

БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра «Колія та колійне господарство»

**РОЗРАХУНОК ПІДКРАНОВОЇ КОЛІЇ
НА МІЦНІСТЬ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до розрахунково-графічної роботи
з дисципліни**

”ПІДКРАНОВІ КОЛІЇ”

Харків - 2013

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Колія та колійне господарство» 5 листопада 2012 р., протокол № 5.

У методичних вказівках висвітлені питання розрахунку підкранових колій на міцність під впливом навантаження від вантажопідйомних кранів. Подана методика визначення напружень у верхній будові підкранової колії та на площадці земляного полотна. Отримані результати порівнюються з допустимими значеннями напружень та робиться висновок про можливість подальшої експлуатації колії крана.

Методичні вказівки призначені для студентів будівельної спеціальності «Промислове та цивільне будівництво», що вивчають курс «Підкранові колії», денної та заочної форм навчання.

Укладачі:
проф. В.П. Шраменко,
асист. Д.А. Фаст

Рецензент
доц. А.М. Малявін

РОЗРАХУНОК ПІДКРАНОВОЇ КОЛІЇ НА МІЦНІСТЬ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до розрахунково-графічної роботи
з дисципліни

”ПІДКРАНОВІ КОЛІЇ”

Відповідальний за випуск Фаст Д.А.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 26.11.12 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 0,75. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра "Колія та колійне господарство"

РОЗРАХУНОК ПІДКРАНОВОЇ КОЛІЇ НА МІЦНІСТЬ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до розрахунково-графічної роботи
з дисципліни**

"ПІДКРАНОВІ КОЛІЇ"

[Введіть цитату з документа або коротке описання інтересного события. Надпись можно поместить в любое место документа. Для изменения форматирования надписи, содержащей броские цитаты, используйте вкладку "Работа с надписями".]

Харків 2013

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри „Колія та колійне господарство” 5 листопада 2012 р., протокол № 5.

У методичних вказівках висвітлені питання розрахунку підкранових колій на міцність під впливом навантаження від вантажопідйомних кранів. Подана методика визначення напружень у верхній будові підкранової колії та на площадці земляного полотна. Отримані результати порівнюються з допустимими значеннями напружень та робиться висновок про можливість подальшої експлуатації колії крана.

Методичні вказівки призначені для студентів будівельної спеціальності ”Промислове та цивільне будівництво”, що вивчають курс ”Підкранові колії”, денної та заочної форм навчання.

Укладачі:
проф. В.П. Шраменко,
асист. Д.А. Фаст

Рецензент
доц. А.М. Малявін

1 Розрахунок підкранової колії на міцність

1.1 Мета розрахунку

При розв'язанні ряду інженерних питань в колійному господарстві необхідно перевіряти відповідність потужності елементів верхньої будови підкранової колії тим навантаженням, які діють на неї в конкретних умовах експлуатації. Виконання розрахунків верхньої будови підкранової колії дозволяє вирішувати такі задачі:

- визначення напружень в елементах верхньої будови підкранової колії від дії кранового навантаження із заданими його експлуатаційними характеристиками;
- визначення необхідної потужності верхньої будови підкранової колії для заданих умов експлуатації.

1.1.1 Передумови розрахунку верхньої будови підкранової колії на міцність

Під дією кранового обладнання в елементах верхньої будови підкранової колії виникають напруження і деформації. Залежність їх від сил, які діють на колію, складна і не піддається точному визначенню. Тому в Правилах розрахунку підкранової колії на міцність прийняті такі передумови:

- розрахунок ведеться за формулами, які застосовуються при статичному прикладанні навантаження;
- рейка розраховується за формулами згинання; контактні напруження, напруження під головкою рейки та інші місцеві напруження не враховуються (припускається, що рівень згинальних напружень характеризує у певній мірі і місцеві напруження у рейках);
- характеристики підкранової колії (модуль пружності та ін.) приймаються детермінованими;
- рейка розглядається як нерозрізна балка, яка лежить на суцільній пружній основі (розглядається переріз, який віддалений від стику на 3,5 м та більше);

- пружна реакція основи рахується лінійно залежною від просадки – y , тобто $q = U \cdot y$, де U – коефіцієнт пропорційності або модуль пружності підрейкової основи;

- розрахунок ведеться на дію вертикальних сил, які прикладені по осі симетрії рейки;

- колеса рухомого складу при русі не відриваються від поверхні катання рейки (розглядається безударний рух);

- при дії на колію системи вантажів використовується закон незалежності дії сил – напруження і деформації в перерізі, що розглядається, складаються з урахуванням їх величини і знака;

- колія і кранове обладнання знаходяться в справному стані, що відповідає вимогам ПТЕ;

- за критерії міцності рейок приймаються допустимі напруження виходячи з їх роботи на витривалість.

Приймається, що міцність верхньої будови підкранової колії визначається, в першу чергу, міцністю рейок по напруженню згинання. Напруження в шпалах під підкладками і в баласті характеризує інтенсивність накопичення залишкових деформацій. Перевищення допустимих напружень в шпалах і баласті вказує на необхідність підсилення підкранової колії, але не потребує обмеження швидкості руху кранового обладнання; перевищення напружень на площадці земляного полотна потребує введення обмеження швидкості руху і підсилення колії.

1.2 Методика розрахунку напружень в елементах верхньої будови колії

Відповідно до методики розрахунку залізничної колії на міцність [7, 8], найбільші нормальні напруження при вигині рейки в кромках її подошви (головки) визначаються за формулою

$$\sigma_{кп(кг)} = \frac{f \cdot M}{W_{n(г)}}, \quad (1)$$

де M – величина згинального моменту в розрахунковому перерізі при статичному впливі навантаження, кг·см;

$W_{n(г)}$ – момент опору поперечного перерізу по низу подошви (верху головки) рейки, см³ (додаток А, таблиця А.1);

f – коефіцієнт, який враховує дію горизонтальних сил.

В даному випадку, виходячи з практично статичного навантаження з боку крана на рейки, величина цього коефіцієнта f приймається рівною одиниці.

Напруження на шпалі під підкладкою визначається за формулою

$$\sigma_u = \frac{Q}{\omega_n}, \quad (2)$$

де Q – поперечна сила в підрейковому перерізі, кг;

ω_n – опорна площа підкладки, см² (додаток Д, таблиця Д.1).

Напруження на поверхні баласту під нижньою постіллю шпали визначаються за формулою

$$\sigma_o = \frac{Q}{\Omega_\alpha}, \quad (3)$$

де Ω_α – ефективна опорна площа напівшпали з урахуванням її вигину, см² (додаток Г, таблиця Г.1).

При дії на колію системи вантажів еквівалентна сила визначається за формулами (4) і (9) також з урахуванням статичного навантаження від коліс кранового обладнання

$$P'_{екв} = \max \sum P_i \cdot \mu_i, \quad (4)$$

де P_i – розрахункове значення навантаження на ходове колесо, кг;

μ_i – ординати лінії впливу для визначення згинального моменту в розрахунковому перерізі, розташовані під осями, що навантажують рейку (рисунок 1), визначаються за формулою

$$\mu_i = e^{-Kx_i} (\cos Kx_i - \sin Kx_i) \quad (5)$$

або за таблицею Е.1.

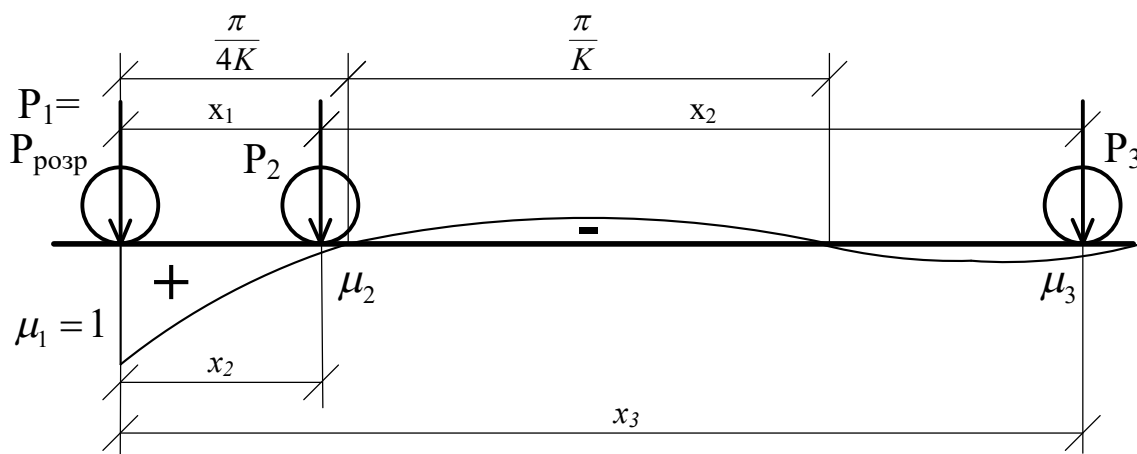


Рисунок 1 – Розрахункова схема для визначення величини еквівалентного навантаження $P'_{екв}$

Відповідно до цього згинальний момент у розрахунковому перерізі визначається за формулою

$$M = \frac{1}{4K} P'_{екв}, \quad (6)$$

де K – коефіцієнт відносної жорсткості підрейкової основи та рейки, см^{-1} .

$$K = \sqrt[4]{\frac{U}{4EI_B}}, \quad (7)$$

де U – модуль пружності підрейкової основи, $\text{кг}/\text{см}^2$ (таблиці Б.1, В.1 додатків Б і В);

E – модуль пружності рейкової сталі, $E = 2.1 \cdot 10^6 \text{ кг}/\text{см}^2$;

I_B – момент інерції поперечного перерізу рейки відносно горизонтальної нейтральної осі при вигині у вертикальній площині, см^4 (додаток А, таблиця А.1).

Величина найбільшої вертикальної поперечної сили, що передається рейкою на основу, визначається за формулою

$$Q = \frac{Kl}{2} P''_{екв}. \quad (8)$$

де l – відстань між осями півшпал, см ;

$P''_{екв}$ – еквівалентна одиночна вертикальна сила, до якої зведено вплив колісних навантажень при визначенні напружень на шпалі та баласті під нижньою постіллю шпали

$$P_{екв}'' = \max \Sigma P_i \cdot \eta_i, \quad (9)$$

де η_i – ординати лінії впливу для визначення вертикальної поперечної сили в розрахунковому перерізі, розташовані під осями, що навантажують рейку (рисунок 2), визначаються за формулою

$$\eta_i = e^{-Kx_i} (\cos Kx_i + \sin Kx_i). \quad (10)$$

або за таблицею Е.1.

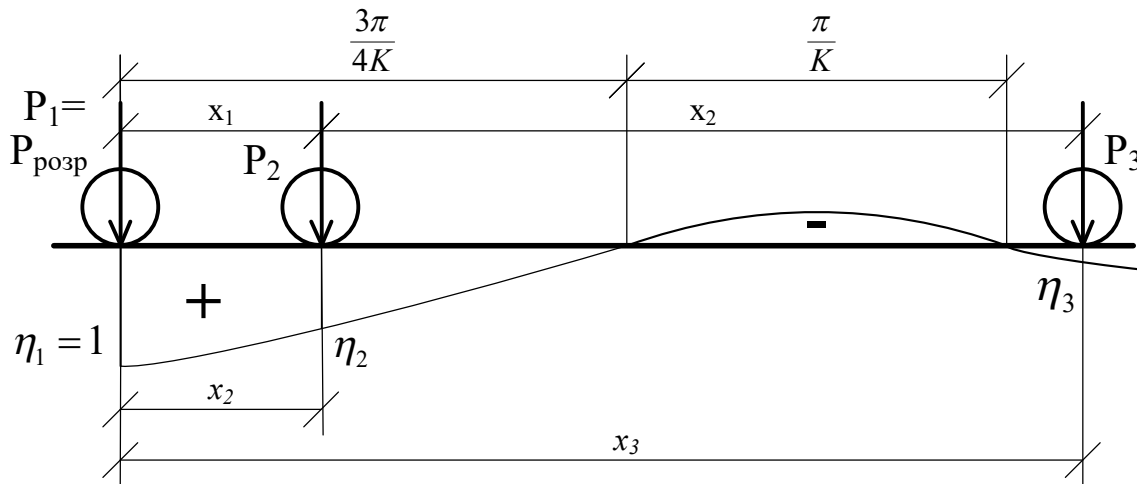


Рисунок 2 – Розрахункова схема для визначення величини еквівалентного навантаження $P_{екв}''$

Для визначення максимальних значень $P_{екв}'$ і $P_{екв}''$ необхідно розглянути кілька варіантів положення навантажень відносно розрахункового перерізу, тобто зробити декілька завантажень відповідної лінії впливу й вибрати максимальний результат.

1.3 Визначення напружень на площадці земляного полотна

Напруження на площадці земляного полотна (рисунок 3) визначаються за формулою

$$\sigma_{zn} = \sigma_h + \sum \sigma_{h1,2} \leq [\sigma_{zn}], \quad (11)$$

де σ_h – напруження, що виникають на глибині h_0 від нижньої поверхні шпал.

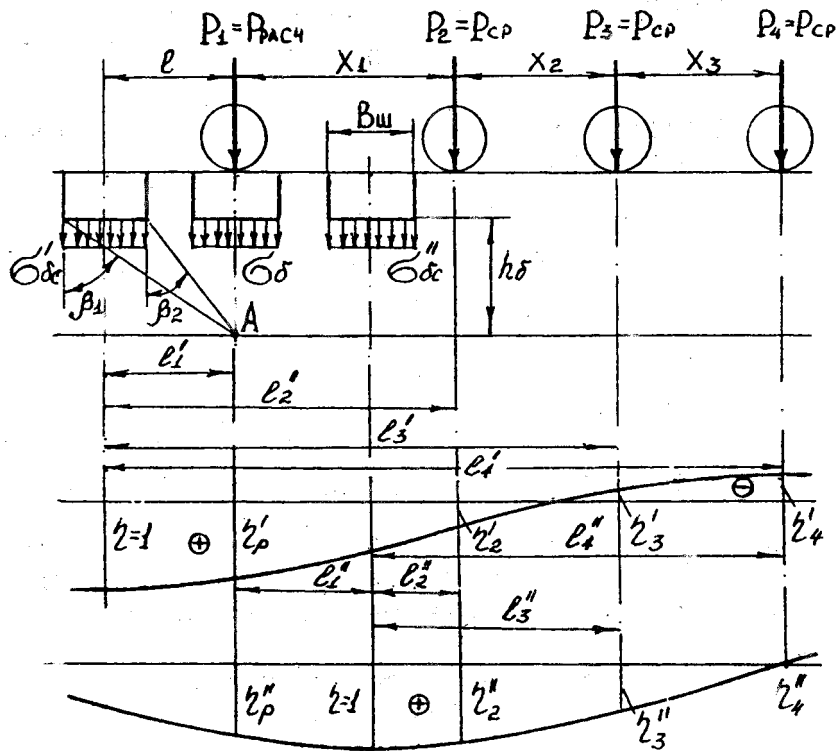


Рисунок 3 – Розрахункова схема для визначення напружень на площадці земляного полотна

$$\sigma_h = r_1 \sigma_0 \left[0,635m \left(\frac{b}{2h_0} - \frac{b^3}{24h_0^3} \right) + 1,275(2-m) \left(\frac{bh_0}{b^2 + 4h_0^2} \right) \right], \quad (12)$$

де r_1 – коефіцієнт, що враховує матеріал шпали (для залізобетонних шпал – 0,7; для дерев'яних – 0,8);

σ_0 – напруження в баластному шарі безпосередньо під розрахунковою шпалою, кг/см²;

b – ширина шпали, см (додаток Г, таблиця Г.1);

h_0 – товщина баласту під шпалою, см;

m – коефіцієнт, що характеризує нерівномірність розподілу напружень на баласті по ширині шпали

$$m = \frac{8,9}{4,35 + \sigma_{\delta}}, \quad (13)$$

$\sum \sigma_{h \ 1.2}$ – напруження від впливу сусідніх шпал (ліворуч і праворуч від розрахункової), кг/см². Досвід і розрахунки показують, що $\sum \sigma_{h \ 1.2} \approx 0.1 \sigma_h$.

Таким чином,

$$\sigma_{zn} = 1,1 \sigma_h, \quad (14)$$

Якщо позначити $C_1 = \frac{b}{2h_{\delta}} - \frac{b^3}{24h_{\delta}^3}$, а $C_2 = \frac{bh_{\delta}}{b^2 + 4h_{\delta}^2}$, то вираз (12) набуде вигляду

$$\sigma_h = r_1 \sigma_{\delta} [0,635mC_1 + 1,275(2 - m)C_2]. \quad (15)$$

Для встановлення залежності $\sigma_h = f(h_{\delta})$, а отже й $\sigma_{zn} = f(h_{\delta})$, розрахунки доцільно виконувати в табличній формі (таблиця 1).

Таблиця 1 – Результати розрахунку напружень на основній площадці земляного полотна від зовнішнього навантаження для підкранової колії залежно від товщини баласного шару

h_{δ} , см	$\frac{b}{2h_{\delta}}$	$\frac{b^3}{24h_{\delta}^3}$	$0,635mC_1$	$b \cdot h_{\delta}$	$b^2 + 4h_{\delta}^2$	$\frac{1,27}{\times} \left(\frac{2,7}{-} \right)$	σ_h , МПа	σ_{zn} , МПа
$h_{\delta} - 10$ см								
h_{δ}								
$h_{\delta} + 10$ см								
$h_{\delta} + 20$ см								

Примітка – Значення h_{δ} приймається згідно з варіантом вихідних даних.

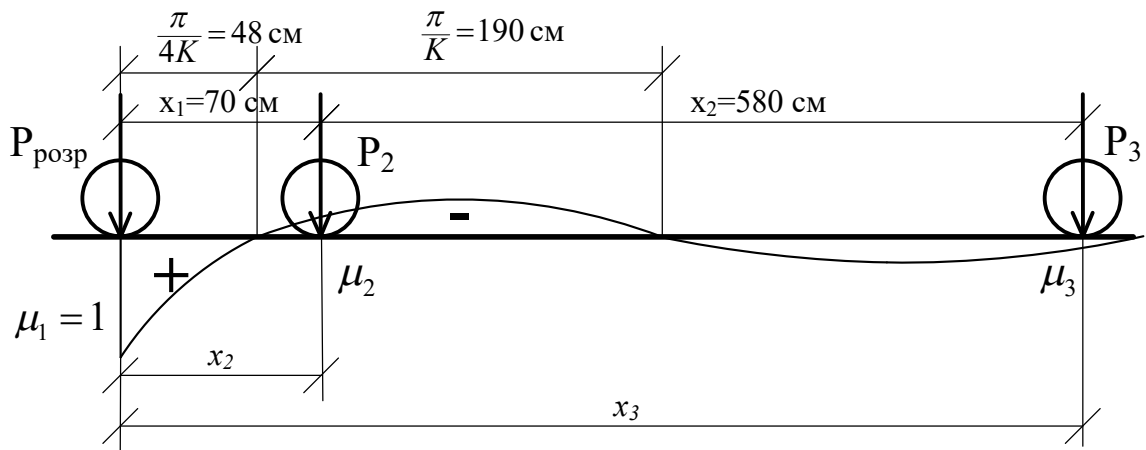
2 Загальні висновки та пропозиції про несучу здатність елементів підкранової колії від дії кранового обладнання

Несуча здатність елементів колії оцінюється за результатами порівняння розрахункових напружень в її елементах з відповідними допустимими значеннями.

В умовах роботи залізничної колії на магістральних залізницях допускаються напруження у їх елементах, які встановлено залежно від вантажонапруженості. Для умов з найменшою вантажонапруженістю (менш 10 млн т бруто/км за рік, а саме такі умови можуть бути близькими для розглянутих в даному випадку) прийняті такі значення:

- кромочні напруження в рейках при вигині $[\sigma_k] = 270$ МПа;
- напруження на шпалі під підкладкою: для дерев'яних $[\sigma_{ш}] = 3$ МПа, для залізобетонних (міцність гуми на зминання) $[\sigma_{ш}] = 4$ МПа;
- напруження в баласті під шпалою: для піску $[\sigma_б] = 0,4$ МПа, для гравію $[\sigma_б] = 0,45$ МПа, для щебеню $[\sigma_б] = 0,5$ МПа;
- напруження на основній площадці земляного полотна (в основі баласної призми) $[\sigma_{зн}] = 0,1 \div 0,12$ МПа.

Таким чином, якщо отримані розрахункові напруження в елементах підкранової колії знаходяться в межах допустимих значень, це означає, що вони мають достатню несучу здатність при максимальних навантаженнях з боку коліс кранового обладнання.

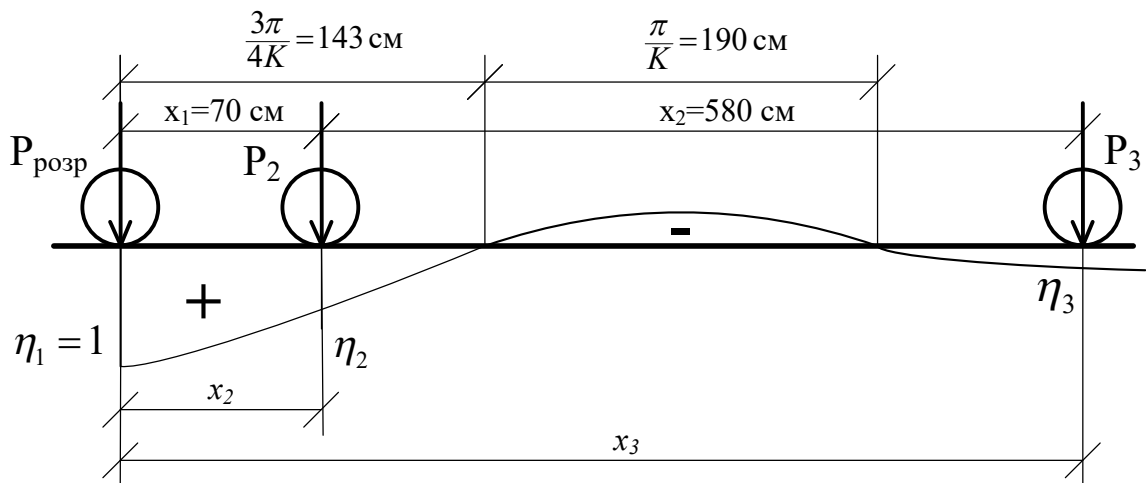


$$\mu_1 = 1;$$

$$\mu_2 = e^{-0,0165 \cdot 70} (\cos 0,0165 \cdot 70 - \sin 0,0165 \cdot 70) = -0,1622;$$

$$\mu_3 = e^{-0,0165 \cdot 650} (\cos 0,0165 \cdot 650 - \sin 0,0165 \cdot 650) = 0,000015$$

Рисунок 4



$$\eta_1 = 1;$$

$$\eta_2 = e^{-0,0165 \cdot 70} (\cos 0,0165 \cdot 70 + \sin 0,0165 \cdot 70) = 0,4126;$$

$$\eta_3 = e^{-0,0165 \cdot 650} (\cos 0,0165 \cdot 650 + \sin 0,0165 \cdot 650) = -0,00003$$

Рисунок 5

Зводимо результати в таблицю 2.

Таблиця 2 – Значення ординат ліній впливу

$x = \sum x_i$	x	Kx	$\mu_i = e^{-Kx_i}(\cos Kx_i - \sin Kx_i)$	$\eta_i = e^{-Kx_i}(\cos Kx_i + \sin Kx_i)$
$x_1 = 0$	0	0	1	1
$x_2 = x_1$	70	1,16	-0,1622	0,4126
$x_3 = x_1 + x_2$	650	10,73	0,000015	-0,00003
			$\sum \mu_i = 0,837815$	$\sum \eta_i = 1,41257$

Згідно з (4) і (9),

$$P_{екв}^I = 16050(1 + (-0.1622) + 0,000015) = 13447 \text{ кг};$$

$$P_{екв}^{II} = 16050(1 + 0.4126 + (-0,00003)) = 22671,8 \text{ кг}.$$

Далі розміщуємо розрахункове навантаження над другою віссю першого візка крана та визначаємо ординати лінії впливу.

$$\mu_1 = e^{-0,0165 \cdot 70}(\cos 0,0165 \cdot 70 - \sin 0,0165 \cdot 70) = -0,1622;$$

$$\mu_2 = 1;$$

$$\mu_3 = e^{-0,0165 \cdot 580}(\cos 0,0165 \cdot 580 - \sin 0,0165 \cdot 580) = -0,00006.$$

$$\eta_1 = e^{-0,0165 \cdot 70}(\cos 0,0165 \cdot 70 + \sin 0,0165 \cdot 70) = 0,4126;$$

$$\eta_2 = 1;$$

$$\eta_3 = e^{-0,0165 \cdot 580}(\cos 0,0165 \cdot 580 + \sin 0,0165 \cdot 580) = -0,00008.$$

Зводимо результати в таблицю 3.

Таблиця 3 – Значення ординат ліній впливу

$x = \sum x_i$	x	Kx	$\mu_i = e^{-Kx_i}(\cos Kx_i - \sin Kx_i)$	$\eta_i = e^{-Kx_i}(\cos Kx_i + \sin Kx_i)$
$x_1 = x_1$	70	1,16	-0,1622	0,4126
$x_2 = 0$	0	0	1	1
$x_3 = x_2$	580	9,57	-0,00006	-0,00008
			$\sum \mu_i = 0,83774$	$\sum \eta_i = 1,41252$

Згідно з (4) і (9),

$$P_{екв}^I = 16050(1 + (-0.1622) + (-0,00006)) = 13445,7 \text{ кг};$$

$$P_{екв}'' = 16050(1 + 0.4126 + (-0,00008)) = 22670,9 \text{ кг.}$$

Згинальний максимальний момент, згідно з (6), від вертикальних сил дорівнює

$$M = \frac{1}{4 \cdot 0,0165} 13447 = 203742,4 \text{ кг} \cdot \text{см.}$$

Максимальна поперечна вертикальна сила, згідно з (8), дорівнює

$$Q = \frac{0,0165 \cdot 70}{2} 22671,8 = 13093 \text{ кг.}$$

Розтягуючі напруження у кромці підшви і стискальні у кромці головки відповідно від вертикальних сил, згідно з (1), будуть рівні

$$\sigma_{кп} = \frac{1 \cdot 203742,4}{273} = 746 \text{ кг/см}^2 < [\sigma_{кп}] = 2700 \text{ кг/см}^2;$$

$$\sigma_{кз} = \frac{1 \cdot 203742,4}{227} = 898 \text{ кг/см}^2 < [\sigma_{кз}] = 2700 \text{ кг/см}^2.$$

Напруження на шпалі під підкладкою, згідно з (2), рівні

$$\sigma_{ш} = \frac{13093}{481} = 27,2 \text{ кг/см}^2.$$

Так як допустимі напруження на залізобетонну шпалу визначаються не міцністю бетону, а міцністю гумової нащпальної прокладки на зминання, межу якої становлять 40 кг/см^2 ($\approx 4 \text{ МПа}$), то фактичні напруження, як видно, менше допустимих, що говорить про достатню несучу здатність залізобетонної шпали при зазначеному вихідному рівні силового впливу й розкладанні шпал з відстанями між ними 70 см .

$$\sigma_{ш} = 27,2 \text{ кг/см}^2 < [\sigma_{ш}] = 40 \text{ кг/см}^2.$$

Напруження під нижньою постіллю шпали (на баласті) згідно з (3),

$$\sigma_{\delta} = \frac{13093}{2975} = 4,4 \text{ кг/см}^2.$$

Так як допустимі напруження для щебеневого баласту фракції 25-60 мм становлять 5 кг/см² ($\approx 0,5$ МПа), то при вихідному рівні вертикальних сил його несучої здатності цілком достатньо для їхнього сприйняття [3].

$$\sigma_{\delta} = 4,4 \text{ кг/см}^2 < [\sigma_{\delta}] = 5 \text{ кг/см}^2.$$

3.2 Визначення напружень на площадці земляного полотна

Коефіцієнт m за формулою (13) дорівнює

$$m = \frac{8,9}{4,35 + 4,4} = 1,017.$$

Для встановлення залежності $\sigma_h = f(h_{\delta})$, а отже й $\sigma_{zn} = f(h_{\delta})$, розрахунки доцільно виконати в табличній формі (таблиця 4).

Таблиця 4 – Результати розрахунку напружень в основі баластної призми від зовнішнього навантаження для підкранової колії із залізобетонними шпалами залежно від товщини баластного шару

h_{δ} , см	$\frac{b}{2h_{\delta}}$	$\frac{b^3}{24h_{\delta}^3}$	$0,635mC_1$	$b \cdot h_{\delta}$	$b^2 + 4h_{\delta}^2$	$1,275(2 - m)C_2$	σ_h , кг/ см ²	σ_{zn} , кг/ см ²
20	0,635	0,085	0,355	508	2245	0,284	2	2,2
30	0,423	0,025	0,257	762	4245	0,225	1,5	1,63
40	0,318	0,011	0,198	1016	7045	0,181	1,2	1,32
50	0,254	0,005	0,161	1270	10645	0,15	0,96	1,06

Порівнюючи отримані значення напружень з допустимими, можна зробити висновок, що міцність земляного полотна забезпечується при товщині баласту $h_{\delta} = 50$ см.

$$\sigma_{zn} = 1,06 \text{ кг/см}^2 < [\sigma_{zn}] = 1,2 \text{ кг/см}^2.$$

Таким чином, отримані розрахункові напруження в елементах колії знаходяться в межах допустимих значень, а це означає, що вони мають достатню несучу здатність при максимальних навантаженнях з боку коліс баштового крана МБТК-80.

На рисунку 6 показана схема для визначення відстаней між осями коліс крана.

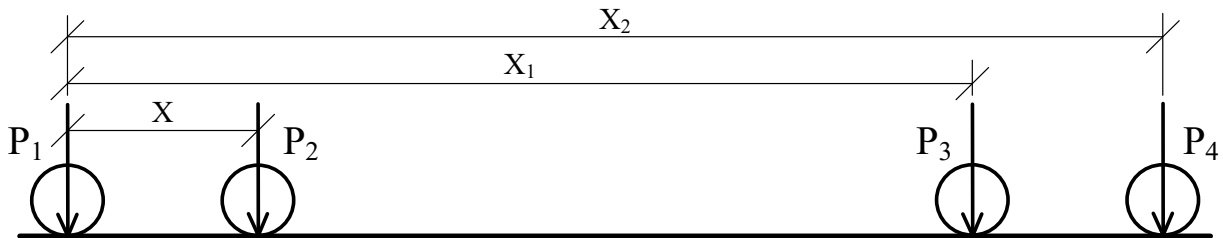


Рисунок 6 – Схема розміщення коліс крана з осьовою формулою 2o-2o

Список літератури

1 Справочник по кранам / А.А. Ананьев, М.М. Гохберт, А.И. Дукельский, А.Г. Ланг и др.; Под ред. А.И. Дукельского. – М.: Машгиз, 1962. – Т.1. – 454 с.

2 Справочник по кранам / А.Л. Алейнер, А.А. Ананьев, И.Я. Коган, А.Г. Ланг и др.; Под ред. А.И. Дукельского. – М.: Машгиз, 1963. – Т.3. – 340 с.

3 Строительные краны. Справочное пособие / И.З. Барч и др. - 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Будівельник, 1974. – 336 с.

4 Альперович А.И. Устройство и эксплуатация подкрановых путей на строительстве. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1975. – 263 с.

5 Гордеев В.А. Рельсовые пути тяжелых транспортных устройств. – М.: Транспорт, 1981. – 159 с.

6 Белорусов А.И. Расчет железнодорожного пути на прочность и устойчивость: методические указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности „Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство” / А.И. Белорусов, В.П. Шраменко, В.А. Несвит. – Харьков: ХарГАЖТ, 1996. – Ч.1. – 43 с.

7 Белорусов А.И. Расчет железнодорожного пути на прочность и устойчивость: методические указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности „Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство” / А.И. Белорусов, В.П. Шраменко, В.А. Несвит. – Харьков: ХарГАЖТ, 1996. – Ч.2. – 32 с.

8 Даниленко Е.І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом: Підруч. для студ. вищ. навч. закл.: У 2 т. – К.: Інпрес, 2010. – Т.1. – 528 с.

9 Даниленко Е.І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом: Підруч. для студ. вищ. навч. закл.: У 2 т. – К.: Інпрес, 2010. – Т.2. – 456 с.

Додаток А

Таблиця А.1 – Розрахункові характеристики поперечного перерізу рейок

Тип рейки	Приведене зношення, мм	Площа поперечного перерізу, см ²	Ширина підшви B_L , см	Моменти інерції		Моменти опору		Відстані від нейтральної осі		Коеф., який врах. тип рейки β
			Ширина головки поверху b_G , см	I_B , см ⁴	I_G , см ⁴	W_{Lb} , см ³	W_{Lg} , см ³	Z_G , см	Z_L , см	
16210-70ГОСТР75	0	95,06	$\frac{15,0}{7,18}$	4490	661	509	432	10,38	8,92	0,82
	1	92,34		4464	658	507	431	10,30	8,80	0,82
	3	90,90		4368	652	502	428	10,20	8,70	0,824
	6	88,74		4180	643	492	411	10,16	8,44	0,834
	9	86,58		3976	633	481	396	10,03	8,27	0,844
161-63ГОСТР65	0	82,56	$\frac{15,0}{7,28}$	3548	569	436	359	9,87	8,13	0,868
	1	81,84		3497	566	433	355	9,83	8,07	0,872
	3	80,40		3405	560	429	349	9,76	7,94	0,877
	6	78,24		3208	550	417	330	9,71	7,69	0,890
	9	76,08		2998	541	404	310	9,68	7,42	0,906
508161-65ГОСТР7174	0	65,93	$\frac{13,2}{7,0}$	2018	375	286	248	8,15	7,05	1,00
	1	65,23		1987	372	284	245	8,10	7,00	1,00
	3	63,84		1933	367	281	241	8,02	6,88	1,01
	6	61,73		1813	359	273	227	7,96	6,64	1,03
	9	59,63		1685	349	264	213	7,92	6,38	1,06
437173-54ГОСТР	0	57,00	$\frac{11,4}{7,0}$	1489	260	217	208	7,15	6,86	1,078
	1	56,30		1458	257	215	205	7,12	6,78	1,084
	3	54,90		1403	251	210	200	7,02	6,68	1,095
	6	52,80		1313	243	204	189	6,96	6,44	1,113
	9	50,70		1217	234	197	176	6,92	6,18	1,135

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Модуль пружності підрейкової основи при залізо-бетонних шпалах на щебеновому та азбестовому баластах U , кг/см²

Тип рейок	Назва прокладок під підкладками	Число шпал на 1 км	Літо	Зима
Р75 Р65 Р50 Р43	Типові, товщиною 5-7 мм	1440	1140	2280
		1600	1363	2726
		1840	1500	3000
		2000	1670	3340
Р75 Р65 Р50 Р43	Підвищеної пружності, товщиною 10 мм	1440	391	782
		1600	435	870
		1840	500	1000
		2000	550	1100

Додаток В

Таблиця В.1 – Модуль пружності підрейкової основи при дерев'яних шпалах U , кг/см²

Тип рейок	Типи шпал	Число шпал на 1 км	Щебеновий, азбестовий баласта		Черепашковий, піщаний, гравійний баласта	
			Літо	Зима	Літо	Зима
Р75 Р65 Р50 Р43	ІА, ІБ	1600	230	690	190	570
		1840	270	810	220	660
		2000	295	885	240	720
	ІА, ІБ	1600	230	690	180	540
		1840	260	780	210	630
		2000	290	870	230	690
	ІІА, ІІБ	1600	220	660	170	510
		1840	250	750	200	600
		2000	270	810	220	660

Додаток Д

Таблиця Д.1 – Опорні площі рейкових підкладок $\omega\Pi$

Тип проміжного скріплення	Тип рейки	Опорна площа		Примітка
		під підкладкою	під рейкою	
Нероздільне костильне та змішане	P75	594	-	Для прямих
	P65	594	-	
	P50	496	-	
	P43	444	-	
	P75	626	-	Для кривих 1200 м
	P65	626	-	
	P50	596	-	
	P43	444	-	
Роздільне КБ	P75	481	210	Для шпал С-56-2, С-56-2м та ШС-1
	P65	481	210	
	P50	481	185	
	P43	481	185	
Роздільне К4	P50	560	185	Для шпал С-56-1

Додаток Е

Таблиця Е.1 – Таблиці величини μ , η в залежності від Kx

Kx	μ	η	Kx	μ	η
1	2	3	1	2	3
0,50	0,2415	0,8231	0,88	-0,0554	0,5840
0,51	0,2309	0,8172	0,89	-0,0606	0,5776
0,52	0,2205	0,8113	0,90	-0,0657	0,5712
0,53	0,2103	0,8054	0,91	-0,0708	0,5648
0,54	0,2002	0,7994	0,92	-0,0757	0,5584
0,55	0,1903	0,7984	0,93	-0,0805	0,5521
0,56	0,1805	0,7874	0,94	-0,0851	0,5459
0,57	0,1709	0,7818	0,95	-0,0896	0,5396
0,58	0,1615	0,7752	0,96	-0,0941	0,5333
0,59	0,1522	0,7690	0,97	-0,0984	0,5270
0,60	0,1431	0,7628	0,98	-0,1027	0,5207
0,61	0,1341	0,7566	0,99	-0,1069	0,5145
0,62	0,1253	0,7504	1,00	-0,1108	0,5083
0,63	0,1166	0,7441	1,01	-0,1147	0,5021
0,64	0,1080	0,7378	1,02	-0,1185	0,4960
0,65	0,0997	0,7315	1,03	-0,1223	0,4899
0,66	0,0914	0,7252	1,04	-0,1259	0,4839
0,67	0,0833	0,7189	1,05	-0,1294	0,4778
0,68	0,0754	0,7125	1,06	-0,1328	0,4716
0,69	0,0676	0,7061	1,07	-0,1362	0,4656
0,70	0,0599	0,6997	1,08	-0,1394	0,4596
0,71	0,0524	0,6938	1,09	-0,1406	0,4536
0,72	0,0450	0,6869	1,10	-0,1457	0,4476
0,73	0,0377	0,6805	1,11	-0,1488	0,4416
0,74	0,0306	0,6740	1,12	-0,1516	0,4356
0,75	0,0236	0,6676	1,13	-0,1543	0,4298
0,76	0,0168	0,6612	1,14	-0,1570	0,4240
0,77	0,0101	0,6574	1,15	-0,1597	0,4183
0,78	0,0035	0,6483	1,16	-0,1622	0,4126
0,79	-0,0029	0,6418	1,17	-0,1647	0,4069
0,80	-0,0093	0,6354	1,18	-0,1671	0,4012
0,81	-0,0155	0,6289	1,19	-0,1694	0,3955
0,82	-0,0216	0,6225	1,20	-0,1716	0,3899

Продовження таблиці Е.1

1	2	3	1	2	3
0,83	-0,0275	0,6161	1,21	-0,1737	0,3842
0,84	-0,0333	0,6096	1,22	-0,1758	0,3786
0,85	-0,0390	0,6032	1,23	-0,1778	0,3731
0,86	-0,0446	0,5968	1,24	-0,1797	0,3677
0,87	-0,0501	0,5904	1,25	-0,1815	0,3623
1,26	-0,1833	0,3569	1,65	-0,2067	0,1763
1,27	-0,1849	0,3515	1,66	-0,2064	0,1725
1,28	-0,1865	0,3462	1,67	-0,2060	0,1686
1,29	-0,1881	0,3408	1,68	-0,2056	0,1648
1,30	-0,1897	0,3355	1,69	-0,2051	0,1612
1,31	-0,1911	0,3303	1,70	-0,2047	0,1576
1,32	-0,1925	0,3251	1,71	-0,2042	0,1540
1,33	-0,1938	0,3199	1,72	-0,2037	0,1505
1,34	-0,1950	0,3148	1,73	-0,2032	0,1470
1,35	-0,1962	0,3098	1,74	-0,2026	0,1435
1,36	-0,1973	0,3047	1,75	-0,2020	0,1400
1,37	-0,1983	0,2997	1,76	-0,2013	0,1365
1,38	-0,1993	0,2948	1,77	-0,2006	0,1332
1,39	-0,2003	0,2898	1,78	-0,2000	0,1299
1,40	-0,2011	0,2849	1,79	-0,1993	0,1266
1,41	-0,2019	0,2801	1,80	-0,1985	0,1234
1,42	-0,2027	0,2753	1,81	-0,1978	0,1202
1,43	-0,2033	0,2705	1,82	-0,1970	0,1170
1,44	-0,2039	0,2658	1,83	-0,1962	0,1138
1,45	-0,2045	0,2611	1,84	-0,1953	0,1108
1,46	-0,2051	0,2565	1,85	-0,1945	0,1078
1,47	-0,2056	0,2519	1,86	-0,1936	0,1048
1,48	-0,2060	0,2474	1,87	-0,1927	0,1018
1,49	-0,2064	0,2429	1,88	-0,1917	0,0989
1,50	-0,2068	0,2384	1,89	-0,1908	0,0960
1,51	-0,2071	0,2339	1,90	-0,1899	0,0932
1,52	-0,2073	0,2295	1,91	-0,1889	0,0904
1,53	-0,2075	0,2252	1,92	-0,1879	0,0876
1,54	-0,2077	0,2209	1,93	-0,1869	0,0849
1,55	-0,2078	0,2166	1,94	-0,1859	0,0822
1,56	-0,2079	0,2123	1,95	-0,1849	0,0795

Продовження таблиці Е.1

1	2	3	1	2	3
1,57	-0,2079	0,2082	1,96	-0,1838	0,0769
0,5π	-0,2079	0,2079	1,97	-0,1827	0,0743
1,58	-0,2079	0,2041	1,98	-0,1816	0,0717
1,59	-0,2078	0,2000	1,99	-0,1804	0,0692
1,60	-0,2077	0,1959	2,00	-0,1794	0,0667
1,61	-0,2075	0,1919	2,01	-0,1782	0,0643
1,62	-0,2073	0,1879	2,02	-0,1771	0,0619
1,63	-0,2071	0,1840	2,03	-0,1759	0,0595
1,64	-0,2069	0,1801	2,04	-0,1748	0,0571
2,05	-0,1737	0,0549	2,44	-0,1228	-0,0103
2,06	-0,1725	0,0526	2,45	-0,1215	-0,0114
2,07	-0,1712	0,0504	2,46	-0,1202	-0,0125
2,08	-0,1700	0,0482	2,47	-0,1189	-0,0135
2,09	-0,1688	0,0160	2,48	-0,1175	-0,0146
2,10	-0,1675	0,0439	2,49	-0,1161	-0,0156
2,11	-0,1663	0,0417	2,50	-0,1149	-0,0166
2,12	-0,1650	0,0397	2,51	-0,1136	-0,0176
2,13	-0,1637	0,0377	2,52	-0,1123	-0,0185
2,14	-0,1625	0,0357	2,53	-0,1109	-0,0195
2,15	-0,1613	0,0317	2,54	-0,1096	-0,0204
2,16	-0,1600	0,0317	2,55	-0,1083	-0,0213
2,17	-0,1587	0,0288	2,56	-0,1071	-0,0221
2,18	-0,1574	0,0280	2,57	-0,1058	-0,0228
2,19	-0,1560	0,0262	2,58	-0,1045	-0,0237
2,20	-0,1548	0,0244	2,59	-0,1033	-0,0246
2,21	-0,1534	0,0226	2,60	-0,1019	-0,0254
2,22	-0,1522	0,0208	2,61	-0,1007	-0,0261
2,23	-0,1509	0,0191	2,62	-0,0994	-0,0269
2,24	-0,1496	0,0174	2,63	-0,0982	-0,0276
2,25	-0,1482	0,0157	2,64	-0,0969	-0,0283
2,26	-0,1469	0,0141	2,65	-0,0956	-0,0289
2,27	-0,1455	0,0125	2,66	-0,0944	-0,0296
2,28	-0,1442	0,0110	2,67	-0,0932	-0,0302
2,29	-0,1429	0,0095	2,68	-0,0920	-0,0308
2,30	-0,1416	0,0080	2,69	-0,0908	-0,0314
2,31	-0,1403	0,0065	2,70	-0,0895	-0,0320

Продовження таблиці Е.1

1	2	3	1	2	3
2,32	-0,1389	0,0050	2,71	-0,0883	-0,0326
2,33	-0,1376	0,0036	2,72	-0,0871	-0,0331
2,34	-0,1362	0,0022	2,73	-0,0859	-0,0337
2,35	-0,1349	0,0008	2,74	-0,0847	-0,0342
0,75π	-0,1340	0,0	2,75	-0,0835	-0,0347
2,36	-0,1335	-0,0005	2,76	-0,0823	-0,0352
2,37	-0,1323	-0,0018	2,77	-0,0811	-0,0356
2,38	-0,1309	-0,0031	2,78	-0,0799	-0,0361
2,39	-0,1296	-0,0044	2,79	-0,0787	-0,0365
2,40	-0,1282	-0,0056	2,80	-0,0777	-0,0369
2,41	-0,1268	-0,0068	2,81	-0,0765	-0,0373
2,42	-0,1255	-0,0080	2,82	-0,0754	-0,0377
2,43	-0,1241	-0,0092	2,83	-0,0742	-0,0381
2,84	-0,0731	-0,0385	3,23	-0,0359	-0,0429
2,85	-0,0721	-0,0388	3,24	-0,0351	-0,0428
2,86	-0,0710	-0,0391	3,25	-0,0343	-0,0427
2,87	-0,0699	-0,0394	3,26	-0,0336	-0,0426
2,88	-0,0687	-0,0397	3,27	-0,0328	-0,0425
2,89	-0,0676	-0,0400	3,28	-0,0321	-0,0424
2,90	-0,0666	-0,0403	3,29	-0,0313	-0,0423
2,91	-0,0656	-0,0406	3,30	-0,0306	-0,0422
2,92	-0,0645	-0,0409	3,31	-0,0299	-0,0421
2,93	-0,0634	-0,0411	3,32	-0,0292	-0,0420
2,94	-0,0624	-0,0413	3,33	-0,0285	-0,0419
2,95	-0,0614	-0,0415	3,34	-0,0278	-0,0418
2,96	-0,0603	-0,0417	3,35	-0,0271	-0,0417
2,97	-0,0593	-0,0419	3,36	-0,0264	-0,0415
2,98	-0,0583	-0,0420	3,37	-0,0254	-0,0413
2,99	-0,0573	-0,0421	3,38	-0,0251	-0,0411
3,00	-0,0563	-0,0423	3,39	-0,0244	-0,0409
3,01	-0,0553	-0,0423	3,40	-0,0237	-0,0408
3,02	-0,0543	-0,0424	3,41	-0,0230	-0,0406
3,03	-0,0534	-0,0425	3,42	-0,0225	-0,0404
3,04	-0,0524	-0,0426	3,43	-0,0218	-0,0403
3,05	-0,0515	-0,0427	3,44	-0,0212	-0,0401
3,06	-0,0505	-0,0428	3,45	-0,0206	-0,0399

Продовження таблиці Е.1

1	2	3	1	2	3
3,07	-0,0496	-0,0429	3,46	-0,0200	-0,0397
3,08	-0,0487	-0,0430	3,47	-0,0194	-0,0395
3,09	-0,0478	-0,0431	3,48	-0,0189	-0,0392
3,10	-0,0469	-0,0431	3,49	-0,0183	-0,0390
3,11	-0,0460	-0,0431	3,50	-0,0177	-0,0389
3,12	-0,0451	-0,0432	3,51	-0,0171	-0,0386
3,13	-0,0442	-0,0432	3,52	-0,0165	-0,0384
3,14	-0,0433	-0,0432	3,53	-0,0160	-0,0382
π	-0,0432	-0,0432	3,54	-0,0155	-0,0380
3,15	-0,0424	-0,0432	3,55	-0,0149	-0,0378
3,16	-0,0416	-0,0432	3,56	-0,0144	-0,0376
3,17	-0,0407	-0,0432	3,57	-0,0139	-0,0373
3,18	-0,0399	-0,0431	3,58	-0,0134	-0,0371
3,19	-0,0391	-0,0431	3,59	-0,0129	-0,0368
3,20	-0,0383	-0,0431	3,60	-0,0124	-0,0366
3,21	-0,0375	-0,0430	3,61	-0,0119	-0,0363
3,22	-0,0367	-0,0430	3,62	-0,0114	-0,0361
3,63	-0,0109	-0,0359	3,90	-0,0008	-0,0286
3,64	-0,0105	-0,0356	3,91	-0,0005	-0,0283
3,65	-0,0101	-0,0354	3,92	-0,0002	-0,0280
3,66	-0,0096	-0,0351	1,25 π	0,0	-0,0279
3,67	-0,0092	-0,0384	3,93	0,0001	-0,0278
3,68	-0,0088	-0,0364	3,94	0,0003	-0,0275
3,69	-0,0083	-0,0343	3,95	0,0005	-0,0272
3,70	-0,0079	-0,0341	3,96	0,0008	-0,0269
3,71	-0,0075	-0,0338	3,97	0,0011	-0,0267
3,72	-0,0071	-0,0336	3,98	0,0014	-0,0264
3,73	-0,0067	-0,0333	3,99	0,0017	-0,0261
3,74	-0,0063	-0,0330	4,00	0,0019	-0,0258
3,75	-0,0059	-0,0327	4,10	0,0040	-0,0231
3,76	-0,0055	-0,0324	4,20	0,0057	-0,0204
3,77	-0,0051	-0,0322	4,30	0,0070	-0,0179
3,78	-0,0048	-0,0319	4,40	0,0079	-0,0155
3,79	-0,0044	-0,0316	4,50	0,0085	-0,0132
3,80	-0,0040	-0,0314	4,60	0,0089	-0,0111
3,81	-0,0036	-0,0311	4,70	0,0090	-0,0092

Продовження таблиці Е.1

1	2	3	4	5	6
3,82	-0,0033	-0,0308	4,80	0,0089	-0,0075
3,83	-0,0030	-0,0305	4,90	0,0087	-0,0059
3,84	-0,0027	-0,0303	5,00	0,0084	-0,0045
3,85	-0,0023	-0,0300	5,10	0,0079	-0,0033
3,86	-0,0020	-0,0297	5,20	0,0075	-0,0023
3,87	-0,0017	-0,0294	5,30	0,0069	-0,0014
3,88	-0,0014	-0,0292	5,40	0,0064	-0,0006
3,89	-0,0011	-0,0289	5,50	0,0058	0,0

Додаток Г

Таблиця Г.1 – Розрахункові параметри шпал

Назва розрахункових параметрів	Шпали дерев'яні ГОСТ 78-65					Шпали залізобетонні за ГОСТ 10629-63	
	ІА	ІБ	ІА, ІБ	ІІА	ІІБ		
Довжина шпали a , см	275	280	275	280	275	270	
Ширина нижньої поверхні b , см	25,0	25,0	23,0	23,0	23,0	25,4	
Товщина шпали $h_{ш}$, см	18,0	18,0	16,0	16,0	15,0	20,6	
Опорна площа півшпали $0,5ab$, см ²	3437	3500	3162	3220	3162	3500	
Коефіцієнт вигину шпали по її довжині α	При азбестовому та щебеновому баластах	0,83	0,83	0,78	0,78	0,75	0,85
	При піщаному, черепашковому, гравійному баластах	0,85	0,85	0,81	0,81	0,78	0,90
Ефективна опорна площа півшпали з поправкою на вигин шпали $0,5a\alpha$, см ² Ω_α	При азбестовому та щебеновому баластах	2853	2905	2466	2512	2372	2975
	При піщаному, черепашковому, гравійному баластах	2991	2975	2561	2608	2466	3150

Додаток Ж

Таблиця Ж.1 – Вихідні дані для виконання розрахунково-графічної роботи

№	Характеристика крана та підкранової колії	Номер варіанта						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Характеристика крана:							
а)	вид крана	баштовий	баштовий	баштовий	баштовий	баштовий	баштовий	баштовий
б)	марка крана	С-390	МСТК-90	КБ-60	МСК-5-20	КБк-100.1	МБСТК-80	С-419
в)	навантаження на ходове колесо P , кг	11900	13500	14000	16000	16500	16700	18520
г)	проліт крана, м	3	5	4	4	4,5	5	3,795
д)	осьова формула	2о-2о	2о-2о	2о-2о	2о-2о	2о-2о	2о-2о	2о-2о
е)	відстань між ходовими колесами, м:							
	X	0,46	0,65	0,57	0,57	0,67	0,65	0,63
	X_1	3	5	4	4,5	4,5	5	4
	X_2	3,46	5,65	4,57	5,18	5,17	5,65	4,63
2	Характеристика верхньої будови колії:							
а)	тип рейки (приведене зношення, мм)	Р43 (9)	Р43 (9)	Р43 (6)	Р43 (6)	Р43 (3)	Р43 (3)	Р43 (1)
б)	тип нашпальних прокладок	підв. пр.	типові	типові	типові	типові	підв. пр.	типові
в)	вид шпал	з/б	дер. (ІА)	дер. (ІА)	з/б	дер. (ІА)	з/б	з/б
г)	епюра шпал, шт/км	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
д)	рід баласту (товща під шпалою h_0 , см)	щеб. (30)	пісок (30)	щеб. (35)	щеб. (55)	щеб. (40)	грав. (45)	щеб. (45)

Продовження таблиці Ж.1

№	Номер варіанта								
	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1									
а)	баштовий	баштовий	баштовий	баштовий	баштовий	баштовий	баштовий	баштовий	баштовий
б)	КБ-100	МСК-8/20	Т-226	КБ-100.0	С-464	Т-226Э	КБ-160.4	М-3-5-5	М-3-5-10
в)	18750	19000	19000	20000	21000	21000	22000	22000	22800
г)	4,5	5	4,5	4,5	4	6	6	4	6
д)	2о-2о	2о-2о	2о-2о	2о-2о	2о-2о	2о-2о	2о-2о	2о-2о	2о-2о
е)									
Х	0,67	0,57	0,8	0,67	0,63	0,8	0,675	1	1
Х ₁	4,5	5,5	4,5	4,5	4	6	6	4	6
Х ₂	5,17	6,07	5,3	5,17	4,63	6,8	6,75	5	7
2									
а)	Р43 (0)	Р50 (9)	Р50 (9)	Р50 (6)	Р50 (6)	Р50 (3)	Р50 (3)	Р50 (0)	Р50 (0)
б)	типові	підв. пр.	типові	типові	типові	підв. пр.	типові	типові	підв. пр.
в)	дер. (ІА)	з/б	дер. (ІА)	дер. (ІА)	з/б	з/б	дер. (ІА)	дер. (ІА)	з/б
г)	1840	1600	1840	1840	1600	1600	1840	1840	1600
д)	грав. (45)	щеб. (45)	грав. (50)	щеб. (45)	щеб. (55)	щеб. (55)	щеб. (50)	щеб. (45)	щеб. (50)

Продовження таблиці Ж.1

№	Номер варіанта								
	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1									
а)	баштовий	баштовий	баштовий	баштовий	баштовий	баштовий	баштовий	баштовий	баштовий
б)	КБ-160.2	С-419М	КБ-306	МСК-10-20	КБк-160.2	БКСМ-5-5А	БКСМ-7-9	БКСМ-5-9	КБ-404
в)	23000	23500	23900	24000	24000	24200	24800	25600	26170
г)	6	5	4,5	6,5	6	4,5	6	4,5	6
д)	2о-2о	2о-2о	2о-2о	2о-2о	2о-2о	2о-2о	2о-2о	2о-2о	2о-2о
е)									
X	0,675	0,63	0,67	0,57	0,675	1	1	1	0,675
X ₁	6	6	4,5	7	6	4,5	6	4,5	6
X ₂	6,675	6,63	5,17	7,57	6,675	5,5	7	5,5	6,675
2									
а)	Р65 (9)	Р65 (9)	Р65 (6)	Р65 (6)	Р65 (3)	Р65 (3)	Р65 (3)	Р65 (0)	Р65 (0)
б)	типові	типові	типові	підв. пр.	типові	підв. пр.	типові	підв. пр.	типові
в)	з/б	дер. (ІА)	дер. (ІА)	з/б	дер. (ІА)	з/б	дер. (ІА)	з/б	з/б
г)	1600	1840	1840	1840	1840	1840	1840	1600	1840
д)	щєб. (50)	грав. (55)	щєб. (50)	щєб. (55)	грав. (55)	щєб. (55)	щєб. (55)	щєб. (55)	щєб. (60)