

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Мойсеєнко Костянтин Володимирович

УДК 625.151

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ І РУХОМОГО СКЛАДУ
В ЗОНІ ХРЕСТОВИНИ СТІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ
З ЗАЛІЗОБЕТОННИМИ БРУСАМИ

Спеціальність 05.22.06 - Залізнична колія

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Мойсеєнко

Дніпропетровськ - 1998

НТБ
ДНУЗТ

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі "Колія та колійне господарство" Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту Міністерства транспорту України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор Даниленко Едуард Іванович,
Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту, завідувач кафедри "Колія та колійне господарство"

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор Босов Аркадій Аркадієвич,
Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту, завідувач кафедри прикладної математики

кандидат технічних наук, доцент Шехватов Олександр Олександрович,
Харківська державна академія залізничного транспорту, декан будівельного факультету.

Провідна організація:

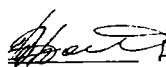
Інститут геотехнічної механіки, відділ проблем рейкового транспорту,
НАН України, м. Дніпропетровськ.

Захист відбудеться "21" травня 1998 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.01 при Дніпропетровському державному технічному університеті залізничного транспорту, 320700, м. Дніпропетровськ, вул. Акад. Лазаряна 2.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту, 320700, м. Дніпропетровськ, вул. Акад. Лазаряна 2.

розісланий "20" квітня 1998 р.

Секретар спеціалізованої ради

 Доманський В.Т.

НТБ
ДНУЗТ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

При гострому дефіциті деревини в Україні розвиток колійного господарства в сучасних умовах пов'язаний з широким впровадженням залізобетонних підрейкових основ. Це відноситься і до стрілочного господарства, де перспектив одержання достатньої кількості дерев'яних перевідних брусків для залізниць України практично немає.

З 1992-1993 р.р. на українських залізницях почато і з кожним роком нарощується впровадження стрілочних переводів на залізобетонних брусах. Всього до кінця 1996 року укладено понад 2,5 тисячі таких переводів, що складає майже 3.5% від загальної кількості переводів на мережі.

Початок масової експлуатації цих конструкцій і їх відмінності від типових переводів з дерев'яними брусами (змінилися маса колії і жорсткість рейкових нітей) - все це вимагає оцінки силової взаємодії колії і рухомого складу в межах стрілочного переводу на залізобетонній основі і, особливо, в зоні хрестовинного вузла, як найбільш відповідальної конструкції. На базі таких досліджень можна намітити шляхи вдосконалення зазначених конструкцій і визначити раціональні сфери їх застосування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана під час роботи по НДР № 53.76.94.95 за замовленням Придніпровської залізниці "Встановлення швидкостей руху, що допускаються, з розробкою рекомендацій по утриманню стрілочних переводів на залізобетонних брусах" та НДР № 53.101.97.97 за замовленням Південно-Західної залізниці "Дослідження можливості підвищення швидкостей рухомого складу, що допускаються, по стрілочним переводам з залізобетонними брусами"

Мета і задачі дослідження.

Метою роботи є дослідження особливостей взаємодії колії і рухомого складу в зоні хрестовини на стрілочних переводах з залізобетонними брусами шляхом вивчення особливостей вертикальних нерівностей в зоні перекочування на хрестовинах, що укладені на з/б брусах та дослідження сил взаємодії колії та рухомого складу при допомозі теоретичних розрахунків. При цьому як аналог для порівняння одержаних значень сил використовуються існуючі результати досліджень по хрестовинах на дерев'яних брусах, конструкції апробованої і такої, що довела свою працездатність тривалою експлуатацією на залізницях країн СНД.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Розробити методику розрахунку всього спектра вертикальних нерівностей (траєкторій перекочування колеса по хрестовині) в межах хрестовини з урахуванням всієї сукупності коліс рухомого складу з різним зносом та можливих положень колеса

5960a

НТД
ДНУЗ

відносно хрестовини; розробити методику виміру поверхні кочення хрестовин одержати дані для виконання масових розрахунків.

2. Встановити найбільш типові форми реальних вертикальних нерівностей на поверхні кочення гострих жорстких хрестовин стрілочних переводів на залізобетонних брусах в середньозношеному стані і стані, близькому до максимального зносу.

3. Уточнити статистичні характеристики бандажів колісних пар рухомого складу по прокату і товщині гребенів в сучасних умовах експлуатації. Одержати обриси найбільш ймовірних профілів бандажа колеса в залежності від проката.

4. Розробити методику визначення сил взаємодії колії і рухомого складу в зоні хрестовини з використанням персональної ЕОМ.

5. Одержати і порівняти картину силової взаємодії колії і рухомого складу в межах зони перекочування хрестовин стрілочних переводів на з/б брусах і дерев'яній основі.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше показано, що одержані внаслідок натурних вимірів найбільш типові вертикальні нерівності на хрестовинах переводів з залізобетонними брусами відрізняються від нерівностей, що характеризують хрестовини, укладені на дерев'яній основі.

2. При порівнянні результатів розрахунку сил взаємодії рухомого складу з хрестовиною, що укладена на дерев'яній і з/б основі вперше одержано, що на хрестовинах з середнім зносом переводів на з/б брусах додаткові динамічні вертикальні сили взаємодії більші приблизно в 2 рази, а для хрестовин з пропущеним тонажем, близьким до максимального, сили майже однакові.

3. Одержано цифрові дані, що характеризують стан бандажів колісних пар піввагонів, які обертаються на мережі доріг України, (по прокату, товщині гребенів та сумі товщин гребенів на одній колісній парі) в сучасних умовах експлуатації.

4. Удосконалена методика визначення сил взаємодії колії і рухомого складу в зоні хрестовини. Ця задача вирішена з використанням персональної ЕОМ, при цьому застосовувались числові методи з сім'ї Рунге-Кутта, а нерівність задавалась при допомозі спеціального полінома - напруженого сплайна.

Практичне значення одержаних результатів.

Одержано найбільш типові вертикальні нерівності, що характеризують стан хрестовин на з/б брусах при різних ступенях зношення поверхні кочення; одержано дані, що описують стан бандажів колісних пар піввагонів в сучасних умовах експлуатації; розроблена методика рішення задачі вертикальної взаємодії колії і рухомого складу в зоні перекочування на хрестовинах з застосуванням персональних ЕОМ; створено пакет програм, що дозволяє виконувати розрахунки взаємодії як

НТБ
ДНУЗТ

масові, так і по нерівностях користувача; уточнено методику розрахунку всього спектра вертикальних нерівностей в межах конкретної хрестовини з урахуванням всієї сукупності коліс з різними ступенями зношення при можливих положеннях колеса щодо хрестовини та розроблено методику вимірювання поверхні кочення хрестовин.

Результати дисертаційної роботи підтверджують необхідність удосконалення хрестовин для стрілочних переводів на з/б брусах, а одержані дані по нерівностях, рухомому складу та розроблені методики дозволяють виконувати проектування хрестовин більш якісно.

Пакет програм, розроблений в дисертації, використовується кафедрою колії і ГНДП колії ДІІТа при виконанні теоретичних розрахунків взаємодії колії і рухомого складу в межах хрестовини за планом НДР університету і кафедри "Колія та колійне господарство"

Особистий внесок здобувача.

В публікаціях, в яких відображено основні результати дисертації та які написані в співавторстві, автору належать: в [1] - методика розрахунку сил в межах хрестовини на ПЕОМ при відомій розрахунковій схемі; в [2] - участь у проведенні експерименту, обробці експериментальних даних, виробленні висновків.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на: Міжнародній науково-практичній конференції "Ресурсо- і енергосберегающие технологии на транспорте и строительном комплексе", (Гомель, листопад 1995 г.); IX Міжнародній конференції "Проблемы механики железнодорожного транспорта" (Дніпропетровськ, травень 1996 р.); семінарах кафедри "Колія і колійне господарство" ДІІТа.

Публікації.

Основний зміст дисертаційної роботи опубліковано в 5 статтях і тезах доповідей, науково-технічному звіті по НДР кафедри "Колія та колійне господарство" № 01940028 Державної реєстрації за 1995 рік.

Структура та обсяг дисертації.

Зміст дисертаційної роботи (вступ, п'ять розділів, висновки та пропозиції, 2 додатки) викладено на 211 сторінках машинописного тексту і супроводжується 38 рисунками, 27 таблицями і списком літератури із 98 назв. Ілюстрації, таблиці, список літератури та додатки займають 60 сторінок.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність теми, сформульовані мета і наукова задача досліджень.

НТБ
ДНУЗТ

У першому розділі приведена стисла історія розвитку конструкції залізобетонних основ, починаючи від дослідних конструкцій, що укладались в 60-х початку 70-х років, до сучасних переводів на залізобетонних брусах, що випускаються і експлуатуються в наш час на залізницях України і за кордоном.

Приведено аналіз досліджень, спрямованих на вдосконалення конструкцій колії і стрілочних переводів на з/б основі, виконаних докторами техн. наук Золотарським А.Ф., Шахунянцем Г.М., Фрішманом М.А., Волошко Ю.Д., кандидатами техн. наук Говорухою В. В., Жиліним Г.К., Гнатенко В.П., Амелічевим І.В., Крисановим Л.Г. Серебренніковим В.В., Рівкіним А.Я., Єрмаковим В.М., Чуян С.М. та ін.

Вказано на особливості залізобетонних брусів в порівнянні з дерев'яними: велика вага, відмінності пружних характеристик залізобетонних брусів у порівнянні з дерев'яною основою.

Відзначено великий вклад в дослідження взаємодії колії та рухомого складу відомих вчених академіка Лазаряна В.А., професорів Веріго М.Ф., Шахунянця Г.М., Когана О.Я., Яковлева В.Ф., Кудрявцева М.М., Дановича В.Д., Волошко Ю.Д., Єршкова О.П. та ін.

Стосовно до стрілочних переводів з урахуванням особливостей, притаманних цій специфічній і дуже складній конструкції, відзначено вагомий внесок в вирішення проблем взаємодії докторів технічних наук Яковлева В.Ф., Амеліна С.В., Смирнова М.П., Даниленко Е.І., Глюзберга Б.Е., Путрі М.М., кандидатів техн. наук Ліповського Р.С., Іващенко Г.І., Орловського А.М., Семенова І.І., Абросимова В.І., Крисанова Л.Г. Тейтеля А.М., Трякіна А.П. і інших.

Приведено результати досліджень вертикальних нерівностей на хрестовинах типових конструкцій (на дерев'яних брусах), виконаних групою вчених ЛПЗТ під керівництвом проф. Яковлева В.Ф., і середньостатистичних нерівностей, що характеризують стан хрестовин різноманітних марок на різних стадіях зношення, одержаних проф. Даниленко Е.І. Відзначено, що подібні дані по нерівностям на залізобетонній основі майже відсутні.

Дві траєкторії, характерні для хрестовин стрілочних переводів, укладених на залізобетонних брусах, що рекомендовані для теоретичних розрахунків канд. техн. наук Чуян С.М. не повністю відповідають меті даної роботи. На жаль автором не аналізувався одержаний матеріал в залежності від строку служби хрестовин, напряду переважного руху поїздів. Крім того зображення даних нерівностей у вигляді несиметричних синусоїд не зовсім відповідає реальним обрисам нерівності, недооцінка ж цієї обставини може відбитися на значеннях сил взаємодії.

Відзначається, що для повної оцінки дії рухомого складу на конструкцію колії необхідно одержати весь спектр сил, що діють на хрестовину з урахуванням розподілу коліс по зношенню і положення колеса по відношенню до хрестовини.

НТБ
ДНУЗТ

Аналізуються виконані в цьому напрямі роботи кандидатів техн. наук Іващенко Г.І., Крисанова Л. Г., доктора техн. наук Глюзберга Б.Е.

У *другому розділі* приведено методику визначення нерівності на хрестовині експериментально-розрахунковим способом та методики вимірювань і одержані результати експериментальних досліджень вертикальних нерівностей на хрестовині і поверхні кочення бандажів колісних пар рухомого складу.

В основу методики розрахунку всього спектра вертикальних нерівностей покладено графо-аналітичний спосіб, запропонований проф. Яковлевим В.Ф.

Для визначення нерівності експериментально-розрахунковим способом з застосуванням персональної ЕОМ поверхня кочення хрестовини моделювалась трьохмірною поверхнею у вигляді набору поперечників, виміряних по довжині хрестовини від загальної площини відліків. При цьому використовувались дані натурних вимірів поверхні кочення хрестовин приладом оригінальної конструкції, спеціально розробленим і виготовленим для цієї мети.

Колесо, незалежно від пройденого ним шляху, моделюється одним поперечником бандажа колеса. Базою для визначення вертикальних координат поперечника є вісь обертання колеса.

Визначення нерівності зводиться до визначення функції $z(x)$, що задана вузлами $z_i(x_i)$. У вузлах функція повинна приймати значення, що відповідають положенню (в вертикальній площині) центра колеса по кожному з поперечників хрестовини відносно положення центра колеса, розрахованого для першої точки.

Для цього в єдиній системі координат для моделей колеса і хрестовини визначаються координати поперечників хрестовини і координати поперечника колеса, зі зміщенням на величину зазора по відношенню до хрестовини. Точка контакту колеса з хрестовиною на даному поперечникові знаходиться в тому місці, де різниця аплікату поперечного профіля колеса і поперечника хрестовини буде найменшою. Одержана різниця є тою відстанню, на яку необхідно "опуститись" колесу до контакту з хрестовиною. Для визначення нерівності необхідно відняти одержані відстані від відстані на початку нерівності.

Для вивчення вертикальних нерівностей, що утворюються на поверхні кочення хрестовин, були відібрані 19 стрілочних переводів, що експлуатуються на головних копіях вантажонапружених дільниць Придніпровської залізниці при вантажонапруженості від 46 до 80 млн. тон на рік. Вимірювання нерівностей проводилися по напрямку руху основного вантажопотоку, тобто по прямому напрямку хрестовин і були виконані в кілька етапів протягом 1996 року. Нерівності одержано способом безпосереднього вимірювання траєкторії перекочування колеса по хрестовині при допомозі траєкторіографа конструкції ЛІІЗТа, а також експериментально-розрахунковим способом за методикою автора. Внаслідок вимірювань було одержано більше 40 нерівностей.

НТБ
ДНУЗТ

Приведено порівняння нерівностей, одержаних при допомозі траєкторіографа і експериментально-розрахунковим способом. Відзначена хороша сходиність результатів за обома методиками, що підтверджує обґрунтованість обох методик для обстеження нерівностей.

На підставі аналізу обрисів нерівностей за сумарним і зустрічним ухилами, глибиною і формою відібрано вісім найбільш типових нерівностей, які в достатній мірі описують стан поверхні кочення хрестовин в різний період експлуатації. Аналізується динаміка зміни обрису нерівності по мірі збільшення пропущеного тонажа (рис. 1).

Відзначено, що мають місце вагомі відмінності в обрисах нерівностей на хрестовинах на з/б основі і дерев'яній. В стані середнього ступеня зношення на хрестовинах на з/б брусах переважна більшість нерівностей відносяться до типу горб (на дереві - впадина). На залізобетонній основі спостерігається більш гострі впадини в місці перекочовування коліс з вусовика на осердя. В подальшому, при збільшенні пропущеного тонажа, збільшується кількість синусоїдальних нерівностей, максимальний сумарний ухил яких зі збільшенням пропущеного тонажа зменшується.

Метою обмірів бандажів колісних пар було одержання розподілів коліс піввагонів по прокату і товщині гребенів, а також розподілу колісних пар по сумі товщин гребенів обох коліс.

Профілограми бандажів знімалися при допомозі бандажного профілографа конструкції ДІІТа. Далі профілограми використовувалися для статистичного розрахунку узагальнених (найбільш ймовірних) профілів поверхні кочення бандажів коліс з різним прокатом. Обміри були виконані на ст. Нижньодніпровськ-Вузол в 1996 р. Обмірювалися тільки колісні пари 4-вісних піввагонів найбільш поширеного

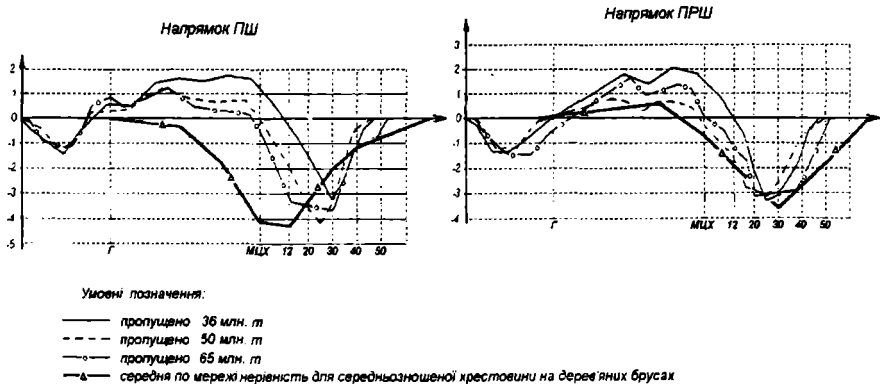


Рис. 1. Динаміка зміни обрису нерівності в залежності від пропущеного тонажа

НТБ
ДНУЗТ

рухомого складу на мережі залізниць. Всього було знято понад 750 профілограм і обмірено біля 2800 коліс. Результати статистичної обробки одержаних даних приведено на рис. 2 і 3.

За результатами обмірів можна зробити висновок: в наш час, порівнюючи з 80-ми роками, різко змінилася картина зношення бандажів коліс 4-вісних піввагонів. Зараз на мережі залізниць України обертається значно більша кількість піввагонів, колісні пари яких характеризуються відносно тонкими гребенями (до 29 мм) і профілем бандажа, близьким до проектного окреслення.

У *третьому розділі* приведено методику визначення всього спектра вертикальних нерівностей в межах зони перекочування хрестовини.

Задача вирішена з використанням методики визначення ймовірності зазора між гребенем колеса і вусовиком (осердям) хрестовини, розробленою к.т.н. Іващенко Г.І., що була модифікована к.т.н. Крисановим Л.Г та д. т. н. Глюзбергом Б.Е. При цьому зазначена методика була доопрацьована і пристосована для вирішення даної задачі.

Ймовірність розрахункової нерівності, а отже і сили, може бути визначена за формулою.

$$F_n = \int_{\Pi_1}^{\Pi_2} \int_{\Delta_1}^{\Delta_2} \varphi(\Pi) \varphi(\Delta) d(\Pi) d(\Delta) \quad (1)$$

де F_n - ймовірність нерівності з параметрами Π_n, Δ_n ;

$\varphi(\Pi), \varphi(\Delta)$ - відповідно щільності ймовірностей коліс по прокату і відстані між неробочою гранню колеса і осердям (вусовиком) хрестовини.

Розподіл сумарного зазора між гребенями коліс колісної пари і рейковими нітями визначався як композиція ймовірностей ряду випадкових величин:

$$\delta_1 + \delta_2 = S_n * \left[\left(q_o * \varepsilon_q \right) * \left(d_1 + d_2 \right) * 2 \right] \quad (2)$$

Тут і в наступних формулах:

$\delta_1 + \delta_2$ - сумарний зазор між гребенем колеса і робочою гранню головки рейки; S_n - ширина колії; $q_o * \varepsilon_q$ - розподіл ширини колісної пари з урахуванням її пружної зміни; $d_1 + d_2$ - розподіл товщини гребенів коліс колісної пари; e_x - ширина жолоба в прямій частині контррейки; e_y - ширина жолоба в прямій частині вусовика;

Інтегральна функція розподілу одностороннього зазора визначається з виразу

$$F_\delta(u_i) = \int_0^{(\delta_1 + \delta_2)_{\max} u_i} \int_0^{\delta_1 + \delta_2} \varphi(\delta') \varphi(\delta_1 + \delta_2) d\delta' d(\delta_1 + \delta_2) \quad (3)$$

НТБ
ДНУЗТ

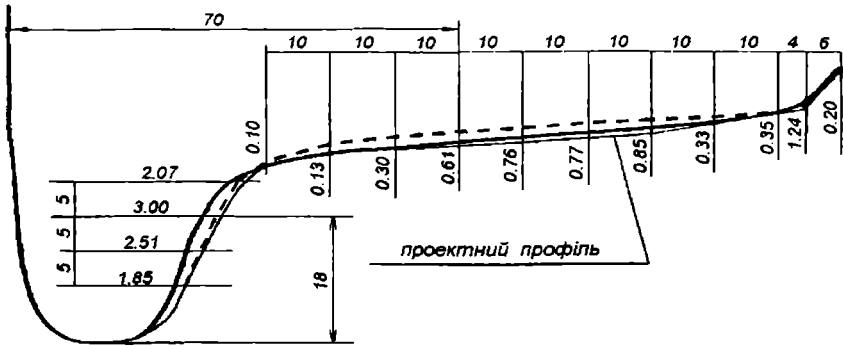
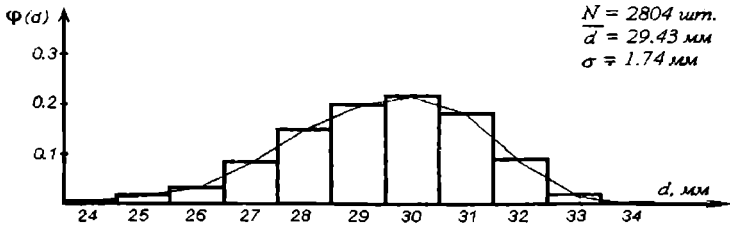


Рис.2. Обрис середнього по мережі бандажа 4-вісного піввагона (пунктир - середній по мережі бандаж за даними ВНДІЗТ 1984 р.)

а)



б)

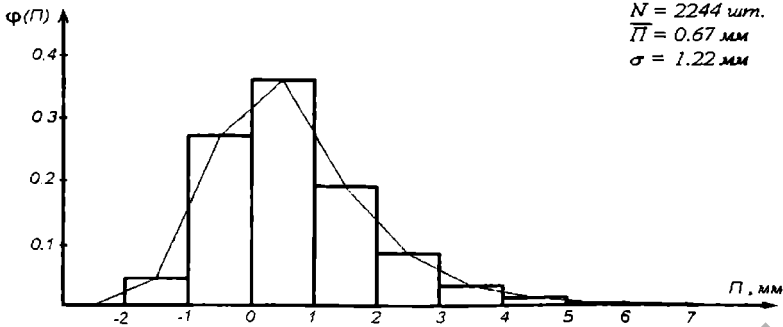


Рис.3. Розподіли коліс по товщині гребеню (а) і прокату (б)

НТБ
ДНУЗТ

де $\varphi(\delta_1 + \delta_2)$ щільність ймовірності сумарного зазора між гребенями коліс колісної пари і рейковими нітями;

$\varphi(\delta')$ - щільність ймовірності можливого одностороннього зазора між гребенем колеса і робочою гранню рейки, прийнята однаковою ймовірною в межах всього діапазону від 0 до $\delta_1 + \delta_2$ і має вигляд

$$\varphi(\delta') = \begin{cases} \text{не визн. при } \delta_1 + \delta_2 = 0 \\ \frac{1}{\delta_1 + \delta_2} & \text{при } \delta' \leq \delta_1 + \delta_2 \\ 0 & \text{при } \delta' > \delta_1 + \delta_2 \end{cases} \quad (4)$$

Щоб урахувати направляючу дію контррейки, необхідно визначити розподіл зазора між тильною гранню колеса і ходовою рейкою до входу в розтруб контррейки.

$$\delta_3 = \delta^+ * d^+ * 1 \quad (5)$$

При русі колісної пари в зоні розтруба контррейки частина колісних пар відхиляється відводом контррейки і досягає прямої частини контррейки з нульовим зазором по відношенню до неї. Щільність ймовірності зазора між ходовою рейкою, що примикає до контррейки, і тильною гранню колеса в прямій частині контррейки визначиться з виразу

$$\varphi(\delta_4) = \begin{cases} \varphi(\delta_3) & \text{при } \delta_4 < e_k \\ \int_{e_k}^{+\infty} \varphi(\delta_3) d\delta_3 & \text{при } \delta_4 \geq e_k \end{cases} \quad (6)$$

При проходженні колісною парою горла хрестовини розподіл зазорів між вусовою рейкою і тильною гранню колеса визначається по залежності

$$\Delta_y = S_n * \left(q_o^+ * \varepsilon_q^+ * \delta_4 \right) \quad (7)$$

Щільність ймовірності зазора між осердям і тильною гранню колеса (Δ_c) може бути визначена по залежності.

НТБ
ДНУЗТ

$$\varphi(\Delta_c) = \begin{cases} \varphi(\Delta_y) & \text{при } \Delta_c < e_c \\ \int_{e_c}^{+\infty} \varphi(\Delta_y) d\Delta_y & \text{при } \Delta_c \geq e_c \end{cases} \quad (8)$$

Сили взаємодії на кожній нерівності визначаються при допомозі програми, написаної по алгоритму, зображеному на рис. 5. Спектр сил визначається після розрахунків сил по всій сукупності нерівностей.

В четвертому розділі приведено методику та результати розрахунку додаткових динамічних сил взаємодії колії і рухомого складу в межах хрестовини при допомозі персональної ЕОМ.

Викладено вибір і обґрунтування розрахункової схеми. В даній роботі обрана плоска повздовжня схема взаємодії колії і екіпажа (4-вісний піввагон на візках ЦНИИ-ХЗ-0), розроблена професорами Яковлевим В.Ф. і Даниленко Е.І. для розрахунку хрестовин на дерев'яних брусах (рис.4).

Результати розрахунків сил, одержані з застосуванням цієї моделі для хрестовин на дерев'яних брусах далі використовувалися для порівняння з силами на хрестовинах із з/б основою.

Диференційні рівняння, що описують коливальний процес, що відповідає розрахунковій схемі, на основі принципу д'Аламбера мають наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{Y}_1 + P_1 + P_2 &= 0 \\ I_1 \ddot{Y}_2 + P_2 L_1 - P_1 L_1 &= 0 \\ m_2 \ddot{Y}_3 - P_1 + P_3 + P_4 &= 0 \\ m_3 \ddot{Y}_4 - P_2 + P_5 &= 0 \\ I_2 \ddot{Y}_5 - P_3 L_2 + P_4 L_2 &= 0 \\ m_4 \ddot{Y}_6 - P_3 + P_6 + \Delta_{6,7} P_7 &= 0 \\ m_5 \ddot{Y}_7 - P_4 + P_7 + \Delta_{7,6} P_6 &= 0 \\ m_6 \ddot{Y}_8 - P_5 + P_8 &= 0 \\ m_7 \ddot{Y}_9 - P_6 - \Delta_{6,7} P_7 + P_9 &= 0 \\ m_8 \ddot{Y}_{10} - P_7 - \Delta_{7,6} P_6 + P_{10} &= 0 \\ m_9 \ddot{Y}_{11} - P_8 + P_{11} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

де P_i визначаються із наступних залежностей:

НТБ
ДНУЗТ

$$\left. \begin{aligned}
 P_1 &= C_1(Y_1 - Y_3 - L_1 \dot{Y}_2) + \alpha_1(\dot{Y}_1 - \dot{Y}_3 - L_1 \dot{Y}_2) \\
 P_2 &= C_1(Y_1 - Y_4 + L_1 \dot{Y}_2) + \alpha_1(\dot{Y}_1 - \dot{Y}_4 + L_1 \dot{Y}_2) \\
 P_3 &= C_2(Y_3 - Y_6 - L_2 \dot{Y}_5 - \eta_{11}) + \alpha_2(\dot{Y}_3 - \dot{Y}_6 - L_2 \dot{Y}_5 - \dot{\eta}_{11}) \\
 P_4 &= C_2(Y_3 - Y_7 + L_2 \dot{Y}_5 - \eta_{12}) + \alpha_2(\dot{Y}_3 - \dot{Y}_7 + L_2 \dot{Y}_5 - \dot{\eta}_{12}) \\
 P_5 &= C_3(Y_4 - Y_8) + \alpha_3(\dot{Y}_4 - \dot{Y}_8) \\
 P_6 &= C_4(Y_6 - Y_9) + \alpha_4(\dot{Y}_6 - \dot{Y}_9) \\
 P_7 &= C_4(Y_7 - Y_{10}) + \alpha_4(\dot{Y}_7 - \dot{Y}_{10}) \\
 P_8 &= C_5(Y_8 - Y_{11}) + \alpha_5(\dot{Y}_8 - \dot{Y}_{11}) \\
 P_9 &= C_6 Y_9 + \alpha_6 \dot{Y}_9 \\
 P_{10} &= C_6 Y_{10} + \alpha_6 \dot{Y}_{10} \\
 P_{11} &= C_7 Y_{11} + \alpha_7 \dot{Y}_{11}
 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

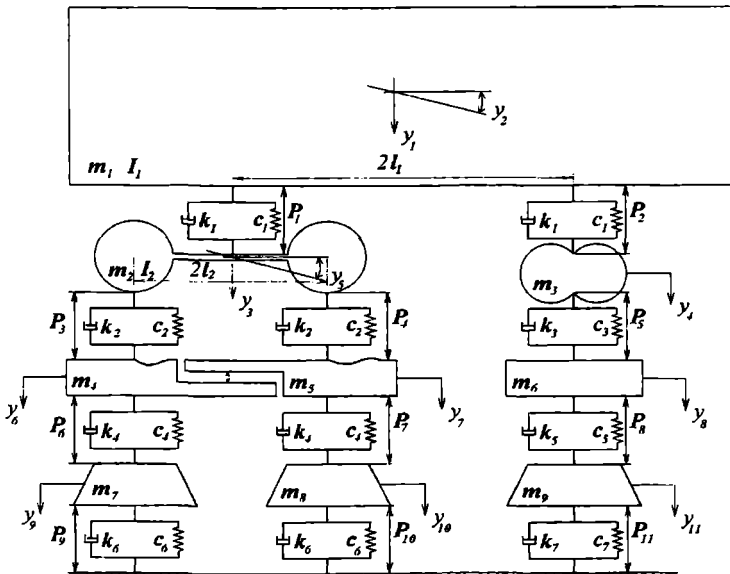


Рис. 4. Розрахункова схема.

НТБ
ДНУЗТ

При цьому результати рішення задачі, одержані на ПЕОМ, порівнювалися з рішенням цієї ж задачі на аналоговій ЕОМ.

Порівняння результатів розрахунку сил взаємодії на АЕОМ і ПЕОМ дозволило зробити висновок, що якісна картина характеру взаємодії співпадає повністю, в кількісних характеристиках сил існують деякі відмінності. Відмінності найбільш помітні при порівнянні сил, розрахованих на АЕОМ і ПЕОМ, при взаємодії колії і екіпажа, що рухається з невеликими швидкостями (25...40 км/г). При збільшенні швидкості різниця зменшується і при достатньо великих швидкостях (60 км/г і більше) не перевищує 20%.

Причиною цього, на нашу думку, стала недостатня точність рішення на АЕОМ, пов'язана передусім з точністю задання розрахункових параметрів схеми і, особливо, самої нерівності як чинника, що збуджує коливальний процес, а також помилки при розшифруванні осцилограм.

При рішенні задачі з використанням ПЕОМ нерівність, що задається, істотно ближче до натурної нерівності, що знімається з поверхні кочення траєкторіографом, бо вона з достатньою мірою точності апроксимується спеціальним поліномом напруженим сплайном.

Напружений сплайн для будь-якого x , що належить відріzkі $[x_{i-1}, x_i]$ має вигляд

$$f_i^R(x) = \frac{M_{i-1} \operatorname{sh}(\sqrt{\alpha}(x_i - x))}{\alpha \cdot \operatorname{sh}(\sqrt{\alpha}h_i)} + \frac{M_i \operatorname{sh}(\sqrt{\alpha}(x - x_{i-1}))}{\alpha \cdot \operatorname{sh}(\sqrt{\alpha}h_i)} + \left(z_{i-1} - \frac{M_{i-1}}{\alpha}\right) \left(\frac{x_i - x}{h_i}\right) + \left(z_i - \frac{M_i}{\alpha}\right) \left(\frac{x - x_{i-1}}{h_i}\right) \quad (11)$$

де $h_i = x_i - x_{i-1}$, $M_i = f''(x_i)$, $i = 1, \dots, N$ (число вузлів - N),

z_{i-1} , z_i - значення функції в вузлах інтерполяції x_{i-1}, x_i , $\alpha > 0$ - параметр.

Алгоритм рішення задачі при допомозі ПЕОМ зображений на рис. 5. Результати розрахунків сил взаємодії колії і рухомого складу на нерівностях хрестовин типу Р65 марки 1/11 на залізобетонних і дерев'яних брусах представлені на рис. 6.

Аналіз результатів виконаних розрахунків для хрестовин на з/б брусах і порівняння їх з результатами, одержаними для хрестовин на дерев'яних опорах дозволив зробити наступні висновки:

1 При порівнянні результатів розрахунку сил взаємодії рухомого складу з хрестовинами, що укладені на дерев'яній і залізобетонній основах одержано, що на хрестовинах з середнім ступенем зносу стрілочних переводів на з/б брусах додаткові динамічні вертикальні сили взаємодії на контакті при переважному пошертному напрямі руху при малих швидкостях (до 60 км/г включно) більші в 2,2...3,2 раза

(досягають 150...220 кН); при великих швидкостях (60...100 км/г) в 1,5...2,2 раза (250...375 кН). При протишерстному переважному напрямі руху при малих швидкостях - в 1,3...1,8 раза (130...180 кН); при великих - в 1,2...2,0 раза (220...300 кН).

Для хрестовин, що пропустили тонаж, близький до максимального, величини сил склали при пошерстному напрямку: при малих швидкостях - 1,4...1,8 (130...180 кН) від сил на дерев'яній основі, при великих 1,0...1,3 (215...280 кН); при протишерстному відповідно: 0,6...1,2 (60...135 кН) і 0,7...1,0 (190...260 кН). Причиною суттєвого збільшення рівня сил на хрестовинах, укладених на залізобетонних брусах, є підвищення жорсткості конструкції та збільшення маси колії, що бере участь у взаємодії, що веде до формування більш локалізованих вертикальних нерівностей на хрестовинах з залізобетонною основою.

2. При аналізі динаміки зміни величин сил в залежності від пропущеного тонажа

1. Задаються розрахункові параметри моделі, швидкість руху екіпажа (v), крок інтегрування (h). Прирівнюються нулю початкові значення функцій, що визначаються, і незалежної змінної (час) ($Y_1(0)=0, \dots, Y_n(0)=0; T=0$).

2. Розраховуються або задаються нерівності ($x_0 \dots x_N, z_0 \dots z_N$). Визначаються коефіцієнти сплайн-функції (S), що апроксимує нерівність.

3. Обчислення значень функцій, що визначаються, способом Рунге-Кутта 4-го порядку, визначення значень нерівності й похідної під першим колесом і другим за залежностями:

$$\eta_{11} = S(vt^*); \quad \eta_{12} = S(vt^* + 2L_2); \quad \dot{\eta}_{11} = v \cdot S'(vt^*); \quad \dot{\eta}_{12} = v \cdot S'(vt^* + 2L_2)$$

(крапка позначає похідну за часом, штрих - по шляху). Значення $t^*=f(T, h)$ з метода Рунге-Кутта 4-го порядку.

4. Запис одержаних значень сил

5. Збільшення значення незалежної змінної на величину реалізованого крока інтегрування.

$$T = T + h$$

6. До тих пір, поки значення $vt < x_N$, продовжуємо розрахунок з п. 3 до п.5 включно.

7. Друк результатів розрахунку.

Рис. 5. Алгоритм розрахунку сил взаємодії при допомозі ПЕОМ.

НТБ
ДНУЗТ

для хрестовин, укладених на з/б основі, відмічається зменшення значень сил з ростом тонажу. Для хрестовин, укладених на дерев'яній основі зворотна картина. Зі збільшенням пропущеного тонажу сили збільшуються. Відмічена особливість в динаміці зміни величин сил потребує подальших досліджень, результатом яких повинно стати удосконалення конструкції хрестовини та розробка особливого повздовжнього і поперечного профіля жорсткої хрестовини для переводів на з/б основі; покращення характеристик жорсткості хрестовини та підхрестовинної основи.

3. Проведені масові розрахунки сил взаємодії з хрестовинами, що укладені на

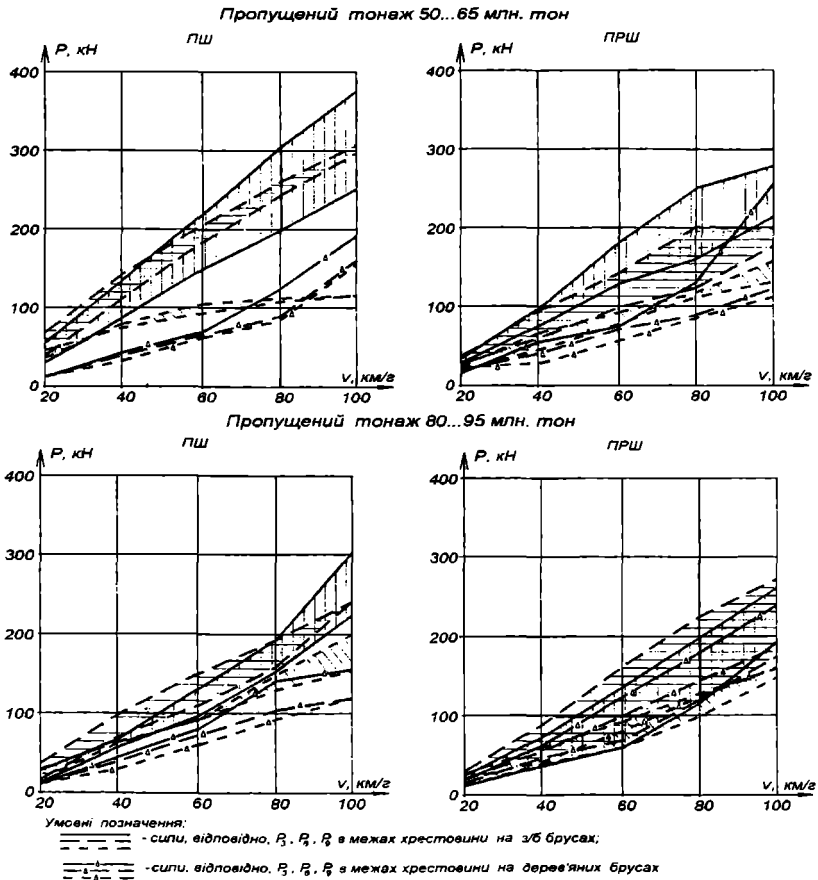


Рис. 6. Результати розрахунків сил взаємодії

НТБ
ДНУЗТ

залізобетонних брусах, підтверджують висновки, одержані при розрахунках, виконаних для характерних поодиноких нерівностей.

У п'ятому розділі приведено результати експериментального дослідження напружено-деформованого стану стрілочного перевода на залізобетонних і дерев'яних брусах.

Порівняння результатів експериментальних досліджень напружено-деформованого стану стрілочних переводів типу Р65 марки 1/9 на з/б брусах і типу Р65 марки 1/11 на дерев'яних дозволяє зробити висновок, що рівень сил, напружень і деформацій в зоні стрілки та переводної кривої на переводах з з/б основою не перевищує рівень сил, напружень і деформацій на переводах з дерев'яними це говорить про вдалу конструкцію перевода на з/б брусах в цих частинах, на відміну від хрестовини.

На основі виконаних експериментів відмінено встановлене Укрзалізницею для залізниць України обмеження швидкостей, що допускаються по прямому напрямку переводів на з/б брусах типу Р65 марок 1/9 та 1/11 до 60 км/г і встановлено слідуючі швидкості руху, що допускаються:

1. По прямому напрямку: - для пасажирських поїздів - 100 км/г;
для вантажних поїздів - 80 км/г;
2. По боковому: - для пасажирських і вантажних поїздів - 40 км/г.

ВИСНОВКИ

В ході виконання роботи одержано слідуючі результати.

1. За даними натурних вимірювань нерівностей на хрестовинах переводів з з/б брусами встановлено найбільш типові форми нерівностей на поверхні кочення, характерні для хрестовин, укладених на з/б основі, при середньозношеному стані і зносі, близькому до максимального.

Показано, що ці нерівності на хрестовинах переводів з з/б брусами відрізняються від нерівностей, що характеризують хрестовини, укладені на дерев'яній основі.

2. Одержано розрахунково-теоретичним методом значення сил динамічної взаємодії між рухомим складом та хрестовиною на з/б брусах. Додаткові динамічні вертикальні сили взаємодії під дією піввагона для збірної хрестовини стандартної конструкції при швидкості 100 км/год досягають 375 кН, це необхідно враховувати при проектуванні з/б брусків під хрестовину.

3. При порівнянні результатів розрахунку сил взаємодії з хрестовиною, що укладена на дерев'яній і з/б основі одержано, що на хрестовинах з середнім зносом переводів на з/б брусах додаткові динамічні вертикальні сили взаємодії більші приблизно в 2 рази, а для хрестовин з пропущеним тонажем, близьким до максимального, сили майже однакові.

НТБ
ДНУЗТ

При аналізі динаміки зміни величин сил в залежності від пропущеного тонажа для хрестовин, укладених на з/б основі, відмічається зменшення значень сил з ростом тонажу. Для хрестовин, укладених на дерев'яній основі зі збільшенням пропущеного тонажу сили збільшуються. Відмічена особливість в динаміці зміни величин сил потребує подальших досліджень, результатом яких повинно стати удосконалення конструкції хрестовини та розробка особливого повздовжнього і поперечного профіля жорсткої хрестовини для переводів на з/б основі; покращення жорсткісних характеристик хрестовини та підхрестовинної основи.

4. Удосконалена і реалізована в пакеті програм методика, що дозволяє вирішувати задачі по визначенню сил вертикальної взаємодії колії і рухомого складу в зоні хрестовини при допомозі персональних ЕОМ.

5. Розроблена нова методика виміру поверхні кочення хрестовини і удосконалена методика розрахунку всього спектра вертикальних нерівностей в межах конкретної хрестовини з урахуванням всієї сукупності коліс з різними ступенями зносу при всіх можливих положеннях колеса щодо хрестовини.

6. Одержано цифрові дані, що характеризують стан бандажів колісних пар піввагонів, які обертаються на мережі доріг України, (по прокату, товщині гребенів та сумі товщин гребенів на одній колісній парі) в сучасних умовах експлуатації.

Основні друковані роботи по темі дисертації.

1. Даниленко Э.И., Моисеенко К.В. Расчет сил взаимодействия пути и подвижного состава в пределах крестовины при помощи персональной ЭВМ //Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Межв.сб. трудов. Днепропетровск, 1997. - С.94-107

2. Воробейчик Л.Я., Гнатенко В.П., Моисеенко К.В. Динамические исследования перевода типа Р65 марки 1/9 на железобетонных брусках //Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Межв.сб. трудов. - Днепропетровск, 1997. - С.77-84.

3. Моисеенко К.В. Натурные измерения поверхности катания крестовин //Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Межв.сб. трудов. Днепропетровск, 1997 - С.107-112.

4. Моисеенко К.В. Расчет траектории движения центра колеса по крестовине и ее вероятности. Тезисы доклада на Международной научно-практической конференции "Ресурсо- и энергосберегающие технологии на транспорте и строительном комплексе", (Гомель, ноябрь 1995 г.). - Гомель, 1995. - С.104.

НТБ
ДНУЗТ

Мойсеєнко К.В. Дослідження особливостей взаємодії колії і рухомого складу в зоні хрестовини стрілочного перевалу з залізобетонними брусами.- Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.06 - залізнична колія.- Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту, Дніпропетровськ, 1998.

Захищається дисертація, що містить теоретичні та практичні результати дослідження особливостей взаємодії колії та рухомого складу в зоні хрестовини на стрілочних перевалах з залізобетонними брусами. В результаті досліджень виявлено, що значення сил взаємодії на хрестовинах, укладених на залізобетонних брусах, при середньому ступені зносу більші приблизно в 2 рази за сили на хрестовинах такого ж зносу, укладених на дерев'яних брусах. І тільки при досягненні хрестовиною максимального зношення сили досягають значень сил на дерев'яній основі. Причиною підвищення рівня сил служать особливості вертикальної нерівності на хрестовині з залізобетонними брусами, викликані підвищеними масою та жорсткістю залізобетонної основи.

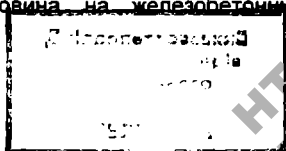
Ключові слова: нерівність, хрестовина на залізобетонних брусах, порівняння, розрахунок на персональній ЕОМ.

Моисеенко К.В. Исследование особенностей взаимодействия пути и подвижного состава в зоне крестовины стрелочного перевода с железобетонными брусьями.- Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.06 железнодорожный путь.- Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта, Днепропетровск, 1998.

Защищается диссертация, которая содержит теоретические и практические результаты исследования особенностей взаимодействия пути и подвижного состава в зоне крестовины на стрелочных переводах с железобетонными брусьями. В результате исследований получено, что значения вертикальных сил взаимодействия на крестовинах, уложенных на железобетонных брусьях, при средней степени износа больше примерно в 2 раза чем силы на крестовинах такого же износа, уложенных на деревянных брусьях. И только при достижении крестовиной максимального износа силы достигают значений сил на деревянном основании. Причиной повышения уровня сил служат особенности вертикальной неровности на крестовине с железобетонными брусьями, вызванные повышенной массой и жесткостью железобетонного основания.

Ключевые слова: неровность, крестовина на железобетонных брусьях, сравнение, расчет на персональной ЭВМ.



59669

Moyseenko K.V. Study of peculiarities of interaction between track and rolling stock in the zone of switch frog with ferro-concrete beams.- Manuscript.

Thesis for a Candidate degree by speciality 05.22.06 railway track.- Dniepropetrovsk State Technical University of Railway Transport, Dniepropetrovsk, 1998.

The dissertation containing theoretical and practical results of study of the 'track-rolling stock' interaction peculiarities in the zone of switch frog with ferro-concrete beams is proposed for the competition. As a result of the research it has been obtained that values of vertical interaction forces on the frogs with average rate of wear laid upon ferro-concrete beams are approximately than 2 times greater as compared to the force values for frogs of the same rate of wear laid upon wood beams. And only when the frog has reached its maximum rate of wear, the forces decrease to ones characteristic for a case of the wood base. The reason for increase of the force values is in the peculiarities of the wheel rolling vertical trajectory over the frog with ferro-concrete beams caused by the increased mass and rigidity of the ferro-concrete base.

Key words: irregularity, frog on ferro-concrete beams, comparison, simulation on IBM PC-compatible computer.

Мойсеєнко Костянтин Володимирович

**ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ І РУХОМОГО СКЛАДУ В ЗОНІ
ХРЕСТОВИНИ СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ З ЗАЛІЗОБЕТОННИМИ БРУСАМИ**

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку 15.04.98 Формат 60х84 1/16
Папір для розмножувальних апаратів. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 1,0. Обл.-вид. арк. 1,0. Зам № 326
Тираж 100 прим. Безкоштовно.

Адреса ділянки оперативної поліграфії ДНІТУ:
320700, Дніпропетровськ-10, вул. Академіка Лазаряна, 2.

Сканувала Кам'янська Н.А.

НТБ
ДНУЗТ