

ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Прогонний Олексій Миколайович

УДК 656.212.5 : 625.156.8

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО
УПОВІЛЬНЮВАЧА-ПРИСКОРЮВАЧА ДЛЯ ПІДГІРКОВИХ
КОЛІЙ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ**

05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2000

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі “Електротехніка та електричні машини” Харківської державної академії залізничного транспорту Міністерства транспорту України.

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент

Соколов Віктор Михайлович,
завідувач кафедри “Електротехніка
та електричні машини” Харківської
державної академії залізничного транспорту

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор

Себко Вадим Пантелейович,
завідувач кафедри “Прилади та методи
неруйнуючого контролю” Харківського
державного політехнічного університету

кандидат технічних наук, доцент

Мойсеєнко Валентин Іванович,
доцент кафедри “Автоматика та комп’ютерні системи
управління” Харківської державної академії
залізничного транспорту

Провідна установа: Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту, кафедра “Автоматика, телемеханіка та зв’язок”, Міністерство транспорту України.

Захист відбудеться ”27” квітня 2000 р. о 11⁰⁰ годині в конференцзалі на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Харківській державній академії залізничного транспорту (61050, м. Харків. майдан Фейєрбаха, 7).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківської державної академії залізничного транспорту.

Автореферат розісланий “24” березня 2000 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Запара В.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Важливою ділянкою в роботі залізничних станцій України є формування составів на сортувальних гірках. Для прицільного регулювання швидкості відчепів при автоматизації розпуску застосовуються паркові позиції, які обладнуються механічними балковими уповільнювачами. Ці пристрої діють на колеса вагонів за рахунок сили тертя і мають нестабільну тягову характеристику. Багатодетальні балкові уповільнювачі в процесі роботи зазнають значних динамічних навантажень, що призводить до порушення регульовальних розмірів і зміни їх експлуатаційних показників. Важкі, металоємкі засоби з пневматичними або гідравлічними приводами досить інерційні, особливо при виключенні. При цьому важко дотриматися встановленої швидкості розпуску, що призводить до пошкоджень вагонів і грузів, або вимагає додаткових підтягувань локомотивом. Деякі недоліки усувають електромагнітні уповільнювачі, але в них залишаються рухомі частини, а їх ефективність залежить від випадкових факторів. Досвід роботи сортувальних гірок, теоретичні дослідження показують, що збереження вагонів і вантажів, заповнення підгіркових колій без “вікон” забезпечується при застосуванні уповільнювачів-прискорювачів. При цьому, крім паркової позиції, такими засобами обладнуються і підгіркові колії. Запропоновані раніше електромагнітні уповільнювачі-прискорювачі не реалізовані, бо мають ряд значних недоліків.

Таким чином, впровадження систем автоматичного регулювання швидкості відчепів на підгіркових коліях вимагає подальших досліджень електромагнітних пристроїв, що можуть діяти як на уповільнення так і на прискорення.

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

Дисертаційна робота стала продовженням науково-дослідної теми кафедри “Електротехніка та електричні машини” Харківської державної академії залізничного транспорту на замовлення Лисичанського нафтопереробного заводу. Удосконалення технічного оснащення залізничних станцій є однією з задач, поставлених Комплексною програмою розвитку залізниць України.

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є забезпечення високої якості сортувального процесу за рахунок удосконалення виконавчих засобів систем регулювання швидкості відчепів на підгіркових коліях сортувальних гірок шляхом розробки електромагнітного уповільнювача-прискорювача (ЕМУП).

У відповідності до поставленої мети в роботі вирішені основні завдання:

–проведено аналіз існуючих засобів регулювання швидкості відчепів на сортувальних гірках, напрямків розвитку спеціалізованих пристроїв для підгіркових колій та визначені основні вимоги до їх техніко-експлуатаційних характеристик;

–досліджена магнітна система ЕМУП та розроблені методики її розрахунку;

–удосконалена математична модель уповільнювача-прискорювача;

–синтезовано тягову ланку електромагнітного засобу регулювання швидкості відчепів;

–досліджені експлуатаційні характеристики ЕМУП;

–запропоновано технічне рішення по розміщенню розробленого пристрою на сортувальних коліях та визначена його техніко-економічна ефективність.

Методи досліджень. При вирішенні поставлених завдань використані методи аналізу електричних та магнітних кіл,

обчислювальної математики. Основою методик розрахунку магнітного кола тягової ланки стали графічний метод та аналітичний метод числового інтегрування.

Наукова новизна:

– встановлена залежність електромагнітного моменту, що його розвиває тягова ланка ЕМУП, від положення колеса відносно полюса електромагніта;

– удосконалена математична модель запропонованого пристрою, одержано новий аналітичний вираз для тягового моменту уповільнювача-прискорювача;

– запропоновані методики розрахунку магнітної системи тягового електромагніта для визначення необхідної магніторушійної сили його обмотки збудження;

– визначена енергетична потужність уповільнювача-прискорювача на основі теореми про зміну кількості руху, одержано формулу для розрахунку зміни швидкості вагону від взаємодії з тяговою ланкою ЕМУП.

Достовірність наукових висновків ґрунтується на фундаментальних положеннях фізики, теоретичної механіки. Розрахунки основних експлуатаційних характеристик уповільнювача-прискорювача за приведеними методиками підтверджуються результатами досліджень лабораторного зразка.

Практична цінність. Встановлені конструктивні розміри та оптимальний інтервал розміщення тягових електромагнітів ЕМУП. Розроблена електрична схема включення котушок збудження. Одержані техніко-експлуатаційні показники. Синтезовано ЕМУП на підгіркових коліях у вибраному варіанті технічного оснащення систем регулювання швидкості, що забезпечує найвищу якість сортувального процесу. Результати досліджень і рекомендації можуть бути використані при виготовленні та експлуатаційних випробуваннях уповільнювача-прискорювача.

Рівень реалізації роботи. Матеріали дисертації передані в проектну організацію “Інститут Харківський Промтранспроєкт” для розробки технічної документації. Отримані в роботі результати

досліджень використані на сортувальній гірці ст. Харків-Сортувальний Південної залізниці при виготовленні експериментального зразка електромагнітного уповільнювача-прискорювача.

Апробація роботи. Основні положення роботи доповідались на науково-технічних конференціях Харківської державної академії залізничного транспорту 1996-1999 р.р. В повному обсязі робота доповідалась на розширеному засіданні кафедри “Електротехніка та електричні машини” в 1999 році.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 4 друковані роботи, в тому числі три статті в наукових журналах і одне авторське свідоцтво на винахід.

Обсяг та структура роботи. Дисертаційна робота викладена на 120 сторінках машинописного тексту і складається із вступу, чотирьох розділів, висновків та чотирьох додатків, ілюстрована 37 рисунками, 2 таблицями. Список використаних літературних джерел включає 103 найменування.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність розглянутої теми, сформульовано мету та завдання дослідження, відображено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено стислий зміст роботи.

У першому розділі виконано аналіз існуючих пристроїв регулювання швидкості відчепів на вітчизняних та зарубіжних сортувальних гірках, який показав, що основними технічними засобами регулювання є балкові уповільнювачі, дія яких базується на силі тертя. Коефіцієнт тертя залежить від стану взаємодіючих поверхонь, погодніх умов, величини тиснення уповільнюючих балок. При цьому важко дотриматися розрахункової швидкості виходу відчепа з уповільнювальної позиції, що призводить до зниження якості сортувального процесу. Різні умови роботи уповільнювачів на спускній частині та в парках показують необхідність розробки для підгіркових колій спеціалізованих пристроїв. В роботі розглянуті напрямки їх

подальшого розвитку. Різновидом балкових технічних засобів стали пристрої, уповільнюючий ефект яких досягається за допомогою опору рідини, пружності гуми, фрикціями і т.д. Низька надійність, складне виготовлення, потреба у спеціальних матеріалах не дозволяють використовувати їх на вітчизняних гірках. Ряд розробок присвячено уповільнювачам, дія яких базується на використанні сил електромагнітного поля. Вони усувають неекономічні пневмосистеми і значно полегшують управління, що важливо при автоматизації розпуску. Але ці пристрої мають рухомі частини і впливають на колеса також за рахунок сили тертя, що не дозволяє одержати стабільну уповільнювальну характеристику.

Теоретичні дослідження і досвід роботи сортувальних гірок показують, що енергетичні витрати зменшуються, а якість сортувального процесу підвищується при прискоренні “поганих” бігунів в порівнянні з уповільненням “добрих”. Тому найбільший інтерес викликають електромагнітні пристрої, що не мають рухомих деталей і можуть діяти як на уповільнення так і на прискорення. Аналіз конструктивних особливостей відомих електромагнітних уповільнювачів-прискорювачів показав такі їх недоліки як протікання великого струму через рейки і колісну пару, дуже низький коефіцієнт корисної дії, складність технічної реалізації.

В першому розділі визначені основні вимоги до техніко-експлуатаційних характеристик розроблюваного уповільнювача-прискорювача, поставлена мета роботи та сформульовані задачі дослідження.

Другий розділ присвячено удосконаленню математичної моделі електромагнітного уповільнювача-прискорювача. Тягова ланка ЕМУП і розміщена над ним колісна пара являють собою складний електромагнітний механізм, тому для спрощення його аналізу були обгрунтовані і прийняті допущення, які дозволили одержати магнітну систему з прямокутним осердям, двома повітряними проміжками та рівномірно розподіленою обмоткою.

В ході дослідження динаміки взаємодії колеса вагону з тяговим електромагнітом (ЕМ) зазначено, що протидіючим йому моментом є момент інерції

$$J \cdot \frac{d\gamma^2}{dt^2} = F_k \cdot R = M_o, \quad (1)$$

де $J \cdot d^2\gamma/dt^2$ – момент інерції частин, що обертаються;

F_k – сила тертя кочення;

R – радіус колеса;

M_o – момент опору.

Оскільки сила тертя кочення визначається як

$$F_k = \frac{1}{3} G \cdot \sin \beta, \quad (2)$$

де G – вага колеса;

β – кут нахилу гірки, то момент опору залежить від схилу гірки, ваги вагона та від радіуса колеса.

При розгляді взаємного розташування колеса вагона і полюса електромагніта було встановлено, що тягова сила F_T , яку можна прийняти зосередженою в центрі магнітних мас M , направлена вниз по діагоналях зрізу осердя в залежності від того, з якого боку знаходиться колесо відносно вертикальної осьової лінії останнього. Електромагнітну силу F_T можна розкласти на паралельну $F_{ТП}$ та нормальну складові $F_{ТН}$. Обертаючий момент ЕМ відносно миттєвого центру швидкості колеса виникає від дії тільки нормальної складової з плечем прикладення d , що в свою чергу залежить від кута повороту γ колеса:

$$M_E = F_{ТН} \cdot R \cdot \sin \gamma. \quad (3)$$

Електромагнітна сила пропорційна площі перекриття взаємодіючих поверхонь. При віддаленні колеса від вертикальної осі полюса сила $F_{\text{тн}}$ буде зменшуватися, а плече сили d – збільшуватися. Таким чином, в залежності від положення колеса відносно полюса ЕМ, момент M_E має дзвіноподібний вигляд, досягаючи максимального значення при деякому куті повороту колеса $\gamma_{\text{мах}}$. Величина тягової сили залежить від характеристики намагнічування матеріалу осердя, розподілу магнітного потоку в магнітопроводі і робочих повітряних проміжках.

Оскільки обмотка збудження охоплює майже все осердя, то тяговий ЕМ – це магнітна система з розподіленими параметрами, в якій залежність магнітного потоку описується диференціальним рівнянням другого ступеня:

$$\frac{d^2\Phi_x}{dx^2} - \Phi_x g_p R_{\text{ст}} + \frac{F}{l_{\text{ст}}} g_p = 0, \quad (4)$$

де g_p – питома провідність потоку розсіювання;

$R_{\text{ст}}$ – питомий опір магнітопровода;

$F = I \cdot w$ – магніторушійна сила обмотки;

I і w – струм та кількість витків обмотки;

$l_{\text{ст}}$ – довжина осердя.

Розв'язок рівняння (4) має вигляд:

$$\left[\Phi_x = \frac{G_1}{g_p} \cdot \frac{d\Phi_x}{dx} \right]_{x=0}, \quad (5)$$

$$\left[\Phi_x = \frac{G_2}{g_p} \cdot \frac{d\Phi_{l_{\text{ст}}}}{dx} \right]_{x=l_{\text{ст}}}$$

де G_1 і G_2 – магнітні провідності робочих повітряних проміжків δ_1 і δ_2 .

В ході аналізу методів розрахунку нелінійних магнітних кіл встановлено, що для визначення магнітного потоку найдоцільніше користуватися формулою

$$\Phi_x = \Phi_\delta \cdot \left[1 + \frac{g_p}{2 \cdot l_{ст} \cdot G_\delta} (l_{ст}^2 - x^2) \right], \quad (6)$$

де Φ_δ – частина магнітного потоку, що приходить на повітряний проміжок, а вираз в квадратних дужках – коефіцієнт розсіювання магнітного потоку.

Вираз (6) покладено в основу розробки методики розрахунку магнітного кола для половини довжини осердя l_c , яка полягає в наступному: на графіку кривої намагнічування матеріалу осердя (одержана експериментально на кафедрі “Електротехніка та електричні машини” ХарДАЗТ) проводиться пряма під кутом φ :

$$\varphi = \arctg \left[\left(G_\delta + \frac{1}{2} g_p l_c \right) \cdot \frac{l_c}{S_{ст}} \cdot \frac{n_H}{n_B} \right], \quad (7)$$

де n_H і n_B – відповідно масштаб по осі напруженості магнітного поля H і магнітної індукції B ;

$S_{ст}$ – площа поперечного зрізу осердя;

$G_\delta + \frac{1}{2} g_p l_c$ – магнітна провідність повітряного проміжку з

урахуванням потоку розсіювання.

При цьому пряма повинна проходити через точку максимальної індукції магнітного потоку $B=1,2 \div 1,3$ Тл. Відрізки на осі абсцис зображають напруженість поля в сталі і питому магніторушійну силу в повітряному проміжку. Методика дозволяє визначити номінальний струм в обмотці збудження ЕМ.

В роботі представлена електрична схема заміщення тягової ланки ЕМУП, що дозволяє застосувати методику, яка заснована на методі числового інтегрування і підвищує точність розрахунку магнітного

поток. Магнітна система розподіляється на малі проміжки, для кожного з яких розраховується за законами Кірхгофа і Ома частковий магнітний потік, з урахуванням потоку розсіювання. Часткові магнітні потоки складають необхідний загальний потік.

В ході удосконалення математичної моделі розроблюваного пристрою було встановлено, що особливості роботи електромагнітного механізму характеризуються системою рівнянь. Зважаючи на те, що колесо здійснює поступово-обертаючий рух відносно полюса ЕМ, відмінним виразом є залежність електромагнітного моменту. При цьому постала необхідність визначення тягової сили від накопиченої магнітної енергії W_m :

$$F_T = \frac{dW_m}{d\ell}. \quad (8)$$

Для спростування аналізу прийнято лінійну залежність магнітного потоку від магніторушійної сили в робочому повітряному проміжку $\Phi=f(\Theta)$, зневаживши витратами магніторушійної сили в магнітопроводі. Магнітна енергія на переміщення колеса з положення ℓ_2 (віддалене) в положення ℓ_1 (приближене):

$$W_m = \frac{\Theta\Phi_2}{2} + \Theta \cdot (\Phi_1 - \Phi_2) - \frac{\Theta\Phi_1}{2} = \frac{\Theta \cdot (\Phi_1 - \Phi_2)}{2}. \quad (9)$$

Враховуючи, що $\Phi_1 = \Theta \cdot G_{\delta 1}$ и $\Phi_2 = \Theta \cdot G_{\delta 2}$,

де $G_{\delta 1} = \frac{\mu_0 \cdot S_1}{\delta}$ и $G_{\delta 2} = \frac{\mu_0 \cdot S_2}{\delta}$ – магнітні провідності

повітряного проміжку відповідно в положенні ℓ_1 і ℓ_2 колеса,

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнітна постійна,

S_1 и S_2 – площі взаємодії полюса і колеса,

було отримано вираз для визначення електромагнітного тягового моменту, який уточнює математичну модель ЕМУП:

$$M_E = \frac{1}{2} \cdot \Theta^2 \cdot \frac{\mu_0}{\delta} \cdot \frac{dS}{d\ell} \cdot \frac{R}{R-h} \cdot \ell, \quad (10)$$

де $\frac{R}{R-h} \cdot \ell = d$ – плече дії тягової сили;

h – підвищення центру магнітних мас (точка перетину діагоналей поперечного зрізу полюсу) над рівнем головки рейки.

Таким чином, тягові можливості ЕМУП залежать від його конструктивних параметрів, розмірів колеса та його розташування відносно полюса електромагніта.

Третій розділ присвячено синтезу та аналізу тягової ланки ЕМУП. Уповільнювач-прискорювач, новизна якого захищена авторським свідоцтвом на винахід, складається з ряду тягових електромагнітів, що розміщені поперек рейок аналогічно шпалам. Враховуючи габарит наближення побудов, можливі допустимі розміри колісної пари відповідно інструкції, з метою одержання максимального тягового моменту, були встановлені доцільні конструктивні розміри електромагнітів (рис.1).

Рисунок 1–Конструктивні розміри тягової ланки ЕМУП

Розроблена конструкція дозволяє забезпечити найбільшу площу повітряного проміжку між полюсом ЕМ і ободом колеса, менший опір магнітному потоку, однорідність магнітного поля, невелику глибину установки, захистити полюси пристрою від тертя з колесом. Інтервал розташування сусідніх ланок встановлено з огляду на мінімальний радіус колеса для забезпечення уповільнення-прискорення, коли колесо знаходиться між сусідніми електромагнітами.

Встановлені технічні параметри тягової ланки ЕМУП дали змогу одержати основні експлуатаційні характеристики:

–тягову $M=f_1(\ell)$ – залежність тягового моменту ЕМ від місця розташування колеса при незмінному струмі в обмотці;

–навантажувальну $M=f_2(I)$ – залежність тягового моменту від струму живлення при фіксованому положенні колеса;

–тривалості включення $t=f_3(L,R)$ – залежність часу досягнення робочого струму в обмотці від індуктивності та активного опору котушки;

$$\text{–енергетичну потужність } h_m = \frac{V_p^2 - V_k^2}{2 \cdot g'}$$

де V_p – початкова швидкість вагона (до взаємодії з ЕМ);

V_k – кінцева швидкість (після взаємодії з ЕМ).

Найважливішою характеристикою є тягова. При визначенні тягового моменту (10) становить інтерес зміна площі взаємодії полюса ЕМ з колесом. Оскільки колесо здійснює поступово-обертаючий рух, то ці площі мають складну конфігурацію. Тому площі фігур перекриття полюса та коліс найменшого і найбільшого радіуса, в декількох положеннях колеса відносно центру магнітних мас зрізу осердя, одержані графічно. Розрахунок тягової характеристики, результати якого представлені на рисунку 2, проведено на ЕОМ з використанням прикладної програми MahtCAD.

Рисунок 2 –Тягова характеристика
уповільнювача-прискорювача

Експериментальні дослідження лабораторного зразка підтвердили розрахункову залежність тягового моменту а також показали, що навантажувальна характеристика має вигляд кривої намагнічування матеріалу осердя. Номінальні величини струмів живлення для найкращих (найбільший радіус і товщина ободу колеса) та найгірших (найменший радіус і товщина ободу) умов знаходяться при розрахунку магнітної системи ЕМУП.

При розробці електричної схеми ввімкнення обмоток збудження ЕМ прийнято до уваги, що мають місце перехідні процеси, які відчутно впливають на час включення пристрою.

Зважаючи на те, що котушки ЕМ мають значні індуктивності L і малі активні опори R , застосована електрична схема, в якій:

1.Котушки одного ЕМ вмикаються паралельно узгоджено. Це дозволяє зменшити час включення за рахунок збільшеної напруги.

2.Послідовно з котушками вмикається додатковий опір $R_{\text{дод}}$ і тоді постійна часу, що визначає інерційність пристрою, буде:

$$\tau = \frac{L}{R + R_{\text{дод}}}. \quad (11)$$

Регулюючи $R_{\text{дод}}$, можна одержувати необхідні часові показники.

При визначенні енергетичної потужності пристрою, базуючись на теоремі про зміну кількості руху, було отримано аналітичний вираз для розрахунку зміни швидкості вагону від дії на нього тягової ланки ЕМУП:

$$\Delta V = k_1 \cdot \frac{\Delta \ell}{V_{\text{пот}} \cdot m} \cdot \left[G \cdot (i - w) \cdot 10^{-3} - \frac{(G \cdot \cos \beta + F_T \cdot \sin \alpha) \cdot k}{R_{\text{сп}}} \pm F_T \cdot \cos \alpha \right], \quad (12)$$

де $k_1=8$ – коефіцієнт пропорційності, який враховує, що всі діючі сили взяті відносно одного колеса;

$\Delta \ell = \ell_2 - \ell_1$ – інтервал ефективної дії ЕМ;

ℓ_2 – відстань по ободу колеса від вертикальної осі полюса ЕМ до моменту, коли коло реборди виходить за центр магнітних мас;

ℓ_1 – відстань, коли центр магнітних мас знаходиться на колі ободу колеса;

$V_{\text{пот}}$ – поточна швидкість;

$m=G/g'$ – маса колеса;

G – вага колеса, як розподілена вага розрахункового вагону на кількість колес;

$G \cdot (i-w) \cdot 10^{-3}$ – рушійна сила;

i – схил гірки;

w – питомі сили опору рухові відчепа;

$\frac{(G \cdot \cos \beta + F_T \cdot \sin \alpha) \cdot k}{R_{\text{сп}}}$ – сила тертя кочення колеса;

k – коефіцієнт тертя кочення;

$F_T \cdot \cos \alpha$ – нормальна складова тягової сили. Береться з “–” при уповільненні, з “+” – при прискоренні.

В четвертому розділі розглянуті питання технічної реалізації запропонованого уповільнювача-прискорювача на підгіркових коліях сортувальних гірок та ефективності його застосування. Аналіз варіантів технічного оснащення підгіркових колій в системах автоматичного регулювання швидкості показав, що найдоцільнішою є установка ЕМУП на третій уповільнювальній позиції з доповненням ділянкою автоматизації, де з визначеним інтервалом розставлені малопотужні тягові ланки. Розроблена схема розташування ЕМ, коли вони розділяються на дві групи, відстань між якими дорівнює базі чотирьохвісного вагону. Це дозволяє одночасно впливати на обидві колісні пари, чим досягається найбільша ефективність пристрою. Для ділянки регулювання довжиною 500м необхідно шість ЕМ. Таким чином швидкість відчепа регулюється в межах від 0,25м/с (за умови надійного автозчеплення) до 1,5м/с (допустима швидкість співудару вагонів).

Особливою вимогою для технічних пристроїв на підгіркових коліях є забезпечення точності регулювання швидкості. В роботі встановлені складові, що можуть вносити похибку при реалізації заданої швидкості. Найбільший інтерес викликає похибка від тягової електромагнітної сили, яку можна представити у вигляді:

$$\Delta V_T = \Delta V_R + \Delta V_\delta + \Delta V_d, \quad (13)$$

де ΔV_R – похибка від різного радіуса колес;

ΔV_δ – похибка від різного повітряного проміжку;

ΔV_d – похибка від додаткових динамічних сил.

Для зменшення похибок від перших двох складових розрахунок експлуатаційних показників уповільнювача-прискорювача необхідно вести, зважаючи на середні діаметр колеса і повітряний проміжок між полюсом ЕМ і колесом. Додаткові динамічні сили тертя виникають від перекосу колісної пари за рахунок різних повітряних проміжків у протилежних полюсів електромагніта. Враховуючи тягові сили ЕМ,

визначено силу тертя, що діє відносно середини колісної пари та пропорційна горизонтальній складовій рушійної сили:

$$F_{\text{тр}} = f \cdot [(G_{\text{кп}} \cdot \sin \beta - (F_{\text{Т1}} + F_{\text{Т2}}) \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \varphi] , \quad (14)$$

де $f=0,15$ – коефіцієнт тертя “сталь по сталі”;

$G_{\text{кп}} \cdot \sin \beta$ – рушійна сила колісної пари;

$F_{\text{Т1}}$ і $F_{\text{Т2}}$ – тягові сили протилежних полюсів;

φ – кут перекосу колісної пари.

Похибка становить різницю між зміною швидкості, розрахованої по формулі (12), і з урахуванням сили тертя:

$$\Delta V_{\text{д}} = \Delta V - 4 \cdot \frac{\Delta \ell}{m \cdot V_{\text{Т}}} \cdot [G \cdot \sin \beta - F_{\text{Т}} \cdot \cos \alpha - \frac{(G \cdot \cos \beta + F_{\text{Т}} \cdot \sin \alpha) \cdot k}{R_{\text{ср}}} - F_{\text{тр}}] , \quad (15)$$

де 4 – кількість колісних пар вагону.

Оскільки електромагніти мають діяти на колеса короткими імпульсами значної сили, то ефективність ЕМУП може бути досягнута при автоматизованій системі управління, структурна схема якої представлена в роботі.

Проведено порівняльний аналіз запропонованого ЕМУП з існуючими пристроями за такими важливими показниками, як енергоємність, метолоємність, трудовитрати на ремонт та утримування. ЕМУП із 12 електромагнітів при напрузі живлення котушок 110В і струмом 100А споживає близько 120кВт енергії. При середній енергетичній висоті 1,2м.е.в., що погашається, питомі витрати складають 0,33кВт·г/м.е.в. Цей показник близький до енерговитрат балкових уповільнювачів.

Простота конструкції ЕМУП, що включає не більше 10 деталей, дає змогу в 3–8 разів зменшити час на поточне утримання та ремонт, або зменшити експлуатаційний штат.

Запропонований пристрій вигідно відрізняється і по металоемності. Якщо питома маса для РНЗ-2 становить 18,6т/м.е.в., то для 12 ланок ЕМУП вона буде близько 3т/м.е.в.

У висновку наведені основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

У додатках представлені кількісні та якісні характеристики відомих технічних засобів регулювання швидкості, їх техніко-експлуатаційні показники, результати досліджень лабораторного зразка ЕМУП, порівняння варіантів технічного оснащення підгіркових колій, розрахунок економічної ефективності розробленого пристрою та документи, що підтверджують рівень впровадження результатів роботи.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

На сортувальних гірках залізниць України для забезпечення необхідної дальності пробігу відчепів та безпечної швидкості співудару з вагонами, що знаходяться на підгіркових коліях, використовуються паркові уповільнювальні позиції. Вони обладнуються балковими уповільнювачами натискуючої або вагової дії з пневматичними та гідравлічними приводами. Практика експлуатації показує, що важкі, багатодетальні та інерційні механічні уповільнювачі, маючи ряд значних недоліків, не в повній мірі забезпечують необхідну якість сортувального процесу. Тому актуальним питанням для сортувальних гірок є удосконалення виконавчих органів систем автоматичного регулювання швидкості відчепів, що потребує подальших теоретичних та експериментальних розробок.

Головними науковими та практичними результатами в дисертаційній роботі є такі:

1. Аналіз шляхів подальшого розвитку технічних засобів регулювання швидкості відчепів для підгіркових колій показав доцільність розробки електромагнітного пристрою, який може діяти як на уповільнення так і на прискорення. Визначені основні

техніко-експлуатаційні вимоги до розроблюваного уповільнювача-прискорювача.

2. Досліджено динаміку взаємодії тягових ланок ЕМУП з колесом вагону. Зазначено, що обертаючий електромагнітний момент створюється нормальною складовою тягової сили ЕМ і має дзвіноподібний вигляд з максимумом посередині інтервалу розташування сусідніх тягових ланок.

3. Запропоновані методики розрахунку магнітної системи тягової ланки: на основі графічного методу по середньому значенню магнітного потоку, та аналітичного – числового інтегрування. Остання дає точніші результати та більш трудомістка. Розрахунок показав, що для досягнення максимальної індукції магнітного потоку в осерді ЕМ необхідно забезпечити магніторушійну силу обмотки збудження тягової ланки близько 35кА.

4. Удосконалена математична модель електромагнітного уповільнювача-прискорювача, на базі якої синтезовано тягову ланку ЕМУП. З урахуванням допустимих розмірів колісних пар і габариту наближення побудов обґрунтовані конструктивні розміри та інтервал розташування тягових ланок.

5. Досліджена тягова характеристика ЕМУП. Розрахунок проведено на ЕОМ з використанням прикладної програми МаhtCAD. Визначено, що тягова характеристика досягає максимуму, коли колесо розташоване на відстані 0,25м від осьової лінії зрізу осердя. В залежності від розміру повітряного проміжку між полюсом ЕМ та ободом колеса тяговий момент знаходиться в межах 2,0-6,5кН·м. Теоретичні дослідження і розрахунки підтверджуються результатами експериментальних випробувань лабораторного зразка ЕМУП.

6. Отримані часові показники пристрою з урахуванням перехідних процесів, що мають місце при значних індуктивностях (близько 1Гн) та малих активних опорах котушок (близько 2Ом). Представлено електричну схему вмикання обмоток збудження ЕМ, яка дозволяє регулювати час включення пристрою і захистити комутаційні пристрої від електричної дуги.

7.Визначена ефективність дії тягової ланки уповільнювача-прискорювача. Одержано аналітичний вираз для визначення зміни швидкості вагону від взаємодії з тяговою ланкою ЕМУП. При середній тяговій силі полюса електромагніта 1,2т, швидкості руху 2м/с розрахункового 4-х вісного вагону ($G=85т$, $w=1,5\text{‰}$) на підгіркових коліях зі схилом 2,5‰, енергетична потужність пристрою досягає 0,12м.е.в. при уповільненні та 0,15м.е.в.–при прискоренні, що відповідає встановленим експлуатаційним вимогам.

8.Синтезовано ЕМУП для сортувальних колій з розташуванням 12 ланок на парковій уповільнювальній позиції і 6 одинарних ланок в зоні автоматизації на підгіркових коліях, чим забезпечується підтримання швидкості руху вагону від 0,25 до 1,5м/с. Представлена структурна схема управління ЕМУП з використанням мікропроцесорної техніки.

9.Встановлені фактори, що впливають на точність регулювання швидкості відчепа за допомогою ЕМУП. Одержано вираз для визначення динамічної складової похибки, яка виникає за рахунок додаткових сил тертя від перекосу колісної пари. Похибка регулювання швидкості при силі тертя 0,1т не перевищує 0,2м/с, що відповідає експлуатаційно-технічним вимогам.

10.Виконано порівняльний аналіз за технічними показниками запропонованого пристрою з існуючими засобами, який показав, що за енергоємністю ЕМУП схожий з механічними уповільнювачами, але переважає їх в 3-8 разів по трудовитратах на обслуговування та ремонт, в 6-8 разів по металоємності. Річний економічний ефект від застосування розробленого пристрою на гірці з 32 підгірковими коліями і добовою переробкою 1000 вагонів складає близько 191 тис.грн.

По даній дисертаційній роботі опубліковано чотири друковані праці:

1.Соболев Ю.В., Соколов В.М., Прогонный А.Н. Электромагнитный замедлитель–ускоритель для систем автоматического регулирования скорости на сортировочных горках

//Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.–1998. – №1. – С.39–42.

В роботі особисто автором дисертації встановлена залежність тягового електромагнітного момента від величини повітряного проміжка і положення колеса відносно осьової лінії полюса осердя.

2.Соколов В.М., Прогонный А.Н. Расчет мощности электромагнитного замедлителя–ускорителя //Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.–1998. – №2. С.34–36.

Особистий внесок здобувача полягає в одержанні аналітичного виразу для визначення зміни швидкості вагона від взаємодії з тяговою ланкою ЕМСП.

3.Прогонный А.Н. Анализ математической модели электромагнитного замедлителя-ускорителя //Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.–1999. – №1. С.85–89.

4.А.с. 1798232 СССР, МКИ В 61 К 7/10. Электродинамический замедлитель вагонов / Е.В.Нагорный, И.В.Берестов, А.Ф.Майборода, А.Н.Прогонный, В.М.Соколов. Оpubл. 28.02.93. Бюл. №8.

В авторському свідоцтві здобувачем запропонована схема розташування датчиків включення електромагнітів і функціональна схема роботи пристрою.

АНОТАЦІЇ

Прогонный Олександр Миколайович. Розробка та дослідження електромагнітного уповільнювача-прискорювача для підгіркових колій залізничних станцій.– Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук із спеціальності 05.22.20–”Експлуатація та ремонт засобів транспорту”, Харків, 2000.

Дисертація присвячена питанням забезпечення якості сортувального процесу за рахунок удосконалення виконавчих пристроїв систем автоматичного регулювання швидкості відчепів на підгіркових коліях шляхом розробки простого і надійного електромагнітного

уповільнювача-прискорювача, що не має рухомих частин і складається з ряду тягових ланок.

Запропоновано методики розрахунку магнітної системи пристрою, зокрема для визначення необхідної магніторушійної сили обмотки збудження. Удосконалено математичну модель тягової ланки уповільнювача-прискорювача. Обґрунтовано конструктивні розміри та інтервал розташування тягових електромагнітів.

Одержано основні експлуатаційні характеристики розробленого технічного засобу. Синтезовано електромагнітний уповільнювач-прискорювач у вибраному варіанті технічного оснащення підгіркових колій. Визначено фактори, що впливають на точність регулювання швидкості відчепів.

Ключові слова: підгіркові колії, електромагнітний уповільнювач-прискорювач, тягова ланка, синтез і аналіз систем, експлуатаційні характеристики.

Прогонный Алексей Николаевич. Разработка и исследование электромагнитного замедлителя-ускорителя для подгорочных путей железнодорожных станций.— Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – “Эксплуатация и ремонт средств транспорта”, Харьков, 2000.

Диссертация посвящена вопросам обеспечения качества сортировочного процесса. Анализ существующих технических средств регулирования скорости отцепов показал целесообразность разработки электромагнитного замедлителя-ускорителя для подгорочных путей сортировочных горок.

Исследована динамика взаимодействия устройства с колесом вагона и установлена зависимость тягового момента от местоположения колеса относительно полюса электромагнита.

Предложены методики расчета магнитной цепи звена, как системы с распределенными параметрами, что позволило определить необходимую намагничивающую силу обмотки возбуждения устройства.

Получено аналитическое выражение для электромагнитного момента, которое уточняет математическую модель замедлителя-ускорителя.

С учетом допустимых размеров колесных пар и габарита приближения строений определены конструктивные размеры тягового звена замедлителя-ускорителя и оптимальный интервал расположения соседних электромагнитов.

Рассчитана тяговая характеристика. Получено аналитическое выражение для расчета изменения скорости вагона при взаимодействии с ЭМЗУ, что в конечном итоге определяет его энергетическую мощность.

С учетом переходных процессов, которые имеют место при значительных индуктивностях, предложена электрическая схема включения обмоток возбуждения, которая позволяет регулировать время включения.

Выбран вариант технического оснащения подгорочных путей с установкой ЭМЗУ на парковой позиции и в зоне автоматизации, который обеспечивает повышение качества сортировочного процесса. Предложена структурная схема управления разработанным устройством на основе микропроцессорной техники. Установлены факторы, влияющие на точность регулирования скорости отцепов с помощью ЭМЗУ. Получено выражение для определения погрешности реализации скорости от дополнительных сил трения. Проведен сравнительный анализ по техническим показателям разработанного устройства с существующими и расчет его экономической эффективности.

Ключевые слова: подгорочные пути, электромагнитный замедлитель-ускоритель, тяговое звено, синтез и анализ систем, эксплуатационные характеристики.

Progonniy Aleksey Nikolayevich. A working up and a research of an electromagnetic decelerator-accelerator for the parkways of railway stations.—Manuscript.

Dissertation for the scientific degree of the candidate of technical sciences on the speciality 05.22.20 –“Operation and maintenance of transportation means ”, Kharkiv, 2000.

The dissertation is devoted to the questions of a sorting process quality maintenance at the expense of improvement of an executive equipment of the systems of uncouplings velocities automatic regulation at park ways by means of working up of a simple and reliable electromagnetic decelerator-accelerator consisting of a number of tractive links and without any moving parts.

The methods of accounting of the device magnetic system are offered, in particular, for defining the necessary magnetomotive force of exciting winding. The mathematical model of a tractive link of the decelerator-accelerator is made more exact. A gabarit sizes and an interval of disposition of tractive electromagnets are grounded.

The basic operating characteristics of the offered technical device are investigated. The electromagnetic decelerator-accelerator in the chosen variant of the technical equipment of park ways is synthesized. The factors influencing the accuracy of uncoupling velocity regulation are analyzed.

Key words: park ways, electromagnetic decelerator-accelerator, tractive link, synthesis and analysis of systems, operating characteristics.