

**МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра вагонів**

**РОЗРАХУНКИ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ  
ПРИ ГАЛЬМУВАННІ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання контрольної роботи  
з дисципліни**

***«НОВА ГАЛЬМОВА ТЕХНІКА»***

**Харків - 2014**

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри вагонів 3 вересня 2012 р.,

протокол № 2.

Рекомендовано для студентів усіх форм навчання та слухачів НН ІППК спеціальності 8.07010502 „Вагони та вагонне господарство”.

У методичних вказівках наведено загальні правила оформлення самостійної (контрольної) роботи, варіанти завдань, методику розв’язання контрольних завдань, а також наведено список літературних джерел, які студенти можуть використовувати при виконанні даної роботи.

Укладачі:

проф. І.Е. Мартинов,  
старш. викл. В.Г. Равлюк,  
асист. І.М. Афанасенко

Рецензент

проф. І.Д. Борзилов

РОЗРАХУНКИ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ  
ПРИ ГАЛЬМУВАННІ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання контрольної роботи  
з дисципліни  
„*НОВА ГАЛЬМОВА ТЕХНІКА*”

Відповідальний за випуск Равлюк В.Г.

Редактор Ібрагімова Н.В.

---

Підписано до друку 10.10.12 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,25. 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.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ПЕРЕПІДГОТОВКИ ТА  
ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ КАДРІВ**

Кафедра “Вагони”

**РОЗРАХУНКИ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ ПРИ  
ГАЛЬМУВАННІ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання контрольної роботи**

**з дисципліни**

**„НОВА ГАЛЬМОВА ТЕХНІКА”**

**для студентів спеціальності “Вагони”**



Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Вагони» 3 вересня 2012 р., протокол № 2.

Рекомендовано для студентів усіх форм навчання та слухачів НН ІППК спеціальності 8.07010502 „Вагони та вагонне господарство”.

У методичних вказівках наведено загальні правила оформлення самостійної (контрольної) роботи, варіанти завдань, методику розв’язання контрольних завдань, а також наведено список літературних джерел, які студенти можуть використовувати при виконанні даної роботи.

Укладачі:

проф. І.Е. Мартинов,  
старш. викл. В.Г. Равлюк,  
асист. І.М. Афанасенко

Рецензент

проф. І.Д. Борзилов

## ЗМІСТ

Вступ	4
1 Загальні рекомендації до виконання самостійної (контрольної) роботи	5
1.1 Загальні положення до оформлення розрахунково-пояснювальної записки	5
1.2 Структура розрахунково-пояснювальної записки	6
2 Теоретичні відомості до розрахункової частини	10
2.1 Розрахунки теплового режиму й зношування гальмових колодок	10
2.2 Розрахунки заклиненого стану колісних пар	19
2.3 Розрахунки температури на поверхні тертя	25
Список літератури	34
Додаток А	36

## ВСТУП

Стратегія розвитку залізничного транспорту в нинішніх умовах господарювання досить повно викладається в розробленій галузевій програмі, пріоритетними напрямками яких на період до 2020 року є освоєння зростаючого обсягу перевезень, технічне переозброєння матеріально-технічної бази галузі, впровадження прогресивних наукових і науково-технічних розробок, спрямованих на підвищення ефективності перевезень за рахунок збільшення довжини й швидкостей руху поїздів з гарантованим забезпеченням високої безпеки їхнього руху.

Успішне вирішення зазначених завдань і програми вимагає в першу чергу оснащення вагонів і локомотивів новими гальмівними засобами з високими техніко-економічними показниками, тому що, по-перше, збільшення гальмівної сили поїзда скорочує гальмівний шлях, що проходить до повної зупинки, і, по-друге, підвищення ефективності гальм пов'язане зі збільшенням швидкості поширення гальмівної хвилі, що є необхідною умовою зниження повздовжньо–динамічних зусиль в автозчіпних пристроях поїзда і зменшення зношування гальмових колодок, що визначає економічну оцінку гальмування.

Збільшення швидкостей руху поїздів, їхньої довжини й маси, підвищення безпеки руху составів нерозривно пов'язане з питаннями управління гальмами. Звичайне обґрунтування прийомів гальмування виконується на основі експериментальних і теоретичних досліджень гальмівних процесів, що розвиваються в поїзді, які вимагають подальшого уточнення й удосконалювання розрахункових схем і математичних моделей газодинамічних процесів у гальмовій магістралі й взаємодії колісних пар рухомого складу й залізничної колії.

Безсумнівно, небезпечним у реальних умовах експлуатації рухомого складу є процес руху колісних пар у стані юза, особливо за відсутності протияюзних пристроїв. Дослідами встановлено, що для реалізації високих сил тяги або гальмування необхідно створювати процес юза, тому що це призводить до зняття окисної плівки з рейок і збільшення коефіцієнта тертя. Однак, з огляду на небезпеку пошкодження коліс і рейок у цих режимах, потрібно дозволити це протиріччя. На жаль, кількість

досліджень цього питання досить і досить обмежено, що вказує на складність самого явища. Для заповнення цього недоліку варто вдосконалювати теоретичні методи розрахунку руху колісних пар рухомого складу в умовах їхнього підвищеного ковзання по рейках з урахуванням фрикційного стану контакту.

Метою виконання самостійної (контрольної) роботи є закріплення теоретичних знань з дисципліни “Нова гальмова техніка”, які студенти отримали під час вивчення курсу, виконання практичних робіт і в процесі обслуговування та ремонту рухомого складу на підприємствах залізничного транспорту. Виконання самостійної (контрольної) роботи забезпечить студентам можливість вивчити будову та робочі процеси окремих вузлів нової гальмової техніки та її взаємодію, отримати навички у виконанні розрахунків теплових режимів при гальмуванні.

## **1 ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ (КОНТРОЛЬНОЇ) РОБОТИ**

### **1.1 Загальні положення до оформлення розрахунково-пояснювальної записки**

У роботі студенту необхідно описати нову гальмову техніку, виконати порівняльний аналіз, навести її переваги та недоліки, виконати розрахунки за даними методичними вказівками.

Під час виконання контрольної роботи студенти повинні керуватися державними стандартами (ДСТУ), галузевими стандартами (ГСТ), технічними умовами (ТУ), інструкціями та наказами Укрзалізниці.

Підготовлена до захисту самостійна (контрольна) робота повинна являти собою сукупність розрахунково-пояснювальної записки та пов'язаних з нею ілюстрацій у вигляді схем, креслень, ескізів, графіків, фотографій.

Текст пояснювальної записки оформляється чорнилом (пастою) синього або чорного кольору, а також може бути набраний за допомогою ЕОМ (при цьому обов'язково записується

на диск CD-R або CD-RW) і роздрукований на аркушах формату А4 (297 x 210 мм) відповідно до діючих нормативів [17].

У пояснювальній записці повинні бути наведені необхідні розрахунки, таблиці, ілюстрації (ескізи, схеми). Таблиці повинні мати номери зліва над таблицею (Таблиця 1.1 - ) і назву. Рисунки повинні мати номери під рисунком (Рисунок 1.1 - ) і назву. Якщо рисунок має пояснювальні дані, то номер рисунка і його назва повинні розташовуватися нижче пояснювального тексту.

Розрахунки повинні мати відповідні пояснення, а отримані числові значення – розмірності. У тексті необхідно наводити посилання на літературні джерела ([1, ..., 5]), із яких використані формули, нормативні дані тощо.

Ескізи та схеми в пояснювальній записці виконуються графічно на її аркушах й розташовуються у відповідних місцях.

***Суворо заборонено вклеювання ілюстрацій, які вирізані із підручників, навчальних посібників, альбомів, інструкцій та інших видань, а також виконані за допомогою ксерокса.***

## 1.2 Структура розрахунково-пояснювальної записки

Самостійна (контрольна) робота обов'язково повинна включати в себе:

- титульний аркуш;
- лист завдання (додаток А);
- зміст;
- вступ;
- основні розділи роботи:
- описи нових типів гальмової техніки, яка використовується на рухомому складі;
- порівняльний аналіз сучасної та нової гальмової техніки;
- розрахунки теплових режимів при гальмуванні:
  - а) розрахунки теплового режиму й зношування гальмових колодок;
  - б) розрахунки заклиненого стану колісних пар;
  - в) розрахунки температури на поверхні тертя;
- список використаних джерел.

Титульний аркуш є першим аркушем роботи.



Зміст включає найменування всіх розділів із зазначенням номерів сторінок, на яких розміщується початок матеріалу. Цифри, що позначають номери сторінок, у змісті повинні бути написані по вертикалі на одній лінії на відстані 15 мм від правого краю сторінки. Перед цифрами крапки не ставляться.

У вступі необхідно вказати основні завдання, які стоять перед вагонним господарством; відобразити перспективи його розвитку; охарактеризувати нове гальмівне обладнання рухомого складу та його роль у забезпеченні безпеки руху поїздів; навести основні відомості про перспективні напрямки удосконалення гальмових систем рухомого складу залізниць.

Зміст основних розділів контрольної роботи ґрунтується на результатах вивчення дисципліни „Нова гальмова техніка“ за матеріалами лекцій, практичних занять, а також на самостійному вивченні студентом обов'язкових джерел літератури. Рекомендується вивчати і використовувати доступну для студентів нормативно-технічну документацію, статті з фахових періодичних видань, діючі накази, розпорядження, вказівки, матеріал з сайтів інтернету тощо, якими керуються при технічному обслуговуванні та ремонті гальмівного обладнання рухомого складу на залізницях. По тексті роботи необхідно включати схеми, таблиці, рисунки й інші матеріали, що розкривають тему розділів.

Список використаних джерел повинен містити не менше п'яти найменувань, використаних при виконанні даної контрольної роботи.

Скорочувати слова в тексті не потрібно, допускаються лише загальноприйняті скорочення термінів. Переносити слова у заголовках не допускається. Крапку в кінці заголовка не ставлять. Нумерація сторінок проставляється в правому нижньому куті.

**УВАГА!** Не допускається подання копій або декількох роздруків одного набору на комп'ютері (приймається робота, що надійшла першою).

Варіанти завдань для виконання самостійної (контрольної) роботи наведені в таблицях 1.1 і 1.2.

Викладач визначає, за якою темою, «А» або «Б», буде студент виконувати самостійну (контрольну) роботи.





## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ДО РОЗРАХУНКОВОЇ ЧАСТИНИ

### 2.1 Розрахунки теплового режиму й зношування гальмових колодок

При гальмуванні кінетична енергія поїзда переходить у теплову, нагріваючи гальмові колодки (або диски) і колеса. Зважаючи на те, що із зростанням швидкості руху, наприклад у 2 рази, кількість цієї енергії збільшується вчетверо, особливе значення набуває теплова стійкість пари тертя, порушення якої призводить до втрати фрикційних властивостей і виникнення аварійних ситуацій на рухомому складі.

Допустима величина натискання  $K_t^q$ , кн., на чавунну гальмову колодку при тепловому режимі в процесі гальмування може бути знайдена з виразу

$$K_t^q = \frac{[80\Phi(t) - 70,2v_0m_v] + \sqrt{[80\Phi(t) - 70,2v_0m_v]^2 + 4500v_0m_v\Phi(t)}}{2,25v_0m_v}, \quad (2.1)$$

де

$$\Phi(t) = \frac{F_\kappa \Delta\tau_{\max} \alpha_0}{1 - e^{-0,155\alpha_0\sqrt{t}}}, \quad (2.2)$$

$$\alpha_0 = 0,004 + 0,005\sqrt{v_0}, \quad (2.3)$$

$$m_v = 0,6 \frac{3,6v_0 + 100}{18v_0 + 100}, \quad (2.4)$$

$v_0$  — початкова швидкість гальмування, м/с;

$\Delta\tau_{\max}$  — максимально допустима температура гальмової колодки в процесі гальмування, °С (для чавунних — 600 °С, для композиційних — 400 °С);

$\alpha_0$  — коефіцієнт тепловіддачі в навколишнє середовище.

Аналогічно, максимальне натискання при температурних режимах для композиційних колодок визначається з виразу

$$K_t^K = \frac{[4\Phi(t) - 2,34v_0m_v] + \sqrt{[4\Phi(t) - 2,34v_0m_v]^2 + 9,36v_0m_v\Phi(t)}}{0,023v_0m_v}, \quad (2.5)$$

де

$$\Phi(t) = \frac{F_K \Delta \tau_{\max} \alpha_0}{1 - e^{-1,52\alpha_0 \sqrt{t}}}, \quad (2.6)$$

$$\alpha_0 = 0,004 \left( 1 + 1,33\sqrt{v_0} \right), \quad (2.7)$$

$$m_v = 0,44 \frac{3,6v_0 + 150}{7,2v_0 + 150}. \quad (2.8)$$

Тривалість гальмування  $t$ , с, при відомій за нормативами довжині гальмового шляху  $S_\Gamma$ , м, на даному ухилі з початковою швидкістю гальмування  $v_0$ , м/с, знаходиться в припущенні рівносповільненого руху:

$$t = \frac{2S_\Gamma}{v_0}. \quad (2.9)$$

Зношування гальмових колодок у процесі експлуатації суттєво залежить від сили їх натискання, матеріалу, виду й тривалості гальмування, регулювання важільної передачі, положення колодки щодо поверхні кочення колеса як у гальмовому, так і у відпущеному станах і ряду інших факторів. Величину зношування при цьому за одне гальмування  $\Delta H$  можна розрахувати для чавунних колодок за такою формулою [6]:

$$\Delta H = \frac{0,04}{\left( \frac{5 \cdot 10^9 F_K}{\alpha_K B_\Gamma v t} - \frac{525}{\sqrt{t}} \right) Y}, \quad (2.10)$$

де  $F_K$  – геометрична площа тертя колодки (композиційних  $F_K = 29 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ , чавунних  $F_K = 30,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ ),  $\text{м}^2$ ;

$\alpha_K$  – коефіцієнт розподілу теплового потоку в колодці (0,2 - 0,3 при одній колодці на колесо і 0,35 при двосторонньому натисненні одинарних і секційних колодок);

$t$  – тривалість гальмування, с;  
 $B_{\Gamma}$  – середня гальмівна сила протягом часу  $t$ , Н;  
 $v$  – середня швидкість руху вагона, м/с;  
 $Y$  – коефіцієнт якості колодки (при відповідності вимогам стандарту на виготовлення колодки  $Y=1$ ).

Тривалість гальмування при заданому гальмівному шляху й середній швидкості руху, як показано вище, легко знайти, а середню гальмівну силу при відомому навантаженні на вісь, кН, і тривалому гальмуванні на спуску з урахуванням середнього питомого опору руху обчислити за виразом

$$B_{\Gamma} = 0,5(i_c - w''_{cp}) q_0, \quad (2.11)$$

де  $w''_{cp}$  — середній питомий опір руху (прийняти 2 Н/кН).

Критичний час  $t_{KP}$  безперервного гальмування, після якого наступає катастрофічно швидкий знос гальмової колодки, дорівнює

$$t_{KP} = \left( \frac{95 \cdot 10^5 \cdot F_{\kappa}}{\alpha_K \cdot B_{\Gamma} \cdot v} \right)^2. \quad (2.12)$$

Композиційні гальмові колодки мають інші закономірності зношування, при яких, завдяки фізико-механічним властивостям матеріалу, в експлуатації не досягаються умови катастрофічного зношування.

Мінімальна товщина чавунних гальмових колодок на вагонах (але не менше 0,012 м) відповідно для рівнинних і гірських профілів із затяжними крутими спусками розраховується за такими виразами [7]:

$$\Delta H_{\min} = 0,01 + 0,00015 S''_{\Gamma}, \quad (2.13)$$

$$\Delta H_{\min} = 0,01 + 0,00003 \sum_{i=1}^n L_i, \quad (2.14)$$

де  $S''_{\Gamma}$  — загальний шлях, пройдений поїздом у режимі

гальмування (визначається за швидкостемірними стрічками), км;

$\sum_{i=1}^n L_i$  — сума добутків довжин ділянок шляху в кілометрах на їхній ухил у тисячних.

Зношування чавунних гальмових колодок по товщині, м, на протяжній ділянці із затяжними спусками можна визначити за формулою [6]

$$\Delta H = A \sum_{i=1}^n L_i, \quad (2.15)$$

де  $\sum_{i=1}^n L_i$  — сума добутків довжин, км, усіх ділянок шляху зі спуском, по яких прямує поїзд, на величину спуску.

Для вантажних навантажених вагонів з одностороннім натисканням колодок  $A=0,03$ ; для пасажирських з двостороннім натисканням одинарних колодок  $A=0,01$ , секційних (подвійних) колодок  $A=0,008$ .

Мінімальна товщина композиційних гальмових колодок становить 0,014 м у зв'язку з їхньою більшою зносостійкістю, ніж чавунних, забезпечує нормальну роботу гальма на будь-яких важелях.

### **Приклад розрахунку**

Розрахувати теплові режими й зношування гальмових колодок чотиривісного напіввагона, обладнаного чавунними колодками.

Початкові дані:

початкова швидкість гальмування  $v_0 = 90 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ , або  $v_0 = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;

розрахунковий ухил  $i = 8\%$ ;

довжина гальмівного шляху  $S_r = 1200 \text{ м}$ ;

осьове навантаження  $q_0 = 220 \text{ кН}$ .

Постійні

Максимальна допустима температура гальмової колодки у процесі гальмування  $Vt_{\text{max}} = 600^\circ\text{C}$ .

Геометрична площа тертя чавунних колодок  $F_k = 30,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ .

Розподілимо початкову швидкість гальмування на п'ять

інтервалів:

$$v_0^5 = 5 \frac{\text{М}}{\text{с}};$$

$$v_0^{10} = 10 \frac{\text{М}}{\text{с}};$$

$$v_0^{15} = 15 \frac{\text{М}}{\text{с}};$$

$$v_0^{20} = 20 \frac{\text{М}}{\text{с}};$$

$$v_0^{25} = 25 \frac{\text{М}}{\text{с}}.$$

За формулою (2.4) розрахуємо  $m_v$ :

$$m_v^5 = 0,6 \frac{3,6 \cdot 5 + 100}{18 \cdot 5 + 100} \approx 0,373;$$

$$m_v^{10} = 0,6 \frac{3,6 \cdot 10 + 100}{18 \cdot 10 + 100} \approx 0,291;$$

$$m_v^{15} = 0,6 \frac{3,6 \cdot 15 + 100}{18 \cdot 15 + 100} \approx 0,25;$$

$$m_v^{20} = 0,6 \frac{3,6 \cdot 20 + 100}{18 \cdot 20 + 100} \approx 0,224;$$

$$m_v^{25} = 0,6 \frac{3,6 \cdot 25 + 100}{18 \cdot 25 + 100} \approx 0,207.$$

Підставляючи значення швидкості у формулу (2.3), отримаємо.

$$\alpha_0^5 = 0,004 + 0,005\sqrt{5} \approx 0,015;$$

$$\alpha_0^{10} = 0,004 + 0,005\sqrt{10} \approx 0,02;$$

$$\alpha_0^{15} = 0,004 + 0,005\sqrt{15} \approx 0,023;$$

$$\alpha_0^{20} = 0,004 + 0,005\sqrt{20} \approx 0,026;$$

$$\alpha_0^{25} = 0,004 + 0,005\sqrt{25} \approx 0,029.$$

Розрахуємо тривалість гальмування за формулою (2.9) для певної швидкості:

$$t^5 = \frac{2 \cdot 1200}{5} = 480 \text{ с};$$



$$t^{10} = \frac{2 \cdot 1200}{10} = 240 \text{ с};$$

$$t^{15} = \frac{2 \cdot 1200}{15} = 160 \text{ с};$$

$$t^{20} = \frac{2 \cdot 1200}{20} = 120 \text{ с};$$

$$t^{25} = \frac{2 \cdot 1200}{25} = 96 \text{ с}.$$

$$\Phi(480) = \frac{30,5 \cdot 10^{-3} \cdot 600 \cdot 0,015}{1 - e^{-0,155 \cdot 0,015 \sqrt{480}}} \approx 5,529;$$

$$\Phi(240) = \frac{30,5 \cdot 10^{-3} \cdot 600 \cdot 0,02}{1 - e^{-0,155 \cdot 0,02 \sqrt{240}}} \approx 7,804;$$

$$\Phi(160) = \frac{30,5 \cdot 10^{-3} \cdot 600 \cdot 0,023}{1 - e^{-0,155 \cdot 0,023 \sqrt{160}}} \approx 9,549;$$

$$\Phi(120) = \frac{30,5 \cdot 10^{-3} \cdot 600 \cdot 0,026}{1 - e^{-0,155 \cdot 0,026 \sqrt{120}}} \approx 11,021;$$

$$\Phi(96) = \frac{30,5 \cdot 10^{-3} \cdot 600 \cdot 0,029}{1 - e^{-0,155 \cdot 0,029 \sqrt{96}}} \approx 12,317.$$

Допустима величина натиснення на чавунну гальмову колодку при тепловому режимі у процесі гальмування буде дорівнювати

$$K_t^{q,5} = \frac{[80 \cdot 5,529 - 70,2 \cdot 5 \cdot 0,373] + \sqrt{[80 \cdot 5,529 - 70,2 \cdot 5 \cdot 0,373]^2 + 4500 \cdot 5 \cdot 0,373 \cdot 5,529}}{2,25 \cdot 5 \cdot 0,373} \approx$$

$$\approx 164,645 \text{ кН};$$

$$K_t^{q,10} = \frac{[80 \cdot 7,804 - 70,2 \cdot 10 \cdot 0,291] + \sqrt{[80 \cdot 7,804 - 70,2 \cdot 10 \cdot 0,291]^2 + 4500 \cdot 10 \cdot 0,291 \cdot 7,804}}{2,25 \cdot 10 \cdot 0,291} \approx$$

$$\approx 144,491 \text{ кН};$$

$$K_t^{q,15} = \frac{[80 \cdot 9,549 - 70,2 \cdot 15 \cdot 0,25] + \sqrt{[80 \cdot 9,549 - 70,2 \cdot 15 \cdot 0,25]^2 + 4500 \cdot 15 \cdot 0,25 \cdot 9,549}}{2,25 \cdot 15 \cdot 0,25} \approx$$

$$\approx 135,59 \text{ кН};$$

$$K_t^{q,20} = \frac{[80 \cdot 11,021 - 70,2 \cdot 20 \cdot 0,224] + \sqrt{[80 \cdot 11,021 - 70,2 \cdot 20 \cdot 0,224]^2 + 4500 \cdot 20 \cdot 0,224 \cdot 11,021}}{2,25 \cdot 20 \cdot 0,224} \approx$$

$$\approx 129,165 \text{ кН};$$

$$K_t^{q,25} = \frac{[80 \cdot 12,317 - 70,2 \cdot 25 \cdot 0,207] + \sqrt{[80 \cdot 12,317 - 70,2 \cdot 25 \cdot 0,207]^2 + 4500 \cdot 25 \cdot 0,207 \cdot 12,317}}{2,25 \cdot 25 \cdot 0,207} \approx$$

$$\approx 123,711 \text{ кН}.$$

Побудуємо залежність допустимої величини натиснення від початкової швидкості гальмування (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 — Залежність допустимої величини натиснення чавунних колодок від початкової швидкості гальмування

Визначимо величину зносу чавунної гальмової колодки за одне гальмування.

Середня гальмівна сила при відомому навантаженні на вісь вираз (2.11))

$$B_r = 0,5(8 - 2) 220 = 660 \text{ Н.}$$

Визначимо середнє значення початкової швидкості гальмування:

$$v_0^{2,5} = 2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$v_0^{7,5} = 7,5 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$v_0^{12,5} = 12,5 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$v_0^{17,5} = 17,5 \frac{\text{М}}{\text{с}};$$

$$v_0^{22,5} = 22,5 \frac{\text{М}}{\text{с}}.$$

при

$$\alpha_{\kappa} = 0,2, \quad Y = 1.$$

Середній час гальмування при певній швидкості гальмування

$$t_{sr}^{2,5} = 960 \text{ с};$$

$$t_{sr}^{7,5} = 320 \text{ с};$$

$$t_{sr}^{12,5} = 192 \text{ с};$$

$$t_{sr}^{17,5} \approx 137,143 \text{ с};$$

$$t_{sr}^{22,5} \approx 106,667 \text{ с}.$$

Величина зносу для певної швидкості

$$\Delta H^{2,5} = \frac{0,04}{\left( \frac{5 \cdot 10^9 \cdot 30,5 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 660 \cdot 2,5 \cdot 960} - \frac{525}{\sqrt{960}} \right)} \cdot 1 \approx 8,613 \cdot 10^{-5} \text{ м};$$

$$\Delta H^{7,5} = \frac{0,04}{\left( \frac{5 \cdot 10^9 \cdot 30,5 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 660 \cdot 7,5 \cdot 320} - \frac{525}{\sqrt{320}} \right)} \cdot 1 \approx 8,849 \cdot 10^{-5} \text{ м};$$

$$\Delta H^{12,5} = \frac{0,04}{\left( \frac{5 \cdot 10^9 \cdot 30,5 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 660 \cdot 12,5 \cdot 192} - \frac{525}{\sqrt{192}} \right)} \cdot 1 \approx 9,019 \cdot 10^{-5} \text{ м};$$

$$\Delta H^{17,5} = \frac{0,04}{\left( \frac{5 \cdot 10^9 \cdot 30,5 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 660 \cdot 17,5 \cdot 137,143} - \frac{525}{\sqrt{137,143}} \right)} \cdot 1 \approx 9,163 \cdot 10^{-5} \text{ м};$$

$$\Delta H^{22,5} = \frac{0,04}{\left( \frac{5 \cdot 10^9 \cdot 30,5 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 660 \cdot 22,5 \cdot 106,667} - \frac{525}{\sqrt{106,667}} \right)} \cdot 1 \approx 9,291 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

Графік залежності зносу гальмової чавунної колодки від початкової швидкості гальмування наведено на рисунку 2.2.

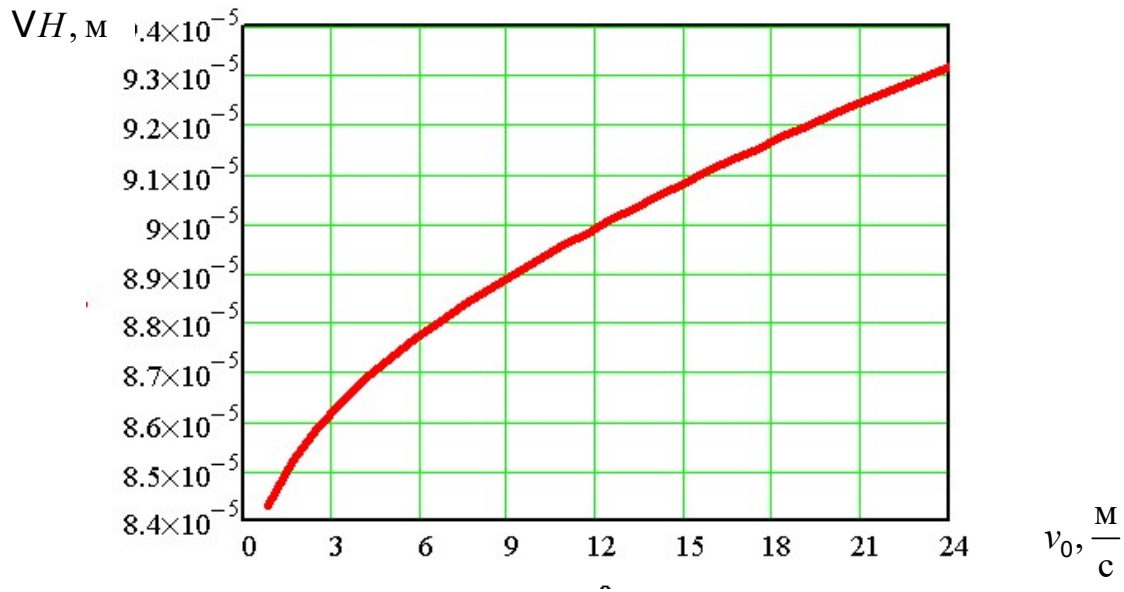


Рисунок 2.2 — Графік залежності зносу гальмової чавунної колодки від початкової швидкості гальмування

Критичний час безперервного гальмування, після якого наступає швидкий знос чавунних гальмових колодок, знаходимо за формулою (2.12):

$$t_{KP}^{2,5} = \left( \frac{95 \cdot 10^5 \cdot 30,5 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 660 \cdot 2,5} \right)^2 \approx 7,709 \cdot 10^5 \text{ с};$$

$$t_{KP}^{7,5} = \left( \frac{95 \cdot 10^5 \cdot 30,5 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 660 \cdot 7,5} \right)^2 \approx 8,566 \cdot 10^4 \text{ с};$$

$$t_{KP}^{12,5} = \left( \frac{95 \cdot 10^5 \cdot 30,5 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 660 \cdot 12,5} \right)^2 \approx 3,084 \cdot 10^4 \text{ с};$$

$$t_{KP}^{17,5} = \left( \frac{95 \cdot 10^5 \cdot 30,5 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 660 \cdot 17,5} \right)^2 \approx 1,573 \cdot 10^4 \text{ с};$$

$$t_{KP}^{22,5} = \left( \frac{95 \cdot 10^5 \cdot 30,5 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 660 \cdot 22,5} \right)^2 \approx 9,518 \cdot 10^3 \text{ с}.$$

Графік залежності критичного часу безперервного гальмування від початкової швидкості гальмування наведено на рисунку 2.3.

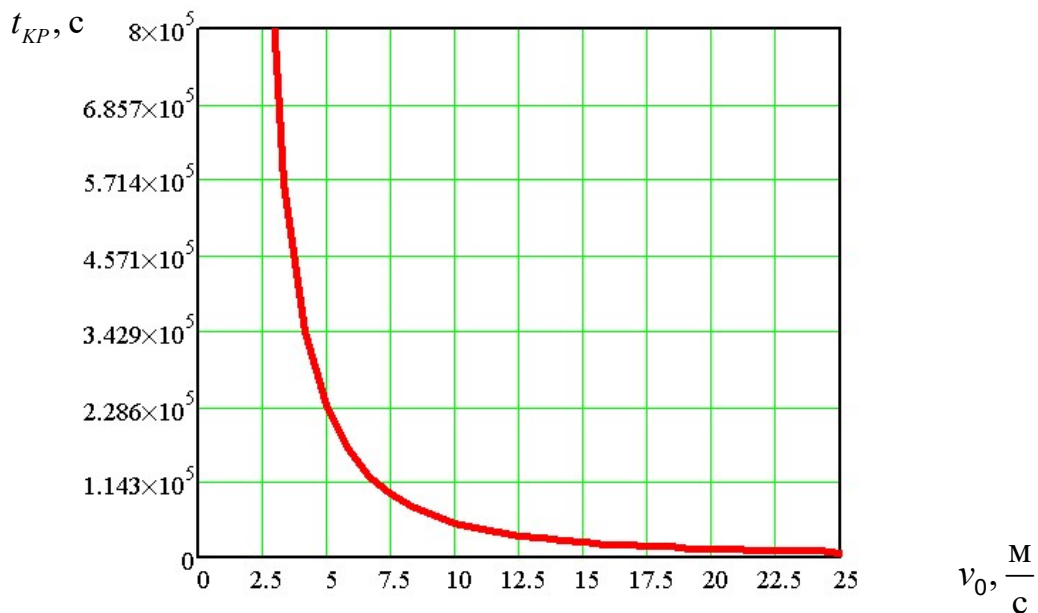


Рисунок 2.3 — Графік залежності критичного часу безперервного гальмування від початкової швидкості гальмування

## 2.2 Розрахунки заклиненого стану колісних пар

При порушенні умови безюзового гальмування, наприклад через в'їзд колісної пари на ділянку зі знизеним зчепленням, вона різко зменшує швидкість обертання, збільшуючи тим самим коефіцієнт тертя гальмових колодок (особливо чавунних), що призводить до ще більшої нерівності гальмівної сили зчеплення й поглиблення процесу юза. Розвиток цього процесу в часі дозволяє розрахувати вирази, виведені для рухомого складу, обладнаного композиційними й чавунними гальмовими колодками:

- для композиційних колодок:

$$t^K = \frac{2}{2a^K + b^K} (v_0 - v_K) - \frac{150b^K}{(2a^K + b^K)^2} \ln \left( \frac{(2a^K + b^K)v_0 + (2a^K + b^K) \cdot 150}{(2a^K + b^K)v_K + (2a^K + b^K) \cdot 150} \right); \quad (2.16)$$

$$a^K = \frac{3,6n_1}{4\gamma q_0} \left[ -\frac{0,44m_1}{1+\gamma} \cdot \frac{v_0 + 150}{2v_0 + 150} \cdot \frac{0,1K_M^K + 20}{0,1K_M^K + 20} K_M^K + q_0(\psi_P - \psi_{CK}) \right]; \quad (2.17)$$

$$b^K = \frac{3,6n_1}{4\gamma q_0} \cdot 0,44m_1 \frac{0,1K_M^K + 20}{0,1K_M^K + 20} K_M^K; \quad (2.18)$$

- для чавунних колодок [9]

$$t^q = \frac{2}{5a^q + b^q} (v_0 - v_K) - \frac{400b^q}{(5a^q + b^q)^2} \cdot \ln \left( \frac{(5a^q + b^q)v_0 + (a^q + b^q) \cdot 100}{(5a^q + b^q)v_K + (a^q + b^q) \cdot 100} \right); \quad (2.19)$$

$$a^q = \frac{3,6n_1}{4\gamma q_0} \left[ -\frac{0,6m_1}{1+\gamma} \cdot \frac{v_0 + 100}{5v_0 + 100} \cdot \frac{16K_M^q + 20}{8K_M^q + 20} K_M^q + q_0(\psi_P - \psi_{CK}) \right]; \quad (2.20)$$

$$b^q = \frac{3,6n_1}{4\gamma q_0} \cdot 0,6m_1 \frac{1,6K_M^q + 100}{8K_M^q + 100} K_M^q; \quad (2.21)$$

де  $v_K$  — колова швидкість коліс у процесі юза, км/год;

$n_1$  — кількість колісних пар одиниці рухомого складу;

$\gamma$  — коефіцієнт інерції мас обертання (прийняти для вагонів — 0,08, для локомотивів — 0,2);

$\psi_P$  — реалізований коефіцієнт зчеплення коліс із рейками на ділянці з високим зчепленням (прийняти 0,2);

$\psi_{CK}$  — коефіцієнт тертя ковзання колеса по рейці при блокуванні (прийняти 0,05).

### **Приклад розрахунку**

Початкові дані:

- колова швидкість колеса під час юза

$$v_K = 0 \frac{\text{км}}{\text{год}};$$

- кількість колісних пар рухомого складу

$$n_1 = 4;$$

- коефіцієнт інерції мас обертання

$$\gamma = 0,08.;$$

- реалізований коефіцієнт зчеплення коліс із рейками на ділянці з високим зчепленням

$$\psi_p = 0,2.;$$

- коефіцієнт тертя ковзання колеса по рейці при блокуванні

$$\psi_{ск} = 0,05.;$$

- кількість колодок, що припадають на одну вісь,

$$m_l = 2.$$

Початкову швидкість гальмування подавимо у кілометрах за годину:

$$v_0^{18} = 18 \frac{\text{км}}{\text{год}};$$

$$v_0^{36} = 36 \frac{\text{км}}{\text{год}};$$

$$v_0^{54} = 54 \frac{\text{км}}{\text{год}};$$

$$v_0^{72} = 72 \frac{\text{км}}{\text{год}};$$

$$v_0^{90} = 90 \frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

Максимальну допустиму силу натиснення знаходимо з виразу [2, 3]

$$K_M = \frac{(d \cdot q_0 \cdot \psi_K - m_v \cdot c) + \sqrt{(d \cdot q_0 \cdot \psi_K - m_v \cdot c)^2 + 4b \cdot q_0 \cdot \psi_K \cdot m_v \cdot c}}{2b \cdot m_v},$$

де 
$$m_v = a \cdot m_l \frac{v_0 + e}{f \cdot v_0 + e};$$

$$\psi_K = 0,20 \frac{0,1q_0 + 100}{0,4q_0 + 100} \cdot \frac{v_0 + 200}{3v_0 + 200}.$$

Для чавунних колодок

$$a = 0,6, b = 1,6, c = 100, d = 8, e = 100, f = 5.$$

Для композиційних колодок

$$a = 0,44, b = 0,1, c = 20, d = 0,4, e = 150, f = 2.$$

$$\psi_K^{18} = 0,20 \frac{0,1 \cdot 220 + 100}{0,4 \cdot 220 + 100} \cdot \frac{18 + 200}{3 \cdot 18 + 200} \approx 0,111;$$

$$\psi_K^{36} = 0,20 \frac{0,1 \cdot 220 + 100}{0,4 \cdot 220 + 100} \cdot \frac{36 + 200}{3 \cdot 36 + 200} \approx 0,099;$$

$$\psi_K^{54} = 0,20 \frac{0,1 \cdot 220 + 100}{0,4 \cdot 220 + 100} \cdot \frac{54 + 200}{3 \cdot 54 + 200} \approx 0,091;$$

$$\psi_K^{72} = 0,20 \frac{0,1 \cdot 220 + 100}{0,4 \cdot 220 + 100} \cdot \frac{72 + 200}{3 \cdot 72 + 200} \approx 0,085;$$

$$\psi_K^{90} = 0,20 \frac{0,1 \cdot 220 + 100}{0,4 \cdot 220 + 100} \cdot \frac{90 + 200}{3 \cdot 90 + 200} \approx 0,08.$$

$$m_v^{18} = 0,6 \cdot 2 \frac{18 + 100}{5 \cdot 18 + 100} \approx 0,745;$$

$$m_v^{36} = 0,6 \cdot 2 \frac{36 + 100}{5 \cdot 36 + 100} \approx 0,583;$$

$$m_v^{54} = 0,6 \cdot 2 \frac{54 + 100}{5 \cdot 54 + 100} \approx 0,499;$$

$$m_v^{72} = 0,6 \cdot 2 \frac{72 + 100}{5 \cdot 72 + 100} \approx 0,449;$$

$$m_v^{90} = 0,6 \cdot 2 \frac{90 + 100}{5 \cdot 90 + 100} \approx 0,415.$$

$$K_M^{u,18} = \frac{(8 \cdot 220 \cdot 0,111 - 0,745 \cdot 100) + \sqrt{(8 \cdot 220 \cdot 0,111 - 0,745 \cdot 100)^2 + 4 \cdot 8 \cdot 220 \cdot 0,111 \cdot 0,745 \cdot 100}}{2 \cdot 1,6 \cdot 0,745} \approx$$

$\approx 119,161$  кН;

$$K_M^{u,36} = \frac{(8 \cdot 220 \cdot 0,099 - 0,583 \cdot 100) + \sqrt{(8 \cdot 220 \cdot 0,099 - 0,583 \cdot 100)^2 + 4 \cdot 8 \cdot 220 \cdot 0,099 \cdot 0,583 \cdot 100}}{2 \cdot 1,6 \cdot 0,583} \approx$$

$\approx 141,735$  кН;

$$K_M^{u,54} = \frac{(8 \cdot 220 \cdot 0,091 - 0,499 \cdot 100) + \sqrt{(8 \cdot 220 \cdot 0,091 - 0,499 \cdot 100)^2 + 4 \cdot 8 \cdot 220 \cdot 0,091 \cdot 0,499 \cdot 100}}{2 \cdot 1,6 \cdot 0,499} \approx$$

$\approx 154,309$  кН;



$$K_M^{q,72} = \frac{(8 \cdot 220 \cdot 0,085 - 0,449 \cdot 100) + \sqrt{(8 \cdot 220 \cdot 0,085 - 0,449 \cdot 100)^2 + 4 \cdot 8 \cdot 220 \cdot 0,085 \cdot 0,449 \cdot 100}}{2 \cdot 1,6 \cdot 0,449} \approx$$

$\approx 161,63$  кН;

$$K_M^{q,90} = \frac{(8 \cdot 220 \cdot 0,08 - 0,415 \cdot 100) + \sqrt{(8 \cdot 220 \cdot 0,08 - 0,415 \cdot 100)^2 + 4 \cdot 8 \cdot 220 \cdot 0,08 \cdot 0,415 \cdot 100}}{2 \cdot 1,6 \cdot 0,415} \approx$$

$\approx 165,998$  кН.

Коефіцієнти знаходимо за формулами (2.20-2.21):

$$a^{q,18} = \frac{3,6 \cdot 4}{4 \cdot 0,08 \cdot 220} \left[ -\frac{0,6 \cdot 2}{1 + 0,08} \cdot \frac{18 + 100}{5 \cdot 18 + 100} \cdot \frac{1,6 \cdot 119,161 + 100}{8,0 \cdot 119,161 + 100} \cdot 119,161 + 220(0,2 + 0,05) \right] \approx$$

$\approx 2,109$ ;

$$a^{q,36} = \frac{3,6 \cdot 4}{4 \cdot 0,08 \cdot 220} \left[ -\frac{0,6 \cdot 2}{1 + 0,08} \cdot \frac{36 + 100}{5 \cdot 36 + 100} \cdot \frac{1,6 \cdot 141,735 + 100}{8,0 \cdot 141,735 + 100} \cdot 141,735 + 220(0,2 + 0,05) \right] \approx$$

$\approx 2,606$ ;

$$a^{q,54} = \frac{3,6 \cdot 4}{4 \cdot 0,08 \cdot 220} \left[ -\frac{0,6 \cdot 2}{1 + 0,08} \cdot \frac{54 + 100}{5 \cdot 54 + 100} \cdot \frac{1,6 \cdot 154,309 + 100}{8,0 \cdot 154,309 + 100} \cdot 154,309 + 220(0,2 + 0,05) \right] \approx$$

$\approx 2,956$ ;

$$a^{q,72} = \frac{3,6 \cdot 4}{4 \cdot 0,08 \cdot 220} \left[ -\frac{0,6 \cdot 2}{1 + 0,08} \cdot \frac{72 + 100}{5 \cdot 72 + 100} \cdot \frac{1,6 \cdot 161,63 + 100}{8,0 \cdot 161,63 + 100} \cdot 161,63 + 220(0,2 + 0,05) \right] \approx$$

$\approx 3,214$ ;

$$a^{q,90} = \frac{3,6 \cdot 4}{4 \cdot 0,08 \cdot 220} \left[ -\frac{0,6 \cdot 2}{1 + 0,08} \cdot \frac{90 + 100}{5 \cdot 90 + 100} \cdot \frac{1,6 \cdot 165,998 + 100}{8,0 \cdot 165,998 + 100} \cdot 165,998 + 220(0,2 + 0,05) \right] \approx$$

$\approx 3,413$ .

$$b^{q,18} = \frac{3,6 \cdot 4}{4 \cdot 0,08 \cdot 220} \cdot 0,6 \cdot 2 \cdot \frac{1,6 \cdot 119,161 + 100}{8 \cdot 119,161 + 100} \cdot 119,161 \approx 8,071;$$

$$b^{q,36} = \frac{3,6 \cdot 4}{4 \cdot 0,08 \cdot 220} \cdot 0,6 \cdot 2 \cdot \frac{1,6 \cdot 141,735 + 100}{8 \cdot 141,735 + 100} \cdot 141,735 \approx 9,214;$$

$$b^{q,54} = \frac{3,6 \cdot 4}{4 \cdot 0,08 \cdot 220} \cdot 0,6 \cdot 2 \cdot \frac{1,6 \cdot 154,309 + 100}{8 \cdot 154,309 + 100} \cdot 154,309 \approx 9,846;$$

$$b^{q,72} = \frac{3,6 \cdot 4}{4 \cdot 0,08 \cdot 220} \cdot 0,6 \cdot 2 \cdot \frac{1,6 \cdot 161,63 + 100}{8 \cdot 161,63 + 100} \cdot 161,63 \approx 10,213;$$

$$b^{q,90} = \frac{3,6 \cdot 4}{4 \cdot 0,08 \cdot 220} \cdot 0,6 \cdot 2 \cdot \frac{1,6 \cdot 165,998 + 100}{8 \cdot 165,998 + 100} \cdot 165,998 \approx 10,432.$$

$$\begin{aligned}
t^{4,18} &= \frac{5}{5 \cdot 2,109 + 8,071} (18 - 0) - \frac{400 \cdot 8,071}{(5 \cdot 2,109 + 8,071)^2} \times \\
&\times \ln \left( \frac{(5 \cdot 2,109 + 8,071) \cdot 18 + (2,109 + 8,071) \cdot 100}{(5 \cdot 2,109 + 8,071) \cdot 0 + (2,109 + 8,071) \cdot 100} \right) \approx 2,184 \text{ с}; \\
t^{4,36} &= \frac{5}{5 \cdot 2,606 + 9,514} (36 - 0) - \frac{400 \cdot 9,214}{(5 \cdot 2,606 + 9,514)^2} \times \\
&\times \ln \left( \frac{(5 \cdot 2,606 + 9,514) \cdot 36 + (2,606 + 9,514) \cdot 100}{(5 \cdot 2,606 + 9,514) \cdot 0 + (2,606 + 9,514) \cdot 100} \right) \approx 4,239 \text{ с}; \\
t^{4,54} &= \frac{5}{5 \cdot 2,956 + 9,846} (54 - 0) - \frac{400 \cdot 9,846}{(5 \cdot 2,956 + 9,846)^2} \times \\
&\times \ln \left( \frac{(5 \cdot 2,956 + 9,846) \cdot 54 + (2,956 + 9,846) \cdot 100}{(5 \cdot 2,956 + 9,846) \cdot 0 + (2,956 + 9,846) \cdot 100} \right) \approx 6,338 \text{ с}; \\
t^{4,72} &= \frac{5}{5 \cdot 3,214 + 10,213} (72 - 0) - \frac{400 \cdot 10,213}{(5 \cdot 3,214 + 10,213)^2} \times \\
&\times \ln \left( \frac{(5 \cdot 3,214 + 10,213) \cdot 72 + (3,214 + 10,213) \cdot 100}{(5 \cdot 3,214 + 10,213) \cdot 0 + (3,214 + 10,213) \cdot 100} \right) \approx 8,497 \text{ с}; \\
t^{4,90} &= \frac{5}{5 \cdot 3,413 + 10,432} (90 - 0) - \frac{400 \cdot 10,432}{(5 \cdot 3,413 + 10,432)^2} \times \\
&\times \ln \left( \frac{(5 \cdot 3,413 + 10,432) \cdot 90 + (3,413 + 10,432) \cdot 100}{(5 \cdot 3,413 + 10,432) \cdot 0 + (3,413 + 10,432) \cdot 100} \right) \approx 10,708 \text{ с}.
\end{aligned}$$

Графік залежності часу заклинення колісної пари від початкової швидкості гальмування наведено на рисунку 2.4.

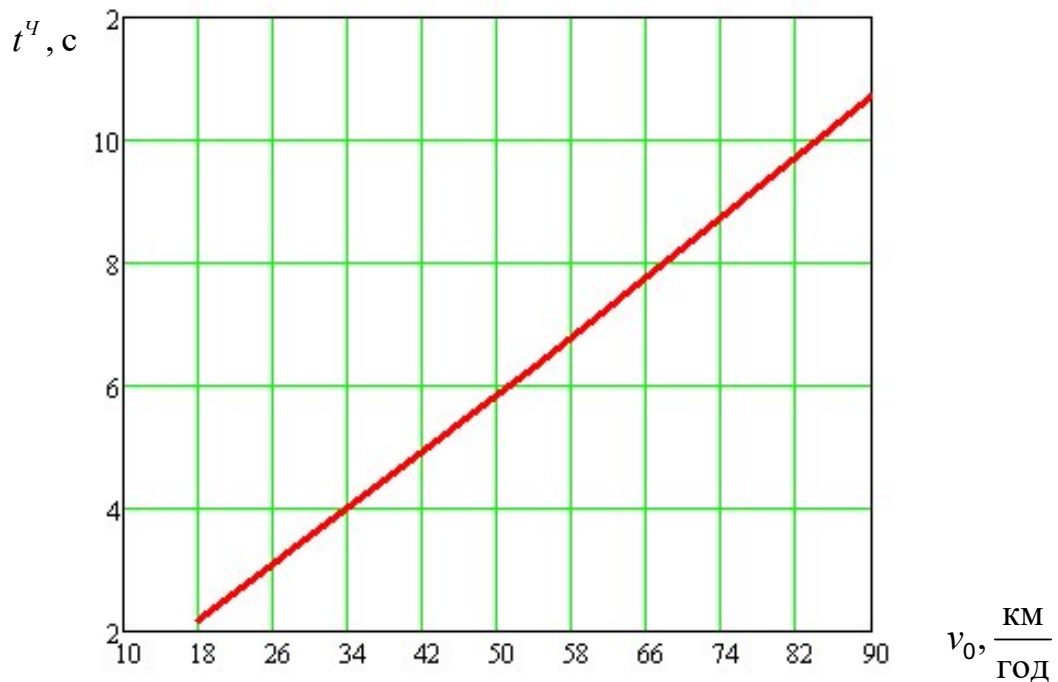


Рисунок 2.4 — Залежність часу заклинення колісної пари від початкової швидкості гальмування

### 2.3 Розрахунки температури на поверхні тертя

При гальмуванні процес тертя гальмової колодки й колеса відбувається в точках їх фактичного контакту [9]. Сумарна площа цих контактів становить лише незначну величину геометричної площі гальмової колодки, що перекривається. Оскільки виділення тепла відбувається лише в точках фактичного контакту, щільності теплових потоків і температурні спалахи в них можуть досягати більших величин, що викликають світіння поверхні тертя й перехід металу в цих точках у пластичний стан. При цьому відбувається деформація металу або його швидке зношування і місце температурного спалаху переміщається відповідно до зміни контактних питомих тисків.

Поширення теплового потоку на всю геометричну площу тертя відбувається близько від поверхні контакту і його щільність різко знижується порівняно з точками фактичного контакту, здобуваючи значення, відповідне до геометричних розмірів контактуючих тіл. Відповідно змінюється й температура в поверхневих шарах.

Слід також мати на увазі, що температура будь-якої точки поверхні кочення колеса за кожний його оберт має деякі

коливання, що є наслідком того, що при виході з розглянутої точки із зони контакту в ній відбувається деяке зниження температури за рахунок відведення тепла усередину колеса й у навколишнє середовище; при проходженні точки в зоні контакту колеса й гальмової колодки її температура підвищується й перевищує розрахункове середнє значення.

Однак при розв'язанні теплових завдань цим явищем можна знехтувати через інерційність процесів і вважати підведення тепла по всій поверхні тертя колеса безперервним. Таким чином, для розрахунків цієї температури  $\Delta\tau_n, ^\circ\text{C}$ , у будь-який момент часу гальмування  $t$  можна використовувати такий вираз [9]:

$$\Delta\tau_n = \frac{q_T}{\alpha_0} \left[ 1 - e^{-\frac{2\alpha_0}{\sqrt{\pi\lambda\gamma c}} \sqrt{t} \left(1 - \frac{2}{3} \frac{t}{t_B}\right)} \right]. \quad (2.22)$$

Найбільша температура при гальмуванні на поверхні колеса досягається в середині цього процесу  $t = 0,5t_B$ :

$$\Delta\tau_{n \max} = \frac{q_T}{\alpha_0} \left[ 1 - e^{-0,9433 \frac{\alpha_0}{\sqrt{\pi\lambda\gamma c}} \sqrt{t_B}} \right]. \quad (2.23)$$

Температура на поверхні колеса в момент зупинки поїзда  $t = t_B$

$$\Delta\tau_{nK} = \frac{q_T}{\alpha_0} \left[ 1 - e^{-0,667 \frac{\alpha_0}{\sqrt{\pi\lambda\gamma c}} \sqrt{t_B}} \right]. \quad (2.24)$$

Температура при гальмуванні, що встановилася (з постійною швидкістю):

$$\Delta\tau_{n\infty} = \frac{q_T}{\alpha_0} \left[ 1 - e^{-2 \frac{\alpha_0}{\sqrt{\pi\lambda\gamma c}} \sqrt{t_B}} \right], \quad (2.25)$$

де  $q_T$  — щільність теплового потоку,  $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

- $\lambda$  — коефіцієнт теплопровідності, ккал/(м·°С);  
 $\gamma$  — питома вага, кН/м<sup>3</sup>;  
 $c$  — питома теплоємність, ккал/(кгс·°С);  
 $t_B$  — час гальмування до повної зупинки, с.

Значення  $\lambda, \gamma, c$  наведені в таблиці 2.1.

Щільність теплового потоку в початковий момент гальмування визначається за виразом

$$q_T = \frac{\alpha_R \cdot b_T \cdot q_0 \cdot v_0}{17080\pi \cdot R \cdot h_K}, \quad (2.26)$$

де  $\alpha_R$  — коефіцієнт розподілу теплових потоків;

$h_K$  — ширина поверхні тертя колеса, м (прийняти 0,09 м).

Коефіцієнт розподілу теплових потоків для колеса можна вибирати за даними таблиці 2.2 (для колодок  $\alpha_K = 1 - \alpha_R$ ) [7].

Таблиця 2.1 – Значення температурних коефіцієнтів

Матеріал	Фізична характеристика				
	$\lambda$	$\gamma$	$c$	$\sqrt{\pi\lambda\gamma c}$	$\alpha = \frac{\lambda}{\gamma c}$
Колісна сталь	$10,3 \cdot 10^{-3}$	7850	0,11	5,28	$11,9 \cdot 10^{-6}$
Чавунна колодка	$12,5 \cdot 10^{-3}$	7250	0,13	6,08	$13,3 \cdot 10^{-6}$
Композиційна колодка	$0,2 \cdot 10^{-3}$	2200	0,28	0,62	$0,325 \cdot 10^{-6}$

Наведені вище формули отримані для умов нагрівання напівобмеженого тіла, тобто коли потік тепла ще не досягає поверхні, що обмежує нагріваюче тіло з боку, протилежному підведенню тепла. Таке допущення прийнятне при нагріванні тіл, що мають досить більшу товщину. У більшості реальних для експлуатаційних умов режимів гальмування, крім особливо тривалих, вони можуть бути рекомендовані для розрахунків. В останньому випадку існують спеціальні коректувальні коефіцієнти, обумовлені за графіками [7].

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнта розподілу теплових потоків

Тип гальмових колодок	Коефіцієнт $\alpha_R$ розподілу теплових потоків у колесі	
	для локомотива	для вагона
Чавунні секційні (по чотири на колесо)	0,60	0,55
Одинарні чавунні (по дві на колесо)	0,70	0,65
Одинарні чавунні (по одній на колесо)	0,80	0,70
Композиційні	0,95	0,95

Попередня оцінка коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha_0$  залежно від швидкості  $v_0$ , м/с, може бути виконана за емпіричними формулами (2.3) або (2.7).

У зв'язку з тим, що гальмівна сила змінюється в процесі наповнення гальмових циліндрів і при зміні швидкості руху, значення  $b_G$  розраховується виходячи з довжини дійсного гальмівного шляху  $S_G$  й часу підготовки гальм до дії  $t_{II}$  [2]:

$$b_G = \frac{108 \cdot v_0}{2(S_G - v_0 t_{II})} - w_0 - i_c, \quad (2.27)$$

де  $w_0$  — основний питомий опір руху поїзда (прийняти 2 Н/кН).

Час  $t$  при цьому у виразі для розрахунків теплових режимів приймають зменшеним на час підготовки  $t_{II}$ , якщо  $t \geq t_{II}$ .

Ґрунтуючись на виразах (2.23), (2.26), отримана формула для визначення діаметра колеса  $D_K$ , що забезпечує необхідну конвекцію тепла, щоб уникнути його перегріву при екстремому гальмуванні, визначається за виразом

$$D_K = \frac{\alpha_R \cdot b_G \cdot q_0 \cdot v_0}{8540 \pi h_K \cdot \Delta \tau_{nK} \cdot \alpha_0} \left( 1 - e^{-0,9433 \frac{\alpha_0}{\sqrt{\pi \lambda \gamma c}} \sqrt{t_B}} \right). \quad (2.28)$$

### **Приклад розрахунку**

Початкові дані:

- тип колодок – чавунні;

- середня питома гальмівна сила  $b_T = 70 \frac{\text{Н}}{\text{кН}} .;$

- коефіцієнт теплопровідності

$$\lambda = 12,5 \cdot 10^{-3} \text{ ккал}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}) .;$$

- питома вага

$$\gamma = 7250 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} .;$$

- питома теплоємність

$$c = 0,13 \text{ ккал}(\text{кгс} \cdot ^\circ\text{C}) .;$$

- ширина поверхні тертя колеса

$$h_K = 0,09 \text{ м} .;$$

- радіус середньозношеного колеса

$$R = 0,45 \text{ м} .;$$

- коефіцієнт розподілу теплових потоків у колесі

$$\alpha_R = 0,7 .;$$

- коефіцієнт розподілу теплових потоків у чавунній колодці

$$\alpha_K = 1 - 0,7 = 0,3 .$$

- щільність теплового потоку в початковий момент

гальмування

$$q_T = \frac{0,3 \cdot 70 \cdot 220 \cdot 25}{17080 \cdot 3,14 \cdot 0,45 \cdot 0,09} \approx 53,148 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}) .$$

Визначимо коефіцієнт:

$$\alpha_0 = 0,004 + 0,005\sqrt{v_0},$$
$$\alpha_0 = 0,004 + 0,005\sqrt{25} \approx 0,029 .$$

## Загальний час гальмування

$$t_B = 96 \text{ с.}$$

Розподілимо загальний час гальмування на десять інтервалів і визначимо температуру нагріву гальмової колодки на кожному проміжку часу:

$$t^{9,6} = 9,6 \text{ с;}$$

$$t^{19,2} = 19,2 \text{ с;}$$

$$t^{28,8} = 28,8 \text{ с;}$$

$$t^{38,4} = 38,4 \text{ с;}$$

$$t^{48} = 48 \text{ с;}$$

$$t^{57,6} = 57,6 \text{ с;}$$

$$t^{67,2} = 67,2 \text{ с;}$$

$$t^{76,8} = 76,8 \text{ с;}$$

$$t^{86,4} = 86,4 \text{ с;}$$

$$t^{96} = 96 \text{ с.}$$

## Температура у будь-який момент часу гальмування

$$\Delta \tau_n^{9,6} = \frac{53,148}{0,029} \left[ 1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,029}{\sqrt{3,14 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7250 - 0,13}} \sqrt{9,6} \left( 1 - \frac{2 \cdot 9,6}{3 \cdot 96} \right)} \right] \approx 218,519 \text{ }^\circ\text{C;}$$

$$\Delta \tau_n^{19,2} = \frac{53,148}{0,029} \left[ 1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,029}{\sqrt{3,14 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7250 - 0,13}} \sqrt{19,2} \left( 1 - \frac{2 \cdot 19,2}{3 \cdot 96} \right)} \right] \approx 281,446 \text{ }^\circ\text{C;}$$

$$\Delta \tau_n^{28,8} = \frac{53,148}{0,029} \left[ 1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,029}{\sqrt{3,14 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7250 - 0,13}} \sqrt{28,8} \left( 1 - \frac{2 \cdot 28,8}{3 \cdot 96} \right)} \right] \approx 314,842 \text{ }^\circ\text{C;}$$



$$\Delta \tau_n^{38,4} = \frac{53,148}{0,029} \left[ 1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,029}{\sqrt{3,14 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7250 \cdot 0,13}} \sqrt{38,4} \left( 1 - \frac{2 \cdot 38,4}{3 \cdot 96} \right)} \right] \approx 331,48 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta \tau_n^{48} = \frac{53,148}{0,029} \left[ 1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,029}{\sqrt{3,14 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7250 \cdot 0,13}} \sqrt{48} \left( 1 - \frac{2 \cdot 48}{3 \cdot 96} \right)} \right] \approx 336,383 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta \tau_n^{57,6} = \frac{53,148}{0,029} \left[ 1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,029}{\sqrt{3,14 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7250 \cdot 0,13}} \sqrt{57,6} \left( 1 - \frac{2 \cdot 57,6}{3 \cdot 96} \right)} \right] \approx 332,098 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta \tau_n^{67,2} = \frac{53,148}{0,029} \left[ 1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,029}{\sqrt{3,14 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7250 \cdot 0,13}} \sqrt{67,2} \left( 1 - \frac{2 \cdot 67,2}{3 \cdot 96} \right)} \right] \approx 320,083 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta \tau_n^{76,8} = \frac{53,148}{0,029} \left[ 1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,029}{\sqrt{3,14 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7250 \cdot 0,13}} \sqrt{76,8} \left( 1 - \frac{2 \cdot 76,8}{3 \cdot 96} \right)} \right] \approx 301,214 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta \tau_n^{86,4} = \frac{53,148}{0,029} \left[ 1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,029}{\sqrt{3,14 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7250 \cdot 0,13}} \sqrt{86,4} \left( 1 - \frac{2 \cdot 86,4}{3 \cdot 96} \right)} \right] \approx 276,024 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta \tau_n^{96} = \frac{53,148}{0,029} \left[ 1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,029}{\sqrt{3,14 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7250 \cdot 0,13}} \sqrt{96} \left( 1 - \frac{2 \cdot 96}{3 \cdot 96} \right)} \right] \approx 244,818 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Графік залежності температури нагрівання чавунної колодки за часом гальмування наведено на рисунку 2.5.

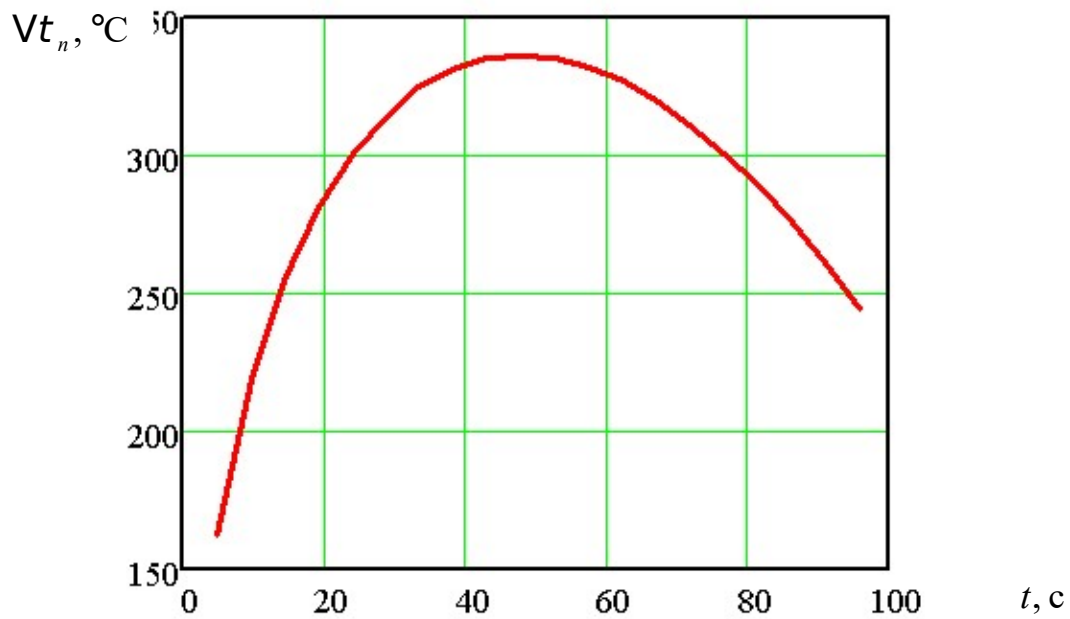


Рисунок 2.5 — Залежність температури нагрівання чавунної колодки за часом гальмування

Найбільша температура при гальмуванні на поверхні колеса у середині процесу

$$\Delta \tau_{n \max} = \frac{53,148}{0,029} \left[ 1 - e^{-0,9433 \frac{0,029}{\sqrt{3,14 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7250 \cdot 0,13}} \sqrt{96}} \right] \approx 336,541 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура на поверхні колеса в момент зупинки поїзда

$$\Delta \tau_{nK} = \frac{53,148}{0,029} \left[ 1 - e^{-0,667 \frac{0,029}{\sqrt{3,14 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7250 \cdot 0,13}} \sqrt{96}} \right] \approx 244,932 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура при гальмуванні, що встановилася (з постійною швидкістю);

$$\Delta \tau_{n\infty} = \frac{53,148}{0,029} \left[ 1 - e^{-\frac{0,029}{\sqrt{3,14 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7250 \cdot 0,13}} \sqrt{96}} \right] \approx 640,713 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахуємо діаметр колеса, що забезпечує необхідну конвекцію тепла, щоб уникнути його перегріву при екстремому гальмуванні за виразом (2.28).

Початкові дані:

- максимальна температура нагрівання чавунної колодки

$$\Delta \tau_{нк} = 600 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Обираємо три швидкості початкового гальмування:

$$v_0^{50} = 50 \frac{\text{км}}{\text{год}} \approx 13,889 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$v_0^{70} = 70 \frac{\text{км}}{\text{год}} \approx 19,444 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$v_0^{90} = 90 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Час гальмування при цьому за формулою (2.9)

$$t^{50} = 172,8 \text{ с};$$

$$t^{70} = 123,429 \text{ с};$$

$$t^{90} = 96 \text{ с}.$$

Розподілимо осьове навантаження на п'ять інтервалів:

$$q_0^1 = 124 \text{ кН};$$

$$q_0^2 = 148 \text{ кН};$$

$$q_0^3 = 172 \text{ кН};$$

$$q_0^4 = 196 \text{ кН};$$

$$q_0^5 = 220 \text{ кН}.$$

Обчислимо коефіцієнт  $a_0$  для певної швидкості:

$$\alpha_0^{50} = 0,004 + 0,005 \sqrt{13,889} \approx 0,023;$$

$$\alpha_0^{70} = 0,004 + 0,005 \sqrt{19,444} \approx 0,026;$$

$$\alpha_0^{90} = 0,004 + 0,005\sqrt{25} \approx 0,029.$$

За формулою (2.28) розраховуємо допустиму величину діаметра колеса, результати розрахунку зведемо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 — Результати розрахунку діаметра колеса

Параметр	$q_0^1 = 124 \text{ кН}$	$q_0^2 = 148 \text{ кН}$	$q_0^3 = 172 \text{ кН}$	$q_0^4 = 196 \text{ кН}$	$q_0^5 = 220 \text{ кН}$
$v_0^{50} = 50 \frac{\text{км}}{\text{год}}$	0,246	0,294	0,342	0,389	0,437
$v_0^{70} = 70 \frac{\text{км}}{\text{год}}$	0,292	0,349	0,405	0,462	0,518
$v_0^{90} = 90 \frac{\text{км}}{\text{год}}$	0,332	0,396	0,46	0,525	0,589

Побудуємо графіки залежностей  $D_K = f(v_0, q_0)$  (рисунок 2.6).

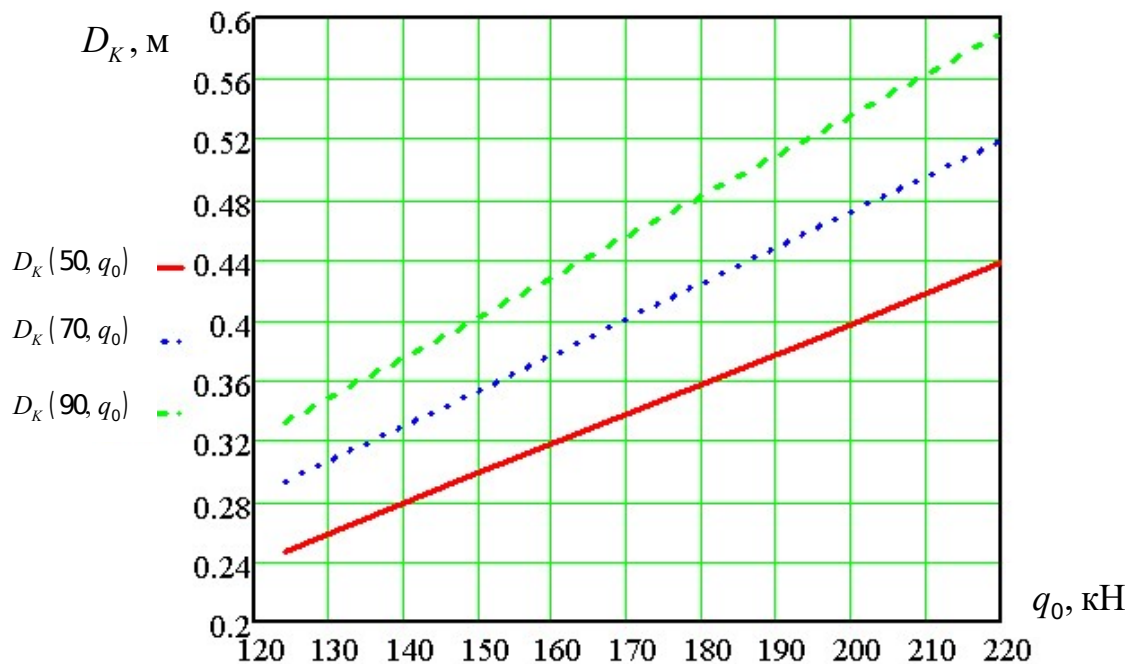


Рисунок 2.6 — Графік залежності діаметра колеса від швидкості гальмування та осевого навантаження

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Анисимов, П.С. Расчет и проектирование механической и пневматической частей тормозов вагонов [Текст]: учеб. пособие / П.С. Анисимов, В.А. Юдин, А.Н. Шамаков, С.Н. Коржин; под. общ. ред. П.С. Анисимова. – М.: Маршрут, 2005. – 248 с.
- 2 Асадченко, В.Р. Расчет пневматических тормозов железнодорожного подвижного состава [Текст]: учеб. пособие / В.Р. Асадченко. – М.: Маршрут, 2004. – 120 с.
- 3 Асадченко, В.Р. Автоматические тормоза подвижного состава [Текст]: учеб. пособие / В.Р. Асадченко. – М.: Маршрут, 2006. – 392 с.
- 4 Бабаєв, А.М. Принцип дії, розрахунки та основи експлуатації гальм рухомого складу залізниць [Текст]: навч. посібник / А.М. Бабаєв, Д.В. Дмитрієв – К. : ДЕТУТ, 2007. – 176 с.
- 5 Багажов, В.В. Тормозное оборудование специального самоходного подвижного состава [Текст]: учеб. пособие / В.В. Багажов, В.Н. Синицын. – М.: ГОУ „Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте“, 2007. - 287 с.
- 6 Иноземцев, В.Г. Автоматические тормоза [Текст] / В.Г. Иноземцев, В.М. Казаринов, В.Ф. Ясенцев. – М.: Транспорт, 1981. – 464 с.
- 7 Иноземцев, В.Г. Тормоза железнодорожного подвижного состава [Текст] / В.Г. Иноземцев. – М.: Транспорт, 1983. – 424 с.
- 8 Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України [Текст]: ЦТ – ЦВ – ЦЛ - 0015. – Затв. нак. Укрзалізниці № 264-Ц 28.10.1997. – К., 2004. – 146 с.
- 9 Казаринов, В.М. Теоретические основы проектирования и эксплуатации тормозов [Текст] / В.М. Казаринов, В.Г. Иноземцев, В.Ф. Ясенцев. – М.: Транспорт, 1968 – 400 с.
- 10 Казаринов, В.М. Автотормоза [Текст]: учебник / В.М. Казаринов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1981. – 464 с.
- 11 Карвацкий, Б.Л. Общая теория автотормозов [Текст] / Б.Л. Карвацкий. – М.: ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ, 1947. – 300 с.

12 Коренівський, М.В. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з дисципліни «Автоматичні гальма» [Текст]: метод. вказівки / М.В. Коренівський. –Харків: ХарДАЗТ, 2002. – 30 с.

13 Крылов, В.И. Автоматические тормоза подвижного состава [Текст]: учебник / В.И. Крылов, В.В. Крылов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1983. – 360 с.

14 Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм [Текст]. – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 356 с.

15 Правила тяговых расчетов для поездной работы МПС СССР [Текст]. – М.: Транспорт, 1985. – 286 с.

16 Справочник по тяговым расчетам [Текст] / П.Н. Астахов, П.Т. Гребенюк, А.И. Скворцов. – М.: Транспорт, 1973. – 256 с.

17 Студентська навчальна звітність. Текстова частина (пояснювальна записка). Загальні вимоги до побудови, викладення та оформлення [Текст]: метод. вказівки / Є.В. Коновалов, Л.М. Козар. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – 36 с.

18 Методичні вказівки до складання рівнянь передаточного числа гальмових важільних передач [Текст]: метод. вказівки / В.Г. Равлюк. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 22 с.

19 Равлюк, В.Г. Завдання на курсовий проект з методичними вказівками з дисципліни “Автоматичні гальма та безпека руху” [Текст]: метод. вказівки / В.Г. Равлюк, І.М. Афанасенко. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – 70 с.

**ДОДАТОК А**  
(обов'язковий)

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
Зав. кафедрою.....  
.....20 р.

**ЗАВДАННЯ**  
на самостійну (контрольну) роботу з дисципліни  
**“Нова гальмова техніка”**  
студенту \_\_\_\_\_ групи \_\_\_\_\_ .  
на тему **“Розрахунок теплових режимів при гальмуванні”**.

**Вихідні дані:**

- 1 Рухомий склад \_\_\_\_\_ .
- 2 Тип вагона \_\_\_\_\_ .
- 3 Швидкість руху на початку гальмування \_\_\_\_\_ км/год.
- 4 Тип гальмових колодок (накладок) \_\_\_\_\_ .
- 5 Ухил при гальмуванні \_\_\_\_\_ %.
- 6 Довжина гальмівного шляху \_\_\_\_\_ м.
- 7 Середня питома гальмівна сила \_\_\_\_\_ Н/кН.

**У роботі викласти:**

Вступ.

- 1 Описати нові типи \_\_\_\_\_

гальмової техніки, яка використовується на рухомому складі.

- 2 Аналіз сучасної та нової (описаної) гальмової техніки.
- 3 Розрахунки теплових режимів при гальмуванні.
  - 3.1 Розрахунки теплового режиму й зношування гальмових колодок.
  - 3.2 Розрахунки заклиненого стану колісних пар.
  - 3.3 Розрахунки температури на поверхні тертя.

Висновок.

Список використаних джерел.

Термін захисту роботи “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 року.

Консультант \_\_\_\_\_  
(підпис) (ініціали та прізвище)







Таблиця 1.1 – Вихідні дані для виконання контрольної роботи з теми «А»

Показник	Варіант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Рухомий склад	В	В	П	В	П	В	В	П	В	П
2 Тип вагона	цистерна Чотиривісна	Напіввагон	М'який	Платформа	Відкритого типу	цистерна Восьмивісна	Хопер	Багажний	Думпкар	СВ
3 Швидкість на початку гальмування, км/год	80	110	140	100	140	70	85	125	65	140
4 Ухил при гальмуванні, ‰	2	4	6	3	10	5	9	10	4	6
5 Довжина гальмівного шляху, м	1200	1800	1000	1400	800	1500	1300	1200	1400	1000
6 Середня питома гальмівна сила, Н/кН	60	55	40	60	55	45	55	60	40	35
Примітка: «В» – вантажний (чавунні колодки), «П» – пасажирський.										

Таблиця 1.2 - Вихідні дані для виконання контрольної роботи з теми «Б»

Найменування показника	Варіант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Рухомий склад	П	В	П	В	П	В	П	В	П	В
2 Тип вагона	СВ	Платформа	типу Відкритого	Напіввагон	М'який	цистерна Чотиривісна	Багажний	Думпкар	Купейний	цистерна Восьмивісна
3 Швидкість на початку гальмування, км/год	140	90	120	80	130	70	100	60	140	80
4 Ухил при гальмуванні, ‰	5	6	8	6	2	3	7	9	11	10
5 Довжина гальмівного шляху, м	1100	1800	1400	1900	800	1500	900	1400	1200	1700
6 Середня питома гальмівна сила, Н/кН	40	55	50	45	60	55	50	40	60	45
Примітка: «В» – вантажний (композиційні колодки), «П» – пасажирський.										

