

УДК 629.4.016.2

*Доктори техн. наук І.Е. Мартинов,  
А.П. Фалендиш (УкрДАЗТ),  
мол. наук. співроб. С.С. Пасічник,  
асп. Д.О. Резник (ІТМ НАНУ),  
асп. В.О. Юдін (УкрДАЗТ)*

*Doctors of techn. sciences I.E. Martinov,  
A.P. Falendish,  
junior research assistant S.S. Pasichnik,  
postgraduates D.O. Reznik, V.O. Yudin*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТИПУ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ НА ЕНЕРГОВИТРАТИ ЛОКОМОТИВА**

### **RESEARCH OF THE INFLUENCE OF TYPE AXLE UNITS FREIGHT WAGONS ON ENERGY CONSUMPTION BY LOCOMOTIVE**

**Вступ.** Буксові вузли вантажних вагонів є найважливішими елементами ходових частин, від надійності яких залежить безпека руху поїздів.

Букси працюють у складних температурних і погодних умовах навколишнього середовища, сприймають і передають колісним парам всі види навантажень, у тому числі динамічні навантаження, що виникають при русі вагона. Вони повинні забезпечувати мінімальний опір обертанню колісних пар, високу надійність і безпеку руху вагона. Тому до їх конструкції, технічного обслуговування і ремонту висувають високі вимоги, особливо при підвищенні

швидкості руху поїздів і зростанні навантажень на колісні пари вагонів.

Основними вимогами, що висуваються до букс, є забезпечення необхідної безвідмовності і довговічності роботи в умовах експлуатації протягом встановленого терміну служби; простота виконання операцій з монтажу та демонтажу буксових вузлів при ремонті; надійна герметизація буксових вузлів від потрапляння пилу і вологи; забезпечення взаємозамінності та уніфікації деталей тощо.

З точки зору забезпечення ефективності функціонування рухомого складу найбільш важливою вимогою, що висуваються до букс, є забезпечення

мінімального опору обертанню колісних пар вагона. Адже це безпосередньо впливає на силу тяги, що прикладається локомотивом до поїзда, і відповідно на енерговитрати цього локомотива.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Роботи в галузі визначення ефектів тертя в підшипниках кочення проводились ще в СРСР та за кордоном протягом декількох десятиріч. Існує багато досліджень у галузі удосконалення конструкції буксових підшипників з метою зменшення питомого опору руху. Але однозначних точних фізичних моделей не отримано. Це пояснюється складністю та недостатньою вивченістю фізичної природи процесів у поверхневих шарах металу в умовах кочення (з неминучими елементами ковзання). Всі ці процеси проходять під дією нормальних і дотичних сил за наявності мастила і сепаратора. Реальні умови роботи циліндричних буксових підшипників суттєво відрізняється від теоретичних.

Так, вклад у дослідженні контакту "бурт-ролик" в підшипнику займався В.С. Мартинов під керівництвом О.М. Філатової [3], у наукових роботах цих вчених зазначені закономірності впливу геометрії роликів підшипників на їх опір руху.

Під керівництвом проф. Н.А. Спіцина досліджувалися моменти тертя та енергетичні витрати у підшипниках кочення [2]. Визначаються основні складові моменту кочення.

В.Ф. Старостін у своїх наукових працях [4] визначав втрати на тертя у конічних роликів підшипниках, досліджував втрати в контакті «бурт-ролик», а також втрати енергії залежно від типу змащення; досліджував роботу конічних і комбінованих підшипників, як перспективні.

Але жоден з дослідників так і не запропонував точних розрахункових методів визначення моменту тертя,

оскільки це є виключно складним завданням, яке не вирішено до цього часу.

**Постановка мети.** Перехід на роликові підшипники дозволив досягнути збільшення швидкостей руху поїздів і підвищити надійність буксових вузлів через суттєве зменшення відчеплень вагонів на шляху прямування. При цьому використання підшипників кочення дозволило значно зменшити опір руху порівняно з підшипниками ковзання. Це, у свою чергу, дозволило заощаджувати енергоресурси на тязі поїздів.

Але впровадження в експлуатацію за останні роки вагонів нового покоління з підвищеними техніко-економічними показниками вимагало проведення модернізації всіх елементів конструкції вагона, у тому числі буксових вузлів. Тому виробники підшипників запропонували вагонобудівникам і залізничникам підшипники касетного типу.

Питання переходу на конічні підшипники має вирішуватися дослідним шляхом, тобто у порівнянні із типовими циліндричними.

Найбільш поширеними на даний момент є типові буксові вузли моделі 30-42726E2M та 30-232726E2M або 36-42726E2M та 36-232726E2M (типові). В експлуатацію впроваджуються дворядні конічні підшипники касетного типу - підшипники виробництва компаній SKF (Швеція), Bresco (США).

Отже, метою роботи є дослідження впливу типу буксового вузла на енерговитрати локомотива та визначення найбільш енергоефективного типу букс.

**Основна частина.** У лютому-квітні 2009 року співробітниками Української державної академії залізничного транспорту сумісно з фахівцями Інституту технічної механіки Національної академії наук України було проведено експериментальні дослідження енерговитратності буксових вузлів, обладнаних різними типами підшипників. При цьому запропоновано для порівняння

показників питомих витрат електроенергії локомотивом приведення витрат електроенергії до загальних приведених питомих витрат електроенергії, залежних як від швидкості руху, ваги состава, пройденого шляху, так і від ухилу профілю колії. Необхідність приведення показника витрати електроенергії до питомих витрат викликано тим, що випробування проводилися на різних ділянках колії з різними складами і в різний час.

Комплексні випробування проводилися на території Одеської та Придніпровської залізниць, а саме на ділянці «ст. Ароматна Придніпровської залізниці - ст. Ладижин Одеської залізниці». Маршрути руху дослідних потягів, а також дані про них використані в подальшому для дослідження.

Оскільки всі потяги рухались на різних ділянках шляху та з різною вагою состава, була поставлена задача привести витрати електроенергії їх локомотивів до загального показника, який дає можливість порівняти витрати електроенергії локомотивів. За основу для визначення цього показника були отримані питомі витрати електроенергії, що описані в роботі [1] і визначені за формулою

$$a = \frac{A \cdot 1000}{Q \cdot L}, \quad (1)$$

де  $A$  – витрати електроенергії;  $Q$  – вага поїзда;  $L$  – пройдений шлях.

Витрати електроенергії, у свою чергу, визначаються за формулою

$$A = \frac{U_e \cdot \sum(I_{cp} \cdot \Delta t)}{60 \cdot 1000}, \quad (2)$$

де  $U_e$  – напруга контактної мережі;  $I_{cp}$  – сила струму тягового електродвигуна на відповідному відрізку часу.

У дослідженнях згідно з формулами (1) і (2) були зафіксовані дані часу ходу, швидкості, пройденого шляху, напруги

контактної мережі та сили струму тягових електродвигунів до кожного маршруту окремо. Оскільки під час гальмування та холостого ходу тягові електродвигуни вимикаються та їх сила струму дорівнює нулю, то ці ділянки можна не враховувати у розрахунках. З метою спрощення розрахунків відповідно до роботи [1] було виконано випрямлення профілю шляху для кожного маршруту прямування.

Як раніше було описано, показники витрат електроенергії були приведені для потягів, які рухались різними ділянками шляху, відповідно їх неможна просто порівнювати за формулою (1). Необхідно привести їх показники питомих витрат електроенергії до єдиного показника, що залежить і від ухилу профілю шляху. З цією метою дані до кожного маршруту окремо були розбиті на масиви, приведені до швидкості руху та ухилу профілю шляху. Отримані масиви даних відповідали діапазонам швидкостей 0...10, 10...20, 20...30, 30...40, 40...50, 50...60 та 60...70 км/год, при цьому кожний діапазон швидкостей відповідав певному ухилу профілю шляху. Далі за формулою (1) для кожного масиву даних були розраховані питомі витрати електроенергії на цій ділянці шляху. Таким чином, за кожним маршрутом окремо для кожного діапазону швидкості була отримана залежність питомих витрат електроенергії локомотивом від ухилу профілю шляху. Після побудови графіків однозначної залежності отримано не було. Приклад такого графіка для діапазону швидкості 50...60 км/год при навантаженому складі наведено на рис. 1.

Для зниження розкиду даних питомі витрати електроенергії були приведені до ухилу шляхом їх помноження. Оскільки уклон може мати як додатні, так і від'ємні значення (підйоми і спуски), то дійсне перемноження без приведення ухилу до позитивних значень дає неправильний результат. Приведення ухилу профілю

шляху до від'ємних значень виконувалось за формулою

$$i_{pr} = i + i_{\min}, \quad (3)$$

де  $i_{pr}$  – приведений ухил профілю шляху до додатних значень;

$i_{\min}$  – мінімальний ухил профілю колії на ділянці проходження.

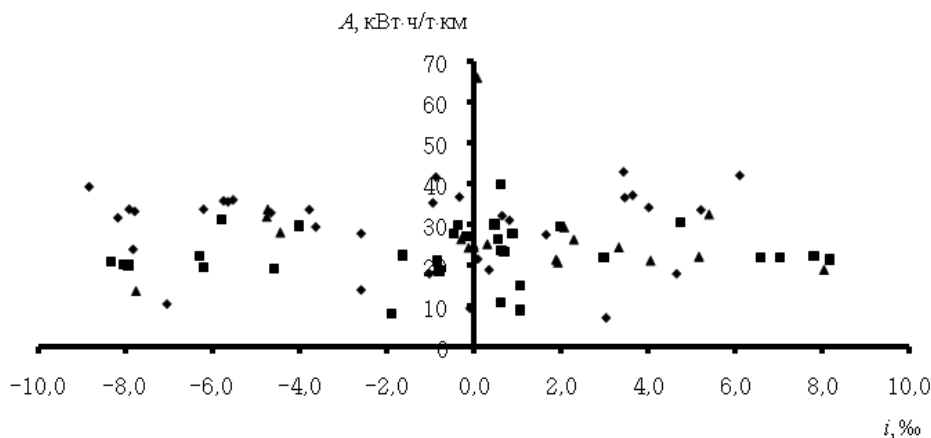


Рис. 1. Показники питомих витрат підшипників різного типу:

- ◆ - поїзд, обладнаний буксами з конічними касетними підшипниками виробництва компанії SKF;
- – поїзд, обладнаний буксами з конічними касетними підшипниками виробництва компанії Brenco;
- ▲ – поїзд, обладнаний буксами з типовими циліндричними підшипниками

Тоді з урахуванням формул (1) і (2) отримаємо приведену питому витрату електроенергії, що розраховується за формулою

$$\Theta = \frac{U_e \cdot \sum (I_{cp} \cdot \Delta t) \cdot i_{pr}}{60 \cdot Q \cdot L}. \quad (4)$$

Взявши середні значення приведеної питомої витрати електроенергії для кожного діапазону швидкості і прийнявши для цих значень середні швидкості руху 5, 15, ..., 65 км/год, отримаємо залежності приведеної питомої витрати електроенергії від швидкості руху складу.

За результатами розрахунків побудовані залежності приведених питомих витрат електроенергії від швидкості руху для составів, обладнаних буксами з типовими циліндричними підшипниками і

конічними підшипниками касетного типу (рис. 2). На рис. 2,а показані результати розрахунків для навантаженого складу, а на рис. 2,б – для порожнього. Штриховою лінією з квадратними маркерами позначено состав, обладнаний буксами з конічними касетними підшипниками виробництва компанії Brenco, штрихпунктирною лінією з трикутними маркерами – состав, обладнаний буксами з конічними касетними підшипниками виробництва компанії SKF, суцільною лінією – состав, обладнаний буксами з типовими циліндричними підшипниками.

Приведені питомі витрати електроенергії навантаженого состава (рис. 2,а) мають менші величини, ніж порожнього (рис. 2,б), оскільки у формулі (4) враховується його вага у знаменнику, відповідно при збільшенні ваги состава розглянутий показник зменшується.

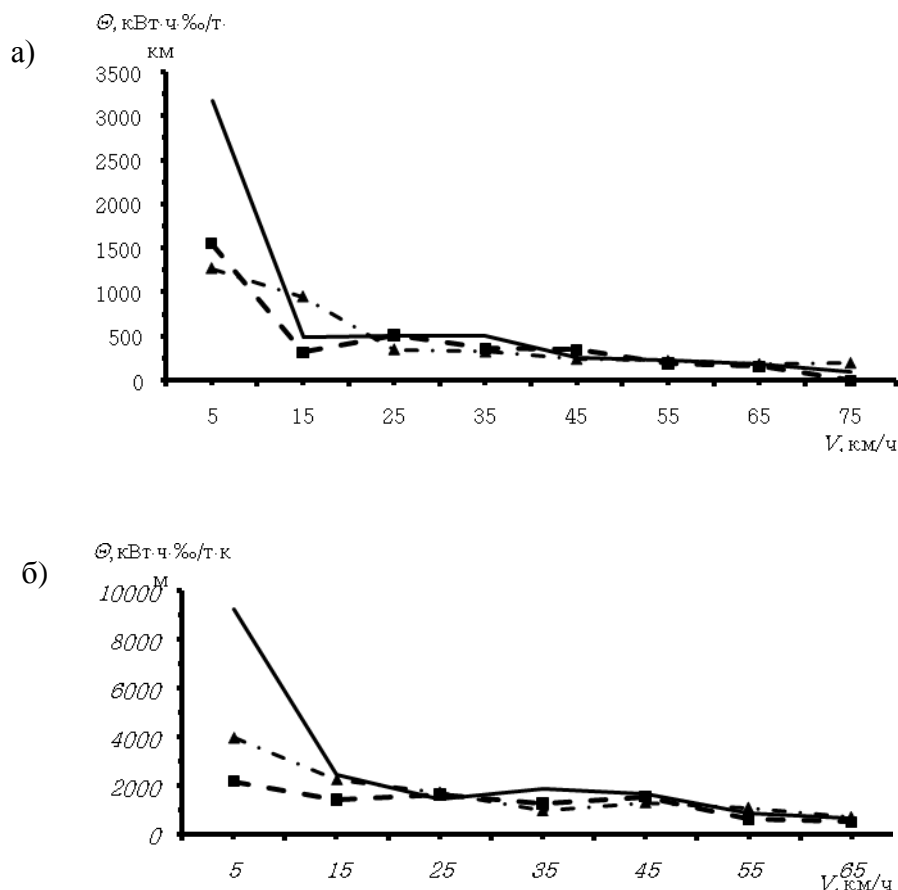


Рис. 2. Залежності приведеної питомої витрати електроенергії від швидкості руху для типових циліндричних і конічних підшипників: а – навантажений состав; б – порожній состав

Як видно з цих рисунків, на початку руху і при розгоні найбільшу витрату електроенергії має состав, обладнаний буксами з типовими циліндричними підшипниками, а витрати електроенергії составом, обладнаним буксами з конічними касетними підшипниками, більш ніж у два рази менше. При подальшому підвищенні швидкості витрата електроенергії майже порівнюється у всіх составів.

Також виявилось, що навіть при підвищенні швидкості руху витрата електроенергії составом, обладнаним типовими буксами, залишається в середньому більше, ніж составом, обладнаним буксами з конічними підшипниками касетного типу.

Середні значення приведеної питомої витрати електроенергії по всіх діапазонах швидкостей наведено в таблиці.

Таким чином, найменшим є показник приведеної питомої витрати електроенергії у составі, обладнаному буксами з конічними касетними підшипниками виробництва компанії Bresco. При порожньому составі цей показник на 45,5% нижче, ніж у составі, обладнаному типовими буксами, і на 16% нижче, ніж у составі, обладнаному конічними касетними підшипниками виробництва компанії SKF. При завантаженому составі показник на 36% нижче, ніж у составі, обладнаному типовими буксами, і на 3,6% нижче, ніж у составі, обладнаному конічними касетними підшипниками виробництва компанії SKF.

Можна сказати, що при завантаженому складі показник приведеної питомої витрати електроенергії для складів,

обладнаних конічними касетними підшипниками, практично однаковий.

Таблиця

Середні значення приведеної питомої витрати електроенергії по всіх діапазонах швидкостей

Тип підшипника	Середні приведені питомі витрати електроенергії за типом складу $\Theta$ , кВт·год %/ ткм	
	Порожній	Завантажений
Типовий циліндричний	2612,6	767,2
Конічний, касетний виробництва компанії SKF	1727,4	504,1
Конічний, касетний виробництва компанії Breco	1451,1	491,1

**Висновки.** Дослідження впливу типу буксових вузлів на енерговитрати локомотива виявило, що більш енергоефективними є букси з конічними

касетними підшипниками, серед яких підшипники Breco займають лідируючі позиції, маючи найкращі показники приведеної питомої витрати електроенергії.

### *Список літератури*

1. Осипов, С.И. Основы тяги поездов [Текст] / С.И. Осипов, С.С. Осипов. – М.: УМК МПС России, 2000. – 592 с.
2. Спицин, Н.А. Исследование моментов трения и энергетических потерь в подшипниках качения [Текст] / Н.А. Спицин, В.А. Политов, С.Д. Таджикибаев, К.Г. Ган // Сб. трудов Всесоюз. науч.-исследоват. конструктор.-технолог. ин-та подшипниковой промышленности – Вып. 1(37). – 1964. – С. 41-59.
3. Мартынов, В.С. Влияние особенностей геометрии торцового контакта ролик-борт цилиндрических роликовых подшипников на их сопротивление вращению при комбинированном нагружении [Текст] // Сб. науч. трудов ВЗИИТ. – 1979. – Вып. 101: Вопрос повышения надежности узлов вагонов. – С.43-65.
4. Старостин, В.Ф. Энергетические потери в конических роликовых подшипниках [Текст]: обзор / В.Ф. Старостин, С.П. Русских. – М., 1990. – 49 с.

**Ключові слова:** тяга поїздів, питомий опір, ресурсозберігаючі технології, підшипники буксових вузлів, касетні підшипники.

### *Анотації*

Наведено результати дослідження впливу типу буксових вузлів вантажних вагонів на енерговитрати локомотива. Виконано розрахунки для визначення найбільш енергоефективного типу буксових вузлів. За результатами дослідження видно, що найбільш енерговитратним типом букс є типові буксові вузли, а найбільш енергоефективним – буксовий вузол із конічними касетними підшипниками виробництва компанії Breco.

Приведены результаты исследования влияния типа буксовых узлов грузовых вагонов на энергозатраты локомотива. Выполнены расчеты для определения наиболее энергоэффективного типа буксовых узлов. По результатам исследования видно, что наиболее энергозатратным видом букс являются типовые буксовые узлы, а наиболее энергоэффективным – буксовый узел с коническими подшипниками производства компании Brenco.

The results of investigations of the effect of axle boxes type of freight cars on the locomotive energy expenses are shown. Calculations on determination of the most energy-efficient type of axle boxes are executed. It is shown by results of research that the most energy-expenses type of axle box is the standard axle box, and the most energy-efficient one is the axle box with tapered cassette roller bearings produced by Brenco company.