

**РУХОМИЙ СКЛАД ТА СПЕЦІАЛЬНА ТЕХНІКА
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ. ЛОКОМОТИВИ**

УДК 629.423.1

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОВОЗА ВЛ-11М

Магістрант П.М. Асмаковський

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗА ВЛ-11М

Магистрант П.М. Асмаковский

**MODERNIZATION OF CONTROL SYSTEMS ON ELECTRIC
LOCOMOTIVE «VL-11M»**

Master student P.M. Asmakovskiy

Розглянуто питання застосування змішаного збудження тягових електродвигунів на електровозах постійного струму. Наведено порівняння тягових характеристик тягових електродвигунів з послідовним і змішаним збудженням, їх переваги і недоліки.

***Ключові слова:** електровози постійного струму, режим тяги, тягові електричні двигуни, боксування, обмотка збудження, схеми регулювання магнітного потоку.*

Рассмотрен вопрос применения смешанного возбуждения тяговых электродвигателей на электровозах постоянного тока. Приведены сравнения тяговых характеристик тяговых электродвигателей с последовательным и смешанным возбуждением, их преимущества и недостатки.

***Ключевые слова:** электровозы постоянного тока, режим тяги, тяговые электродвигатели, боксование, обмотка возбуждения, схемы регулирования магнитного потока.*

Nowadays in Ukraine we use rolling - stocks, which were designed in 1960 – 1970. All technologies, which are used in locomotive economy now, need to be improved and need to have new technological solutions. In this article we discuss the application of mixed excitation on electric traction motors of direct current, namely mainline freight electric locomotives such as VL – 11M. We presented the comparison characteristics of traction electric motors with using sequential and mixed excitation. We analyzed the results of the operation electric locomotives with traction electric motors of mixed excitation. Also we discussed the advantages and disadvantages of these electric motors. The information of the article can be used by the specialists of locomotive economy and by the students of railway universities.

***Keywords:** electric locomotive direct curren, traction mode, traction motors, slip, turns excitation control scheme of the magnetic flux.*

Вступ. Головним завданням у роботі залізничного транспорту завжди було і є найбільш повне задоволення потреб народного господарства та населення в перевезенні за найбільш ефективного і раціонального використання транспортних технічних засобів.

На магістральних залізницях України експлуатуються вантажні електровози постійного струму серій ВЛ8, ВЛ10, ВЛ11, ВЛ11м побудови Тбіліського і

Новочеркаського електровозобудівних заводів, а також серій ДЕ1, 2ЕЛ4 українського виробництва. Оцінивши весь парк локомотивного господарства Укрзалізниці, можна зробити висновок, що більшість електровозів були спроектовані ще в 60-ті роки і всі задіяні технології потребують удосконалення та нових технічних рішень.

Загальна постановка проблеми, її зв'язок з важливими науковими та

практичними завданнями галузі. Якщо взяти до уваги магістральний електричний тяговий рухомий склад залізниць, то вирішення цього завдання полягає в необхідності збільшення розрахункових мас вантажних поїздів та швидкості їх руху, найповнішого використання потужності електровозів та їх зчіпної маси, подовження терміну служби та підвищення надійності обладнання, а також гнучкості управління силою тяги. Розглянувши наведені критерії, стає зрозуміло, що ці завдання більш актуальні для електровозів, які отримують живлення від контактної мережі постійного струму і мають контакторно-реостатне керування тяговими електричними двигунами (ТЕД) постійного струму. Найбільш несприятливим явищем для вантажних електровозів при рушанні з місця та подальшому розгоні, особливо з важким поїздом, є боксування колісних пар, яке супроводжується перегріванням та подальшим виходом з ладу ТЕД. Вирішення цієї проблеми досягається при застосуванні на них регульованого змішаного збудження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що універсальних методів щодо застосування змішаного збудження ТЕД не існує. Відомо, що для кожного з режимів роботи локомотива з електричною передачею вид тягової характеристики $F_k = f(v)$ та значення дотичної потужності N_k під час руху визначаються:

– видом сполучення ТЕД (серієсним С, паралельним П, серієсно-паралельним СП) і способом перемикання з одного виду сполучення ТЕД на інший (коротким замиканням, замиканням частини ТЕД на резистор з розривом електричного кола, за мостовою схемою);

– кількістю переходів з повного збудження (ПЗ) обмоток ТЕД на ступені його ослаблення (ОЗ) і навпаки;

– обмеженнями за силою пускового струму I_n та умовами зчеплення коліс з рейками при розгоні, а також за збудженням та конструктивною швидкістю руху після переходу на автоматичну частину характеристики $F_k = f(v)$;

– властивостями характеристик ТЕД і родом струму їх живлення [1].

Властивості характеристик ТЕД постійного струму визначаються способом підключення обмоток збудження (незалежне, паралельне, послідовне та змішане збудження із узгодженим чи зустрічним увімкненням).

Під час перегрупування ТЕД дотична сила тяги F_k локомотива не повинна зникати і поїзд має бути в розтягнутому стані, виключаючи набігання вагонів. При невиконанні цього її відновлення призведе до різкого навантаження ударно-тягових пристроїв і може викликати саморозчеп (розрив) поїзда чи його зупинку на підйомі. Порівняння переваг і недоліків відомих способів вирівнювання навантаження ТЕД постійного струму показує, що при контакторно-реостатному керуванні найбільш доцільним є послідовне та змішане (або комбіноване) збудження [2].

Змішане збудження ТЕД можна забезпечувати кількома способами. Відомі пропозиції заводів-виробників щодо підвищення надійності ТЕД та зміни в схемах серійних електровозів ВЛ10, ВЛ11 [3]. Є позитивний досвід модернізації та обладнання системою змішаного (комбінованого) збудження електровозів на залізницях РЖД при капітально-відновлювальному ремонті [4].

Мета і завдання дослідження — обґрунтування та аналіз схеми змішаного (комбінованого) збудження ТЕД електровозів постійного струму. Результати її застосування на електровозах українського виробництва наведені окремо.

Основна частина дослідження. У ТЕД послідовного збудження обмотки збудження увімкнено послідовно в ланцюг якоря (рис. 1), тому магнітний потік обмотки збудження залежить від струму якоря $I_{я}$ і при невеликому навантаженні магнітної системи маємо вираз

$$\Phi = kI_{я}, \quad (1)$$

де k - коефіцієнт пропорційності.

Тоді електромагнітний момент можна виразити як

$$M_{ам} = (c_m k I_{я}) I_{я} = c_m' I_{я}^2, \quad (2)$$

де c_m' – конструкційна константа двигуна.

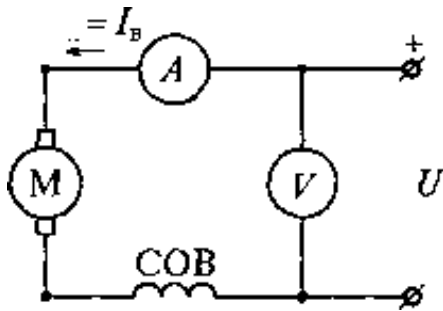


Рис. 1. Схема увімкнення ТЕД послідовного збудження

Обертальний момент двигуна при ненасиченому стані магнітної системи пропорційний квадрату струму якоря, а частота обертання обернено пропорційна струму навантаження:

$$n = \frac{U - I_{\dot{y}} R_{\dot{y}}}{c_m I_{\dot{y}}^2}, \quad (3)$$

де U – напруга мережі живлення.

Зі збільшенням навантаження момент у двигунах з послідовним збудженням зростає значно сильніше, аніж у двигунах з

паралельним збудженням, тобто він збільшується не тільки від збільшення струму в якорі, а й від зростання магнітного потоку [5].

Електродвигун зі змішаним збудженням одночасно має обмотки паралельного та послідовного збудження (рис. 2). Частота обертання вала цього двигуна визначається за виразом

$$n = \frac{U - I_{\dot{y}} R_{\dot{y}}}{c_m \Phi}, \quad (4)$$

де

$$\Phi = \Phi_1 \pm \Phi_2. \quad (5)$$

де Φ_1 і Φ_2 – відповідно потоки паралельної і послідовної обмотки збудження, Вб.

Знак « \pm » відповідно (+) зменшує та (-) збільшує частоту обертання якоря ТЕД. Механічні характеристики двигуна змішаного збудження при спільному увімкненні обмоток збудження (рис. 2.) у порівнянні з механічними характеристиками двигуна послідовного збудження мають більш жорстку характеристику.

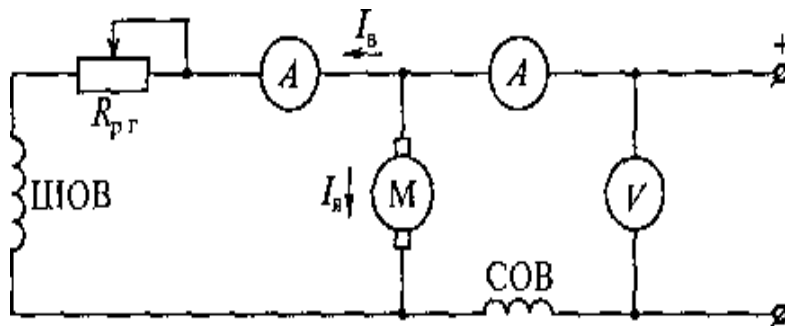


Рис. 2. Схема увімкнення ТЕД змішаного збудження

ТЕД змішаного збудження має ряд переваг у порівнянні з двигуном послідовного збудження. Наприклад, він може працювати вхолосту, тому що потік паралельної обмотки Φ обмежує частоту обертання якоря в режимі холостого ходу й усуває небезпеку «розносу» (рис. 3). Регулювання частоти обертання здійснюється реостатом R_p , в ланцюзі паралельної обмотки збудження.

Для електричної тяги поїздів на магістральних залізницях найбільше

застосування знайшли ТЕД постійного струму послідовного збудження. Причина цього полягає в тому, що названі ТЕД мають так звану «м'яку» характеристику залежності сили струму якоря $I_{\dot{y}}$ від швидкості руху v [6].

Відповідно тягова характеристика електровоза з такими ТЕД (ТЛ-2К) також буде «м'якою» (рис. 4), тобто зміна швидкості v не буде супроводжуватися різкою зміною сили тяги F_k .

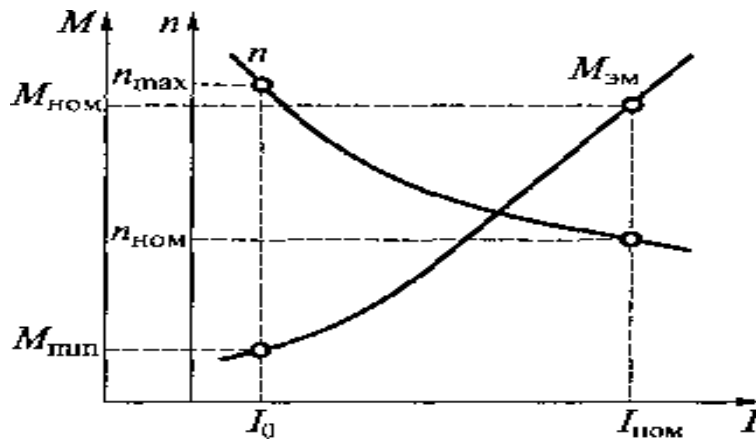


Рис. 3. Робочі характеристики ТЕД зі змішаним збудженням

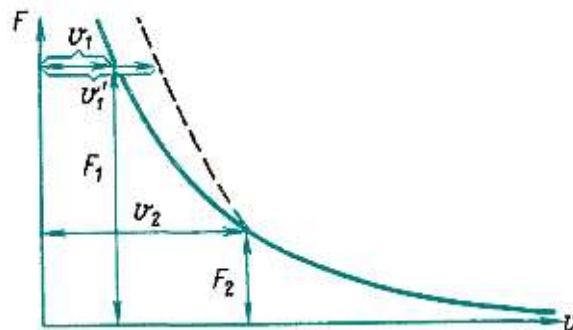


Рис. 4. Тягова характеристика ТЕД постійного струму

Як наслідок, різниця в діаметрах бандажів колісних пар локомотивів та, у певних межах, розбіжності електромеханічних характеристик ТЕД не надають суттєвого впливу на рівномірність розподілу навантаження між двигунами, встановленими на одному електровозі. За цього коливання напруги в контактній мережі не відбувається різких змін сили струму та відповідно F_k .

При змінах умов руху забезпечується автоматичне досягнення рівноваги між F_k і силою опору рухові W . Збільшення F_k не приводить до значного підвищення потужності ТЕД, бо швидкість v поїзда зменшується практично адекватно. Проте ці переваги є беззаперечними тільки за умов надійного зчеплення коліс з рейками.

Збільшення швидкості обертання якоря ТЕД при виникненні ковзання колісної пари по рейках не викликає різкого зменшення обертального моменту M . Тому, якщо не

вжити спеціальних заходів (подавання піску на рейки, зменшення сили струму $I_{я}$), ковзання перетвориться на боксування, яке буде неперервно зростати. Це суттєвий недолік колекторних ТЕД.

Збільшення N_k без зміни геометрії колеса і навантаження на його вісь стає недоцільним, бо підвищена N_k не буде реалізована на важкому профілі через обмеження по зчепленню коліс електровоза з рейками.

Збільшення N_k , не супроводжуване адекватним збільшенням зчпної маси електровоза, реалізується у швидкість v , тобто більш потужний електровоз однаково F_k розвине при більшій v . Як наслідок, більш потужні електровози мають більше значення розрахункової швидкості v_D .

На основі експериментальних випробувань РЖД було встановлено, що для електровозів (ВЛ10 та ВЛ10к) постійного

струму з послідовним збудженням при збільшенні струму якоря в квадраті збільшується сила тяги, за незначним зменшенням v . А для електровозів зі змішаним збудженням при фіксованому значенні струму якоря і плавній зміні (збільшенні) струму збудження за рахунок підживлення обмотки збудження від зовнішнього генератора відбувається лінійне збільшення F_k при ненасиченій магнітній системі ТЕД і лінійному зниженні v руху поїзда. Лінійні зміни F_k та v в цьому випадку залежать тільки від зміни струму збудження. При фіксованому значенні струму підбудження і плавній зміні струму якоря відбувається зміна F_k і v руху такими ж темпами, що і при послідовному збудженні ТЕД [7].

Електровоз з послідовним збудженням ТЕД автоматично забезпечує, при збільшенні опору руху поїзда, збільшення F_k за рахунок зниження v руху і зростання струму якоря до настання рівноваги. Ця властивість тягової характеристики послідовного збудження ТЕД справедлива за умови сталого зчеплення колеса з рейками. Коли електровоз, при веденні поїзда підвищеної маси, працює на межі зчеплення, збільшення опору руху поїзда, з якої-небудь причини, викличе зниження v і, як наслідок, значне зростання струму якоря F_k , а це у свою чергу призведе до несприятливого і необоротного процесу – розносному боксуванню і зупинки поїзда [8]. Дії машиніста або автоматики не зможуть запобігти усуненню цієї проблеми за рахунок зниження напруги на тягових двигунах, тому що в цьому випадку зниження сили тяги (струму якоря) йде швидше, ніж зменшується сила опору руху (швидкості поїзда).

Система змішаного збудження на електровозах постійного і змінного струму, на відміну від системи послідовного збудження ТЕД, при збільшенні опору руху поїзда, з якоїсь причини, забезпечує зниження швидкості руху поїзда за рахунок посилення магнітного поля ТЕД шляхом підживлення обмотки збудження від зовнішнього генератора, зберігаючи значення струму якоря на колишньому рівні та при цьому дещо

збільшивши F_k [9]. Крім того, посилення магнітного поля зменшує швидкість ковзання колеса щодо рейок, що підвищує реалізацію коефіцієнта зчеплення. Ця властивість дає змогу водити поїзд з ваговими нормами на 10-15% вище, ніж серійні електровози з послідовним збудженням ТЕД. Збільшення коефіцієнта зчеплення забезпечує стійке ведення поїзда і дає можливість для подальшого збільшення сили тяги.

Застосування змішаного збудження ТЕД на електровозах постійного і змінного струму може забезпечити реалізацію коефіцієнта зчеплення до 0,3-0,32, який у серійного електровоза з послідовним збудженням ТЕД міститься на рівні 0,2-0,25. Це дасть змогу реалізувати тягові властивості електровоза, які перебувають за межами обмеження по зчепленню для серійного електровоза з послідовністю збудження ТЕД.

При модернізації ТЕД, яка підвищить температуру перегріву до 200°C, можливе подальше збільшення сили тяги електровоза на 15-20%, тобто режим змішаного збудження дає змогу підвищити рівень обмеження струму якоря по зчепленню на 25-30%.

Електровози зі змішаним збудженням, як показують розрахунки, забезпечують економію електроенергії на рівні не менше 10% за рахунок:

- значного зниження часу роботи електровоза на реостатних позиціях, тобто вихід електровоза на ходову позицію відбувається на швидкостях в 1,2-1,4 рази нижче, ніж на електровозах з послідовним збудженням ТЕД, тим самим збільшується зона регулювання швидкості електровоза на ходових позиціях при повній напрузі на ТЕД відповідного з'єднання;

- значного зниження боксування і відсутності розносного боксування, яке змушує машиніста переходити на реостатні позиції, знижати швидкість ведення поїзда [10].

У наведеному графіку (рис. 5) наочно розкрито тягові характеристики як для електровозів послідовного, так і змішаного збудження ТЕД.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Схему змішаного збудження ТЕД можна застосовувати на електровозах постійного струму, у т.ч. українського виробництва. Розвитком напрямку досліджень є їх практична перевірка.

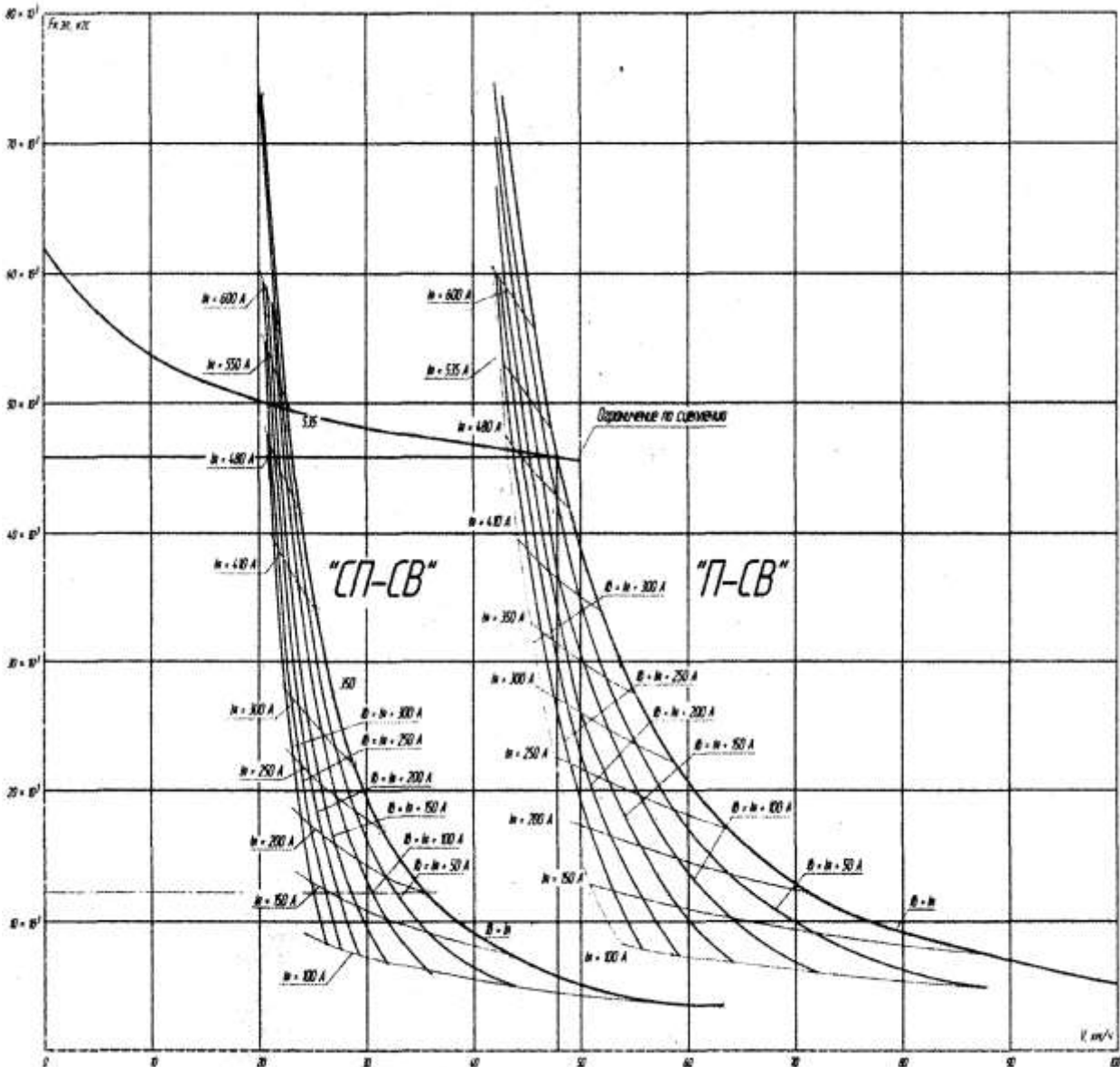


Рис. 5. Тягові характеристики локомотивів постійного струму з послідовним і змішаним збудженням відповідно

Список використаних джерел

1. Стрекопытов, В.В. Электрические передачи локомотивов: учеб. для вузов ж.-д. транспорта [Текст] / В.В. Стрекопытов, А.В. Грищенко, В.А. Кручек; под ред. В.В. Стрекопытова. – М.: Маршрут, 2003.— 310 с.
2. Плакс, А.В. Системы управления электрически подвижным составом [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. транспорта / А.В. Плакс. – М.: Маршрут, 2005.— 360 с.
3. Захаров, В.И. Как повысить надёжность тяговых двигателей электровозов [Текст] / В.И. Захаров // Локомотив. — 2005.— № 3. — С. 27-28.
4. Наговицын, В.С. Изменения в схемах электровозов ВЛ11 [Текст] / В.С. Наговицын // Локомотив. — 2007. – № 2. – С. 14-17; № 3. – С. 19-21.
5. Захарченко, Д.Д. Тяговые электрические машины [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Д.Д. Захарченко, Н.А. Ротанов. – М.: Транспорт, 1991. – 343 с.

6. Горчаков, Е.В. Устройство и ремонт электровозов постоянного тока [Текст]: учеб. для техн. школ ж.-д. трансп. / Е.В. Горчаков. – М.: Транспорт, 1977. – 464 с.
7. Ламкин, А.Г. Электровозы ВЛ10К (УК): Что показывает эксплуатация [Текст] / А.Г. Ламкин [и др.] // Локомотив. — 2007. — № 5. – С. 30-31.
8. Чиракадзе, О.А. Электровоз ВЛ11 [Текст]: руководство по эксплуатации / Г.И. Чиракадзе, О.А. Кикнадзе. — М.: Транспорт, 1983. – 464 с.
9. Вохмянин, Э.С. Электрические схемы электровозов ВЛ11 и ВЛ11М [Текст] / Э.С. Вохмянин, В.Ю. Чумаков. – М.: Академкнига, 2003. – 235 с.
10. Пыров, А.Е. Электровозы постоянного и переменного тока со смешанным возбуждением тяговых электродвигателей [Текст] / А.Е. Пыров // Локомотив-Информ. — 2007. – № 11. – С. 31-35, № 12. – С. 12-17.

Рецензент д-р техн. наук, профессор А.П. Фалендиш

Асмаковський Павло Михайлович, магістрант групи МЗ-Л-12 Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (046) 592-27-09. E-mail: asmakovskiy@bigmir.net

Asmakovskiy Pavlo Mihaylovich, master student of group MZ-L-12 of Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel. (046) 592-27-09. E-mail: asmakovskiy@bigmir.net