

*Е. І. Даніленко
В. М. Молчанов*

ОСОБЛИВОСТІ ТЕОРЕТИЧНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

У статті поданий розрахунково-теоретичний метод визначення пружнодинамічних характеристик колії та стрілочних переводів і практичну інженерну методику розрахунку. Виконано практичні розрахунки жорсткості рейкових ниток та модуля пружності підрейкової основи й отримано залежності розподілу пружножорсткісних параметрів по довжині стрілочних переводів сучасних конструкцій.

В сатъе представлен расчетно-теоретический метод определения упругодинамических характеристик пути и стрелочных переводов, также практическую инженерную методику расчетов. Выполнены практические расчеты жесткости рельсовых нитей и модуля упругости подрельсового основания и получены зависимости распределения упругожесткостных параметров по длине стрелочных переводов современных конструкций.

The theoretically-calculated approach for determining elastodynamic railway track and turnouts characteristics is developed and the practical engineering calculation methodology and the appropriate software for their implementation are created. The practical calculations of stiffness of the rail line and the modulator of the rail base elasticity are accomplished and the relationship between the elastic stiffness parameters distribution along the length of the turnouts of such modern structure models as R65 1/11 and 1/9 are received.

Ключові слова: залізнична колія, стрілочні переводи, хрестовини, підрейкова основа, пружно-динамічні параметри колії, динамічні сили.

Вступ та постановка проблеми. Загальновідомо, що безпечність роботи залізничної колії та стрілочних переводів визначається у першу чергу міцністю конструкції, яка підбирається залежно від величин сил, що діють від коліс рухомого складу на колію. У свою чергу для теоретичного визначення відповідних сил взаємодії як вихідних характеристик безумовно потрібно знати пружнодинамічні параметри колії.

До пружнодинамічних параметрів належать: жорсткість колії, модуль пружності підрейкової основи, модуль пружності підшпальної основи, пружні прогини під дією динамічних колісних навантажень, приведена масу колії, що бере участь у взаємодії з рухомим складом.

© Даніленко Е. І., Молчанов В. М., 2014

Інформація про вказані характеристики абсолютно необхідна для вивчення роботи як звичайної конструкції колії, так і стрілочних переводів під дією рухомого складу, а також для прогнозування міцності та стійкості конструкцій в різних експлуатаційних умовах.

Найбільшу складність являє вибір вказаних параметрів при дослідженні роботи та проектуванні різноманітних конструкцій стрілочних переводів. Так обчислення вертикальної жорсткості й модуля пружності рейкових ниток у межах довжини стрілочного переводу має свою специфіку, що відрізняє її від розв'язання подібної задачі для звичайної колії, оскільки стрілочний перевід, на відміну від колії, має змінну по довжині кількість ниток, що розташовуються до того ж на змінній відстані одна від одної й при цьому зв'язуються між собою брусами змінної довжини. Крім того, у межах стрілочного переводу рейкові нитки змінюють по довжині свою жорсткість і конструкцію (рейка, гостряк з рамною рейкою, хрестовина, контррейка). Додатково треба враховувати взаємний вплив одна на одну завантажених і ненавантажених ниток, хрестовини й лафету, рейки й контррейки та ін.

Огляд попередніх досліджень. У практиці досліджень існують експериментальні і теоретичні методи визначення жорсткості колії та модуля пружності. Найпоширеніше та практичне застосування мають експериментальні методи. Теоретичні методи до останнього часу (до 1990 – 2000 рр.) не отримали розповсюдження передусім через відсутність розрахункових методик, які б забезпечували достатній рівень точності та результати, близькі до реальних характеристик на діючій колії. Загалом вивченням пружнодинамічних параметрів колії займалось багато дослідників та окремі наукові школи, серед яких перш за все слід згадати ВНДІЗТ (Росія), ЛШЗТ (Росія), ДПТ (Україна), ДЕТУТ (Україна). Дослідженнями пружних параметрів колії на стрілочних переводах переважно займались наукові школи ДПТу та ЛШЗТу, при цьому вертикальний модуль пружності основи визначався шляхом вимірювання жорсткості рейкових ниток стрілочних переводів [1].

У технічній літературі [1–4] наводяться результати багаточисельних досліджень, виконаних провідними колійними науковими школами, однак було отримано великий і зовсім неоднозначний спектр результатів, стосовно пружнодинамічних параметрів для різних конструкцій колії та стрілочних переводів. При цьому у вимірюваннях різних дослідників було отримано досить широкий діапазон значень жорсткості та модуля пружності, які в ряді випадків відрізняються у $1,7 \div 2,0$ і більше разів для ідентичних конструкцій колії. Також з'ясувалося, що натурна жорсткість колії в межах стрілочних переводів суттєво відрізняється від звичайно прийнятих значень жорсткості, що застосовуються при проектуванні стрілочних переводів на залізобетонних брусах.

Різноманітність результатів з визначення пружнодинамічних параметрів пояснюється, перш за все, станом досліджуваних конструкцій колії та, в деяких випадках, відмінністю методик, недостатньою точністю та помилками вимірювань.

Врешті аналіз виконаних експериментальних досліджень з визначення пружнодинамічних параметрів колії та стрілочних переводів свідчить, що дуже важко вибрати потрібні вихідні дані, необхідні для розрахунків міцності або проектування конкретних конструкцій колії чи стрілочних переводів. Оскільки маючи настільки широкий спектр результатів, практично неможливо правильно вибрати вказані характеристики для конкретної конструкції.

Теоретичних досліджень щодо визначення пружнодинамічних параметрів багатониткової конструкції колії в межах стрілочного переходу за аналогічний період у вітчизняній та зарубіжній практиці можна нарахувати лише одиниці. Фактично ж найвідомішою є робота к.т.н. І. І. Семенова [5]. Отримані в даній роботі розрахункові значення вертикального модуля пружності підрейкової основи наведені на рис. 1.

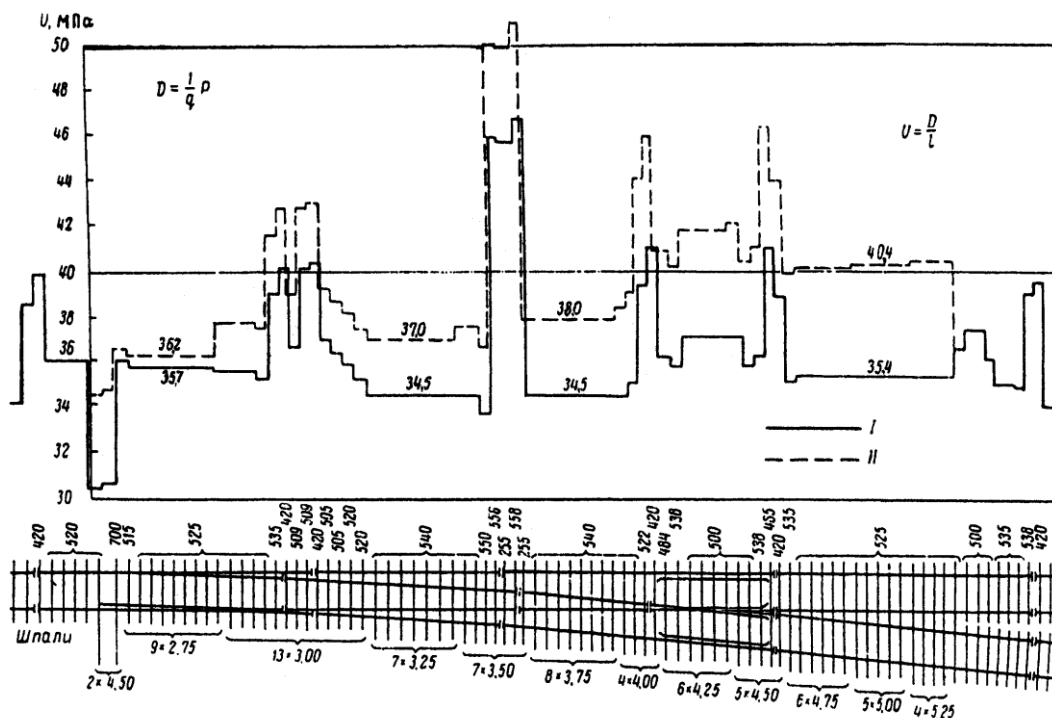


Рис. 1. Графік розподілу модуля пружності по довжині стрілочного переходу типу Р65 марки 1/11 на дерев'яних брусах та щебеному баласті (за даними [5]): I – зовнішня рейкова нитка; II – внутрішня рейкова нитка

Розрахункові результати к.т.н. І. І. Семенова тривалий час залишалися єдиними в даній сфері досліджень і на них наводяться посилання у відомій технічній літературі, наприклад, фундаментальній книзі професорів Веріго М. Ф. і Когана А. Я. «Взаємодія колії й рухомого складу» [6]. Однак, як з'ясувалося пізніше, у розрахунковій методиці, розробленій к.т.н. І. І. Семеновим, були неточності, внаслідок чого в розрахунках шукані характеристики отримані недостатньо правильно.

Лише досить недавно (в середині 1990-х років) з'явилася нова розрахунково-теоретична методика визначення пружнодинамічних параметрів колії, запропонована д.т.н., проф. Е. І. Даніленком [7 – 10], яка досить точно враховує всі вихідні характеристики колії як багатониткової конструкції та вплив на розрахунковий переріз всіх інших завантажених і незавантажених рейкових ниток й може однаково успішно бути застосована як для звичайної (двониткової) конструкції колії, так і для стрілочних переходів. У подальшому, у 1995–2000 рр., при експериментальних дослідженнях стрілочних переходів на дерев'яних і залізобетонних брусах вона засвідчила досить надійну збіжність із експеримен-

тальними даними. У 2004 р. дана методика була офіційно рекомендована «Правилами розрахунків колії на міцність і стійкість» [10].

Основною метою даної статті є показати особливості застосування вказаної методики саме для стрілочних переводів та надати отримані результати розрахунків.

Основний матеріал досліджень. Теоретично розв'язання задачі з визначення жорсткості колії й модуля пружності підрейкової основи в межах довжини стрілочного переводу виконується поетапно: насамперед, розглядаючи конструкцію колії як балку, покладену на окремих пружних опорах (рис. 2, а), і при цьому роботу кожної опори (шпали або бруса) під впливом навантажень, переданих від рейок, варто розглядати як роботу балки обмеженої довжини, що лежить на суцільній рівнопружній «вінклерівській» основі (рис. 2, в).

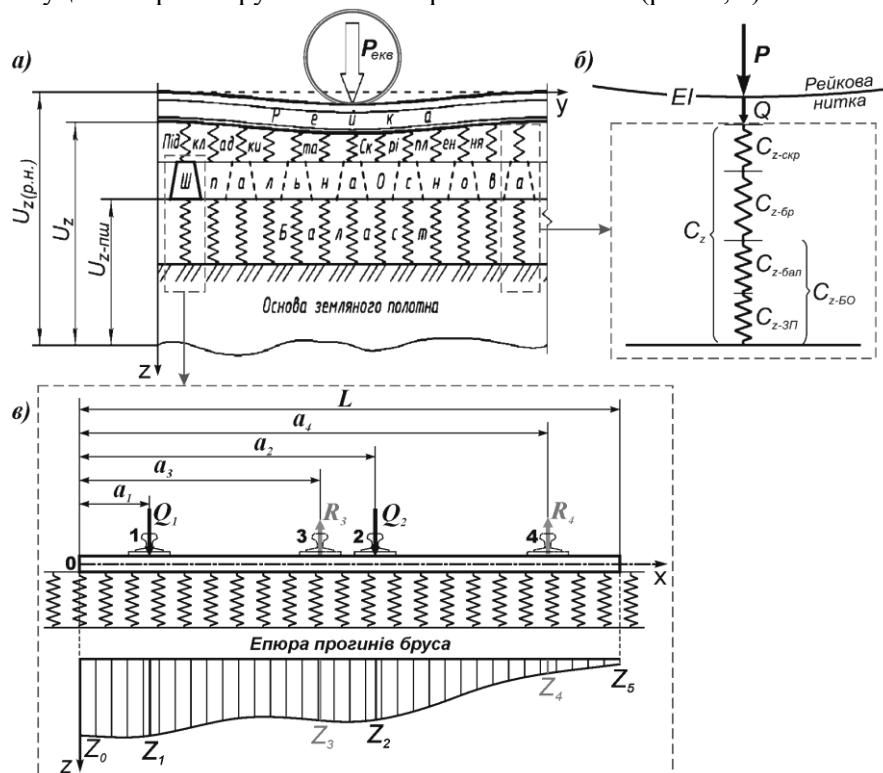


Рис. 2. Механічна модель пружної роботи колії: а – як багат шарової конструкції; б – окремої точкової опори під рейкою; в – бруса як балки на суцільній рівнопружній основі

Особливості розв'язання зазначеної задачі, безумовно, залежать від схеми, що розглядається, розташування рейкових ниток на пружних опорах основи. Для складних багатониткових схем з'єднань і пересічень колій рішення буде більш складним, для звичайної колії з паралельним розташуванням дворейкових ниток на постійній відстані одна від одної – рішення найпростіше. Однак у цілому алгоритм розв'язання розглянутої задачі буде спільним для всіх схем розташування рейкових ниток і може бути поданий у вигляді узагальненої схеми (рис. 3).

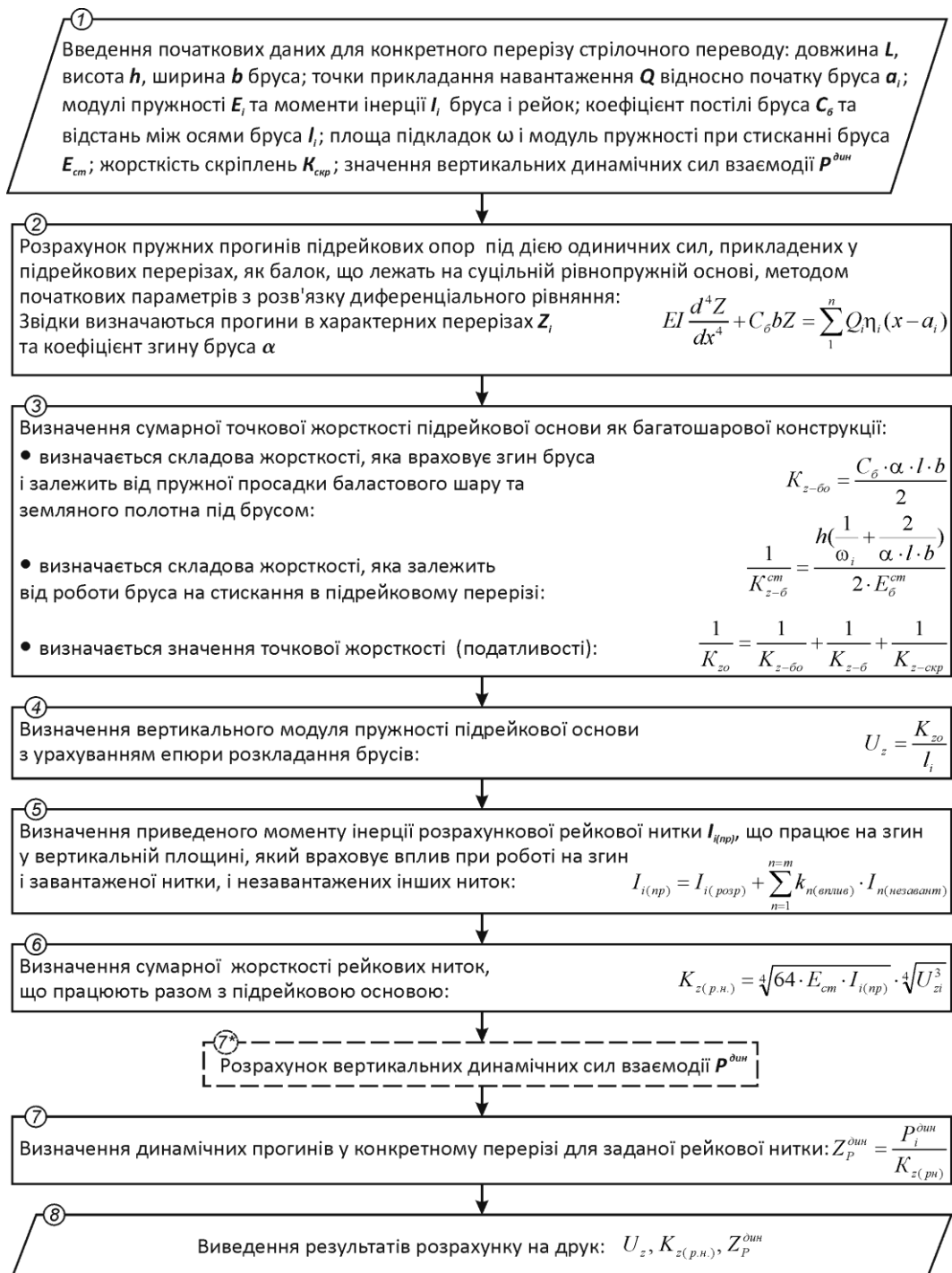


Рис. 3. Алгоритм розрахунку пружнодинамічних характеристик стрілочних перевалів

Кожен укрупнений розрахунковий блок поданого алгоритму являє собою окрему задачу, тому за вказаним алгоритмом авторами розроблено більш деталізовані блок-схеми і складено відповідні програми для розрахунку. При цьому кожна із задач розв'язувалась окремо, а отримані результати по черзі використовувалися в подальших розрахунках.

Наведемо деякі пояснення щодо застосування поданого алгоритму.

При виконанні розрахунків для багатониткових конструкцій колії на першому етапі (блок № 2) визначаються прогини стрілочних брусів із розв'язання диференціального рівняння вигину балки обмеженої довжини, що лежить на суцільній рівнопружній основі, завантаженої системою зосереджених вертикальних сил (див. розрахункову схему рис. 2, в). Разом з тим, для звичайної колії даний розрахунок необов'язковий, оскільки коефіцієнти вигину шпал можна знайти в довідковій літературі.

Сумарна жорсткість точкової опори для багатошарової пружної основи (див. рис. 2, а, б), розрахунковий модуль пружності підрейкової основи та загальна жорсткість рейкової нитки (блоки алгоритму №№ 3, 4, 6) визначаються відповідно до правил [10]. При цьому для колій звичайної конструкції розрахункові жорсткості для обох рейкових ниток приймаються однаковими (з урахуванням гіпотези про рівнозавантаженість рейкових ниток) і постійними по довжині рейкової нитки для прийнятої епюри розкладання шпал. Для стрілочних переводів, потрібно визначати розрахункову жорсткість кожної рейкової нитки, з урахуванням впливу на неї інших ниток, а також хрестовини, контррейок та змінної епюри розкладання брусів, при цьому значення жорсткості буде змінним по довжині рейкової нитки.

Урахування впливу незавантажених рейкових ниток (блок № 5) здійснюється шляхом введення приведених моментів інерції завантажених ниток, що враховують збільшення жорсткості цих ниток за рахунок спільного вигину з незавантаженими рейками [11]. Приведені моменти інерції знаходяться через коефіцієнти взаємного впливу незавантажених і завантажених рейок при вигині брусів, які в свою чергу визначаються з розгляду якісної картини прогинів бруса на пружній основі, що навантажуються одиничними силами при різному їхньому розташуванні й сполученні (рис. 4, а).

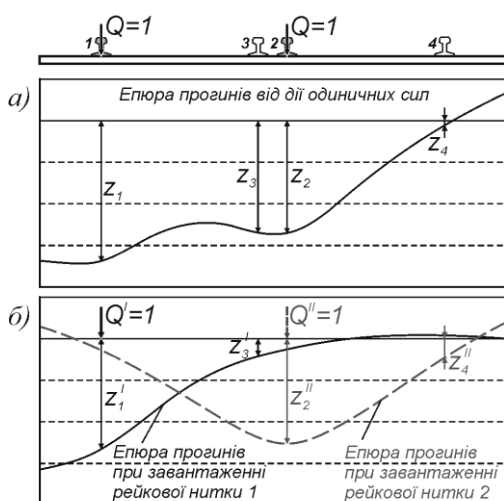


Рис. 4. Епюри прогинів бруса від дії одиничних сил $Q_i=1$

Так, аналізуючи епюру прогинів від одиничного навантаження, прикладеного до рейкової нитки l (рис. 4, б), можна бачити, що її вплив на переріз під незавантаженою рейковою ниткою 3 виражається прогином бруса z_3 під даною ниткою. Брус, прогинаючись, захоплює за собою рейкову нитку 3 , величину прогину якої можна прийняти також рівною z_3 (умовно вважаючи прикріплення абсолютно жорстким). Таким чином, коефіцієнт впливу завантаженої нитки l на незавантажену нитку 3 можна виразити через відношення прогинів $K_{3-1} = z_3^I / z_1^I$. Використовуючи принцип рівності зовнішніх та реактивних сил при взаємодії двох об'єктів, можна зробити висновок, що вплив незавантаженої нитки 3 на завантажену зовнішньою силою рейкову нитку l виразиться тим самим співвідношенням прогинів $K_{1-3} = K_{3-1} = z_3^I / z_1^I$. Інакше кажучи, при роботі бруса на вигин від навантаження, прикладеного до рейкової нитки l , ця рейкова нитка бере участь у вигині всією потужністю свого перерізу, а незавантажена рейкова нитка втягується в роботу на вигин частково або, що те саме, використовуючи частину потужності свого перерізу, виражену співвідношенням прогинів z_3^I / z_1^I .

Таким чином, при завантаженні l -ї та 2 -ї рейкових ниток приведені моменти інерції визначатимуться як:

$$I_{1-np.} = I_1 + I_3 \frac{z_3^I}{z_1^I} + I_4 \frac{z_4^I}{z_1^I}; \quad I_{2-np.} = I_2 + I_3 \frac{z_3^{II}}{z_2^{II}} + I_4 \frac{z_4^{II}}{z_2^{II}}.$$

Тут I_1 ; I_2 ; I_3 ; I_4 – моменти інерції відповідних рейкових ниток при вертикальному вигині з урахуванням їх конкретного конструктивного оформлення й з урахуванням взаємодії окремих конструктивних елементів, що визначає ступінь участі кожного з них у роботі на вигин (у випадку рейкової нитки збірної конструкції, що складається з декількох елементів, що спільно працюють на вигин).

При цьому слід враховувати, що у разі появи від'ємних прогинів (такі випадки можуть мати місце для довгих брусів), коефіцієнти впливу відповідних незавантажених ниток треба приймати рівними нулю.

За описаною вище методикою на кафедрі «Залізнична колія та колійне господарство» ДЕГУТ було розроблено відповідні алгоритми та більш деталізовані блок-схеми й складено комп'ютерні програми з використанням яких було проведено багатоваріантні розрахунки пружнодинамічних параметрів для різноманітних сучасних конструкцій стрілочних переводів.

Отримані результати та висновки. Розрахунки проводились окремо по кожному брусу в місцях зміни їх типорозмірів згідно з епюрою стрілочного переводу, а результати роздруковувались у вигляді принт-листів для подальшого аналізу та узагальнення. Для прикладу на рис. 5 подано роздруківки визначених пружнодинамічних параметрів стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 на дерев'яних брусах, які можна співставити з результатами к.т.н. Семенова І.І. [5]. Зокрема при порівнянні з [5] спостерігається подібний рівень величини модуля пружності по довжині стрілочного переводу в межах 40÷55 МПа, подібною є й різниця між його значеннями по зовнішній та внутрішній нитках переводу 2÷5 МПа, однак у стиках відсутні значні стрибки значень.

Зведені графіки розподілу розрахованих пружнодинамічних параметрів по довжині стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 на залізобетонних брусах подані на рис. 6.

РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЕКТ №2433 ТИП Р65 МАРКА 1/11 БРУС №18

Проект №2433 Тип Р65 Марка 1/11 БРУС №18

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса.....	$L_0=300$ см
Ширина бруса.....	$b_0=25$ см
Висота бруса.....	$h_0=16$ см
Відстань між осями пружних опор.....	$l=50.5$ см
Коефіцієнт постілі підрейкової основи.....	$C_n=16$ кг/см ³ (Літо)
Модуль пружності матеріалу бруса на стискання.....	$E_n=800$ кг/см ²
Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса.....	$C_{мн}=250$ кг/см ³
Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою...<math>\Omega_1>	$\Omega_1=1080$ см ²
Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою...<math>\Omega_2>	$\Omega_2=1080$ см ²
Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою...<math>\Omega_3>	$\Omega_3=1080$ см ²
Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою...<math>\Omega_4>	$\Omega_4=1080$ см ²
Момент інерції 1-ї рейкової нитки.....	$I_1=3548$ см ⁴
Момент інерції 2-ї рейкової нитки.....	$I_2=3548$ см ⁴
Момент інерції 3-ї рейкової нитки.....	$I_3=3548$ см ⁴
Момент інерції 4-ї рейкової нитки.....	$I_4=3548$ см ⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ
по прямій/боковій колі стрілочного переводу

Пружинодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса <math>\alpha_i>	0.73887 0.75083	0.77459 0.77242	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна $K_{бo}$	44332 45049	46475 46345	кг/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) K_{op}	60342 60552	60954 60918	кг/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	25556 25831	26369 26320	кг/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	506.06 511.51	522.17 521.20	кг/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток I_{np}	6772.3 6813.5	6743.3 6755.7	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{нi}$	104217 105217	106580 106481	кг/см

РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Проект №2433 Тип Р65 Марка 1/11 БРУС №55

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса.....	$L_0=430$ см
Ширина бруса.....	$b_0=25$ см
Висота бруса.....	$h_0=16$ см
Відстань між осями пружних опор.....	$l=50$ см
Коефіцієнт постілі підрейкової основи.....	$C_n=16$ кг/см ³ (Літо)
Модуль пружності матеріалу бруса на стискання.....	$E_n=800$ кг/см ²
Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса.....	$C_{мн}=250$ кг/см ³
Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою...<math>\Omega_1>	$\Omega_1=972$ см ²
Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою...<math>\Omega_2>	$\Omega_2=1045$ см ²
Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою...<math>\Omega_3>	$\Omega_3=1045$ см ²
Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою...<math>\Omega_4>	$\Omega_4=972$ см ²
Момент інерції 1-ї рейкової нитки.....	$I_1=3800$ см ⁴
Момент інерції 2-ї рейкової нитки.....	$I_2=9634$ см ⁴
Момент інерції 3-ї рейкової нитки.....	$I_3=9634$ см ⁴
Момент інерції 4-ї рейкової нитки.....	$I_4=3800$ см ⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ
по прямій/боковій колі стрілочного переводу

Пружинодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса <math>\alpha_i>	0.49217 0.51267	0.53918 0.53495	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна $K_{бo}$	44294 46140	48525 48145	кг/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) K_{op}	55507 55956	59900 59807	кг/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	24635 25288	26808 26673	кг/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	492.71 505.76	536.16 533.46	кг/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток I_{np}	4085.7 4029.8	9727.2 9755.7	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{нi}$	90025 91491	119143 118779	кг/см

Проект №2433 Тип Р65 Марка 1/11 БРУС №37

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса.....	$L_0=375$ см
Ширина бруса.....	$b_0=25$ см
Висота бруса.....	$h_0=16$ см
Відстань між осями пружних опор.....	$l=50.5$ см
Коефіцієнт постілі підрейкової основи.....	$C_n=16$ кг/см ³ (Літо)
Модуль пружності матеріалу бруса на стискання.....	$E_n=800$ кг/см ²
Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса.....	$C_{мн}=250$ кг/см ³
Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою...<math>\Omega_1>	$\Omega_1=646$ см ²
Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою...<math>\Omega_2>	$\Omega_2=646$ см ²
Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою...<math>\Omega_3>	$\Omega_3=646$ см ²
Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою...<math>\Omega_4>	$\Omega_4=646$ см ²
Момент інерції 1-ї рейкової нитки.....	$I_1=3548$ см ⁴
Момент інерції 2-ї рейкової нитки.....	$I_2=3548$ см ⁴
Момент інерції 3-ї рейкової нитки.....	$I_3=3548$ см ⁴
Момент інерції 4-ї рейкової нитки.....	$I_4=3548$ см ⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ
по прямій/боковій колі стрілочного переводу

Пружинодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса <math>\alpha_i>	0.59058 0.61552	0.63726 0.62418	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна $K_{бo}$	44293 46164	47794 46813	кг/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) K_{op}	39550 39780	39968 39857	кг/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	20893 21367	21766 21528	кг/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	413.74 423.12	431.01 426.29	кг/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток I_{np}	4709.9 4848.5	5732.5 5618.1	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{нi}$	81827 83820	88624 87454	кг/см

РОЗРАХУНОК ПРУЖНОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Проект №2433 Тип Р65 Марка 1/11 БРУС №71

РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ

Довжина бруса.....	$L_0=525$ см
Ширина бруса.....	$b_0=25$ см
Висота бруса.....	$h_0=16$ см
Відстань між осями пружних опор.....	$l=52.5$ см
Коефіцієнт постілі підрейкової основи.....	$C_n=16$ кг/см ³ (Літо)
Модуль пружності матеріалу бруса на стискання.....	$E_n=800$ кг/см ²
Коефіцієнт постілі підкладки при зминанні бруса.....	$C_{мн}=250$ кг/см ³
Площа металевої підкладки під 1-ю рейковою ниткою...<math>\Omega_1>	$\Omega_1=646$ см ²
Площа металевої підкладки під 2-ю рейковою ниткою...<math>\Omega_2>	$\Omega_2=646$ см ²
Площа металевої підкладки під 3-ю рейковою ниткою...<math>\Omega_3>	$\Omega_3=646$ см ²
Площа металевої підкладки під 4-ю рейковою ниткою...<math>\Omega_4>	$\Omega_4=646$ см ²
Момент інерції 1-ї рейкової нитки.....	$I_1=3548$ см ⁴
Момент інерції 2-ї рейкової нитки.....	$I_2=3548$ см ⁴
Момент інерції 3-ї рейкової нитки.....	$I_3=3548$ см ⁴
Момент інерції 4-ї рейкової нитки.....	$I_4=3548$ см ⁴

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ
по прямій/боковій колі стрілочного переводу

Пружинодинамічні параметри	По зовніш. нитках	По внутр. нитках	Одиниця виміру
Коефіцієнти згину бруса <math>\alpha_i>	0.42203 0.44001	0.46245 0.45983	-
Жорсткість, яка враховує згин бруса та залежить від пружної просадки баласту і земляного полотна $K_{бo}$	44313 46201	48557 48282	кг/см
Жорсткість, яка залежить від матеріалу бруса (від роботи бруса на стискання та на зминання) K_{op}	39553 39785	40053 40022	кг/см
Сумарна точкова жорсткість підрейкової основи K_z	20899 21376	21948 21883	кг/см
Розрахункове значення модуля пружності підрейкової основи U_z	398.07 407.17	418.06 416.82	кг/см ²
Приведені моменти інерції, які враховують вплив незавантажених рейкових ниток I_{np}	3654.0 3659.6	5212.3 5212.7	см ⁴
Сумарна (розрахункова) жорсткість рейкових ниток $K_{нi}$	74605 75910	84584 84397	кг/см

Рис. 5. Результати розрахунку пружнодинамічних параметрів стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 на дерев'яних брусах

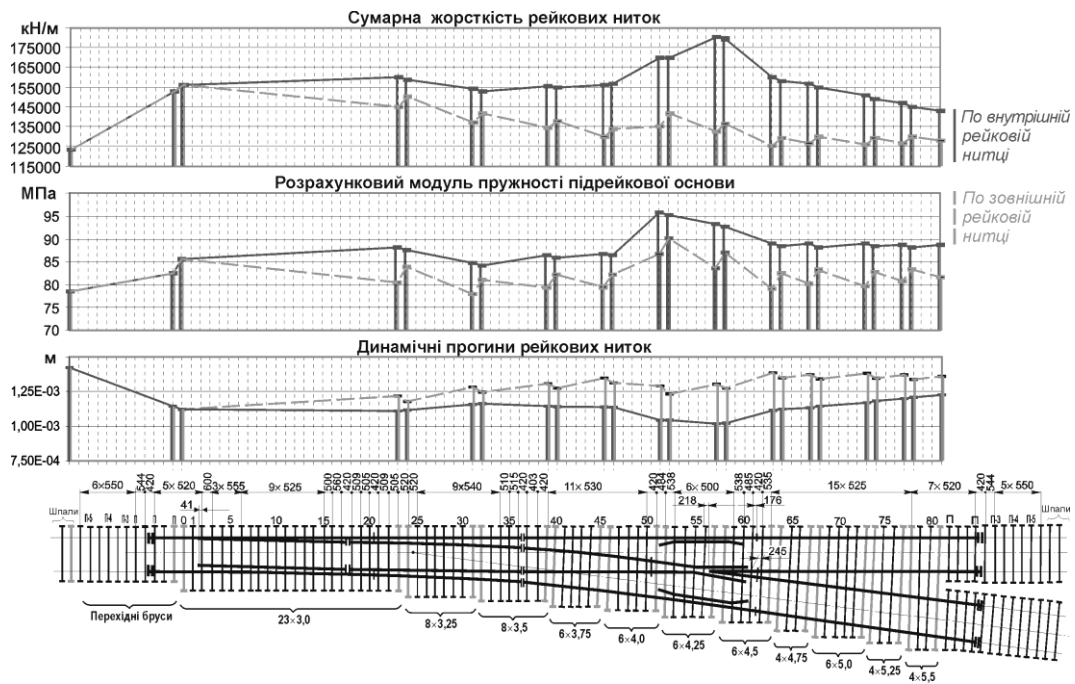


Рис. 6. Розподіл пружнодинамічних параметрів по довжині стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 на залізобетонних брусах (проект № 1740)

Аналізуючи результати виконаних розрахунків для різних конструкцій стрілочних переводів можна виділити такі характерні особливості отриманих параметрів жорсткості:

1) вертикальний модуль пружності колії, визначений для внутрішніх рейкових ниток стрілочного переводу має в середньому на 7,32 % вищі значення ніж для зовнішніх ниток; по довжині переводу спостерігаються відносно невеликі коливання U_z (близько $\pm 3,5$ %) щодо середньої величини, і лише в зоні хрестовини є дещо більше зростання на 7,6 %;

2) сумарна жорсткість зовнішніх рейкових ниток відносно рівномірна по довжині переводу з коливаннями $\pm 7,5$ % щодо середньої величини; жорсткість колії по внутрішній рейковій нитці локально зростає до 14,5 % в зоні хрестовини; у хрестовинній частині також спостерігається значна різниця (до 26 %) між жорсткістю по внутрішній та зовнішній нитках;

3) точкова жорсткість підрейкових опор при інших рівних умовах значною мірою залежить від жорсткості баласту і основи колії; в свою чергу жорсткість, що залежить від пружного осідання баластового шару й земляного полотна під брусом, характеризується сталістю по довжині переводу і різницею в межах $8,3 \div 22,7$ % по внутрішній та зовнішній рейкових нитках, яка пояснюється характером вигину брусів для конкретних підрейкових перерізів;

4) враховуючи, що отриманий рівень сил взаємодії без урахування додаткової динаміки в зоні нерівностей стрілочного переводу відносно сталий, то залежність динамічних прогинів по довжині переводу фактично має характер, оберненопропорційний жорсткості рейкових ниток;

5) розрахункова жорсткість колії для стрілочних переводів на дерев'яних брусах нижча в порівнянні з переводами на залізобетонних брусах на 33,6÷45,8 %.

Отримані результати розрахунків пружнодинамічних параметрів стрілочних переводів у кінцевому результаті дозволяють давати практичну оцінку силової завантаженості, міцності та стійкості основних елементів стрілочних переводів, і на їхній основі раціонально проектувати нові конструкції колії і стрілочних переводів та вирішувати завдання оптимізації відповідних параметрів та конструкцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жилин Г. К. Современная оценка характеристик жесткости / Г. К. Жилин, В. И. Шатерков // Тр. ДИИТ. – 1972. – Вып. 138. – С.73 – 77.
2. Фришман М. А. Исследование вертикальной жесткости по длине стрелочного перевода на ж.-б. брусках / М. А. Фришман, В. П. Гнатенко // Тр. ДИИТ. – 1976. – Вып. 180/17. – С. 12 – 16.
3. Яковлев В. Ф. Исследование упругодинамических характеристик пути и определение динамических вертикальных сил в крестовине / В. Ф. Яковлев, И. И. Семенов // Тр. ЛИИЖТ. – 1964. – Вып. 222. – С. 106 – 137.
4. Семенов И. И. Об упругих неровностях рельсовых нитей в пределах стрелочного перевода / И. И. Семенов // Тр. ЛИИЖТ. – 1963. – Вып. 211. – С. 158 – 179.
5. Семенов И. И. Вопросы динамического расчета элементов стрелочных переводов на прочность под воздействием вертикальных сил: автореферат дис. ... канд. техн. наук / И. И. Семенов. – ЛИИЖТ. – Ленинград, 1964. – 20 с.
6. Вериго М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго, Ф. Я. Коган. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
7. Даниленко Э. И. Теоретические основы и практические методы расчета прочности и износоустойчивости пересечений и соединений рельсовых путей промышленного транспорта: дис. ... доктора техн. наук: спец. 05.22.12 / Э. И. Даниленко. – С.-Петербург, 1992. – 565 с.
8. Даниленко Э. И. Расчетно-теоретический метод определения упругодинамических параметров для обычной конструкции пути и многониточных путей / Даниленко Э. И. / Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. //Труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1997. – С. 32 – 41.
9. Молчанов В. М. Визначення пружнодинамічних параметрів підрейкової основи як передумов для розв'язання проблем силового розрахунку стрілочних переводів / В. М. Молчанов // Зб. наук. праць Київського університету економіки і технологій транспорту: Сер. «Транспортні системи і технології». – Вип. 1 – 2. – К.: КУЕТТ, 2003. – С. 16 – 19.
10. Даниленко Е. И. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість / Е. И. Даниленко, В. В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2004. – 119 с.
11. Даниленко Э. И. Учет взаимного влияния рельсовых нитей при расчетах изгиба брусков под стрелочными переводами или другими многониточными конструкциями / Э. И. Даниленко, Т. Л. Сиволап, Н. Н. Шавловский // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1997. – С. 41 – 46.