напружено-деформованого стану коліс на технологічних автомобільних дорогах загального користування з різним поперечним профілем.

Висновки до розділу 1

У розділі було розглянуто окремі теоретичні аспекти дослідження поперечного профілювання технологічної автомобільної дороги загального користування та постановка математичної задачі.

1. Проаналізовані аналітичні та чисельні методи та їх моделювання на еквівалентних матеріалах та було нами прийнято використовувати саме МГЕ (метод граничних елементів) через його переваги, а саме:

- МГЕ охоплює широкий спектр фізичних проблем;
- розв'язок повністю безперервний по всьому тілу;
- Завдяки безперервності рішення можна знайти значення змінних у будь-якій заданій внутрішній точці.

2. Визначено опис характеристик шин у системі координат, котру рекомендує товариство автомобільних інженерів США та виокремлено сили, котрі діють на автомобільне колесо при русі по автомобільним технологічним дорогам загального користування з різним поперечним профілем. У ході дослідження було виявлено, що колесо, рухаючись уздовж увігнутого поперечного профілю дороги деформується в передній частині колеса менше порівняно з опуклим профілем дороги, оскільки кут поперечного профілю дороги зменшує крутний момент опору кочення і допомагає колесу рухатися відносно своєї осі, при цьому пляма контакту вже схожа на правильний еліпс, а саме це і підтверджує значне зниження опору під час кочення колеса, так як сили, що виникають у плямі контакту, прямопропорційні навантаженню на саме колесо. Підтверджено доцільність дослідження впливу поперечного профілю автомобільної дороги.

3. Здійснена постановка чисельної задачі та визначені умови для математичного моделювання методом граничних елементів МГЕ.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДОТИЧНИХ НАПРУЖЕНЬ У СИСТЕМІ «АВТОМОБІЛЬНЕ КОЛЕСО – ДОРОГА»

2.1. Програма розрахунків задач МГЕ

В якості основи для розрахунків МГЕ взято програму для двовимірного методу фіктивних навантажень [30], що була переведена з мови Fortran на мову Delphi. Додатково в програму введено функції для автоматизації побудови ізоліній та епюр напружень.

Обчислення виконано за шість кроків:

1. Визначення місць знаходження усіх граничних елементів і задання для кожного з них граничних умов у зсувах або напруженнях.
2. Обчислення граничних коефіцієнтів впливу і побудова відповідної системи лінійних рівнянь з урахуванням граничних умов на кожному елементі.
3. Розв'язання системи рівнянь, побудованої на другому кроці.
4. Обчислення зсувів і напружень на кожному граничному елементі.
5. Обчислення коефіцієнтів впливу для заданих усередині розглянутої області точок і обчислення зсувів і напружень у цих точках.
6. Побудова ізоліній і епюр напружень з допомогою системи Mathcad 8.0.

Крок 1 є вхідною операцією, що вводить геометричні параметри. Кроки 2, 4 і 5 подібні між собою, кожний з них включає обчислення набору коефіцієнтів впливу. Крок 3 здійснюється стандартними методами чисельного аналізу.

У програмі коефіцієнти впливу для точок межі (кроки 2 і 4) і для внутрішніх точок (крок 5) визначаються за наступними аналітичними виразами:

$$u_x = \frac{P_x}{2G} \left[(3 - 4\nu) \cos \beta \bar{F}_1 + \bar{y} (\sin \beta \bar{F}_2 + \cos \beta \bar{F}_3) \right] + \frac{P_y}{2G} \left[(3 - 4\nu) \sin \beta \bar{F}_1 - \bar{y} (\cos \beta \bar{F}_2 - \sin \beta \bar{F}_3) \right], \quad (2.1)$$

$$u_y = \frac{P_x}{2G} \left[(3 - 4\nu) \sin \beta \bar{F}_1 + \bar{y} (\cos \beta \bar{F}_2 - \sin \beta \bar{F}_3) \right] + \frac{P_y}{2G} \left[(3 - 4\nu) \cos \beta \bar{F}_1 - \bar{y} (\sin \beta \bar{F}_2 + \cos \beta \bar{F}_3) \right], \quad (2.2)$$

$$\sigma_{xx} = P_x \left[\bar{F}_2 + 2(1 - \nu) (\cos 2\beta \bar{F}_2 - \sin 2\beta \bar{F}_3) + \bar{y} (\cos 2\beta \bar{F}_4 + \sin 2\beta \bar{F}_5) \right] + P_y \left[\bar{F}_3 - (1 - 2\nu) (\sin 2\beta \bar{F}_2 + \cos 2\beta \bar{F}_3) + \bar{y} (\sin 2\beta \bar{F}_4 - \cos 2\beta \bar{F}_5) \right], \quad (2.3)$$

$$\sigma_{yy} = P_x \left[\bar{F}_2 - 2(1 - \nu) (\cos 2\beta \bar{F}_2 - \sin 2\beta \bar{F}_3) - \bar{y} (\cos 2\beta \bar{F}_4 + \sin 2\beta \bar{F}_5) \right] + P_y \left[\bar{F}_3 + (1 - 2\nu) (\sin 2\beta \bar{F}_2 + \cos 2\beta \bar{F}_3) - \bar{y} (\sin 2\beta \bar{F}_4 - \cos 2\beta \bar{F}_5) \right], \quad (2.4)$$

$$\tau_{xy} = P_x \left[2(1 - \nu) (\sin 2\beta \bar{F}_2 - \cos 2\beta \bar{F}_3) + \bar{y} (\sin 2\beta \bar{F}_4 - \cos 2\beta \bar{F}_5) \right] + P_y \left[(1 - 2\nu) (\cos 2\beta \bar{F}_2 - \sin 2\beta \bar{F}_3) - \bar{y} (\cos 2\beta \bar{F}_4 + \sin 2\beta \bar{F}_5) \right], \quad (2.5)$$

де u_x, u_y – горизонтальне і вертикальне зміщення в довільній точці X, Y , мм;

$\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \tau_{xy}$ – величини горизонтальних, вертикальних і дотичних напружень в довільній точці X, Y , МПа;

P_y, P_x – відповідно, нормальне і дотичне зусилля, МПа;

G – модуль зсуву, МПа;

ν – коефіцієнт Пуассона;

β - кут повороту;

F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 – функції $f(x, y)$;

$$F_1(\bar{x}, \bar{y}) = -\frac{1}{4\pi(1-\nu)} \left[\bar{y} (\arctg \frac{\bar{y}}{\bar{x}-a} - \arctg \frac{\bar{y}}{\bar{x}+a}) - (\bar{x}-a) \ln \sqrt{(\bar{x}-a)^2 + \bar{y}^2} + (\bar{x}+a) \ln \sqrt{(\bar{x}+a)^2 + \bar{y}^2} \right] \quad (2.6)$$

$$F_2(\bar{x}, \bar{y}) = +\frac{1}{4\pi(1-\nu)} \left[\ln \sqrt{(\bar{x}-a)^2 + \bar{y}^2} - \ln \sqrt{(\bar{x}+a)^2 + \bar{y}^2} \right], \quad (2.7)$$

$$F_3(\bar{x}, \bar{y}) = -\frac{1}{4\pi(1-\nu)} (\arctg \frac{\bar{y}}{\bar{x}-a} - \arctg \frac{\bar{y}}{\bar{x}+a}), \quad (2.8)$$

$$F_4(x, y) = +\frac{1}{4\pi(1-\nu)} \left[\frac{\bar{y}}{(\bar{x}-a)^2 + \bar{y}^2} - \frac{\bar{y}}{(\bar{x}+a)^2 + \bar{y}^2} \right], \quad (2.9)$$

$$F_5(x, y) = +\frac{1}{4\pi(1-\nu)} \left[\frac{\bar{x}-a}{(\bar{x}-a)^2 + \bar{y}^2} - \frac{\bar{x}+a}{(\bar{x}+a)^2 + \bar{y}^2} \right] \quad (2.10)$$

де x, y – координати даної точки, мм;
 a – довжина заданого відрізка, мм.

Обчислення коефіцієнтів впливу зсувів і напружень складає стрижень гранично-елементної програми. У різних МГЕ можуть використовуватися різні аналітичні вирази, але структура будь-якої програми по суті є такою ж, як в описаній вище. Внаслідок цього програма обчислень для одного МГЕ близько відтворює програму для будь-якого іншого методу. Основні відмінності стосуються лише підпрограм, які використовуються для обчислень за тими чи іншими аналітичними виразами. Як наслідок гранично-елементні програми мають модульний характер, що дозволяє переходити від одного методу до іншого шляхом зміни модулів і введенням нових параметрів у головну програму [30].

2.2. Побудова розрахункових схем

Опис граничних контурів. Усі граничні контури апроксимуються прямо-лінійними відрізками, що примикають один до одного. Кожний відрізок межі (або частина відрізка) ділиться на NUM підвідрізків – граничних елементів. Місця розташування елементів задаються шляхом вказування координат x, y початкової (XBEG, YBEG) і кінцевої (XEND, YEND) точок відрізка, а також значення NUM ($NUM \geq 1$). За цими даними у програмі автоматично розраховуються координати центрів, довжина й орієнтація граничних елементів.

Число граничних відрізків позначено через NUMBS. Програма припускає не більше 50 граничних елементів; тому користувач повинен забезпечити не більше сумарне число елементів, пов'язаних із NUMBS відрізками.

При заданні координат x, y кінців граничного відрізка діє правило обходу межі: замкнутий контур обходимо проти ходу годинникової стрілки, якщо досліджувана область лежить поза контуром, і по ходу, якщо область

лежить всередині контуру. Блок-схема розрахункової програми приведена на рис. 2.1.

Задання «польових точок». Польовими є точки, задані всередині даної області, тобто не на межі, у яких обчислюються зсуви і напруження. Польові точки, що знаходяться одна від одної на рівній відстані вздовж прямої лінії, задаються шляхом вказування координат x , y початку $XBEG$, $YBEG$ і кінця $XEND$, $YEND$ цієї лінії, а також числа проміжних точок $NUMPB$ уздовж лінії. Число прямолінійних відрізків для задання місць точок, позначено як $NUMOS$.

Програма не має обмежень на число $NUMOS$ і кількість польових точок є довільною. Водночас вона влаштована так, що польові точки, які лежать на відстанях, менших довжини одного елемента від центру граничного, пропускаються, оскільки на таких відстанях обчислені результати є неточними.

Симетрія. Якщо в задачі, що розглядається є умови симетрії, то обсяг вхідних даних, необхідних для цієї задачі, може бути скорочений.

Для задання умов симетрії використовується параметр $KSYM$, що визначається виходячи з наступних умов:

$KSYM = 1$ означає, що умови симетрії відсутні або не накладаються;

$KSYM = 2$ означає, що лінія $x = XSYM$, рівнобіжна осі x , є віссю симетрії;

$KSYM = 3$ означає, що лінія $y = YSYM$, рівнобіжна осі y , є віссю симетрії;

$KSYM = 4$ означає, що обидві лінії $x = XSYM$ і $y = YSYM$ є осями симетрії.

Якщо задача має одну вісь симетрії $KSYM = 2$ або $KSYM = 3$, граничні елементи визначаються тільки для половини граничного контуру. Симетрично відображені елементи породжуються і враховуються в програмі автоматично. При двох осях симетрії $KSYM = 4$, елементи визначають для чверті контуру.



Рис. 2.1. Блок-схема розрахункової програми

Програма має два обмеження, пов'язані з розташуванням граничних елементів у задачах з симетрією: граничні елементи не можуть лежати уздовж лінії симетрії і перетинати її. Польові точки, можуть бути уздовж лінії симетрії.

Одиниці виміру. Програма дозволяє працювати з будь-якою послідовною системою одиниць виміру, наприклад у системі СІ. Вхідні значення для граничних зсувів, якщо вони є, повинні бути задані в тих же одиницях виміру, що і для координат точок, а вхідні значення напружень на

межі і початкових напружень – у тих же одиницях, у яких задається модуль Юнга.

2.3. Термінологія для задання вхідної інформації

Програма побудована таким чином, що всі необхідні вхідні дані вводяться через текстовий файл даних або безпосередньо в зазначений рядок програми. Файл даних «FILE1.txt» створюється за допомогою будь-якого текстового редактора спроможного зберегти файл у форматі «*.txt». У одному рядку файла повинно міститися тільки одне значення вихідних даних. Дані вводяться в наступному порядку:

1. Задається необхідна інформація, що характеризує задачу.
2. У рядку “118” програми задаються наступні контрольні параметри:
 - NUMBS - число прямолінійних граничних відрізків, кожний із яких містить не менше одного граничного елемента для задання граничних контурів;
 - NUMOS - число інших відрізків не на межі, уздовж яких обчислюються зсуви і напруження;

$$KSYM \left\{ \begin{array}{l} 1. \text{ умови симетрії не накладаються,} \\ 2. x = XSYM \text{ служить віссю симетрії,} \\ 3. y = YSYM \text{ служить віссю симетрії,} \\ 4. x = XSYM \text{ і } y = SYM \text{ служать осями симетрії.} \end{array} \right.$$

3. На початку програми необхідно задати пружні постійні у рядку “5” і положення осей симетрії, якщо вони маютья, рядок “118”; PR - коефіцієнт Пуассона, E - модуль Юнга, XSYM - положення осі симетрії, рівнобіжної осі x , XSYM ігнорується, якщо $KSYM = 1$ або 3; YSYM - положення осі симетрії, рівнобіжної осі y , YSYM ігнорується, якщо $KSYM = 1$ або 2.

4. У рядку “118” програми необхідно задати початкові напруження, якщо вони маютья; у розглянутій області $PXX = (\sigma_{xx})_o$, $PYY = (\sigma_{yy})_o$, $PXY = (\tau_{xy})_o$.

5. У створеному файлі даних «FILE1.txt» необхідно задати положення і граничні умови на граничних елементах:

– NUM - число рівномірно розташованих граничних елементів уздовж прямолінійного відрізка повинно мати однакові граничні умови;

– XBEG - координата x початку відрізка;

– YBEG - координата y початку відрізка;

– XEND - координата x кінця відрізка;

– YEND - координата y кінця відрізка;

– KODE $\left\{ \begin{array}{l} 1. \text{ якщо задані } \tau_s \text{ і } \sigma_n, \\ 2. \text{ якщо задані } u_s \text{ і } u_n, \\ 3. \text{ якщо задані } u_s \text{ і } \sigma_n, \\ 4. \text{ якщо задані } \tau_s \text{ і } u_n, \end{array} \right.$

– BVS - повне дотичне напруження (τ_s) або дотичний зсув (u_s);

– BVN - повне нормальне напруження (σ_n) або нормальний зсув (u_n).

Введення цих даних повторюється циклічно до опису граничних умов усіх NUMBS прямолінійних відрізків.

6. У цьому ж файлі необхідно задати положення внутрішніх точок області, що розглядають, у яких обчислюються зсуви і напруження:

– NUMPB - число рівновіддалених точок між заданими першою й останньою точками.

– XBEG - координата x першої точки на лінії;

– YBEG - координата y першої точки на лінії;

– XEND - координата x останньої точки на лінії;

– YEND - координата y останньої точки на лінії.

Дані вводяться доти, поки не буде описана вся кількість NUMOS відрізків уздовж якої обчислюються зсуви і напруження.

2.4. Роздрукування програми на мові Delphi

Програма містить головну програму і три підпрограми. Головна

програма управляє всіма вхідними і вихідними операціями, а також містить логічні операції, необхідні для визначення положення граничного елемента, побудови системи алгебраїчних рівнянь і обчислення невідомих граничних параметрів, зсувів або зусиль, а також зсуви і напруження в усіх внутрішніх точках через компоненти фіктивних навантажень на усіх граничних елементах. Формули (2.1)–(2.5) реалізуються в підпрограмі COEFF, а результати використовуються в головній програмі для обчислення коефіцієнтів впливу зсуваючих напружень для граничних внутрішніх польових точок f_i .

Підпрограма INITL використовується на початку цих обчислень у випадках, коли враховуються умови симетрії, так, що уявлювані граничні елементи породжуються усередині програми. Операції з уявлюваними елементами виконуються шляхом послідовного звертання до підпрограми COEFF після відповідного визначення координат і орієнтації уявлюваних елементів. Нарешті, підпрограма SOLVE вирішує систему алгебраїчних рівнянь, побудовану в головній програмі. Процедура розв'язання побудована на методі виключень Гаусса без вибору ведучого елемента.

Код програми розрахунку представлено у додатку В.

2.5. Аналіз моделювання напружено-деформованого стану колеса автомобіля у віртуальному середовищі

На рис. 2.2, 2.3, 2.4 подано ізолінії σ_{xx} , σ_{yy} , τ_{xy} напружень у колесі, розташованому на горизонтальній поверхні (базовий варіант).

Аналіз розподілу ізоліній горизонтальних напружень σ_{xx} показує, що вони є симетричними відносно вертикальної осі, чого і слід було очікувати при даній постановці задачі. В центральній частині контакту колеса з дорогою спостерігається їх концентрація до рівня 0,30-0,35 МПа. Зона концентрації напружень локалізується на рівні половини розглянутої області.

Аналіз розподілу ізоліній вертикальних напружень σ_{yy} показує, що в центрі колеса відбувається розвантаження напружень до 0,30 МПа, а по боках – концентрація до рівня 0,45 МПа. Зони розвантаження і концентрації обмежені на рівні плечових частин колеса.

Величини дотичних напружень τ_{xy} не перевищують 0,40–0,60 МПа і розташовані симетрично відносно вертикальної осі колеса.

Максимальні значення напружень спостерігаються на плечових частинах колеса, що й характеризує різницю сил від уводу і сходження коліс автомобіля в залежності від поперечного профілю технологічної автодороги.

Ізолінії напружень у колесі автомобіля, при ввігнутому та випуклому профілі технологічної автодороги з кутами її поперечного ухилу $\beta_n = 30, 60, 90 \%$ приведені у додатку Г.

Висновки до розділу 2

У результаті чисельного моделювання методом граничних елементів встановлено, що:

1. Найменші поздовжні зсуви і горизонтальні напруження профілю шини автомобіля спостерігаються при рівному поперечному профілі $\beta_n = 0\%$ (базовий варіант). Вони становлять σ_{xx} 0,35-0,58 МПа;

2. Найближчими до них є напруження σ_{xx} при ввігнутому поперечному профілі з ухилом 20 ‰. Вони становлять від 0,32 до 0,65 МПа.

3. Найбільшим показником σ_{xx} при опуклому поперечному профілі відповідає ухил 90 ‰, при ввігнутому – теж 90 ‰.

4. Найменші вертикальні напруження спостерігаються у шині автомобіля при ввігнутому поперечному профілі з ухилом 20 ‰, за якого $\sigma_{yy} = 0,35 \div 0,38$ МПа. Найближчими до них є напруження, які діють при горизонтальному профілі і складають $\sigma_{yy} = 0,38 \div 0,40$ МПа.

5. Найбільші показники вертикальних напружень у шині автомобіля спостерігаються при опуклому поперечному профілі з ухилом 90‰ і при ввігнутому поперечному профілі з ухилом теж 90 ‰.

6. Найменші дотичні напруження спостерігаються при рівному поперечному профілі і становлять $\tau_{xy} = 0$ МПа. Найближчими до них є напруження, які виникають при ввігнутому поперечному профілі з ухилом 20 ‰, які становлять $\tau_{xy} = 0,09-0,14$ МПа.

7. Найбільші показники дотичних напружень у шині автомобіля спостерігаються при опуклому і ввігнутому поперечному профілі з ухилом 90 ‰.

8. На похилих ділянках автотранспортних комунікацій раціонально формувати ввігнутий поперечний профіль поверхні руху з ухилом у 20‰, тому що при цьому спостерігаються відносно мінімальні поздовжні, вертикальні і дотичні напруження, які виникають у шині автомобіля. Це дасть можливість знизити деформації шини автомобіля, а значить – і коефіцієнт опору кочення, що, в свою чергу, зменшить витрати на паливно-мастильні матеріали та спрацювання шин.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ДОСЛІДЖЕННЯ ВВІГНУТОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФІЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОРОГИ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

3.1. Вплив профілю поперечного перерізу технологічної дороги загального користування на тягові та швидкісні характеристики автомобілів

Швидкість автомобіля є основним параметром його експлуатації, який визначає продуктивність, економію палива та знос його основних вузлів, агрегатів, систем та деталей.

Раціональна швидкість руху - це така швидкість, при якій спостерігається найменша собівартість перевезень за весь період експлуатації автомобіля. В той же час мінімальна собівартість перевезень забезпечується при максимально можливій, у даних умовах, продуктивності автомобіля.

Критерієм оптимізації роботи автомобіля є його максимальна продуктивність протягом усього періоду експлуатації. Це можна зробити лише на найвищій швидкості за умови дотримання правил безпеки при транспортуванні вантажу.

Оскільки технічна швидкість автомобіля передбачена паспортними даними виробника, залишається збільшувати лише експлуатаційні показники за рахунок зменшення коефіцієнта опору кочення.

Основним фактором, що впливає на дорожній профіль, а отже, і на швидкість автомобілів, є посилений нагрів електричних тягових двигунів, які встановлюються в редукторах автомобілів на задні колеса. У сучасних автомобілях застосовується електромеханічна трансмісія з дизель-електричним приводом та тяговими колісними електродвигунами.

Проведені математичні дослідження впливу профілю поперечного перерізу технологічної дороги загального користування на параметри руху автомобільного колеса дають можливість збільшити його робочу швидкість.

Швидкість роботи автомобіля є кількісною та якісною характеристикою ефективності процесу перевезення вантажу.

Таким чином на робочу швидкість автомобіля також впливає кут нахилу і ширина дороги, а також коефіцієнт опору кочення та зчеплення з дорогою.

Дизельні двигуни, що використовуються для приводу електричних генераторів та компресорів, повинні працювати таким чином, щоб частота обертання вала по можливості не змінювалася при зміні навантаження. Тому продуктивність таких двигунів оцінюється за характеристиками, при яких використовується постійна частота обертання вала. Це тягові та навантажувальні характеристики дизельних та карбюраторних двигунів.

Залежність швидкості та потужності на колесах автомобіля від загального опору кочення спостерігається також у тяговій характеристиці згідно з [30], яка показана на рисунку 3.1.

У тяговій характеристиці автомобіля на осі абсцис відкладено один із параметрів, за яким оцінюється навантаження, а на осі ординат - показники роботи двигуна. Ефективна швидкість може бути використана як параметри, що характеризують навантаження двигуна, а потужність за кермом автомобіля та його загальний опір можуть бути використані як параметри, що характеризують продуктивність двигуна.

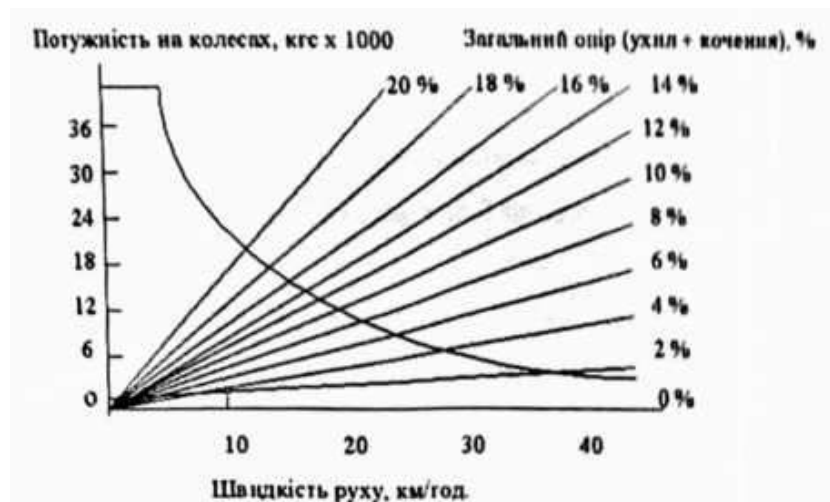


Рис. 3.1. Тягово-швидкісна характеристика автомобіля

Характеристика тяги показує, що зменшення загального опору кочення збільшить швидкість автомобіля, що також позитивно позначиться на його продуктивності.

За допомогою методу BOSH [43] для визначення коефіцієнта кочення вимірювали відстані, на яких швидкість автомобіля зменшувалась на 5 км / год, а потім, обчислюючи прискорення уповільнення, обчислювались коефіцієнти опору кочення на випуклому та ввігнутому профілях технологічної автодороги загального користування.

$$f = 28,2(a_2 V_1^2 - a_1 V_2^2) / (V_1^2 - V_2^2) \cdot 10^3 \quad (3.1)$$

де a_1, a_2 – прискорення уповільнення м/с²;

V_1, V_2 – початкова та кінцева швидкості руху м/с.

Запропонований спосіб дозволяє підтвердити гіпотезу про зменшення коефіцієнта опору кочення при ввігнутому профілі технологічної автодороги загального користування, який становить 0,026 порівняно з коефіцієнтом опору кочення в опуклому профілі дороги, який становить 0,034.

Підсумовуючи, можна сказати, що із зменшенням коефіцієнта опору кочення автомобіля його швидкість зростає, що впливає на продуктивність транспортування.

Таким чином, режими роботи автомобіля різні, але всі вони залежать від опору кочення, який можна зменшити, використовуючи ввігнутий переріз технологічної дороги загального користування.

Крім того, зменшення опору кочення дозволяє зменшити силу тяги та потужності на ведучих колесах автомобіля для виконання заданих обсягів руху.

Отже, транспортні роботи можна виконувати з меншою потужністю двигуна, що зменшить споживання енергії на транспортування.

3.2. Вплив поперечного профілю технологічної дороги загального користування на оптимізацію режиму роботи автомобілів

Під оптимальним режимом роботи автомобіля при виконанні транспортного циклу розуміють такі, при яких швидкість руху повинна враховувати також й мінімальні витрати палива на одиницю транспортної роботи, оптимальні теплові режими двигуна й трансмісії та безпеки руху [15].

В експлуатаційних умовах режимом роботи автомобільного двигуна визначається багатьма факторами, які характеризують конструктивні особливості автомобіля, дорожні умови, кваліфікацію водія, умови руху автомобіля в транспортному потоці, кліматичні умови та інші. Під дією цих факторів режим роботи автомобільного двигуна безперервно змінюється. І лише в тих випадках, коли розглядається невелики проміжок часу, можна вважати, що режим роботи двигуна сталий.

Залежно від впливу факторів потужність двигуна, необхідна для руху автомобіля, змінюється в широких межах. Із теорії автомобіля відомо, що необхідна для руху автомобіля тягова потужність N_T на ведучих колесах без урахування буксування визначається, як сума потужностей опорів: коченню N_k , підйому N_n , повітря N_w та розгону N_j . Необхідна для руху автомобіля потужність двигуна визначається через тягову потужність і ККД трансмісії.

$$N_T = N_k + N_n + N_w + N_j. \quad (3.2)$$

Названі вище потужності опорів визначаються за формулами згідно з [30].

$$N_k = G_a f_a \cos \alpha V_a / 1000 \quad (3.3)$$

$$N_n = G_a f_a \sin \alpha V_a / 1000 \quad (3.4)$$

$$N_w = kFV_a^3/1000 \quad (3.5)$$

$$N_j = m_a \delta_{об} V_a j_a / 1000 \quad (3.6)$$

де G_a – сила тяжіння автомобіля, Н; f_a – коефіцієнт опору коченню; α - кут підйому (спуску) дороги %; V_a – швидкість автомобіля, м/с; kF – фактор обтікання автомобіля, $\text{Нс}^2/\text{м}^2$; m_a – маса автомобіля, кг; $\delta_{об}$ – коефіцієнт урахування мас, що обертаються; j_a – прискорення автомобіля, $\text{м}/\text{с}^2$.

В експлуатаційних умовах потужності опорів можуть змінюватись в широких межах, що й визначає можливі значні зміни в навантаженні двигуна.

Таким чином, режим роботи автомобільного двигуна в умовах експлуатації різноманітні і показники автомобіля будуть залежати від показників двигуна на цих режимах.

Для того, щоб знати ці показники двигуна на різних режимах роботи, а також вплив регулювальних параметрів систем на них, визначають різноманітні характеристики двигуна. Характеристиками двигуна називаються графічні залежності основних показників його роботи від параметрів, що характеризують режими або умови його роботи [15].

Таким чином, режими роботи автомобілів в умовах експлуатації різноманітні, але всі вони залежать від опору кочення, який можна зменшити при застосуванні ввігнутого поперечного профілю технологічної дороги загального користування.

3.3. Технологія будівництва щобеневих технологічних автомобільних доріг загального користування з ввігнутим поперечним профілем

Основним завданням дорожнього будівництва є забезпечення умов шляху, що відповідають потребам ефективної та безпечної експлуатації

важких транспортних засобів, шляхом будівництва доріг з міцним покриттям.

Дорожньо-будівельні роботи містять в собі заготовку, переробку та доставку до місця робіт кам'яних та інших будматеріалів, а також побудова необхідних споруд (мости, шляхопроводи, дренажні пристрої, огороження).

Найскладнішим технологічним процесом є устрій дорожнього покриття, що містить послідовність технологічних операцій.

Основними з них є:

1. Підготовка земельного полотна;
2. Формування бокових упорів дорожнього покриття.;
3. Формування конструктивних шарів дорожнього покриття.
4. Ущільнення ґрунту земельного полотна та матеріалу конструктивних шарів, обробка в'язучими матеріалами.

Підготовка земляного полотна.

Земляні роботи починаються з приведення фактичного поздовжнього профілю до проектного, для чого горби вирізаються, а ями заповнюються за допомогою бульдозера.

В умовах формування доріг поперечного перерізу під час підготовки земельного полотна необхідно забезпечити правильну форму та технологію формування його поверхні з самого початку. Невиконання цієї вимоги призводить до збільшення навантаження та надмірного використання матеріалів.

На затоплених ділянках дороги будують дренажні пристрої: канали, водопроводи, лотки та водопропускні труби. Комплекс споруд для відводу поверхневих та підземних вод від дороги являє собою дорожню дренажну систему. У кожному випадку склад цієї системи різний і залежить від рельєфу, ґрунту, гідрологічних умов та структури ґрунту. Для запобігання розмивів дно та відкоси каналів, лотків та інших каналів дренажної системи зміцнюють [21].

Формування бокових упорів щебеневого дорожнього покриття.

По закінченні планування та ущільнення земляного полотна відновлюється порушена розмітка дороги. Потім виконується підсипка узбіччя. Основне призначення узбіччя технологічних дорогах – утворення бокового упору для дорожнього покриття, так як щебінь малов'язучий матеріал.

Крім того, при ремонті покриття на узбіччях складають матеріал, а іноді використовують їх і для руху, тому вони повинні бути достатньо міцними.

На практиці устрій узбіччя рекомендується виконувати наступним чином. На спланованому та ущільненому земляному полотні вздовж межі майбутньої проїзної частини помічають місця розвантаження автомобілів з розрахунку заповнення повного об'єму узбіччя. Для формування узбіччя у вигляді рівних смуг виконується зрізка породи бульдозером. Потім бульдозер із поворотним відвалом або автогрейдером зрізає центральну смугу по осі проїзної частини. Таким чином, утворюється “корито”, в яке звозиться і укладається щебінь, необхідний для устрою дорожнього покриття (рис. 3.2).

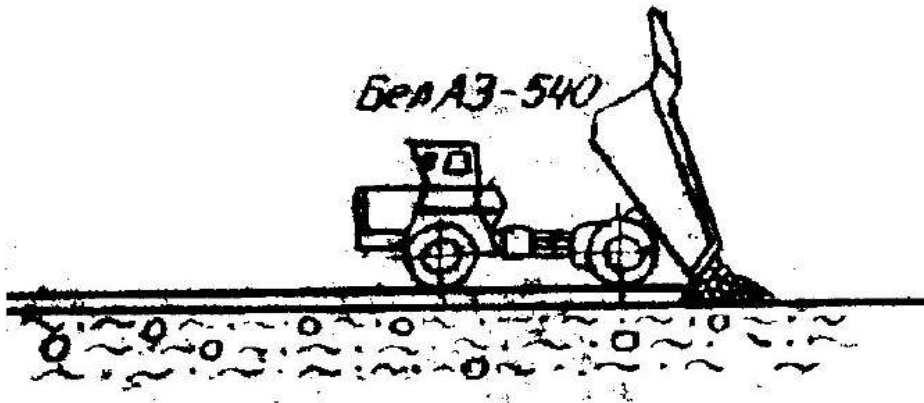
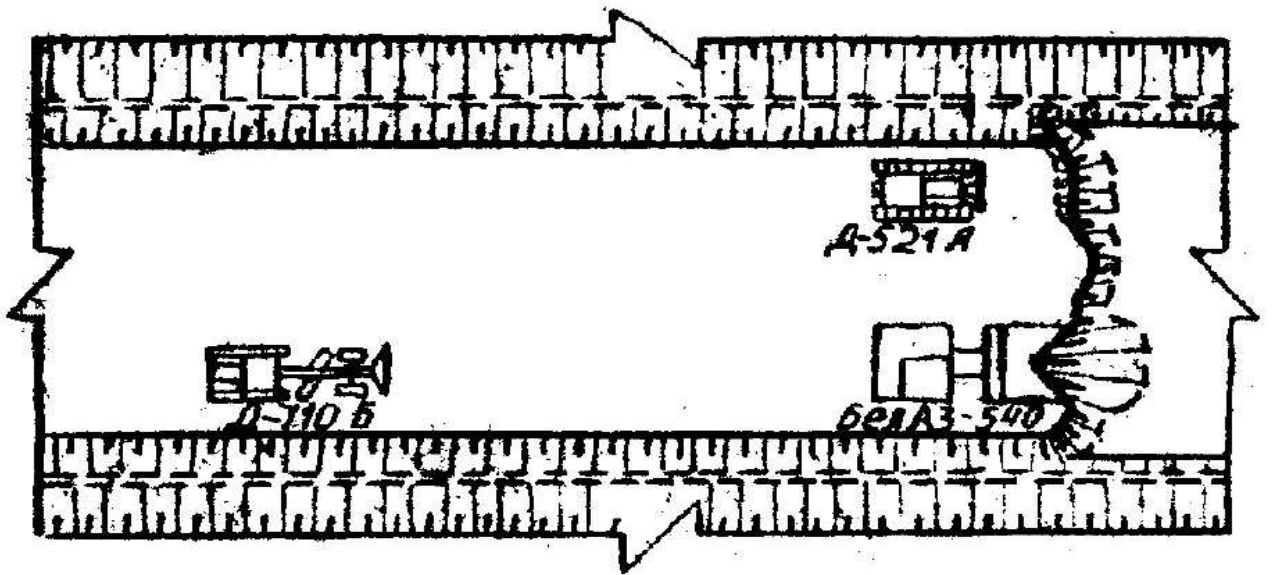


Рис. 3.2. Формування щебеневого шару

Формування конструктивних шарів дорожнього покриття.

орожнє покриття формується зі щебеню, який укладається шарами заданої товщини [54]. Основними технологічними операціями при цьому є розподіл знайденої розрахунковим шляхом кількості щебеню на поверхні проїзної частини дороги та ущільнення кожного шару.

Об'єм щебеню $V_{щ}$, необхідного для укладки шару дорожнього покриття, визначають за формулою:

$$V_{щ} = ШL_{д}h_{ук}k_y, \quad (3.8)$$

де $Ш$ – ширина проїзної частини дороги, м;

L_0 – довжина ділянки дороги, м;

$h_{ш}$ – товщина шару дорожнього покриття, м;

k_y – коефіцієнт ущільнення матеріалу.

Коефіцієнт ущільнення щебеню з міцних порід частіше приймається рівним 1,2. В процесі виконання дорожніх робіт цей коефіцієнт уточнюється в відповідності до специфіки місцевих умов. Виходячи з вантажопідйомності автомобіля, який транспортує щебінь, визначають кількість місць розвантаження на трасі. Для розрівнювання щебеню і утворення шарів заданої товщини використовуються бульдозери і автогрейдери, які забезпечують оформлення поперечного профілю проїзної частини автошляхів. Укладка щебеню тонкими шарами може проводитись за допомогою існуючих в кожному кар'єрі (відвальному господарстві) причіпних або самохідних пристроїв. При цьому важливо враховувати коефіцієнт ущільнення матеріалу, що накладається. Для кращого ущільнення покриття великої товщини щебінь слід накладати пошарово.

В процесі ущільнення необхідно чітко ув'язувати технологію устрою суміжних шарів, так як при переущільненні поверхні нижнього шару не забезпечується необхідне його зчеплення з матеріалом покриваючого шару. Небезпека переущільнення збільшується при використанні щебеню з м'яких гірських порід та високого питомого тиску катка на матеріал.

Кам'яні матеріали для конструктивних шарів дорожнього одягу підбираються по зниженню зверху вниз їх міцності, згідно з існуючими закономірностями зниження з глибиною напружень, що виникають у ньому при русі автомобіля. Відношення міцності у сусідніх шарах слід витримувати в межах 1,5-3.

Для нормального формування шарів дорожнього покриття найбільший розмір фракції щебеню не повинен перевищувати 0,85 товщини шару. Перед укладкою дорожнього покриття трасу потрібно очистити від снігу, льоду та зайвих предметів. Щебінь не повинен містити снігу та льоду. Товщина

накладеного за один прийом шару щебеню повинна відповідати масі катків та не перевищувати 20 см (рис. 3.3).

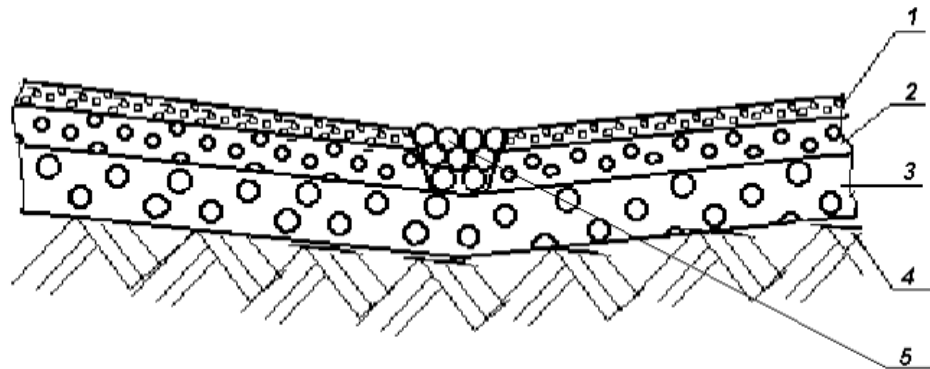


Рис. 3.3. Конструкція не жорсткого дорожнього покриття:

- 1 – монолітний шар товщиною 20 см;
- 2 – шар перерозподілу напружень товщиною 40 см;
- 3 – дренажний шар товщиною 60 см;
- 4 – підсилюючий шар, або скельна основа;
- 5 – дренажна канава.

Як видно з рис. 3.3, формуються наступні конструктивні шари:

1. Покриття – це один або декілька верхніх, переважно монолітних шарів, які безпосередньо сприймають навантаження від коліс автомобілів і дії природних факторів. Покриття повинні бути досить міцними, зносостійкими, водонепроникними, рівними і жорсткими. Покриття включає до свого складу шар зносу, який періодично стирається та відновлюється в період експлуатації. На покриттях, які не мають достатньої водонепроникності, влаштовують тонкі захисні шари, оброблені за допомогою в'язучих речовин;

2. Основа одягу – це один або декілька шарів, які забезпечують перерозподіл напружень, що виникають на поверхні дороги, на значно більшу площу, суттєво зменшуючи за рахунок цього їх рівень в зоні подошви цих шарів, тобто, основною характеристикою одягу є його розподільча

здатність. Якщо основа одягу складається з декількох шарів, то верхній з них доцільно влаштовувати з більш міцних матеріалів;

3. Підстиляючий шар – це один або декілька шарів, які, одночасно з подальшим розподілом напружень і створенням сприятливих умов передачі їх земельному полотну, можуть виконувати інші важливі функції: дренажні, вирівнювальні, морозозахисні та ін. Залежно від виконуваних функцій шари можна влаштовувати з різних матеріалів, але за умови виконання вимог достатньої їх міцності на зсув. Підстиляючі шари наносять безпосередньо на земляне полотно, попередньо ущільнене й сплановане [54].

Ущільнення земельного полотна та щебених шарів.

Необхідна міцність та довговічність дорожнього одягу досягається ущільненням шарів щебеню. Ущільнення є заключною й відповідальною операцією. Вона не передбачає великих витрат, так як не потребує матеріалів, але може знизити продуктивність праці й темпи робіт по улаштуванню доріг.

Ущільнення частіше за все здійснюється способом прокатки. Використання для прокатки автомобілів, які перевозять вантаж, при інтенсивному їх русі та регулюванні його по всій ширині проїзної частини є досить ефективним, але не забезпечує остаточно необхідного ущільнення.

На ущільнення шарів витрачається близько 30 % від усіх витрат на влаштування технологічних автомобільних доріг загального користування. При цьому потрібно забезпечувати значний питомий тиск. В даних умовах рекомендується використовувати моторні катки з жорсткими вальцями, які можуть розвивати тиск до 65-75 кгс/см². Жорсткі вальці поділяються на гладкі, решітчасті, ребристі та кулачкові. По дії на ущільнювальний матеріал розрізняються статистичні та вібраційні катки з жорсткими вальцями. В певних умовах можуть бути застосовані як самохідні, так і причіпні катки. Самохідні катки більш маневрені та зручні з точки зору організації робіт. Причіпні катки конструктивно прості та мають невисоку вартість.

При устрої автошляхів на горизонтах з рихлими породами для ущільнення земляного полотна найбільш ефективним є застосування катків на пневматичних шинах, особливо для ущільнення в'язких ґрунтів. Катки на пневматичних шинах забезпечують максимальний контактний тиск до 15-18 кгс/см². Тому вони застосовуються в тих випадках, коли граничний опір матеріалів ущільнення є невеликим, але матеріал проявляє в'язку властивість, що потребує тривалих навантажень. Значна площа контакту пневматичних шин з поверхнею забезпечує більш тривалу їх дію, ніж катків з жорсткими вальцями.

Разом з тим, катки на пневматичних шинах можуть застосовуватися на першій стадії ущільнення шарів з кам'яних матеріалів. Для забезпечення якісного ущільнення матеріалу, тиск від пневматичних шин повинен бути не меншим величини опору матеріалу ущільненню. Технологія ущільнення одношарових і двошарових щебневих одягів різна. В двошарових покриттях при ущільненні нижнього шару необхідно забезпечити як зчеплення його з верхнім шаром, так і монолітність усієї конструкції. Тиск, який повинен забезпечувати каток, можна розрахувати за формулою.

$$q = 5 \cdot c_m \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi_T / 2) \quad (3.9)$$

де c_m – зчеплення матеріалу, кгс/см²; φ_T – кут внутрішнього тертя, град.

Перші проходки катків доцільно виконувати при заниженому тиску повітря в шинах, а потім його рекомендується поступово підвищувати.

При виборі катків враховують наступні фактори:

1. Тиск від катка не повинен перевищувати допустимого тиску на нижній шар для запобігання його випирання;
2. Тиск на шар, що ущільнюється повинен бути обмеженим за умов граничних пластичних деформацій;

3. У процесі ущільнення не повинне мати місце роздавлювання часток матеріалу, для чого слід обмежувати масу катка.

Характеристика матеріалів, необхідних для будівництва технологічної автомобільної дороги загального користування представлена у додатку Д.

Ущільнення нижнього шару відбувається в два прийоми: спочатку стискування, потім – ущільнення. Ущільнення верхнього шару здійснюють в три прийоми (рис. 3.4): стискування, обкочування та остаточне ущільнення з розклинцюванням.

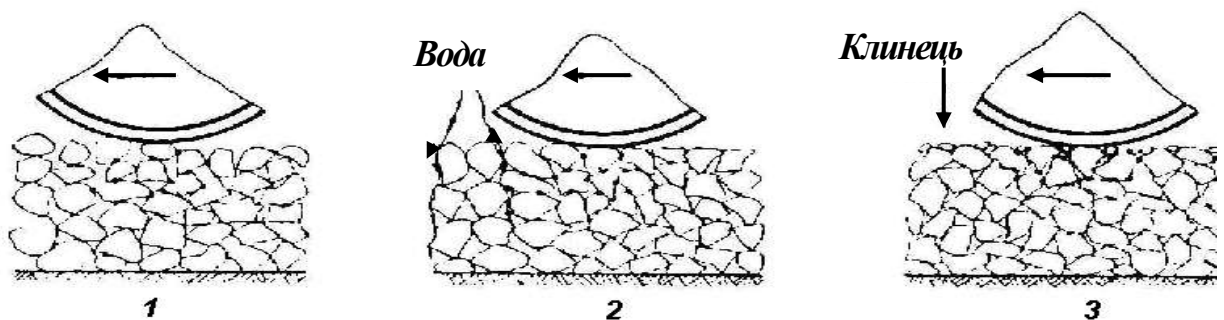


Рис. 3.4. Технологія ущільнення верхнього шару щебеневого покриття:

1–стискування;

2–обкочування;

3–остаточне ущільнення з розклинцюванням

Катки для ущільнення слід вибирати з урахуванням характеристик кам'яного матеріалу та технології ущільнення шарів. Міцність шару в міру його ущільнення зростає, тому маса катка та питомий тиск, який він створює, з переходом від одного технологічного прийому до іншого повинні поступово зростати. У першій фазі ущільнення проходить найбільш значне переміщення щебеню; опір шару невеликий, що дозволяє використовувати легкі катки 3-6 т. [32].

Технічна характеристика сучасних вітчизняних вібраційних катків, які застосовуються при ущільненні шару щебеневого покриття на технологічних дорогах представлена також у додатку Д(табл. Д.11).

Для зниження опору взаємодії кусків щебеню і забезпечення затвердіння природного цементу (кам'яної муки, що утворюється при ущільненні) на початку другого періоду шар, що ущільнюється, поливають водою. Витрата води, що забезпечує зволоження всього шару щебеню, залежить від його класу і зростає для осадових порід. Норма витрати води – 15-25 л/м².

В третьому періоді ущільнення виконується розклинцювання щебеню в шарі. Для цього на поверхню шару наносять клинець завбільшки 10-15 мм, який заповнює порожнечу між частками щебеню і розклинює їх. Витрата клинця складає 1,5-2 м³ на 100 м² поверхні проїзної частини дороги. Для розклинцювання щебеню використовують катки вагою 10-15 т. На початку третього періоду ущільнення щебінь поливають водою, витрачається 10-12 л/м². Мета поливу та ж, що і в другому періоді. Кількість проходів катка не повинна перевищувати 10-15. У випадку слабого розклинцювання щебеню необхідно додатково нанести на його поверхню кам'яну крупу завбільшки 3-10 мм та кам'яні висівки розміром 3-5 мм.

При ущільненні нового профілю дорожнього покриття дуже важливо дотримуватися технології послідовного виконання робіт (рис. 3.5) [11].

Ущільнення і укочування слід починати від осі дороги, як це показано на рис. 3.5. При першому проході каток повинен обробити середину смуги руху. Наступні проходи катку повинні перекривати попередні на 1/3 ширини вальця. В зоні узбіччя кількість проходів катка повинна бути меншою, а по мірі наближення до осі дороги – більшою.

Ступінь ущільнення необхідно ретельно контролювати. Важливо слідкувати за тим, щоб не було “перекату”, при якому спостерігається інтенсивне руйнування щебеню поверхневого шару. Коли в процесі ущільнення при черговому проході каток не залишає сліду та щебінь, кинутий під каток, руйнується, ущільнення слід вважати закінченим.

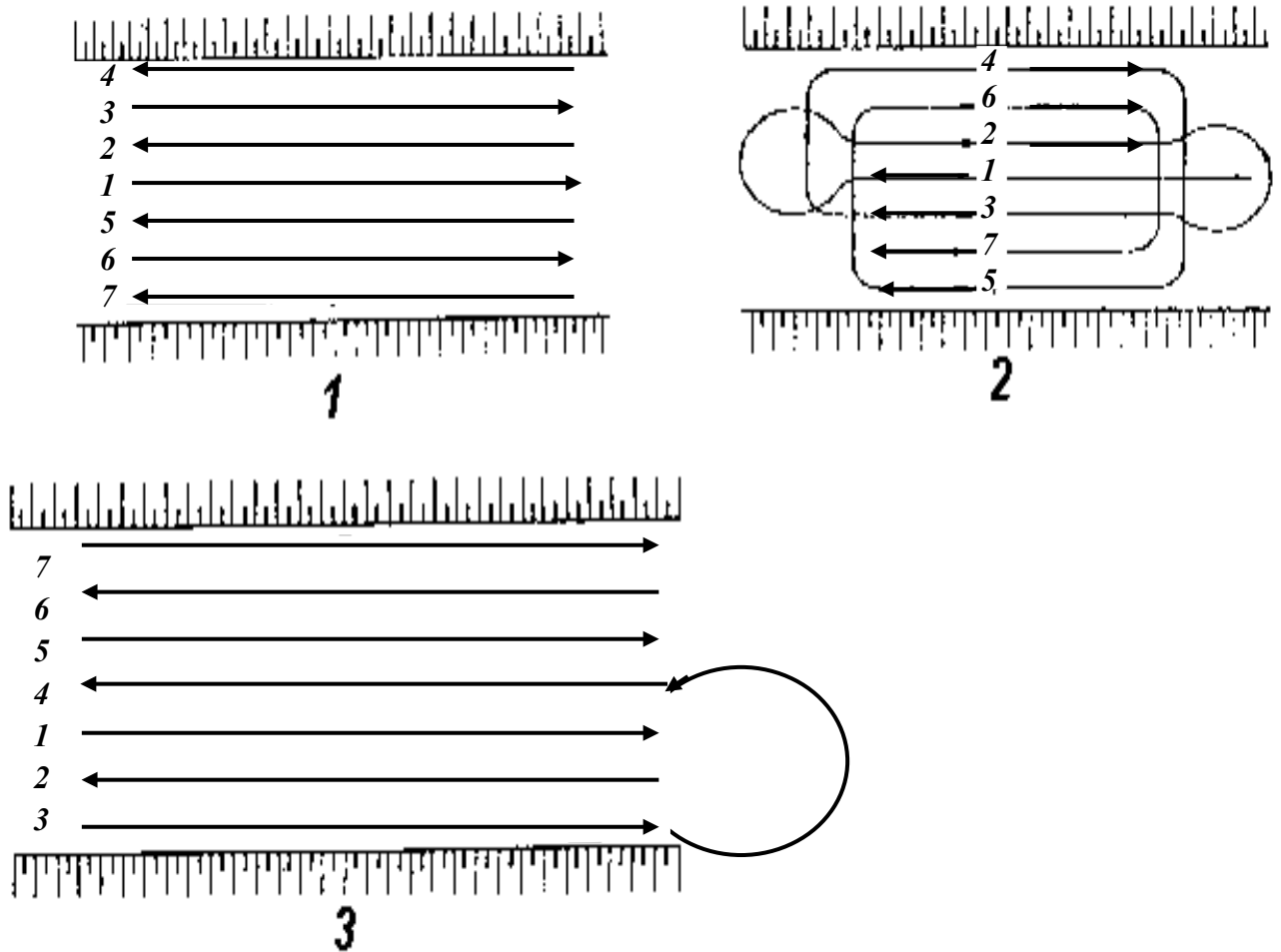


Рис. 3.5. Схеми руху катків при ущільненні дорожнього одягу:

1 – човникова; 2 – кільцева; 3 – комбінована.

Просадки верхнього шару утворюються внаслідок недостатнього ущільнення шарів, що лежать нижче, при використанні неоднорідних по міцності та розмірності кам'яних матеріалів. Їх ліквідують додатковою підсіпкою щебеню та ущільненням.

Причинами хвилеутворення на поверхні можуть бути: неоднорідність властивостей щебеню в шарі, хвилі на поверхні шару, що лежить нижче, або невідповідна, надмірна вага катка.

Для виправлення руйнування щебеню зі слабких кам'яних матеріалів і кращого його ущільнення доцільно використовувати катки на пневматичних шинах, які мають менший питомий тиск [11].

При облаштуванні транспортних комунікацій тривалого використання може бути доцільним покриття смуг дороги, які відповідають сталим траєкторіям руху коліс автомобіля, залізобетонними дорожніми плитами (рис. 3.6).

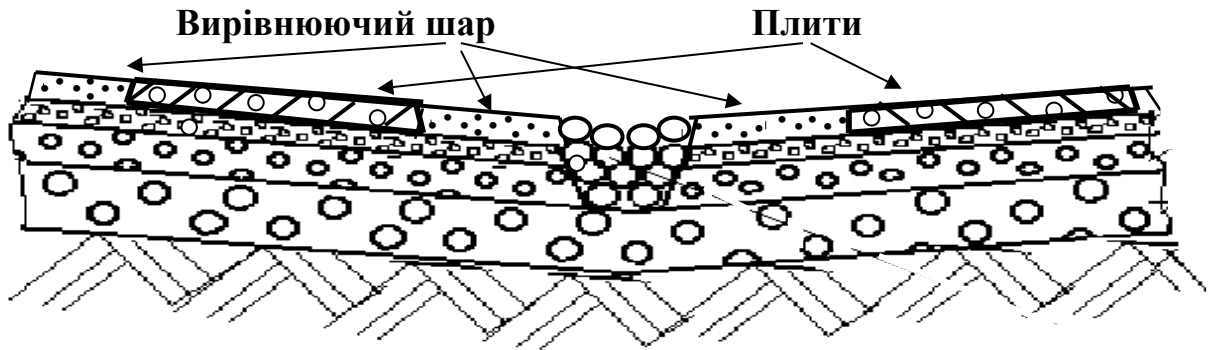


Рис. 3.6. Конструкція технологічної дороги з покриттям смуг руху коліс автомобіля залізобетонними плитами.

Цей захід багаторазово підвищить термін експлуатації дороги, скоротить витрати на поточне відновлення дорожнього покриття і суттєво покращить показники роботи автомобілів, особливо по зносу шин.

Самі ж плити можуть бути використані багаторазово, так як їх монтаж і демонтаж є досить простим.

3.4. Методика організації досліджень студентів автотransпортного профілю технологічних характеристик доріг

Метою дослідницької роботи було створення методики організації досліджень студентів впливу поперечного профілю технологічних автомобільних доріг загального користування на оптимізацію режиму роботи автомобілів.

На цьому етапі роботи взяли участь 4 студента групи ПТ-20.

Програму було створено на основі чинних навчальних програм, методичних рекомендацій з викладання дисциплін автосправи та педагогічного досвіду [35] (див. табл. 3.1).

Під час роботи ми намагалися:

- замотивувати студентів до навчання на заняттях з автосправи,
- формувати в студентів знання з впливу поперечного профілю технологічних автомобільних доріг загального користування на оптимізацію режиму роботи автомобілів,
- активізувати пізнавальну діяльність студентів у напрямі дослідження впливу поперечного профілю технологічних автомобільних доріг загального користування на оптимізацію режиму роботи автомобілів.

Таблиця 3.1

**Програма апробації методики організації досліджень студентів
автотранспортного профілю технологічних характеристик доріг під час
вивчення дисципліни
«Експлуатація і ремонт транспортних машин»**

Тема	Вид заняття	К-сть годин
Основні параметри дороги для пересування транспортних машин. Технологія будівництва доріг для транспортних машин.	Лекція	2
Розрахунок сил тиску транспортної машини на поверхню ґрунту.	Лабораторна робота	2
Основні параметри дороги для пересування транспортних машин. Технологія будівництва доріг для транспортних машин.	Лабораторна робота	2
<i>Усього</i>		6

Було виявлено, що в результаті засвоєння цієї теми студенти мають *знати*: основні параметри дороги для пересування транспортних машин, технологію будівництва доріг для транспортування машин, види матеріалів для будівництва доріг, типи покриття дороги, сили тиску на поверхню ґрунту, вплив поперечного профілю дороги.

По закінченню роботи студенти повинні *вміти*: розрізняти типи покриття дороги, розраховувати сили тиску транспортної машини на поверхню ґрунту.

З метою засвоєння студентами зазначених знань, розроблено зміст лекції (див. Додаток Е).

З метою формування практичних умінь та навичок студентів розроблено та апробовано дві лабораторні роботи. Їх зміст представлено в додатку Ж.

Методика була впроваджена в освітній процес та позитивно оцінена студентами та викладачами.

Дослідницька робота з апробації методики організації досліджень студентів впливу поперечного профілю технологічних автомобільних доріг загального користування на оптимізацію режиму роботи автомобілів проводилась упродовж 2021-2022 н. р. на базі факультету дошкільної та технологічної освіти Криворізького державного педагогічного університету, вона охопила 4 студента групи ПТ-20. Про результативність роботи ми робили висновки за наступними ознаками:

- підвищення інтересу дослідницької групи до занять автосправою;
- сформованість знань з теми;
- сформованість практичних умінь та навичок з проведення досліджень впливу поперечного профілю технологічної автомобільної дороги загального користування.

Рівень інтересу студентів до запропонованої нами теми методики оцінювався за результатами анкетування та фронтального опитування.

Анкета

1. Чи подобається Вам навчатись за профілем «Транспорт»?

А. Так Б. Ні В. Майже Г. Не можу

визначитись

2. Чи не є застарілим зміст дисциплін, які вивчаються?

А. Так Б. Ні В. Майже Г. Не можу

визначитись

3. Чи достатньо годин виділяється на вивчення дисциплін?

А. Так Б. Ні В. Майже Г. Не можу

визначитись

4. Чи маєте Ви бажання займатись дослідницькою роботою, спираючись на досвід інших студентів старших курсів у транспортній галузі?

А. Так Б. Ні В. Майже Г. Не можу

визначитись

5. Чи змінили б Ви методику проведення занять?

А. Так Б. Ні В. Майже Г. Не можу

визначитись

Зокрема, під час фронтального опитування студенти відзначили, що їх дуже мотивує дослідницька робота студентів старших курсів, завдяки цьому збільшується бажання займатись власною дослідницькою роботою. Кількісні результати апробації представлено у вигляді таблиці табл. 3.2 та діаграми рис. 3.7.

Таблиця 3.2

Рівень інтересу студентів до занять за профілем «Транспорт»

	До апробації		Після апробації	
	К-сть	%	К-сть	%
Низький	-	-	-	-
Середній	3	75,0	2	50,0
Високий	1	25,0	2	50,0

Аналіз даних табл. 3.2 показує, що студентів за результатами апробації з високим рівнем інтересу стало на 25% більше, відповідно кількість студентів з середнім рівнем зменшилась на 25%.

Для оцінки рівня якості знань студентів було розроблено критерії (див. табл. 3.3).

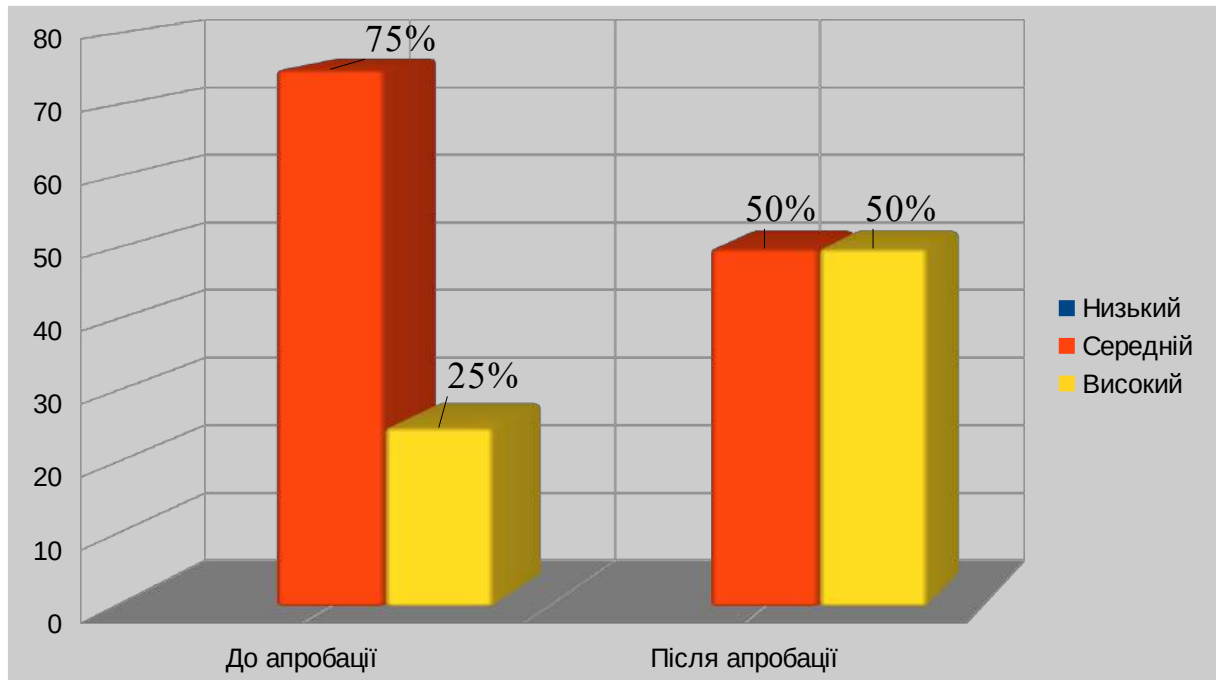


Рис. 3.7. Динаміка рівня інтересу студентів за результатами апробації

Таблиця 3.3

Рівень якості знань студентів до занять за профілем «Транспорт»

Рівень	Ознаки рівня
Низький	Відповіді студента уривчасті, характеризуються початковим уявленням про предмет вивчення; процес навчання цих студентів відбувається під примусом і контролем з боку викладача; аналіз розумових операцій, синтез та розвиток навичок дослідження слабкий; інтерес до транспортного профілю слабкий; студенти не виконують самостійних досліджень.
Середній	Учень знає і вміє відтворювати основні факти, явища, розв'язувати типові завдання, ставити і проводити найпростіші досліди, використовує наявне обладнання; володіє елементарними навичками навчальної та дослідницької діяльності; виявляє епізодичний інтерес до транспортного профілю.
Високий	Характеризується наявністю сформованих професійних мотивів, глибокі знання, які студент може вибірково актуалізувати. На цьому рівні студенти здатні до технічної творчості, а також беруть активну участь у дослідницькій роботі.

Результати якості знань подані подані у табл 3.4.

За результатами апробації методики організації досліджень студентів впливу поперечного профілю технологічних автомобільних доріг загального користування на оптимізацію режиму роботи автомобілів спостерігається позитивна динаміка, а саме: на 25% збільшилась кількість студентів з високим рівнем, за рахунок зменшення на 25% студентів з середнім рівнем.

Таблиця 3.4

Рівень якості знань студентів на заняттях за профілем «Транспорт»

	До апробації		Після апробації	
	К-сть	%	К-сть	%
Низький	-	-	-	-
Середній	3	75,0	2	50,0
Високий	1	25,0	2	50,0

Також динаміку показано на діаграмі рис. 3.8.

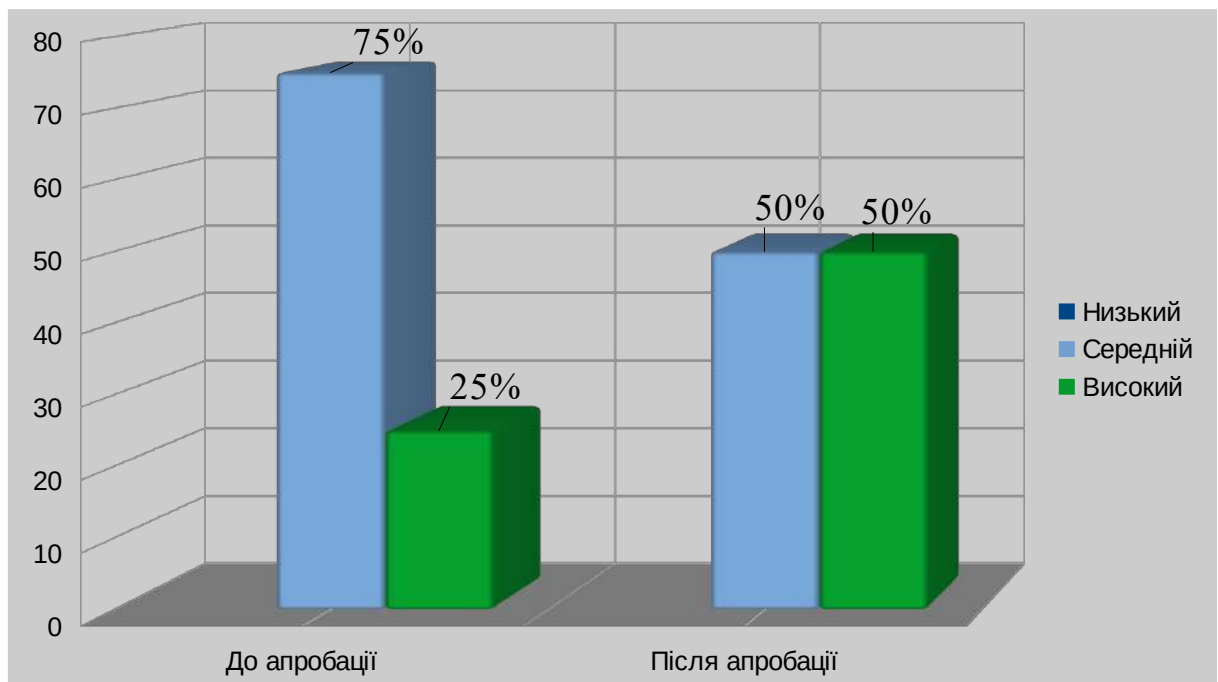


Рис. 3.8. Динаміка рівня якості знань студентів на заняттях за профілем «Транспорт»

За результатами апробації дозволяється вважати розроблену методику організації досліджень студентів впливу поперечного профілю технологічних автомобільних доріг загального користування на оптимізацію режиму роботи автомобілів успішною та результативною.

Висновки до розділу 3

1. Тягово-швидкісна характеристика двигуна показала, що зменшення коефіцієнту опору кочення суттєво впливають на підвищення експлуатаційної швидкості автомобіля.

2. Зменшення коефіцієнту опору кочення також дасть можливість поліпшити режим роботи автомобіля.

3. Запропонована технологія будівництва ввігнутого поперечного профілю технологічної автомобільної дороги загального користування з удосконаленим полегшеним покриттям містить в собі якісне виконання ряду послідовних операцій, а саме: підготовці земляного полотна, влаштування узбіччя, пошаровим укладанням частин дорожнього покриття, оформленням поперечного профілю проїзної частини та ущільненням.

4. Укладка дорожнього покриття повинна проводитись пошарово з ретельним дотриманням технології ущільнення матеріалу конструктивних шарів та напрямків руху катків.

5. Дослідницька робота, що відбувалась впродовж 2021-2022 н. р. забезпечила мотивацію студентів транспортного профілю до занять, сформувала в студентів знання з теорії та методики досліджень впливу поперечного профілю технологічних автомобільних доріг загального користування на оптимізацію режиму роботи автомобілів.

6. Було розроблено та апробовано показники якості засвоєння теми «Основні параметри дороги для пересування транспортних машин. Технологія будівництва доріг для транспортних машин», вимоги до кінцевих

результатів вивчення, зміст однієї лекції та двох лабораторних робіт. Спираючись на те, що під час апробації методики спостерігалось зростання інтересу студентів транспортного профілю до занять; сформованості знань, умінь та навичок, ми дійшли до висновку, що вона доцільна та ефективна.

Результати дослідження та методичне забезпечення можуть бути використані в системі професійної підготовки фахівців транспортного профілю.

ВИСНОВКИ

У роботі розроблено технологію будівництва технологічних автомобільних доріг загального користування з використанням математичного моделювання та методу її використання в освітньому процесі на технолого-педагогічних факультетах.

1. На підставі проаналізованих аналітичних та чисельних методів та їх моделюванням на еквівалентних матеріалах, нами було прийнято використовувати саме МГЕ (метод граничних елементів) через його переваги, а саме:

- МГЕ охоплює широкий спектр фізичних проблем;
- розв’язок повністю безперервний по всьому тілу;
- Завдяки безперервності рішення можна знайти значення змінних у будь-якій заданій внутрішній точці.

Зокрема, у ході дослідження було виявлено, що колесо, рухаючись уздовж увігнутого поперечного профілю дороги деформується в передній частині колеса менше порівняно з опуклим профілем дороги, оскільки кут поперечного профілю дороги зменшує крутний момент опору кочення і допомагає колесу рухатися відносно своєї осі, при цьому пляма контакту вже схожа на правильний еліпс, а саме це і підтверджує значне зниження опору під час кочення колеса, так як сили, що виникають у плямі контакту, прямопропорційні навантаженню на саме колесо. Підтверджено доцільність дослідження впливу поперечного профілю автомобільної дороги.

2. У результаті чисельного моделювання методом граничних елементів виявлено, що у технологічній автомобільній дорозі загального користування з увігнутим поперечним профілем спостерігаються найменші вертикальні напруження, а повздовжні та дотичні напруження максимально наближені до дороги з рівним профілем. Це свідчить про те, що доцільно використовувати увігнутий поперечний профіль технологічної дороги загального користування для зменшення деформації шини автомобіля, а значить – і

коефіцієнт опору кочення. Це дасть можливість знизити витрати на паливо-мастильні матеріали та спрацювання шин.

3. У роботі представлена технологія будівництва ввігнутого поперечного профілю технологічної автомобільної дороги загального користування з чіткою послідовністю ряду операцій. Дорога з ввігнутим поперечним профілем дає можливість зменшити опір кочення, що позитивно впливає на експлуатаційну швидкість автомобіля та на його режим роботи.

4. Розроблено методичку організації досліджень студентів впливу поперечного профілю технологічних автомобільних доріг загального користування на оптимізацію режиму роботи автомобілів у межах курсу «Експлуатація та ремонт транспортних машин» під час вивчення теми «Основні параметри дороги для пересування транспортних машин. Технологія будівництва доріг для транспортних машин» (6 год.) та констатовано доцільність. Спираючись на те, що під час апробації методички спостерігалось зростання інтересу студентів транспортного профілю до занять; сформованості знань, умінь та навичок, ми дійшли до висновку, що вона доцільна та ефективна.

Отримані дані підтверджують, що в процесі дослідження досягнуто мети, завдання виконано.

Результати дослідження можуть бути використані в практиці навчання студентів транспортного профілю на технологічно-педагогічних та інженерно-педагогічних спеціальностях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизована система обслуговування гранично-елементних розрахунків. Київ, 2016. 252с.
2. Автомобили. Качение колеса. Термины и определения. ГОСТ17697-72.
3. Антоненко І. І., Перга С. М. Технічна механіка : Навчальний посібник. Кривий Ріг, КДПУ. 2017. 96 с.
4. Атаманчук П. С., Мендерецький В. В., Панчук О. П., Чорна О. Г. Безпека життєдіяльності (теоретичні основи) : Навчальний посібник. Кам'янець-Подільський : Буйницький О.А., 2018. 108 с.
5. Балабін І. В., Пугін В. А. Автомобільні та тракторні колеса. Харків : ХНАДУ, 2015. 335 с.
6. Белятынский А. А., Василенко Л. В., Романюха А. М. Проектирование автомобильных дорог с учетом экономии энергоресурсов. К. : Будівельник, 2015. 104с
7. Бенерджи П., Баттерфилд Р. Метод граничных элементов в прикладных науках / Пер. с англ. К : Вища школа, 2016. 424 с.
8. Беспалов Н. А., Шелюбський Б. В. Дорожно-будівельні машини (організація робіт і експлуатації). К. : Будівельник, 2015. 184 с.
9. Бреббіа К., Уонерс Д. Застосування методу граничних елементів в техніці / Пер. С англ. Л. Г. Корнейчука; ред. Е. І. Григолюка. К. : Вища школа, 2016. 247 с.
10. Ванцевич В. В., Высоцкий М. С., Дубовик Д. А. Управление трансмиссией. Регулирование мощности в двигателе как средство управления динамикой колесных машин. Автомобильная промышленность. 2016. №1. С. 10–12.
11. Васильев А. П. Проектування доріг з урахуванням впливу клімату на умови руху. Харків : Транспорт, 2017. 248 с

12. Васильев А. П. Стан доріг та безпека руху автомобілей в складних погодніх умовах. Харків : Транспорт, 2016. 244 с.
13. Вольская Н. С. Оцінка проходимості колісної машини при русі по нерівній ґрунтовій поверхні : Харків : ХНАДУ, 2017. 280 с.
14. Говорущенко М. Я., Варфоломеев В. Н. Экономическая кибернетика транспорта. Харьков : РИО ХНАДТУ, 2017. 218 с.
15. Долматовський Ю. А. Автомобіль під час руху. Харків : Транспорт, 2015. 159 с.
16. Доценко І. К., Шагомяло М. І. Автомобіль. К. : Вища школа, 2015. 329 с.
17. ДСТУ 2708-94. «Державна система забезпечення єдності вимірювань. Повірка засобів вимірювань. Організація і порядок проведення». Наказ Держстандарту №194 від 29.07.94. К. : Держстандарт України, 1994. 24 с. (Інформація та документація).
18. Дюво Г., Ліонс Ж. Л. Нерівності в механіці та фізиці. К : Вища школа, 2017. 172 с.
19. Есеновский-Лашков Ю. К., Котляренко В. И. Вездеходные транспортные средства для труднодоступной местности. Конверсия в машиностроении. 2018. № 4. С. 43-49.
20. Закон України про метрологію та метрологічну діяльність №113/98 - ВР.// Урядовий кур'єр №54., 21.03.98, 87-89с.
21. Заборницький В. Й., Аленіч М. Д., Кизима С. С. Транспортно-експлуатаційні якості автомобільних доріг : Навч. посіб. К. : ІСДО. 2018. 136 с.
22. Завсегдашній В. А. Про формування масивів цифрової моделі з заданим напрямком орієнтації. Кривий Ріг, 2015. 7 с.
23. Зімілев Г. В. Теорія автомобіля. Харків : ХНАДУ, 2019. 312 с.
24. История автомобиля. URL : <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D>

0%B8%D1%8F_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8F (Дата звернення: 2021).

25. Каньковський І. Є. Система підготовки інженерів-педагогів автотранспортного профілю : монографія. Хмельницький: ФОП Цюпак А. А., 2015. 562 с.

26. Кірпічов М. В. Теорія подібності. К. : Вища школа, 2015. 93 с.

27. Кнороз В. І., Кленніков Є. В. Шини та колеса. К. : Вища школа, 2017. 184с.

28. Кнороз В. І. Робота автомобільної шини. К. : Вища школа, 2017. 238 с.

29. Крауч С., Старфілд А. Методи граничних елементів в механіці твердого тіла / Пер. с англ. К : Вища школа, 2017. 328 с.

30. Метод граничних інтегральних рівнянь. Розрахункові аспекти та додатки в механіці. Ред. Т. Круз, Ф. Ріццо. К. : Вища школа, 2016. 270 с.

31. Метод кінцевих елементів в механіці твердих тіл. К. : Вища школа, 2015. 478 с.

32. Мигляченко В. П. Дорожньо-будівельні машини (Організація робіт і експлуатацій). К.: Лісн. пром-сть. 2018. 224 с.

33. Міхлін С. Г. Багатовимірні сингулярні інтегралі та інтегральні рівняння. К. : Вища школа, 2017. 254 с.

34. Міхлін С. Г., Смолицький Х. Л. Наближені методи віришування диференціальний інтегральних рівнянь. К. : Вища школа, 2018. 383 с.

35. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (транспорт)» для студентів напряму підготовки (спеціальності) 015.38 Професійна освіта / Філатов С. В. Кривий Ріг : КДПУ, 2020. 28 с .

36. Петрушов В. А., Московкін В. В., Євграфов А. Н. Потужнісний баланс автомобіля. Харків: ХНАДУ, 2014. 160 с.

37. Пірковський Ю. В., Бочаров Н. Ф., Шухман С. Б. Вплив конструктивних показників повнопривідних автомобілей на опір руху по в'язкому ґрунту. Харків : ХНАДУ, 2017. 73 с.

38. Платонов В. Ф. Повнопривідні автомобілі. Харків : ХНАДУ, 2016. 312 с.
39. Проект концепції Державної економічної програми розвитку легкового автомобілебудування на період до 2020 року (Схвалено Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 січня 2014 р. № 25-р) : URL : [http://zakonO.rada.gov.ua /laws/show/25-2014-p#n9](http://zakonO.rada.gov.ua/laws/show/25-2014-p#n9) (Дата звернення: 2021).
40. Протод'яконов М. М., Тедер Р. Н. Методика раціонального планування експериментів. К. : Вища школа, 2017. 76 с.
41. Робота автомобільної шини / Під ред. В. І. Кнороза. Харків : Транспорт, 2015. 238 с.
42. Сегерлінд А. Д. Застосування метода кінцевих елементів. Харків : Вища школа, 2015. 200 с.
43. Смірнов Г.А. Теорія руху автомобіля. Харків: Транспорт, 2016. 352 с.
44. Тарасік В. П. Теорія руху автомобіля: підручник для ВНЗ. К.: Вища школа, 2016. 478 с.
45. Теорія автомобіля : Підручник для автотранспортних технікумів / ред. В. А. Іларіонова. Харків : ХНАДУ, 2015. 270 с.
46. Теорія та конструкція автомобіля : Підручник для автотранспортних технікумів / В. А Іларіонов, М. М. Морін, Н. М. Сергеев та ін. Харків : ХНАДУ, 2015. 303 с.
47. Федоренко Р. П. Метод чисельного вирішення просторових задач с проскользанням та зчепленням. К. : Вища школа, 2016. 157 с.
48. Федоренко Р. П. Наближене вирішення задач оптимального рівняння. К. : Вища школа, 2016. 488 с.
49. Філатов С. В., Шкварла І. С. Оновлення змісту професійного навчання майбутніх інженерів-педагогів автотранспортного профілю. Матеріали міжнародної конференції «Професійна педагогіка і андрагогіка:

Актуальні питання, досягнення та інновації». Кривий Ріг: ДВНЗ КДПУ, 2017. С. 67-68.

50. Хачатуров А. А. Динаміка системи дорога – шина – водій. Харків : Транспорт, 2016. 535 с.

51. Ходовая часть автомобиля. Обнаружение и устранение неисправностей / ред. А. Н. Юрченко. Харьков : Вища школа; Изд-во при Харьковском университете, 2015. 120 с.

52. Чудаков Є. А. Кочення автомобільного колеса. Харків : Транспорт, 2015. 198 с.

53. Чудаков Є. А. Теорія автомобіля. Харків : Транспорт, 2015. 463 с.

54. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения : Учеб. пособие для ВТУЗов / И. И. Леонович, Н. П. Вырко, К. Ф. Шумчик, А. П. Лащенко. Мн. : Выш. шк., 2018. 348с.

55. Ярошевська В. М. Безпека життєдіяльності : Підручник. К. : ВД «Професіонал», 2016. 560 с.

Додатки

Додаток А

Диплом півфіналіста у міжнародному студентському кейс-чемпіонаті

Публікація

Торіна Влада Миколаївна,

асистент кафедри загальнотехнічних дисциплін
та професійного навчання
Криворізького державного педагогічного університету

Майфельд Дмитро Сергійович,

студент другого курсу магістратури
кафедри загальнотехнічних дисциплін
та професійного навчання
Криворізького державного педагогічного університету

ВИКОРИСТАННЯ МОДУЛЬНОГО ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ДИНАМІЧНОГО НАВЧАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ

Освіта одна з найважливіших соціальних інститутів, які виконують функції трансляції основної системи цінностей, норм, ролей від покоління до покоління, навчання певним знанням і вмінням, розвитку здібностей людей, самореалізації і творчості [2].

Кожна епоха вносить свої корективи до методики викладання. Використання дистанційних освітніх технологій – одна з основних тенденцій розвитку вищої освіти. Інформаційні та телекомунікаційні системи дозволяють зробити освіту доступною, незалежно від місця проживання, віку, соціального статусу та стану здоров'я [3].

Традиційно під дистанційним навчанням розуміють сукупність технологій, які забезпечують доступність студентам основного обсягу матеріалу, що вивчається, інтерактивна взаємодія студентів і викладачів у процесі навчання, надання їм можливості самостійної роботи з освоєння матеріалу, що вивчається, а також у процесі навчання [1]. Воно є невід'ємною частиною сучасного освітнього процесу. В основі лежить розробка навчального інформаційного середовища, що складається з комп'ютерних інформаційних джерел, електронних бібліотек, відео- та аудіотек, систем тестування та ін. Дане навчання надає унікальні можливості тим, хто

навчається для отримання знань, не тільки самостійно, а й під керівництвом викладачів. При створенні навчальних курсів акцент робиться на самостійну роботу студентів, з регулярними консультаціями викладачів.

До переваг дистанційного навчання можна віднести:

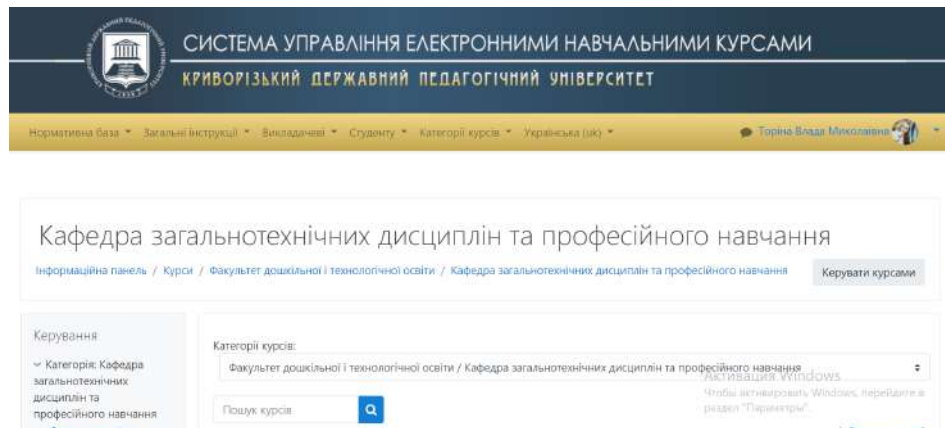
- навчання без відриву від основної роботи;
- зменшення витрат на навчання;
- зручний графік навчання, що дозволяє вчитися у зручний час, у психологічно комфортному, звичному середовищі;
- постійна інтерактивна взаємодія з викладачем у вигляді консультацій, перевірки контрольних робіт;
- доступ до інформаційних ресурсів віртуальних бібліотек [2].

Проблемою дистанційного навчання є підтримка мотивації студента протягом тривалого часу. Відсутність постійного розкладу, при невмінні планувати та контролювати свій час призводить до зниження часу, що виділяється на навчання, а можливість використовувати гнучкий графік навчання призводить до відкладання виконання завдань на потім. Також немає можливості розвитку комунікативних навичок, які розвиваються при «живому спілкуванні».

Одним із основних аспектів організації дистанційної освіти є створення електронного контенту, який представляє сукупність електронних курсів з окремих дисциплін. Для роботи з системою дистанційного навчання викладач повинен вміти працювати в операційній системі, володіти навичками роботи в інтернет-браузері, мати навички роботи в найбільш поширених текстових та графічних програмах, що становить деякі труднощі для викладачів старшого покоління[2].

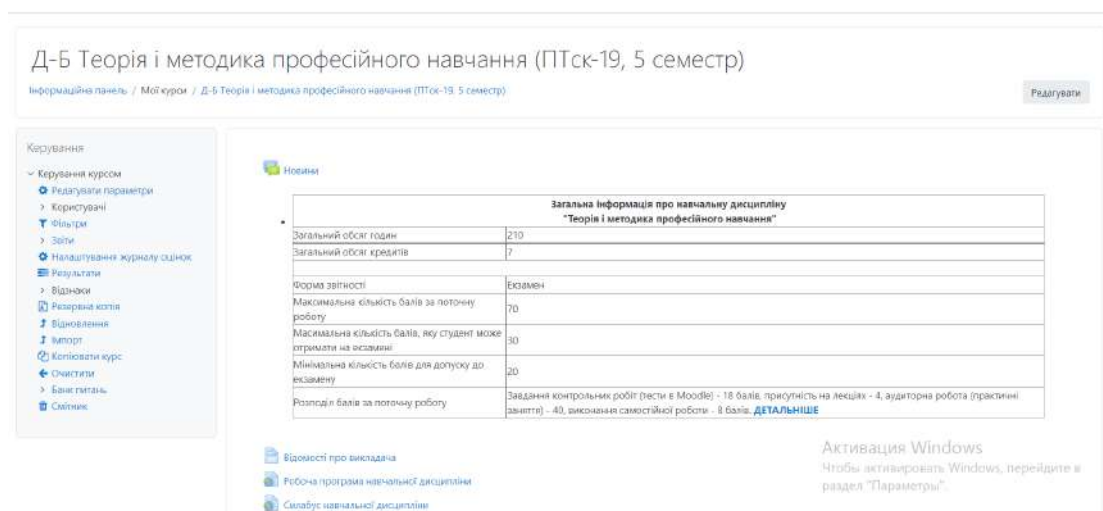
Для дистанційного навчання студентів на території України застосовується система Moodle (мал.1). Вона дозволяє інтегрувати навчання цілком у мережу, використовуючи веб-технології. Система дистанційного навчання Moodle складається із курсів. Кожен курс складено за певною програмою та подано на головній сторінці. Кожен курс складається з блоків, розміщених у

лівій та правій колонці, та основного змісту (модулів), що знаходиться в центрі



Мал.1. Система управління електронними навчальними курсами Криворізького державного педагогічного університету

сторінки. Блоки збільшують функціональність, інтуїтивність та простоту використання системи (мал.2).



Мал.1. Приклад оформлення електронного навчального курсу

В курсі встановлюється певний проміжок часу, коли студент може зайти на нього. Рекомендується кожне завдання розбивати на частини та в міру їх виконання надсилати викладачеві на перевірку. Виконавши практичну частину завдання студент отримує тест для захисту теоретичної

частини. Тести складені в такий спосіб, щоб перевірити знання не тільки з теоретичних визначень, а й мають прикладне практичне значення. На тести рекомендується відповідати поетапно протягом відведеного часу, після завершення певного етапу курсу.

Набрана кількість балів за правильні відповіді враховується під час складання заліків та іспитів.

Таким чином, студент зацікавлений правильно відповісти на тести та здати їх протягом семестру з усіх тем, що спрощує йому отримання заліку та складання іспиту. Він частіше і охоче спілкується з викладачем, вчасно виконує практичну частину завдань і отримує теоретичну підготовку.

Не дивлячись на те, що дистанційна освіта – дуже зручна та корисна, на даний момент переважає традиційна очна форма навчання, оскільки, як би не були розвинені інтернет-технології, живе людське спілкування перевершити досить важко, з урахуванням того, що не скрізь і всім доступні дані технології. Однак, для тих, хто здобуває додаткову освіту або підвищує свою кваліфікацію, дистанційна освіта переважно краща.

Література

1. Колос К.Р. Система Moodle як засіб розвитку предметних компетентностей учителів інформатики в умовах дистанційної післядипломної освіти : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук : спец. 13.00.10, „Інформаційно-комунікаційні технології в освіті” / К.Р. Колос. —К., 2011. —21с.

2. Михайлова Н.В. Электронная обучающая среда Moodle как средство организации асинхронной самостоятельной работы студентов вуза: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. пед. наук : спец. 13.00.01 “Общая педагогика, история педагогики и образования” / Н.В. Михайлова.— Оренбург, 2012. —23 с.

3. Про затвердження Положення про дистанційне навчання [Електронний ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України № 466 від

25.04.2013 р. — Режим доступу: [http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0703-](http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0703-13)

[13](#). — Назва з екрану.

Код програми розрахунків напружень методом граничних елементів.

```
PROGRAM MGE1;
USES CRT;
LABEL MITKA;
CONST PI=3.14156;E=2500;PR=0.5;
TYPE QWER=ARRAY[1..11] OF REAL;
      A22=ARRAY[1..100,1..100] OF REAL;
      B22=ARRAY[1..100] OF REAL;
      X22=ARRAY[1..100] OF REAL;
VAR   XM:ARRAY [1..50] OF REAL;
      YM:ARRAY [1..50] OF REAL;
      A:ARRAY [1..50] OF REAL;
      COSBET:ARRAY [1..50] OF REAL;
      SINBET:ARRAY [1..50] OF REAL;
      KOD:ARRAY [1..50] OF REAL;
      b:B22;
      C:A22;
      P:X22;
      EW:STRING;
JJ,L,N,NB,NE,NUMBE,M,MN,MS,NN,NS,I,J,KSVM,IS,IN1,JN,JS,
NUM,NUMBS,NPOINT,NUMOS,NUMP,NUMPB,NI:INTEGER;
PR1,PR2,PR3,CON,COND,XYM,YSYM,PXX,PYY,PXY,XBEG,YBEG,XE
ND,YEND,XP,YP,KODE,BVS,BVN,YD,XD,SW,SIZE,ANGLE,COSB,SIN
B,SIGN,SIGS,SIGT,xi,yi,COSBI,SINBI,XJ,YJ,COSBJ,SINBJ,AJ
,SXXS,SXXN,SYYS,SYYN,SXYS,SXYN,UXS,UXN,UYS,UYN,UX,UY,SI
GYY,SIGXX,SIGXY,US,UN,DELX,DELY,SXXS1,SXXN1,SYYS1,SYYN1
,SXYS1,SXYN1,UXS1,UXN1,UYS1,UYN1:REAL;
      FILE1,file2:text;
```

```

    QWER1:QWER;

    CC:CHAR;

    PROCEDURE INITL (VAR
SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS, UYN:REAL) ;

    BEGIN

    SXXS:=0;SXXN:=0;SYYS:=0;SYYN:=0;SXXS:=0;

    SXYN:=0;UXS:=0;UXN:=0;UYS:=0;UYN:=0;END;

    PROCEDURE

    COEFF (X, Y, CX, CY, A, COSB, SINB, MSYM, SXXS1, SXXN1, SYYS1, SYYN
1, SXYS1, SXYN1, UXS, UXN, UYS, UYN:REAL;

        VAR

    SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS1, UXN1, UYS1, UYN1:REAL)
;

    VAR

    SIN2B, XB, YB, PR, PR1, PR2, PR3, COS2B, R1S, R2S, FL1, FL2, FB1, FB
2,

    FB3, FB4, FB5, UXPS, UXPN, CON, COND, UYPS, UYPN, SXXPS, SXXPN, SY
YPS,

    SYYPN, SXYPS, SXYPN:REAL;

    BEGIN

    CON:=1 / ( 4*PI* ( 1-PR) ) ;

    COND:= ( 1+PR) /E;

    PR1:=1-2*PR;

    PR2:=2* ( 1-PR) ;

    PR3:=3-4*PR;

    COS2B:=COSB*COSB-SINB*SINB;

    SIN2B:=2*SINB*COSB;

    XB:= ( X-CX) *COSB+ ( Y-CY) *SINB;

    YB:=- ( X-CX) *SINB+ ( Y-CY) *COSB;

    R1S:= ( XB-A) * ( XB-A) +YB*YB;

```

```

R2S := (XB+A) * (XB+A) + YB*YB;
FL1 := 0.5 * LN (R1S) ;
FL2 := 0.5 * LN (R2S) ;
FB2 := CON * (FL1 - FL2) ;
IF YB <> 0 THEN FB3 := -CON * (ARCTAN ((XB+A) / YB) -
ARCTAN ((XB-A) / YB)) ELSE BEGIN
    FB3 := 0; IF ABS (XB) < A THEN FB3 := CON * 3.14; END;
    FB1 := YB * FB3 + CON * ((XB-A) * FL1 - (XB+A) * FL2) ;
    FB4 := CON * (YB / R1S - YB / R2S) ;
    FB5 := CON * ((XB-A) / R1S - (XB+A) / R2S) ;

UXPS := COND * (PR3 * COSB * FB1 + YB * (SINB * FB2 + COSB * FB3)) ;
    UXPN := COND * (-PR3 * SINB * FB1 - YB * (COSB * FB2 -
SINB * FB3)) ;
    UYPS := COND * (PR3 * SINB * FB1 - YB * (COSB * FB2 -
SINB * FB3)) ;
    UYPN := COND * (PR3 * COSB * FB1 -
YB * (SINB * FB2 + COSB * FB3)) ;
    SXXPS := FB2 + PR2 * (COS2B * FB2 -
SIN2B * FB3) + YB * (COS2B * FB4 + SIN2B * FB5) ;
    SXXPN := FB3 -
PR1 * (SIN2B * FB2 + COS2B * FB3) + YB * (SIN2B * FB4 - COS2B * FB5) ;
    SYYPSS := FB2 - PR2 * (COS2B * FB2 - SIN2B * FB3) -
YB * (COS2B * FB4 + SIN2B * FB5) ;
    SYYPNS := FB3 + PR1 * (SIN2B * FB2 + COS2B * FB3) -
YB * (SIN2B * FB4 - COS2B * FB5) ;
    SXYPS := PR2 * (SIN2B * FB2 + COS2B * FB3) + YB * (SIN2B * FB4 -
COS2B * FB5) ;
    SXYPN := PR1 * (COS2B * FB2 - SIN2B * FB3) -
YB * (COS2B * FB4 + SIN2B * FB5) ;

```

```

UXS1:=UXS+MSYM*UXPS;
UXN1:=UXN+UXPN;
UYS1:=UYS+MSYM*UYPS;
UYN1:=UYN+UYPN;
SXXS:=SXXS1+MSYM*SXXPS;
SXXN:=SXXN1+SXXPN;
SYYS:=SYYS1+MSYM*SYYPS;
SYYN:=SYYN1+SYYPN;
SXYS:=SXYS1+MSYM*SXYPS;
SXYN:=SXYN1+SXYPN;

END;

PROCEDURE SOLVE (A:A22;X:X22;B:B22;N:INTEGER;VAR
A1:A22;VAR X1:X22;VAR B1:B22);
VAR xm,sum:real;NB,J,JJ,I,L:INTEGER;
BEGIN
  NB:=N-1;
  FOR J:=1 TO NB DO BEGIN
    L:=J+1;
    FOR JJ:=L TO N DO BEGIN
      XM:=A[JJ,J]/A[J,J];
      FOR I:=J TO N DO A[JJ,I]:=A[JJ,I]-A[J,I]*XM;
      B[JJ]:=B[JJ]-B[J]*XM;
    END;
  END;
  X[N]:=B[N]/A[N,N];
  FOR J:=1 TO NB DO BEGIN
    JJ:=N-J;
    L:=JJ+1;
    SUM:=0;
    FOR I:=L TO N DO SUM:=SUM+A[JJ,I]*X[I];

```

```

        X[JJ] := (B[JJ] - SUM) / A[JJ, JJ];
    END;

    A1 := A; B1 := B; X1 := X;

end;

(*НАЧАЛО ПРОГРАММИ*)
BEGIN
ASSIGN(FILE1, 'A_KYB.txt');
ASSIGN(FILE2, 'DATA_KYB.txt');

    RESET(FILE2);

    REWRITE(FILE1);

    WRITELN(FILE1, 'Розрахунок напружень');
    WRITELN(FILE1, ' ');

    (*WRITELN('Введіть: NUMBS'); READ(NUMBS);
WRITELN('Введіть: NUMOS'); READ(NUMOS);
WRITELN('Введіть: KSYM'); READ(KSYM);
WRITELN('Введіть: XSYM'); READ(XSYM);
WRITELN('Введіть: YSYM'); READ(YSYM);
WRITELN('Введіть: PXX'); READ(PXX);
WRITELN('Введіть: PYY'); READ(PYY);
WRITELN('Введіть: PXY'); READ(PXY);*)
numbs:=4; numos:=2; ksym:=1; xsym:=0; ysym:=0; pxx:=0; pyy:=0
;рху:=0;

    WRITELN(FILE1, 'Число прямолінійних граничних
відрізків (кожний з них має не менш ніж один граничний
елемент) =', NUMBS);

    WRITELN(FILE1, 'Число інших відрізків (не на
границі) =', NUMOS);

    WRITELN(FILE1, 'Розташування віссі симетрії
X=XS=', XSYM);

```

```

WRITELN(FILE1, ' Розташування віссі симетрії
Y=YS=', YSYM);
WRITELN(FILE1, ' коефіцієнт Пуасона PR=', PR);
WRITELN(FILE1, ' модуль Юнга E=', E);
WRITELN(FILE1, ' XX- компонент поля напруження
PXX=', PXX);
WRITELN(FILE1, ' YY- компонент поля напруження
PYY=', PYY);
WRITELN(FILE1, ' XY- компонент поля напруження
PXY=', PXY);
CON:=1/(4*PI*(1-PR));
COND:=(1+PR)/E;
PR1:=1-2*PR;
PR2:=2*(1-PR);
PR3:=3-4*PR;
(*ВИЗНАЧУЄМО МІСЦЕПОЛАЖЕННЯ, РОЗМІРИ, ОРІЄНТАЦІЇ ТА
КОРДОННІ УМОВИ *)
(* ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ.*)
FOR N:=1 TO NUMBS DO BEGIN
READLN(FILE2, EW); VAL(EW, NUM, I);
READLN(FILE2, EW); VAL(EW, XBEG, I);
READLN(FILE2, EW); VAL(EW, YBEG, I);
READLN(FILE2, EW); VAL(EW, XEND, I);
READLN(FILE2, EW); VAL(EW, YEND, I);
READLN(FILE2, EW); VAL(EW, KODE, I);
READLN(FILE2, EW); VAL(EW, BVS, I);
READLN(FILE2, EW); VAL(EW, BVN, I);
YD:=(YEND-YBEG)/NUM;
XD:=(XEND-XBEG)/NUM;
SW:=SQRT(XD*XD+YD*YD);

```

```

FOR NE:=1 TO NUM DO BEGIN
  NUMBE:=NUMBE+1;
  M:=NUMBE;
  XM[M]:=XBEG+0.5*(2*NE-1)*XD;
  YM[M]:=YBEG+0.5*(2*NE-1)*YD;
  A[M]:=0.5*SW;
  SINBET[M]:=YD/SW;
  COSBET[M]:=XD/SW;
  KOD[M]:=KODE;
  MN:=2*M;
  MS:=MN-1;
  B[MS]:=BVS;
  B[MN]:=BVN;
END;
END;

WRITELN(FILE1, ' ');
WRITELN(FILE1, ' Дані границь елементів');
WRITELN(FILE1, ' ');
WRITELN(FILE1, 'ЕЛЕМЕНТ   KODE      X(центр)      Y(центр)
ДОВЖИНА           US      UN');
FOR M:=1 TO NUMBE DO BEGIN
  SIZE:=2*A[M];
  IF SINBET[M]=0 THEN ANGLE:=0 ELSE ANGLE:=90-
180*ArCTan(COSBET[M]/SINBET[M])/PI;
  WRITE(FILE1, '      ', M, ' ');
  WRITE(FILE1, '      ', KOD[M]:1:0, ' ');
  WRITE(FILE1, '      ', XM[M]:1:4);
  WRITE(FILE1, '      ', YM[M]:1:4);
  WRITE(FILE1, '      ', SIZE:1:4);
  WRITE(FILE1, '      ', ANGLE:4:2);

```



```

WRITE(FILE1, '      ', B[2*M-1]:1:4);
WRITELN(FILE1, '      ', B[2*M]:1:4);
END;

writeln(file1, ' ');

(* РЕГУЛЮЄМО ЗНАЧЕННЯ КОРДОНОК НАПРУГ, ЩОБ *)
(* ПОЯСНИТИ ПОЧАТКОВІ НАПРУГИ. *)

FOR N:=1 TO NUMBE DO BEGIN
    NN:=2*N;
    NS:=NN-1;
    COSB:=COSBET[N];
    SINB:=SINBET[N];
    SIGS:=(PYY-PXX)*SINB*COSB+PXY*(COSB*COSB-
SINB*SINB);
    SIGN:=PXX*SINB*SINB-
2*PXY*SINB*COSB+PYY*COSB*COSB;
    CASE ROUND(KOD[N]) OF
        1: BEGIN B[NS]:=B[NS]-SIGS; B[NN]:=B[NN]-
SIGN; END;
        3: B[NN]:=B[NN]-SIGN;
        4: B[NS]:=B[NS]-SIGS;
    END;
END;

(* ВИЧИСЛЮЮТЬСЯ КОЕФІЦІЄНТИ ВПЛИВУ, І ОСНОВУЄТЬСЯ
СИСТЕМА АЛГЕБРАЇЧНИХ *)
(* РІВНЯНЬ. *)

FOR I:=1 TO NUMBE DO BEGIN
    IN1:=2*I;
    IS:=IN1-1;
    XI:=XM[I];
    YI:=YM[I];

```

```

      COSBI:=COSBET[I];
      SINBI:=SINBET[I];
      KODE:=KOD[I];
      FOR J:=1 TO NUMBE DO BEGIN
          JN:=2*J;
          JS:=JN-1;
      INITL ( SXXS,SXXN,SYYS,SYYN,SXYS,SXYN,UXS,UXN,UYS,UYN);
          XJ:=XM[J];
          YJ:=YM[J];
          COSBJ:=COSBET[J];
          SINBJ:=SINBET[J];
          AJ:=A[J];
      COEFF(XI,YI,XJ,YJ,AJ,COSBJ,SINBJ,1,SXXS,SXXN,SYYS,SYYN,
      SXYS,SXYN,UXS,UXN,UYS,UYN1,SXXS,
      SXXN,SYYS,SYYN,SXYS,SXYN,UXS,UXN,UYS,UYN);
          CASE ROUND(KSYM) OF
              2: BEGIN XJ:=2*XSVM-
      XM[J];COEFF(XI,YI,XJ,YJ,AJ,COSBJ,-SINBJ,-
      1,SXXS,SXXN,SYYS,SYYN,SXYS,SXYN,UXS,UXN,UYS,UYN,
          SXXS,SXXN,SYYS,SYYN,SXYS,SXYN,UXS,UXN,UYS,UYN);
      END;
              3: BEGIN YJ:=2*YSVM-
      YM[J];COEFF(XI,YI,XJ,YJ,AJ,-COSBJ,SINBJ,-
      1,SXXS,SXXN,SYYS,SYYN,SXYS,SXYN,UXS,UXN,UYS,UYN,
          SXXS,SXXN,SYYS,SYYN,SXYS,SXYN,UXS,UXN,UYS,UYN);
      END;
              4: BEGIN XJ:=2*XSVM-
      XM[J];COEFF(XI,YI,XJ,YJ,AJ,COSBJ,-SINBJ,-
      1,SXXS,SXXN,SYYS,SYYN,SXYS,SXYN,UXS,UXN,UYS,UYN,
          SXXS,SXXN,SYYS,SYYN,SXYS,SXYN,UXS,UXN,UYS,UYN);

```

```

      XJ:=XM[J];YJ:=2*YSYM-
YM[J];COEFF(XI,YI,XJ,YJ,AJ,-COSBJ,SINBJ,-
1,SXXS,SXXN,SYYS,SYYN,SXYS,SXYN,UXS,UXN,UYS,UYN,
      SXXS,SXXN,SYYS,SYYN,SXYS,SXYN,UXS,UXN,UYS,UYN);
      XJ:=2*XSVM-XM[J];COEFF(XI,YI,XJ,YJ,AJ,-COSBJ,-
SINBJ,1,SXXS,SXXN,SYYS,SYYN,SXYS,SXYN,UXS,UXN,UYS,UYN,S
XXS,SXXN,
      SYYS,SYYN,SXYS,SXYN,UXS,UXN,UYS,UYN); END;

      END;

      CASE ROUND(KODE) OF

1: BEGIN C[IS,JS]:=(SYYS-
SXXS)*SINBI*COSBI+SXYS*(COSBI*COSBI-SINBI*SINBI);
      C[IS,JN]:=(SYYN-
SXXN)*SINBI*COSBI+SXYN*(COSBI*COSBI-SINBI*SINBI);
      C[IN1,JS]:=SXXS*SINBI*SINBI-
2*SXYS*SINBI*COSBI+SYYS*COSBI*COSBI;
      C[IN1,JN]:=SXXN*SINBI*SINBI-
2*SXYN*SINBI*COSBI+SYYN*COSBI*COSBI;
      END;

2: BEGIN C[IS,JS]:=UXS*COSBI+UYS*SINBI;
      C[IS,JN]:=UXN*COSBI+UYN*SINBI;
      C[IN1,JS]:=-UXS*SINBI+UYS*COSBI;
      C[IN1,JN]:=-UXN*SINBI+UYN*COSBI;
      END;

3: BEGIN C[IS,JS]:=UXS*COSBI+UYS*SINBI;
      C[IS,JN]:=UXN*COSBI+UYN*SINBI;
      C[IN1,JS]:=SXXS*SINBI*SINBI-
2*SXYS*SINBI*COSBI+SYYS*COSBI*COSBI;
      C[IN1,JN]:=SXXN*SINBI*SINBI-
2*SXYN*SINBI*COSBI+SYYN*COSBI*COSBI;

```

```

      END;

      4: BEGIN C[IS,JS] := (SYYS-
SXXS) *SINBI *COSBI+SXYS * (COSBI *COSBI-SINBI *SINBI);
          C[IS,JN] := (SYYN-
SXXN) *SINBI *COSBI+SXYN * (COSBI *COSBI-SINBI *SINBI);
          C[IN1,JS] := -UXS *SINBI+UYS *COSBI;
          C[IN1,JN] := -UXN *SINBI+UYN *COSBI;

      END;

          END;

      END;

      END;

      (* РІШЕННЯ СИСТЕМИ АЛГЕБРАЇЧНИХ РІВНЯНЬ *)
      N:=2*NUMBE;
      SOLVE(C,P,B,N,C,P,B);
      WRITELN(FILE1,' ');
      WRITELN(FILE1,' Зміщення та напруга в середніх точках
межі елементів. ');
      WRITELN(FILE1,' ');
      WRITELN(FILE1,'ЕЛЕМЕНТ  UX  UY  US  UN  SIGXX  SIGYY
SIGXY  SIGMA-S  SIGMA-N  SIGMA-T');
      XI:=XM[I];
      YI:=YM[I];
      COSBI:=COSBET[I];
      SINBI:=SINBET[I];
      UX:=0;UY:=0;
      SIGXX:=PXX;
      SIGYY:=PYY;
      SIGXY:=PXY;

          FOR J:=1 TO NUMBE DO BEGIN
              JN:=2 *J;

```

```

JS:=JN-1;

INITL( SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS, UYN);

XJ:=XM[J];
YJ:=YM[J];
AJ:=A[J];
COSBJ:=COSBET[J];
SINBJ:=SINBET[J];

COEFF(XI, YI, XJ, YJ, AJ, COSBJ, SINBJ, 1, SXXS, SXXN, SYYS, SYYN,
SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS, UYN, SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN
, UXS,
UXN, UYS, UYN);

CASE KSYM OF
2: BEGIN XJ:=2*XSVM-
XM[J]; COEFF(XI, YI, XJ, YJ, AJ, COSBJ, -SINBJ, -1,
SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS, UYN, SXXS, SXXN
, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS, UYN); END;
3: BEGIN YJ:=2*YSVM-
YM[J]; COEFF(XI, YI, XJ, YJ, AJ, -COSBJ, SINBJ, -1,
SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS, UYN, SXXS, SXXN
, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS, UYN); END;
4: BEGIN XJ:=2*XSVM-
XM[J]; COEFF(XI, YI, XJ, YJ, AJ, COSBJ, -SINBJ, -1,
SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS, UYN, SXXS, SXXN
, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS, UYN);
XJ:=XM[J]; YJ:=2*YSVM-
YM[J]; COEFF(XI, YI, XJ, YJ, AJ, -COSBJ, SINBJ, -1,
SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS, UYN, SXXS, SXXN
, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS, UYN);
XJ:=2*XSVM-
XM[J]; COEFF(XI, YI, XJ, YJ, AJ, -COSBJ, -SINBJ, 1,

```

```
SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS, UYN, SXXS, SXXN
, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS, UYN) ;
```

```
END;
```

```
END;
```

```
UX:=UX+UXS*P[JS]+UXN*P[JN];
```

```
UY:=UY+UYS*P[JS]+UYN*P[JN];
```

```
SIGXX:=SIGXX+SXXS*P[JS]+SXXN*P[JN];
```

```
SIGYY:=SIGYY+SYYS*P[JS]+SYYN*P[JN];
```

```
SIGXY:=SIGXY+SXYS*P[JS]+SXYN*P[JN];
```

```
END;
```

```
US:=UX*COSBI+UY*SINBI;
```

```
UN:=-UX*SINBI+UY*COSBI;
```

```
SIGS:=(SIGYY-
```

```
SIGXX)*SINBI*COSBI+SIGXY*(COSBI*COSBI-SINBI*SINBI);
```

```
SIGN:=SIGXX*SINBI*SINBI-
```

```
2*SIGXY*SINBI*COSBI+SIGYY*COSBI*COSBI;
```

```
SIGT:=SIGXX*COSBI*COSBI+2*SIGXY*SINBI*COSBI+
```

```
SIGYY*SINBI*SINBI;
```

```
write(file1, ' ', I, ' ');
```

```
write(file1, ' ', UX:2:6);
```

```
write(file1, ' ', UY:2:6);
```

```
write(file1, ' ', US:2:6);
```

```
write(file1, ' ', UN:2:6);
```

```
write(file1, ' ', SIGXX:4:2);
```

```
write(file1, ' ', SIGYY:4:2);
```

```
write(file1, ' ', SIGXY:4:2);
```

```
write(file1, ' ', SIGS:4:2);
```

```
write(file1, ' ', SIGN:4:2);
```

```
writeLN(file1, ' ', SIGT:4:2);
```

```
END;
```

```

(* ВИЧИСЛЕННЯ ЗМІЩЕННЯ І НАПРУГИ В УКАЗАНИХ
ТОЧКАХ В ТІЛІ *)
WRITELN(FILE1, ' ');
WRITELN(FILE1, '                Зміщення та напруги в
даній точці тіла. ');
WRITELN(FILE1, ' ');
WRITELN(FILE1, 'ТОЧКА  X(координата)  Y(координата)  UX
UY  SIGXX  SIGYY  SIGXY');
  IF NUMOS<=0 THEN BEGIN
CLOSE(FILE1);CLOSE(FILE2);EXIT;END;
  NPOINT:=0;
  FOR N:=1 TO NUMOS DO BEGIN
    READLN(FILE2,EW);VAL(EW,NUMPB,I);
    READLN(FILE2,EW);VAL(EW,XBEG,I);
    READLN(FILE2,EW);VAL(EW,YBEG,I);
    READLN(FILE2,EW);VAL(EW,XEND,I);
    READLN(FILE2,EW);VAL(EW,YEND,I);
    NUMP:=NUMPB+1;
    DELX:=(XEND-XBEG)/NUMP;
    DELY:=(YEND-YBEG)/NUMP;
    IF (NUMPB)<0 THEN NUMP:=NUMP+1;
    IF (DELX*2+DELY*2)=0 THEN NUMP:=1;
    FOR NI:=0 TO NUMP DO BEGIN
      XP:=XBEG+(NI)*DELX;
      YP:=YBEG+(NI)*DELY;
      UX:=0;UY:=0;
      SIGXX:=PXX;
      SIGYY:=PYY;
      SIGXY:=PXY;
      FOR J:=1 TO NUMBE DO BEGIN;

```

```

JN:=2*J;
JS:=JN-1;

INITL (SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS, UYN) ;
XJ:=XM[J] ;
YJ:=YM[J] ;
AJ:=A[J] ;
{ IF (SQRT ((XP-XJ) *2+ (YP-
YJ) *2) < (2*AJ) ) THEN GOTO MITKA; }
COSBJ:=COSBET[J] ;
SINBJ:=SINBET[J] ;
COEFF (XP, YP, XJ, YJ, AJ, COSBJ, SINBJ, 1, SXXS, SXXN, SYYS, SYYN,
SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS, UYN, SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN
, UXS,
UXN, UYS, UYN) ;
CASE KSYM OF
2:BEGIN XJ:=2*XSVM-
XM[J] ; COEFF (XP, YP, XJ, YJ, AJ, COSBJ, -SINBJ, -
1, SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS,
UYN, SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS,
UXN, UYS, UYN) ; END;
3:BEGIN YJ:=2*YSVM-
YM[J] ; COEFF (XP, YP, XJ, YJ, AJ, -COSBJ, SINBJ, -
1, SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS,
UXN, UYS, UYN, SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS, U
YN) END;
4: BEGIN XJ:=2*XSVM-XM[J] ;
COEFF (XP, YP, XJ, YJ, AJ, COSBJ, -SINBJ, -
1, SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN,

```



```

UYS, UYN, SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS,
  UXN, UYS, UYN); XJ:=XM[J]; YJ:=2*YSYM-
YM[J]; COEFF(XP, YP, XJ, YJ, AJ, -COSBJ, SINBJ, -
1, SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN,
  UYS, UYN, SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS,
  UXN, UYS, UYN); XJ:=2*XSVM-XM[J]; COEFF(XP, YP, XJ, YJ, AJ, -
COSBJ, -
SINBJ, 1, SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS,
UYN, SXXS, SXXN, SYYS, SYYN, SXYS, SXYN, UXS, UXN, UYS, UYN) END;
      END;
      UX:=UX+UXS*P[JS]+UXN*P[JN];
      UY:=UY+UYS*P[JS]+UYN*P[JN];
      SIGXX:=SIGXX+SXXS*P[JS]+SXXN*P[JN];
      SIGYY:=SIGYY+SYYS*P[JS]+SYYN*P[JN];
      SIGXY:=SIGXY+SXYS*P[JS]+SXYN*P[JN];
      END;
      NPOINT:=NPOINT+1;
      WRITE(FILE1, ' ', NPOINT, ' ');
      WRITE(FILE1, ' ', XP:1:2, ' ');
      WRITE(FILE1, ' ', YP:1:2, ' ');
      WRITE(FILE1, ' ', UX:2:6, ' ');
      WRITE(FILE1, ' ', UY:2:6, ' ');
      WRITE(FILE1, ' ', SIGXX:2:4, ' ');
      WRITE(FILE1, ' ', SIGYY:2:4, ' ');
      WRITELN(FILE1, ' ', SIGXY:2:4, ' ');
MITKA;;      END;
      END;
      CLOSE(FILE1);
      END.

```

Ізолінії напружень в поверхні технологічної автомобільної дороги загального користування, зумовлені дією колеса автомобіля

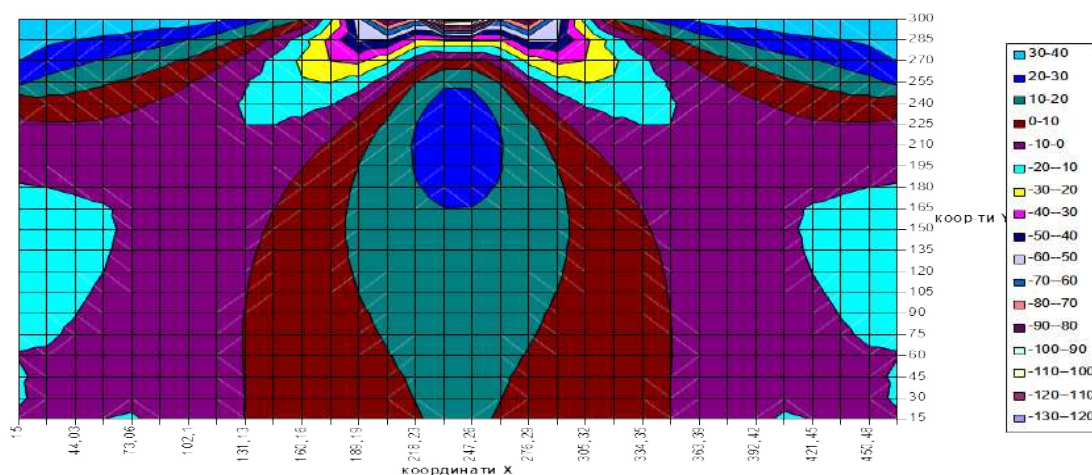


Рис. Г.1. Ізолінії горизонтальних напружень σ_{xx} , що виникають під дією колеса автомобіля в поверхні дороги, при поперечному профілі з ухилом $\beta_n = 0\%$

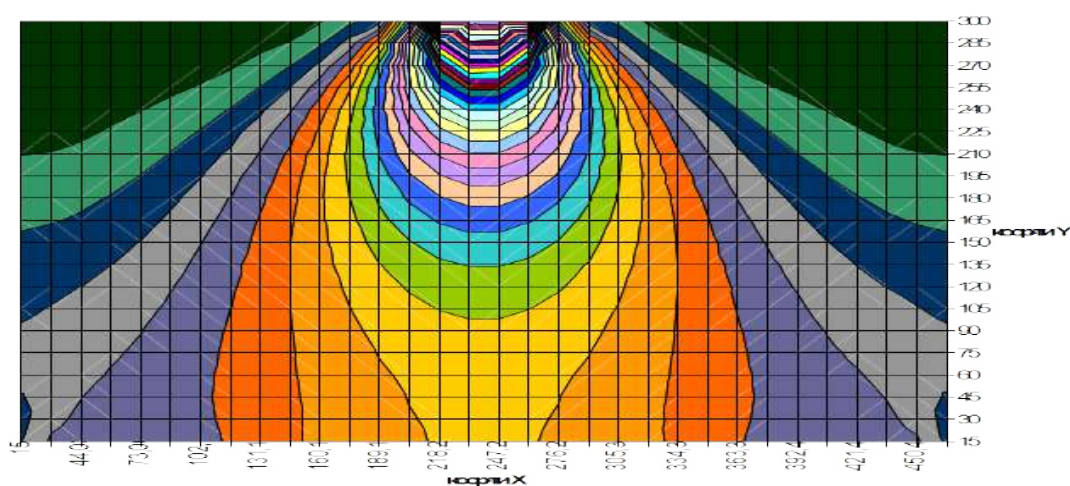


Рис. Г.2. Ізолінії вертикальних напружень σ_{yy} , що виникають під дією колеса автомобіля в поверхні дороги, при поперечному профілі з ухилом $\beta_n = 0\%$

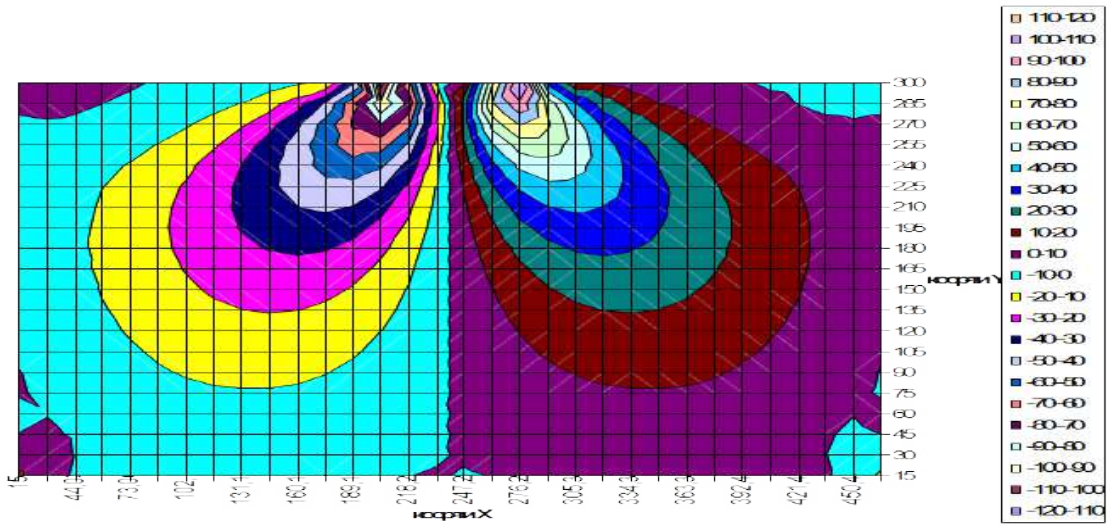


Рис. Г.3. Ізолінії дотичних напружень SIGXY, що виникають під дією колеса автомобіля в поверхні дороги, при поперечному профілі з ухилом $\beta_n = 0\%$

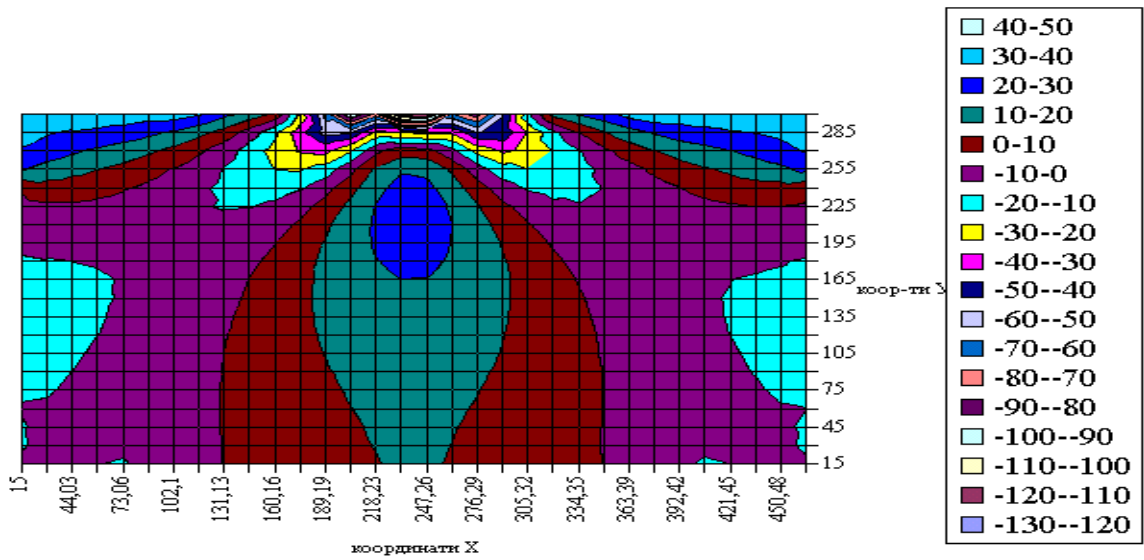


Рис. Г.4. Ізолінії горизонтальних напружень SIGXX, що виникають під дією колеса автомобіля в поверхні дороги, при випуклому поперечному профілі з ухилом $\beta_n = 30\%$

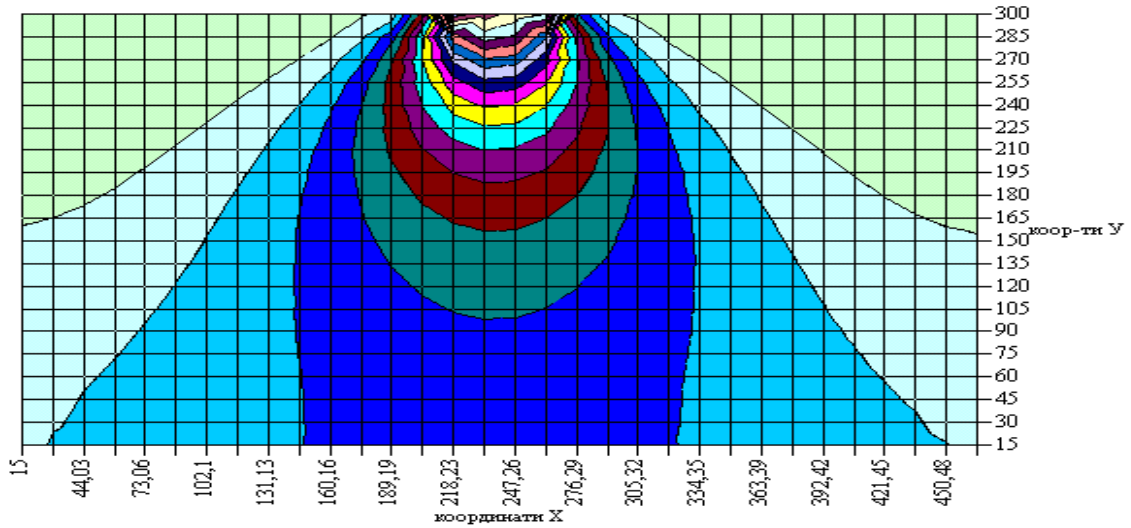


Рис. Г.5. Ізолінії вертикальних напружень SIGYY, що виникають під дією автомобіля в поверхні дороги, при випуклому поперечному профілі з ухилом $\beta_n = 30\%$

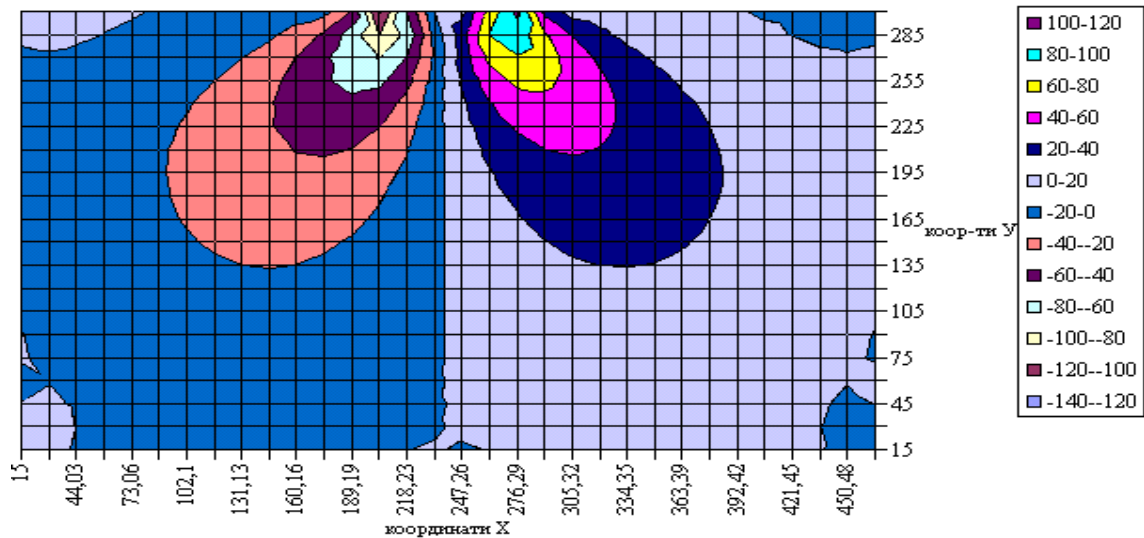


Рис. Г.6. Ізолінії дотичних напружень SIGXY, що виникають під дією колеса автомобіля в поверхні дороги, при випуклому поперечному профілі з ухилом $\beta_n = 30\%$

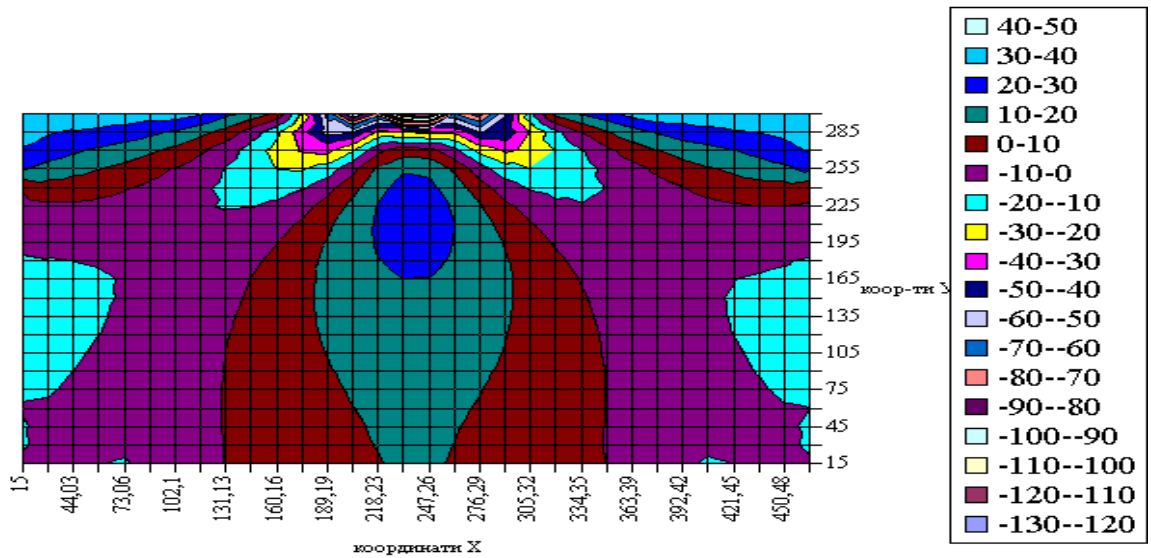


Рис. Г.7. Ізолінії горизонтальних напружень SIGXX, що виникають під дією колеса автомобіля в поверхні дороги, при ввігнутому поперечному профілі з ухилом $\beta_n = 30\%$

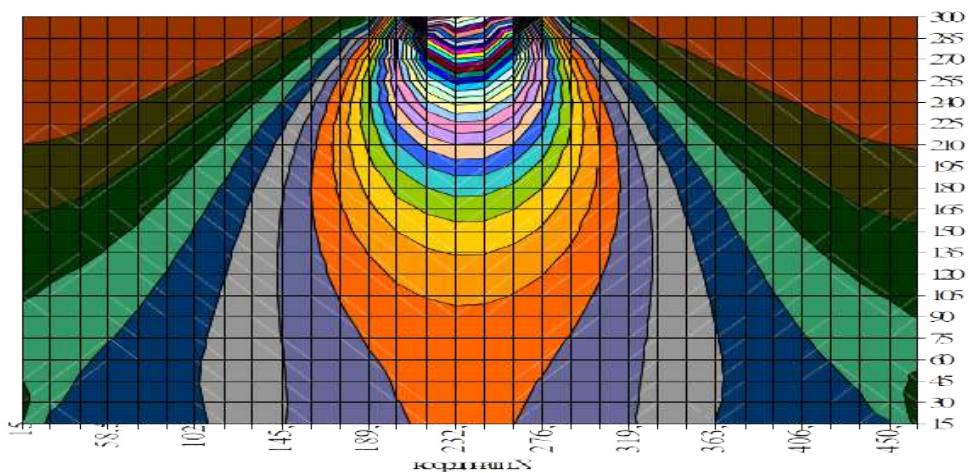


Рис. Г.8. Ізолінії вертикальних напружень SIGYY, що виникають під дією колеса автомобіля в поверхні дороги, при ввігнутому поперечному профілі з ухилом $\beta_n = 30\%$

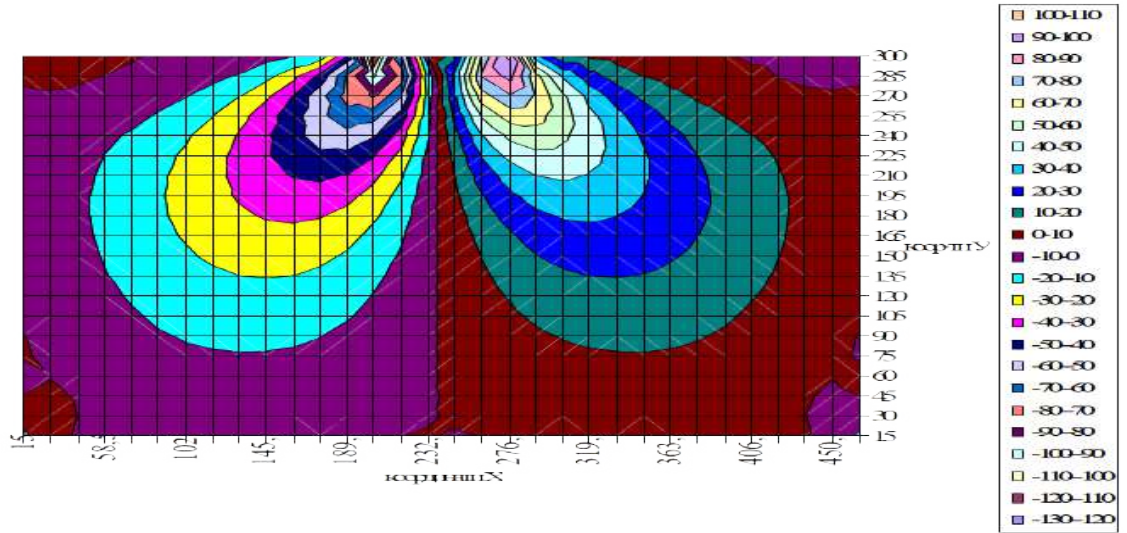


Рис. Г.9. Ізолінії дотичних напружень SIGXY , що виникають під дією колеса автомобіля в поверхні дороги, при ввігнутому поперечному профілі з ухилом

$$\beta_n = 30\text{‰}$$

**Таблиці характеристик матеріалів, необхідних для будівництва
технологічної автомобільної дороги загального користування**

Таблиця Д.1

Характеристика матеріалів та необхідні навантаження ущільнення
за І.Н. Івановим

Характерні конструктивні шари одягу	φ,град	Сн, кгс/см ²	Ск, кгс/см ²	σн, кгс/см ²	σк, кгс/см ²
Гравійна основа	35	0,15	0,75	4	20
Гравійне покриття, оброблене в'язучими	30	0,40	1,20	6	20
Щебенеve покриття з рядового щебеня	40..45	0,25	1,2	6	30
Щебенеvий шар побудований способом заклинки	50	0,20	1,30	7	45
Щебенеve покриття, оброблене в'язучими	45	0,30	1,50	10	50

Таблиця Д.2

Допустимий тиск при укатці щебеню

Показники	Щебінь з			
	вапняка, піщаника	Вапняка, піщаника, граніту крупнозернистого	граніта дрібнозернистого, сієніта	діабаза, базальта:діоріта, габбро
Міцність при стисканні, кгс/см ²	300...600	600...1000	1000...2000	Більш ніж 2000

Тиск від вальця катка, кгс/см ²	60..70	70..80	80..100	100..125
--	--------	--------	---------	----------

Таблиця Д.3

Послідовність ущільнення конструктивних шарів дорожнього покриття
по Я.А. Калужському

Характеристика щебеня	Фази ущільнення					
	1		2		3	
	Характеристика катків					
	Q, т	q, кгс/с м ²	Q, т	q, кгс/см ²	Q, т	Q, кгс/см ²
1-2 класи з вивержених та 1 клас з метаморфічних гірничих порід	5-6	30-40	12-10	65-75	10-15	65-75
3 класи з вивержених, 2 клас з метаморфічних та 1-2 з осадкових гірничих порід	5-6	30-40	9-12	45-70	9-12	60-75
3 клас з осадкових та метаморфічних гірничих порід	3-5	20-30	6-10	40-45	6-10	45-70
4 клас з осадкових та метаморфічних гірничих порід	3-5	20-30	5-6	30-40	5-6	30-40

Норми витрат в'язучих матеріалів при будівництві та утриманні щєбєневих автошляхів

Назва матеріалу	Од. Виміру	Норма витрат на 1м ² покриття	Тривалість дії, діб
Хлористий кальцій порошковий	Кг	0,4 – 0,6	25 – 40
Хлористий кальцій чешуйований	Кг	0,6 – 0,8	25 – 40
Хлористий кальцій рідкий	Л	1,0 – 1,5	15 – 25
Технічна поварена сіль (40%)	Л	1,2 – 2,0	15 – 25
Карналіт природній		0,8 – 1,2	20 – 40
Карналіт збагачений		0,7 – 0,9	20 – 40
Сульфатно-спиртова барда (40%)	Л	1,0 – 1,5	10 – 15
Бітум дорожній	Л	0,7 – 1,0	30 – 90
Бітумна емульсія	Л	1,0 – 1,3	30 – 90
Сира нафта	Л	0,7 – 1,0	30 – 90
Топочний мазут	Л	0,7 – 1,0	30 – 90

Таблиця Д.5

Розподіл здрібненого кам'яного матеріалу по крупності

Продукт грохочення	Проходе через грохіт, мм.	Залишається на грохоті, мм
Щєбінь дуже крупний	-----	+70
Щєбінь крупний	-70	+40
Щєбінь нормальний	-40	+20 +25
Клинець (мілкий щєбінь)	-20 -25	+10
Кам'яна крупа	-10	+3 +5
Висівки	-3 -5	-----

Таблиця Д.6

Класифікація щебеня за міцністю

Групи гірських порід	Гірські породи	Клас міцності щебеня	Марка щебеня по дробимості при стисканні в водонасиченому стані
I	Вивержені інтрузивні (глибинні) та ефузивні (що вилились) породи: граніти, сієніти, діорити, габбро, базальти, андезити, трахіти ...	1	1200
		2	1000
		3	800
		4	600
II	Метаморфічні породи: кристалічні сланці (гнейси та ін.), кварцити, амфіболіти	1	1200
		2	1000
		3	800
		4	600
III	Осадкові карбонатні породи: вапняки, доломіти	1	1000
		2	800
		3	600
		4	300
IV	Осадкові породи: піщаники, туфи, туфобрекчії, брекчії, конгломерати.	1	1000
		2	800
		3	600
		4	300

Таблиця Д.7

Вміст зерен пластинчатої та голкової форми в щебені

Призначення щебеня	Вміст в щебені зерен пластинчатої (лещадної) та голкової форми в % по масі, не більше
<p>Для асфальтобетонного покриття</p> <p>Верхній шар:</p> <p>багатощебенева суміш (щебеню 50 – 65%)</p> <p>середньощебенева суміш (щебеню 35 – 50%)</p> <p>малощебенева суміш (щебеню 20 – 35%)</p> <p>нижній шар</p>	<p>15</p> <p>25</p> <p>35</p> <p>не нормується</p>
<p>Для цементно-бетонного покриття та основи</p> <p>одношарові та верхні шари двошарового покриття</p> <p>нижні шари двошарового покриття та основи</p>	<p>25</p> <p>не нормується</p>
<p>Для покриття з бітумно-мінеральних сумішей</p> <p>Верхній шар</p> <p>Нижній шар</p>	<p>15</p> <p>25</p>
<p>Для основ з бітумно-мінеральних сумішей</p>	<p>35</p>
<p>Для основ з необробленого щебеню</p>	<p>25</p>
<p>Для основ з щебеневого матеріалу обробленого бітумом, цементом або іншим в'язучим</p>	<p>Не нормується</p>

Вміст пилових, глиняних та мулових часток в щебені

Види покриття	Вміст пилових, глиняних та мулових часток (в% по масі, не більше) в щебені	
	З осадкових карбонатних порід	З вапняних, метаморфічних та інших осадкових порід
Для асфальтобетонного покриття	2	1
Для цементно-бетонного покриття та основ		
одношарові та верхні шари двошарового покриття	2	1
нижні шари двошарового покриття та основ	3	1
Для покриття з бітумно-мінеральних сумішей:		
верхній шар	3	2
нижній шар	4	3
Для основ з бітумно-мінеральних сумішей	4	3
Для основ з необробленого щебеню	2	2
Для основ з щебеневого матеріалу обробленого бітумом, цементом чи іншим мінеральним в'язучим	3	1

Вимоги до морозостійкості щебеню

Призначення щебеню	Кліматичні умови		
	Суворі	Помірні	М'які
Для основ дорожнього покриття з щебеневого матеріалу, обробленого бітумом	I – IV	I – IV	I – IV
	1 – 4	1 – 4	1 – 4
	Мрз.50	Мрз.25	Мрз.15
Для основ дорожнього покриття з необробленого щебеню: стандартних фракцій – 70..+40мм крупних фракцій +70..+120мм	I – IV	I – IV	I – IV
	1 – 3	1 – 3	1 – 3
	Мрз.50	Мрз.25	Мрз.15
	I – IV	I – IV	I – IV
	1 – 3	1 – 3	1 – 3
	Мрз.25	Мрз.25	Мрз.15

I – IV – групи гірничих порід;

1 – 4 – класи міцності щебеню.

Таблиця Д.10

Розрахункова продуктивність бульдозерів на планувальних роботах

Марка бульдозеру	Швидкість руху, км/год	Продуктивність, м ³ /зміну
ДЗ-42 (Д-606)	5,0	21600
ДЗ-42 (Д-606)	7,0	29580
ДЗ-29 (Д-535)	5,0	22000
ДЗ-29 (Д-535)	7,0	30150
ДЗ-53 (Д-686)	2,3	13450
ДЗ-17 (Д-492А)	2,3	17130
ДЗ-27С (Д-532С)	2,3	13450
ДЗ-54С (Д-687С)	2,3	13450

ДЗ-18 (Д-493А)	2,3	12870
----------------	-----	-------

Таблиця Д.11

Розрахункова продуктивність самохідних катків при ущільненні
щебеневих шарів

Марка катка	Швидкість руху, км/год	Продуктивність, м ² / зміну
Д-211В	2,0	3500
Д-211В	5,0	8800
Д-613А	2,0	2560
Д-613А	3,0	3840
Д-613А	5,0	5600
Д-455А	1,8	1870
Д-400А	2,8	3280
Д-400А	6,0	7030
Д-469А	2,4	4150
Д-469А	5,0	8540
Д-469А	7,0	11950
Д-399В	2,8	3280
Д-399В	5,0	5850
Д-399В	6,0	7030
ДУ-42А		
В=1.25м	2,0-7,0	1350-1570
В=2.00м	2,0-7,0	2300-2680

План-конспект лекції

Дисципліна: Експлуатація та ремонт транспортних машин.

Тема: «Основні параметри дороги для пересування транспортних машин. Технологія будівництва доріг для транспортних машин.»

Дидактична мета: сформувати знання стосовно параметрів дороги для пересування транспортних машин та технології їх будівництва та методики їх дослідження.

Розвивальна мета: сприяти розвитку мимовільної уваги, довгострокової пам'яті, аналітичного й технічного мислення студентів, пізнавального інтересу до автомобільної галузі.

Виховна мета: виховувати відповідальність і самостійність студентів.

Міжпредметні зв'язки: автомобіль; автомобіль, паливо та ПЗМ; методика викладання автосправи, теоретична механіка, деталі машин, експлуатація та ремонт автомобіля.

Тип заняття: лекція.

Місце проведення: автоклас.

План лекції

1. Що таке автомобільна дорога?
2. Види і класифікація доріг
3. Показники якості автодоріг
4. Вимоги до утримання доріг
5. Основні принципи проектування автомобільних доріг.

Список використаних джерел

1. Автомобільні дороги: про все і відразу. Класифікація, характеристики, основні принципи проектування та показники якості URL: <https://mcet.com.ua/avtomobilni-dorogi-pro-vse-i-vidrazu-klasifikatsiya-harakteristiki-osnovni-printsipi-proektuvannya-ta-pokazniki-yakosti/> (дата звернення 2021)

2. Білятинський О.А. Проектування автомобільних доріг: Підручник / О.А. Білятинський, В.П. Старовойда, Я.В. Хом'як. – К: Вища шк., 2016. 416 с.

3. ВБН Г.1-218-020:2006. Норми часу на виконання дорожньо-будівельних робіт. — К.: 2006.

4. ВБН Г.1-218-041:2006. Норми часу на роботи, що виконуються машинами і механізмами закордонного виробництва з використанням нових технологій. — К.: 2006.

5. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Проектування та будівництво. ДБН В.2.3-4: 2007. — К.: 2007.

План проведення

I. Організаційний момент. Мотивація навчально-пізнавальної діяльності.

II. Актуалізація опорних знань студентів.

III. Опрацювання лекційного матеріалу.

1. Що таке автомобільна дорога?



Укравтодор визначає автомобільні дороги як комплекс інженерних конструкцій, які забезпечують безперервний рух транспорту по вибраному маршруту. Якісна дорога повинна бути зручною, безпечною, забезпечувати перевезення вантажів, пасажирів. На відміну від сільських стежок, траси завжди обладнують дорожніми знаками. До того ж, вони мають певне розрахункове навантаження.

Кожна держава повинна прагнути до того, щоб створити розвинену мережу автодоріг. З її допомогою можна вирішити два найважливіші завдання:

1. **Економічну.** Коли населені пункти об'єднані надійними автомобільними трасами, є можливість спланувати оптимальні маршрути для пасажирських і вантажоперевезень.
2. **Соціальну.** Кожна людина має право на швидке і безперешкодне переміщення. Дороги державного значення забезпечують конституційні права громадян.

Автомобільна дорога – це складна інженерна система, яка складається з декількох елементів.

Коротенько їх перелічимо:

- Земляне полотно як основа.
- Проїжджа частина.
- Покриття. Для виготовлення використовують такі матеріали, як асфальт, цементобетон, щебінь.
- Узбіччя.
- Основні елементи автомобільних доріг також включають в себе захисні споруди, світлофори, «лежачі поліцейські» та ін.
- Штучні конструкції: тунелі, мости, переїзди тощо.

2. Види і класифікація доріг

Автораси поділяють на кілька груп. Залежно від терміну служби, вони можуть бути постійними і тимчасовими. У першому випадку мова йде про інженерні системи, розраховані на 5 і більше років служби. А ось тимчасові види доріг забезпечують нетривале пересування транспорту. Наприклад, під час будівництва нової автомагістралі або реконструкції існуючої.

Автораси України – це більше 172,4 тис. км, з яких 164,1 тис. км мають тверде покриття. Для порівняння, в 1940 році тільки 27 тис. км доріг були асфальтованими.

Існує декілька типологій доріг.

За формою власності:

Дороги загального користування – це ділянки, які входять до складу Державної транспортної системи. Призначені для автомобільних, вантажних перевезень.

Вулиці міст, селищ міського типу, сіл. На відміну від першого типу, є комунальною власністю. Відповідальність за стан лежить на органах місцевого самоврядування.

Відомчі – належать підприємствам або фізичним особам. Також до відомчих типів дороги відносяться сільськогосподарські, патрульні, службові траси, під'їзди до гідротехнічних конструкцій.

Приватні знаходяться на територіях, що належать фізичним особам.

За призначенням

Ще одна класифікація доріг за категоріями пов'язана з їх призначенням. Воно може бути державним і місцевим. У свою чергу, категорія доріг України державного призначення ділиться на 4 типи:

Міжнародні – використовуються для міжнародних автомобільних перевезень.

Національні – з'єднують населені пункти з Києвом або поєднані з національними транспортними коридорами. Сюди ж відносяться ділянки, які з'єднують обласні центри.

Регіональні – проходять через 2 та більше областей, з'єднують морські порти, важливі культурні об'єкти.

Територіальні – проходять між невеликими містами, з'єднують їх з обласними центрами. Також вони забезпечують сполучення між основними аеропортами і річковими портами з дорогами державного значення.

Класифікація автомобільних доріг місцевого значення виглядає наступним чином: обласні та районні. Де саме проходить дорога місцевого значення, зрозуміло з назви.

За інтенсивністю руху

За кількістю транспортних засобів, які проїжджають конкретну ділянку протягом 24 годин, класифікація доріг України виділяє п'ять основних категорій. 4, 5 категорії розташовані в невеликих населених пунктах, інтенсивність – 150-1000 і до 150 транспортних засобів відповідно. Дорога 1 категорії має інтенсивність більше 10 000 ТО (транспортних одиниць), II категорія – 3000-10000 ТО, III тип – 1000-3000 ТО.



Увага! Якщо кількість легкових авто у транспортному потоці становить 30% і більше, допускається відхилення показника допустимої інтенсивності у більшу сторону. Наприклад, для дороги 4 категорії значення зростає з 1000 до 3000 одиниць техніки, для дороги 5 категорії – до 300 ТО замість 150. Мотоцикл без коляски визначається як 1/2 легкового автомобіля, вантажівка 2-6 т – два легкових авто.

3. Показники якості автодоріг

Параметри якості доріг загального користування безпосередньо пов'язані з такими показниками, як поперечний профіль, допустима швидкість, ширина розділової смуги та ін. Розглянемо їх більш детально:

- В залежності від типу дороги, на ній можуть бути від 1 до 8 смуг. Ширина – від 3 до 4,5 м.
- Загальна ширина дороги – 15, 22,5 або 30 метрів для першої категорії, 7,5 для другої, 7 для третьої. Для доріг 4 і 5 категорій встановлена ширина 6 і 4,5 м відповідно.
- Якщо загальна ширина автомобільної дороги може досягати 30 метрів, то ширина розділової смуги – 3 або 6 м. Для узбіч даний показник варіюється від 1,75 (5 категорія) до 3,75 (1-2 категорія) метрів.
- З максимальною і мінімальною шириною дороги розібрався – що далі? На розрахункову швидкість впливають такі параметри, як поздовжній ухил, видимість, радіус кривої тощо.

З максимальною і мінімальною шириною дороги розібралися – що далі? На розрахункову швидкість впливають такі параметри, як поздовжній ухил, видимість, радіус кривої тощо.

Потрібно враховувати той факт, що автомобільна дорога – це комплексна споруда зі своїми нормативними вимогами. До основних показників якості відносяться технічний, експлуатаційний стан траси. Чи відповідають геометричні параметри (ширина проїжджої частини, значення узбіччя, протяжність спусків) встановленим значенням? Які габарити побудованого моста, його вантажопідйомність? Як змінюються характеристики дороги і обладнання під впливом транспорту, погоди? Щоб визначити якість полотна, потрібно дати чіткі відповіді на ці питання.

4. Вимоги до утримання доріг

Для початку варто визначитися з поняттям «утримання дороги». Йдеться про комплекс заходів, спрямованих на підтримку траси в хорошому стані, придатному для зручного і безпечного пересування. Профілактичні роботи проводяться незалежно від типу автомобільних доріг і на регулярній основі. Вони допомагають домогтися нормативної швидкості. Утримання автомагістралей включає в себе такі заходи:

- Догляд за основною дорогою, спорудами.
- Ліквідація пошкоджень, що виникли після експлуатації.
- Ремонт більш серйозних ушкоджень.
- Організація руху таким чином, щоб зберегти і продовжити експлуатаційні характеристики полотна.

Поняття ремонт дороги досить широке. Воно має на увазі цілий комплекс профілактичних заходів, спрямованих на відновлення проектних параметрів, поліпшення експлуатаційних характеристик. Іноді досить просто відновити шар зносу, поліпшити рівність. Однак найчастіше доводиться посилювати дорожній одяг і закладати ями, відновлювати конструкції, проводити їх повну заміну. Збільшення ширини проїзної частини, багато інших робіт теж відносяться до утримання доріг.



5. Основні принципи проектування автомобільних доріг

Будівництво доріг в Україні починається не з проектування. Спочатку потрібно визначити популярні місця приїому вантажів, встановити потрібні напрями і обсяги вантажоперевезень по маршруту, який з'явиться у майбутньому.

Якщо поглянути на карту стану автодоріг України, можна побачити одну цікаву закономірність. Пряма лінія – це найкоротший напрямок, яке з'єднує точку А з точкою Б на карті. Але ж проектування і будівництво автомобільних доріг по прямій практично не ведеться. В першу чергу, через велику кількість перешкод. Це можуть бути не тільки річки, а й широкі озера, ліси та ін. Тоді подолання ділянки виявляється складним, дорогим. До того ж, перешкоди бувають не тільки контурними, а й висотними (гірські хребти). Тому автомобільні дороги загального користування найчастіше будують в обхід. Дане правило поширюється і на родючі землі, які становлять особливу цінність для фермерів.

Як саме буде виглядати дорога на місцевості, залежить від документації. Існує Генеральна схема планування всієї території країни і окремих областей, районів, населених пунктів. При виборі оптимального варіанту розташування важливо враховувати:

- Бюджет – у скільки обійдеться будівництво?
- Витрати на подальше обслуговування і ремонт.
- Собівартість вантажоперевезень.
- Безпеку пересування транспорту.
- Вплив автомагістралі на навколишнє середовище.

При детальному вивченні характеристик автомобільних доріг в Україні з'ясувалося, що вони розраховані на пересування транспортних засобів з такими параметрами:

- Ширина автомобіля, трактора або комбайна, які їдуть за обраним маршрутом, не повинна бути більше 260 см. У відношенні висоти значення інші – 435 см.
- ТЗ не повинен бути довшим 12 метрів. Якщо мова йде про рух автопоїзда, допускається збільшення довжини на 10 метрів, тобто загалом 22 метри.

IV. Закріплення матеріалу

1. Що таке автомобільна дорога?
2. Які існують типології доріг?
3. Назвіть основні розмірні параметри доріг.

V. Підбиття підсумків.

VI. Огляд самостійної роботи.

Лабораторні роботи з курсу «Експлуатація та ремонт транспортних машин»

Лабораторна робота № 1

Тема: Розрахунок сил тиску транспортної машини на поверхню ґрунту.

Мета роботи: Дана робота призначена для визначення сили тиску транспортної машини на поверхню руху.

Теоретичні відомості

В основу розроблених методів покладено дослідження професора Несмашного Є.О., які було розвинуто і адаптовано авторами до умов впливу на масив високоінтенсивних динамічних навантажень від руху транспортних машин.

Розрахунок сил тиску і контроль їхнього деформованого стану розглядалися окремо. Спочатку визначалися параметри тиску і розраховувався ступінь їхньої стійкості, а потім вже інструментальними методами контролювався деформований стан. Сучасні методи механіки порід дозволяють об'єднати ці задачі в одну. При цьому розрахунок стійкості виконується на підставі аналізу деформованого стану.

Однак, існуючі методи не дозволяють враховувати вплив динамічних навантажень на масив, що виникають при русі транспортних машин, які в умовах застосування великовантажних кар'єрних автосамоскидів, можуть досягати надзвичайно високих рівнів і дуже істотно знижувати ступінь стійкості дороги. У зв'язку з цим для підвищення точності розрахунків пропонується вводити в них коефіцієнт, що дозволяє враховувати цей дуже істотний фактор, який тут умовно названо віброреологічним. При цьому необхідно не тільки визначати співвідношення між силами, що утримують або здвигають призму зсуву по найбільш небезпечній поверхні, але і враховувати, що величина цих сил не залишається постійною, а змінюється в залежності від зміни напружено-деформованого стану природного укосу при

переході його від дограничного до граничного, а потім і в область заграничного деформування, що особливо характерним є для масивів, автотранспорту великої вантажопідйомності.

Ступінь стійкості поверхні у фізико-математичній моделі оцінюється коефіцієнтом запасу стійкості, значення якого визначається відношенням утримуючої сили до зрушуючої по найбільш небезпечній поверхні зсуву. Положення даної поверхні в масиві визначається мінімальним значенням коефіцієнта запасу стійкості, для визначення якого використовується метод алгебраїчного підсумовування сил по кругло-циліндричній поверхні зсуву.

Значення дотичного dt і нормального ds_n напружень на елементарній площадці dx , а також геометричні параметри, необхідні для визначення коефіцієнта запасу стійкості по найбільш небезпечній поверхні зсуву, визначаються з урахуванням віброреологічних факторів з відомих співвідношень виду :

$$ds_n = g_n h_i \cos 2\alpha_i dx; \quad dt = 0,5 g_n h_i \sin 2\alpha_i dx;$$

де n – щільність породи;

y – рівняння поверхні зрушення;

y_1 – перша похідна від рівняння поверхні зрушення;

x – поточна координата точки на поверхні зрушення;

h – висота породного укосу;

α – кут відкосу;

C – коефіцієнт зчеплення породи;

$k_{вр}$ – віброреологічний коефіцієнт, що враховує зміну стану масиву під дією нелінійних коливань його часток, від руху великовантажних автосамоскидів по бермі. Він залежить від маси самоскида і його вантажопідйомності, стискуючих зусиль і режимів гальмування, поздовжнього ухилу автодороги і стану її поверхні, швидкості руху, стану

породного масиву (порушеність і обводненість), типу порід, їхніх фізико-механічних характеристик, мінералогічного складу тощо. Формалізується даний коефіцієнт для конкретних умов на підставі перерахованих характеристик і аналітичних виразів по визначенню ефективних віброреологічних характеристик масивних середовищ.

Видима зміна коефіцієнта сухого тертя при дії вібрації являє собою найпростіший прояв віброреологічних закономірностей, що допускають дослідження елементарними методами.

Нехай на тіло, притиснуте до площини силою N , діє сила S^* , направлена уздовж площини, а також поздовжня гармонічна сила $\Phi = \Phi_0 \sin \omega t$. Щоб тіло почало рухатися уздовж площини, необхідна не сила $S^* = S_0 = f_1 N$ (як при відсутності сили Φ), а лише сила $S_{(=)} = f_1 N - \Phi_0$. Тому, без швидкої сили Φ , коефіцієнт сухого тертя відносно повільної сили S зменшується, набуваючи значення

$$f_1(=) = S(=)N = f_1(1 - \Phi_0 f_1 N)$$

Аналогічно при дії сили Φ перпендикулярно до площини

$$f_1(1) = f_1(1 - \Phi_0 N)$$

Якщо сила Φ є рівнобіжною площині і спрямована нормально до сили S , то

$$f_1() = f_1 \sqrt{1 - (\Phi_0 f_1 N)^2}$$

Якщо сила Φ – відсутня, але площина здійснює коливання у відповідних напрямках, величину Φ_0 у формулах замінюють величиною $m\omega^2 A$, де m — маса тіла; A — амплітуда коливань. Ці формули мають сенс доти, поки ефективні коефіцієнти тертя в різних площинах є позитивними, більшим значенням Φ_0 відповідають нульові значення вказаних коефіцієнтів.

Більш складним буде результат, якщо на площині знаходиться двомасова коливальна система, що відповідає двохосному автосамоскиду,

або двом самоскидам, що їдуть один за одним, у якій внутрішні маси можна представити умовно пов'язаними з основним тілом маси m_2 пружиною жорсткості c_1 і моментом, що демпфірує, з коефіцієнтом опору h ; внутрішнє тіло може переміщатися відносно основного тіла уздовж деякого фіксованого напрямку, що утворює кут з основою. У цьому випадку внаслідок конструктивної асиметрії системи при $pn/2$ ($n = 0, 1, 2$) умови початку руху основного тіла вперед при збільшенні S не збігаються з умовами початку руху назад. Тому варто розрізняти ефективні коефіцієнти при русі вперед (f_+) і назад ($-f_+$).

Ефективний коефіцієнт в'язкості отримано з аналізу задачі про рух важкої частки в середовищі, що коливається, з опором типу сухого тертя. При вібрації сухе тертя трансформується (у відношенні повільних рухів, яким відповідають коливання часток породи під дією динамічних навантажень від самоскида) у нелінійно-в'язке, причому частка, що при відсутності коливань покоїлася або рухалася прискорено, тепер рухається з постійною середньою швидкістю.

$$v_z = r_1 m_0 (-1) m_1 l - 122 - F h m_1 r_2 21 l - 12 m_0 m_1 (-1) r$$

$1 m_0 (-1) g / F v$ що визначається з рівняння

$$m_0 (-1) g = W(V_z)$$

де r – радіус траєкторії коливань;

w – частота коливань частки;

m_0, m_1 – відповідно, маса середовища в об'ємі, рівному об'єму частки, і маса частки з урахуванням маси приєднаного середовища;

$D = r / r_0$ – відношення середньої щільності частки і середовища;

g – прискорення вільного падіння.

F_h , F_v – сила опору відносному зсуву частки в горизонтальному і вертикальному напрямках;

$W(V_z)$ – вібраційна сила;

Перший з виразів відповідає точному рішенню задачі, а другий — отриманому при використанні наближеної формули для $W(V_z)$, придатної при $F_h < m_0(D-1)rvw^2$. Якщо (подібно до того, як це часто робиться при аналізі експериментальних даних) зіставити значення $V_{z(0)}$ з виразом для швидкості вільного падіння сферичної частки в звичайній в'язкій рідині при малих числах Рейнольдса $V_{z(0)} = m_0(D-1)g/3\pi\eta d$ (m — коефіцієнт в'язкості рідини, d — діаметр частки), одержують наступне значення ефективного (видимого) коефіцієнта в'язкості (вібров'язкості)

Граничні значення кутів відкосів в породних

масивах, що піддавалися тривалим сейсмічним впливам

Таблиця 1.1

Тип гірських порід (сейсмопорушених)	Значення кута відкосу, град.		
	Природного	Рекомендованого ВІОГЕМ	З урахуванням віброреологічних факторів
Глини, суглинки і т.п.	18-30	12-18	10-14
Вапняки, доломіти і т.п.	30-35	17-26	15-22

Кварцити, гнейси	60-71	30-35	30-33
Граніти, мігматити, амфіболіти, пегматити	66-78	35-37	30-34
Діабази, базальти	70-87	42-44	40-42

Висновок. Ми ознайомилися із силами від дорожньо-транспортних машин, що діють на поверхню дороги, що вони виконують, а також вивчили основні елементи цих сил.

Контрольні питання

1. Чим оцінюється ступінь стійкості поверхні?
2. Що являє собою зміна коефіцієнта тертя?
3. В яке тертя трансформується сухе тертя під час вібрації?

Лабораторна робота № 2

Тема: Визначення основних параметрів автодороги для транспортних машин.

Мета: Дана робота призначена для ознайомлення із класифікацією основних параметрів автодороги для транспортних машин.

Теоретичні відомості

Автомобільна дорога являє собою комплекс інженерних споруд для забезпечення безперервного та зручного руху автомобілів з нормативними швидкостями та навантаженням з мінімальними витратами паливно-мастильних матеріалів. Комплекс складається з земляного полотна, дорожнього одягу, водовідвідних споруд, шляхопроводу, споруд пасивної безпеки, дорожньої огорожі, засобів інформування, знаків, дорожньої розмітки та насаджень.

Основними елементами в плані є траса дороги, кут повороту, прями та криві.

Трасою дороги називають горизонтальне розміщення осі дороги на місцевості. Ступінь довжини визначається коефіцієнтом розвитку траси.

$$K_p = L_f / L_p \quad (2.1)$$

де L_f - фактична довжина траси; L_p - довжина повітряної лінії. Чим більший коефіцієнт розвитку траси, тим більше дорога відхиляється від найкоротшого напрямку, тим більші витрати на транспортування.

Повздожній профіль дороги - це графічне зображення проекції перетину автомобільної дороги вертикальною площиною вздовж її осі. Повздожній профіль характеризує рельєф поверхні землі по осі дороги. Основним елементом повздожнього профілю є повздожній нахил та вертикальні криві.

Повздожній нахил - це відношення перевищення однієї точки траси над іншою до горизонтальної проекції між ними. Він характеризує крутизну підйому та спусків і вимірюється промилями % - десятими частинами відсотка ($20\% = 2\%$). Максимальні повздожні профілі доріг нормуються

державними будівельними нормами залежно від категорії доріг (від 30% - для I категорії і до 100% - для V категорії). Радіуси кривих на повздовжніх профілях приймають з умов забезпечення видимості дороги, та перевантаження ресор автомобіля. Лінію поверхні землі на повздовжньому профілю викреслюють за відмітками, одержаними під час інструментальних зйомок при вишукуванні дороги. Проектну лінію, яка характеризує повздовжній профіль поверхні дороги наносять червоними відмітками. Різниця між проектною і земляною відмітками визначає висоту насипу, чи глибину виїмки.

Поперечний профіль дороги - це графічне зображення проекції перетину автомобільної дороги площиною, перпендикулярною до її повздовжньої осі. Одним з основних елементів дорожньої конструкції є земляне полотно, споруда на якій розміщена проїзна частина дороги. На ній влаштовують дорожній одяг, який складається, як правило, з декількох шарів. Верхній шар одягу називають покриттям. До проїзної частини з обох боків примикають узбіччя, канави або кювети.

Дорогу в поперечному профілі характеризують висотою насипу, чи глибиною виїмки, шириною проїзної частини, узбіччя та укріплених смуг; поперечним похилом проїзної частини, крутизною відкосів насипу. Ширину проїзної частини, узбіччя та укріплених смуг беруть у відповідності з державними будівельними нормами залежно від категорії дороги. Загальна ширина проїзної частини, узбіччя, а для I категорії і розподільчої смуги, визначає ширину земельного полотна автомобільного шляху. Поперечний похил проїзної частини призначають в таких розмірах, щоб забезпечити стікання води.

Зі збільшенням вантажопідйомності великовантажних кар'єрних автосамоскидів все більше підвищуються вимоги до міцності, довговічності та експлуатаційної надійності кар'єрних автошляхів, що мають в основному щебняне покриття. Сучасні кар'єрні автошляхи повинні забезпечувати високу продуктивність, інтенсивність руху та повну безпечність експлуатації

великовантажних кар'єрних автосамоскидів в умовах значних динамічних навантажень.

Аналіз будівництва автошляхів дозволяє встановити наступні причини їх недостатнього технічного рівня та експлуатаційних якостей:

- слабка оснащення ГЗК шляхобудівною технікою;
- використання в шляховому будівництві кам'яних матеріалів, гранулометричний і фізико-хімічний склад яких не відповідає технічним умовам;
- неякісне ущільнення дорожнього покриття.

Ширину проїзної частини шляхів призначають, виходячи з габаритної ширини транспортного засобу, швидкості його руху. По мірі створення та постачання на кар'єри самоскидів великої вантажопідйомності виникає необхідність в розширенні автодоріг та посиленні дорожнього одягу. При двополосному русі ширина проїзної частини $Ш(м)$ постійних автошляхів дорівнює:

$$Ш=2eK_v+\Delta Ш \quad (2.2)$$

де e - ширина автомобіля, м;

K_v - коефіцієнт, що враховує сумарну швидкість зустрічних автомобілів, при $V=20\dots30\text{км/час}$ — $K_v=1,6\dots1,9$;

$\Delta Ш$ - величина, що враховує габарити автомобіля.

Але усяке завищення параметрів постійних і тимчасових автодоріг визиває додаткові витрати будівельних матеріалів й збільшує витрати на розніс борту кар'єру, а заниження цих параметрів до мінімально допустимих призводить до зниження безпеки руху та працездатності автотранспорту, до неповного використання тягово-швидкісних характеристик автомобілів, а також до збільшення витрат паливно-мастильних матеріалів. Параметри поперечного профілю постійних і тимчасових автодоріг представлені в таблиці 2.1.

Основні параметри поперечного профілю автодоріг

Параметри поперечного профілю	Значення параметрів для доріг категорій						
	I-к		II-к		III-к		IV-к
	За межами кар'єра	Всередині кар'єра	За межами кар'єра	Всередині кар'єра	За межами кар'єра	Всередині кар'єра	
Кількість полос руху	2	2	2(1)	2(1)	2(1)	2(1)	2(1)
Ширина проїзжої частини, м Для авто шириною:							
До 2,75	-	-	8,5	8,0	8,0(4,5)	7,5(4,5)	7,0(4,5)
3,5	14,0	11,0	13,5	10,5	13,0(5,5)	10,0(5,5)	9,5(5,5)
3,8	15,5	12,5	15,0(6,5)	12 (6,5)	14,5(6,0)	11,5(6,0)	10,5(6)
5,4	20,5	16,5	20(7,5)	16(7,5)	19,5(7)	15(7,0)	14(7,0)
6,4	24,5	19,0	24(9,0)	18(9,0)	23,5(8,5)	17,5(8,5)	17(8,5)

7,8	30	24	30(10,5)	23(10,5)	29,5(10)	22(10,0)	21,5(10)
Ширина узбіччя, м	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	1,5

У дужках приведені параметри поперечного профілю односмугової дороги, а для проміжних значень габаритів автосамоскидів необхідно робити інтерполяцію з округленням у більшу сторону до 0,5 м.

Тому підбираючи оптимальні параметри проїзної частини слід враховувати різноманітні аспекти будівництва й транспортного процесу.

Встановлено, що основні причини низької транспортно-експлуатаційної якості шляхового покриття автошляхів в невідповідності конструкції дорожнього покриття складу руху, використання непридатних для шляхового будівництва кам'яних матеріалів, низьким рівнем механізації дорожньо-будівельних робіт, і, як наслідок, у відхиленні від необхідної технології будівництва.

Висновок. Ми ознайомилися із класифікацією дорожньо-транспортних машин і основними параметрами автодоріг.

Контрольні питання

1. Які основні елементи в автомобільній дорозі?
2. Що таке повздовжній нахил дороги?
3. Що таке поперечний профіль дороги?
4. Як призначають ширину проїзної частини?