

**О.М. Сафронов\***

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»  
вул. І. Приходько 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна  
Телефон: +380 536(6) 60324, E-mail: safronov.am84@gmail.com  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5865-7751>

**Ю.Я. Водянніков**

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»,  
вул. І. Приходько 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна  
Телефон: +380 536(6) 61324, E-mail: vodyann@i.ua  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6111-7128>

**К.Л. Жихарцев**

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»  
вул. І. Приходько 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна  
Телефон: +380 536(6) 60250, E-mail: kostyakremenchuk@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8981-6369>

### ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ ГІРКОВОГО БАШМАКА ПРИ ВЗАЄМОДІЇ З РУХОМИМ СКЛАДОМ ПІДВИЩЕНОГО ОСЬОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

*Дослідження стосуються гальмівних гіркових башмаків, призначених для гальмування вантажних та інших типів залізничних вагонів на сортувальних гірках, передгіркових коліях, маневрових витяжках та напівгірках, також можуть використовуватися на зазначених об'єктах як закріплюючий башмак. Показано, що підвищення експлуатаційної надійності башмаків в умовах підвищення осьових навантажень вантажних вагонів потребує більш глибокого аналізу дослідження його міцності. Представлені результати досліджень взаємодії гіркового башмака та вагона як на площадці, так і на ухилах 3 % та 30 %. Наведено статистичні характеристики осьових зусиль, що діють на башмак. Показано, що зі збільшенням маси (осьового навантаження) вантажного вагона, осьове натиснення на гальмівний башмак може перевищувати максимальні допустимі значення. Встановлено: взаємодія вагона та башмака характеризується складним коливальним процесом башмака, який містить як низькочастотну, так і високочастотну складові зміни напружень у конструкції. Максимальне динамічне напруження в башмаці зафіксовано при накатуванні вагона на башмак зі швидкістю 6 км/год на спуску 3 %.*

© Сафронов О.М., Водянніков Ю.Я., Жихарцев К.Л., 2022

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

---

*Наведено гістограми розподілу осьових натискань на башмак та їх емпіричні ймовірності, а також статистичні характеристики.*

*Особливості зміни напружень залежно від виду зусиль, які діють в експлуатації, представлені у вигляді діаграм. Показано види основних пошкоджень гальмівних гіркових башмаків в експлуатації.*

*Ключові слова: гірковий башмак, напруження, пошкодження, осьове натиснення, гістограма, емпірична ймовірність, статистичні характеристики.*

### **А.М. Сафронів\***

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»

ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: +380 536(6) 60324, E-mail: safronov.am84@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5865-7751>

### **Ю.Я. Водяников**

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»

ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: +380 536(6) 61324, E-mail: vodyann@i.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6111-7128>

### **К.Л. Жихарцев**

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»,

ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: +380 536(6) 60250, E-mail: kostyakremenchuk@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8981-6369>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ГОРОЧНОГО БАШМАКА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ ПОВЫШЕННОЙ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ

*Исследования касаются тормозных горочных башмаков, предназначенных для торможения грузовых и других типов железнодорожных вагонов на сортировочных горках, предгорочных путях, маневровых вытяжках и полугорках, также могут использоваться на указанных объектах в качестве закрепляющего башмака. Показано, что повышение эксплуатационной надежности башмаков в условиях повышения осевых нагрузок грузовых вагонов требует более глубокого анализа исследования его прочности. Представлены результаты исследований взаимодействия горочного башмака и вагона как на площадке, так и на уклонах 3 ‰ и 30 ‰. Приведены статистические характеристики осевых усилий, действующих на башмак. Показано, что с увеличением массы (осевой нагрузки) грузового вагона осевое нажатие на тормозной башмак может превышать максимальные допустимые значения. Установлено: взаи-*

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

---

*модельное действие вагона и башмака характеризуется сложным колебательным процессом башмака, который содержит как низкочастотную, так и высокочастотную составляющие изменения напряжений в конструкции. Максимальные динамические напряжения в башмаке зафиксированы при накатывании вагона на башмак со скоростью 6 км/ч на спуске 3 ‰.*

*Приведены гистограммы распределения осевых нажатий на башмак и их эмпирические вероятности, а также статистические характеристики.*

*Особенности изменения напряжений в зависимости от усилий, которые действуют в эксплуатации, представлены в виде диаграмм. Показаны виды основных повреждений тормозных горочных башмаков в эксплуатации.*

*Ключевые слова: горочный башмак, напряжения, повреждения, осевое нажатие, гистограмма, эмпирическая вероятность, статистические характеристики.*

**Вступ.** Зростаючий обсяг перевезень на залізницях пред'являє серйозні вимоги до збільшення переробної здатності гіркових сортувальних пристроїв, забезпечення їх надійності та безперебійної роботи. Сортувальні гірки як складова частина сортувальних пристроїв відіграють важливу роль у прискоренні доставки вантажів на підприємства, скороченні простою вагонів на станціях і є основним технічним засобом переробки вагонів та формування вантажних поїздів на сортувальних станціях.

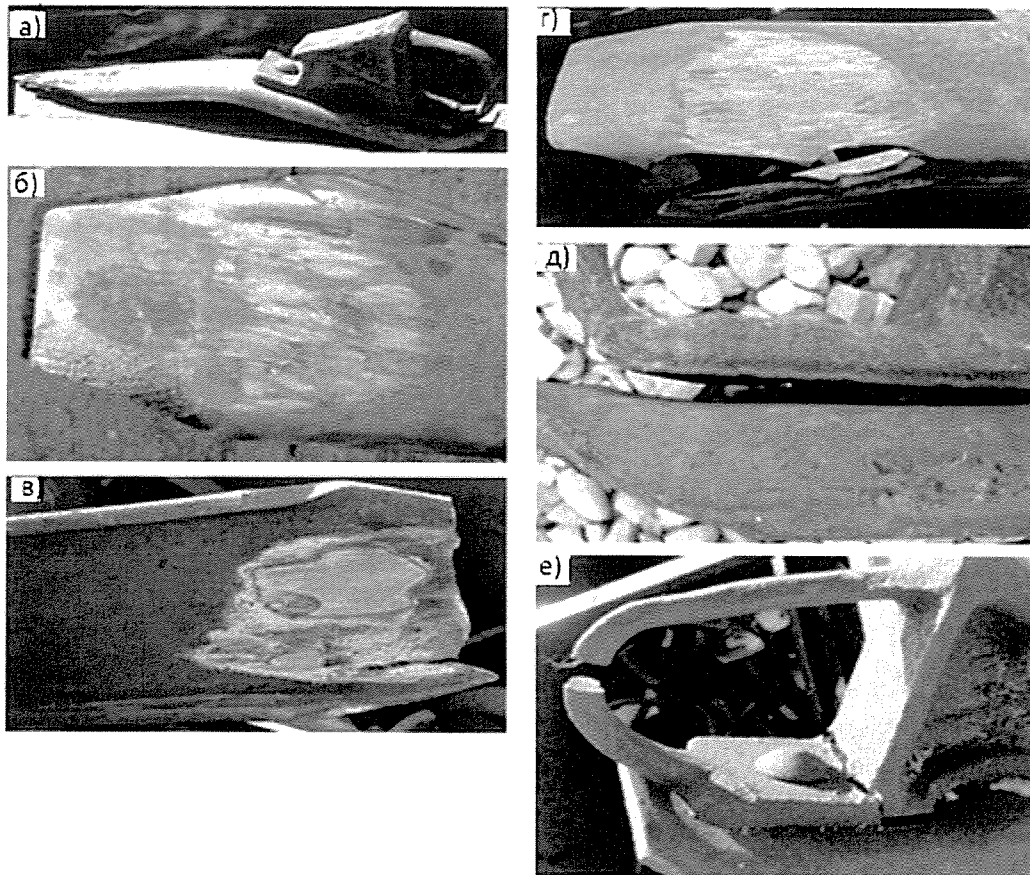
Як показує практика, жодне з відомих серійних уповільнювальних пристроїв, через велику вартість і високі експлуатаційні витрати, не може ефективно застосовуватися на гірках малої потужності, яких існує велика кількість, оскільки пропускна здатність таких гірок спочатку розрахована на пропуск не більше 1500 вагонів на добу за середньої завантаженості типового уповільнювача великих гірок складає більше 3500 вагонів. В даний час гальмуванням відцепів на таких гірках керують вручну з використанням технології гіркового гальмівного башмака. У залізничному колійному господарстві широке застосування має гальмівний башмак, що складається з колодки з ручкою та полозу, який охоплює головку рейки (рис. 1).



*Рис. 1. Башмак гальмівний гірковий*

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Башмаки гальмівні гіркові призначені для гальмування вантажних та інших типів залізничних вагонів на сортувальних гірках, передгіркових коліях, маневрових витяжках та напівгірках, також можуть використовуватися на зазначених об'єктах як закріплюючий башмак. Башмак залізничний застосовується при формуванні поїздів на гірках під час розпуску вагонів і як засіб регулювання швидкості руху вагона на станціях, необладнаних автоматичними сповільнювачами. Весь принцип дії гальмівного башмака зводиться до заміни сили тертя кочення на силу тертя ковзання, у результаті чого відбувається гальмування, оскільки колісна пара припиняє своє обертання навколо осі. Зниження швидкості руху вагонів супроводжується юзом (ковзанням) гальмівного башмака, при цьому довжина юза може бути різною залежно від: зношування поверхонь тертя, маси вагона, осевого навантаження вагона, швидкості входу вагонів на башмак, погодних умов. За рахунок постійного впливу з боку вагона, тиску маси та стирання при юзі, гальмівний башмак дуже швидко піддається зносу і вимагає постійного контролю на технічну придатність, про що свідчать дефекти гальмівних гіркових башмаків в експлуатації, які наведені на рис. 2 [1].



**Рис. 2. Різновиди дефектів гальмівних гіркових башмаків в експлуатації:**  
а - деформація (короблення) полоза при проходженні башмакоскидувача; б - розгин бортів і тріщина біля носка полоза при проходженні башмакоскидувачів; в - тріщини і відрив носка полоза;  
г - відрив бортів внаслідок наїзду гребеня колеса на борт полоза; д - ослаблення опорної колодки,  
е - деформація та тріщини ручки та колодки після перекочування колеса через башмак



Крім того, не допускається використання башмака у разі наступних поломок:

1. З замерзлим і замасленим полозом.
2. Тормозна колодка, що лопнула.
3. Відсутність чи часткова поломка опорної пластини.
4. Вигнута та нерівна основа.
5. Носок полоза луснутий, вигнутий або на ньому є тріщина.
6. Кріплення гальмівної колодки до основи ослабло.
7. Рукоятка відсутня або перебуває в пошкодженому стані.

**Аналіз останніх досліджень.** У зв'язку з цим, основні напрями подальшого вдосконалення гіркових башмаків полягають у підвищенні їхньої експлуатаційної надійності. Так, у роботі [1] доводиться, що умови роботи гіркових та стоянкових гальмівних башмаків істотно різняться, та обґрунтовується необхідність застосування спеціалізованих гальмівних башмаків, окремо для гальмування відцепів та для закріплення поїздів. Наведено основні результати випробування дослідних зразків на Експериментальному кільці АТ «ВНДІЖТ», що дозволили внести корисні зміни до конструкції стоянкового башмака настановної серії. У 2015 р. спеціалістами АТ «ВНДІЖТ» та Центральної дирекції управління рухом ВАТ «РЗ» вперше розроблено технічні вимоги до спеціалізованого башмака для закріплення поїздів на станційних коліях та розроблено стоянковий башмак нової конструкції.

У статті [2] розглядаються та аналізуються результати розширених експлуатаційних випробувань залізничних гіркових башмаків підвищеної міцності та полегшеної конструкції у порівнянні з серійними башмаками на сортувальних гірках Лосиноострівської Московської залізниці, Ліхою Північно-Кавказької залізниці та Сольвичегодською Північною залізницею. Наводяться статистичні дані щодо кількості дослідних і серійних башмаків, що вийшли з ладу з причин відбраковування окремо по кожній станції і за трьома станціями в цілому. Аналізується ефект від змін, внесених у конструкцію та матеріал гальмівних гіркових башмаків (покращення їх експлуатаційних показників, підвищення ергономічності, зменшення відсотка відбраковування башмаків). Показано, що вдалося значно знизити кількість таких пошкоджень, як тріщина та відрив носка, розгин та відрив бортів, а короблення полозу повністю виключити. Вказується, що термін служби нових гальмівних башмаків підвищений більш ніж у два рази, порівняно з терміном служби серійних башмаків, що застосовуються нині. Подано пропозиції щодо подальшого вдосконалення конструкції гальмівного гіркового башмака з урахуванням результатів випробувань у важких умовах роботи на деяких немеханізованих сортувальних гірках.

Всі зазначені дослідження стосуються взаємодії гальмового башмака з вантажними вагонами з осьовим навантаженням 23,5 тс. Разом з тим, збільшення осьового навантаження вантажних вагонів до 30 тс вимагає більш глибокого аналізу силової взаємодії гальмівного башмака і вантажного вагона.

Тому, **метою роботи** є оцінка зусиль та напружень, що виникають у конструкції башмака при взаємодії з вантажним вагоном підвищеного осьового навантаження.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідженням піддавалися два башмаки, виготовлені відповідно до ТУ [3], що прийняті ВТК та пройшли приймально-здавальні випробування.

Відповідно до п.п 1.3.2, 1.3.3 [3], допустиме осьове навантаження від колеса вагона на башмак на станційних коліях з ухилом до 3 ‰ за швидкості накатування вагона 6 км/год не повинна перевищувати 28 тс (275 кН), при роботі на

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

---

сортувальних гірках та маневрових роботах з ухилом шляху до 30 ‰ – 14 тс (140 кН).

Перед початком випробувань, на башмаки було наклеєно чотири тензорезистори типу 2ПКБ-20-200В симетрично щодо дії осьової сили. Тарування тензорезисторів проводилося на спеціальному стенді шляхом докладання осьових зусиль від 0 до 294,3 кН (30 тс) з інтервалом 19,62 кН (2 тс).

Осьове натиснення на гальмівний гірковий башмак на спуску 3 ‰ визначалося при накочуванні на башмак одиночного вагона масою 90 тс при швидкості руху 6 км/год (рис. 3). Зусилля визначалися за допомогою тарувальних графіків силовимірювачів. Для розгону вагона до необхідної швидкості використовувався маневровий локомотив.



*Рис. 3. Накочування вагона на башмак*

Запис процесів взаємодії башмака і вагона проводилася від початку натиснення колеса на полоз башмака до повної зупинки вагона.

Осьове натиснення на башмак на ухилі до 30 ‰ визначалося як при статичному, так і динамічному впливі при наступних видах навантаження:

- під час оцінки впливу статичного навантаження, під одне з коліс загальмованого зчепу у складі навантаженого вагона та локомотива встановлювався башмак після чого гальма повністю відпускалися (рис. 4);
- динамічні навантаження на башмак створювалися шляхом накочування зчепу у складі завантаженого вагона та локомотива, який на початку дослідів знаходився на відстані двох метрів від башмака.

Кількість дослідів приймалося рівним щонайменше 5.

Амплітуди осьових сил піддавалися статистичній обробці з метою відсіву значень, які не потрапляють у статистичну закономірність та обумовлені факторами, що виходять за границю фізичного процесу.



## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

---

Випадкова величина відсівається, якщо для неї виконується нерівність [4]:

$$\frac{a_i^{\max(\min)} - m}{s} > T_{p,n} \quad (1)$$

де  $a_i^{\max(\min)}$  - максимальне (мінімальне) значення вибіркової сукупності випадкових величин;

$m$  - математичне очікування вимірних значень;

$s$  - середньоквадратичне відхилення;

$T_{p,n}$  - критичне значення  $T_p$  ( $p$  - вибіркова процентна точка нормованого відхилення), обумовлене критичним значенням розподілу Стьюдента  $d_{p,n-2}$  [5].



Рис. 4. Статичне навантаження башмака

$$T_{p,n} = \frac{d_{p,n-2} \sqrt{n-1}}{\sqrt{n-2 + d_{p,n-1}^2}} \quad (2)$$

де  $d_{p,n-2}$  – відсоткові точки T- розподілу Стьюдента.

Статистична обробка досліджуваних процесів полягала у визначенні:

- математичного очікування.

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$$\bar{m}_{\Delta_i} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} h_{ij}}{n_i}, \quad (3)$$

- середньоквадратичного відхилення

$$S_{\Delta_i} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_i} (h_{ij} - m_{\Delta_i})^2}{n_i - 1}}. \quad (4)$$

де  $h_{ij}$  – значення  $j$ -ої випадкового розміру в  $i$ -му інтервалі;

$n_i$  – кількість вимірювань у  $i$ -му інтервалі;

$m_{\Delta_i}$  – математичне очікування випадкового розміру в  $i$ -му інтервалі.

Випадкові розміри у кожному тимчасовому зрізі групувалися на класи (інтервали) за правилом Штюргеса [6]:

$$k \approx 1 + \lg(n_{ij}) \quad (5)$$

де  $k$  – кількість класів.

Перевірка нульової гіпотези про рівність (однорідність) середніх оцінюється за допомогою критерію Стюдена.

Оцінкою  $\sigma^2$  служить вибіркова повна (загальна) дисперсія  $S^2$ , а інтервальною оцінкою математичного очікування  $a$  – вибіркоче загальне середнє  $\bar{m}_{\Delta_i}$ . Довірчі

інтервали для  $a$  та  $\sigma^2$  для  $p = \sum_{j=1}^{n_i} n_{ij} - 1$  ступенів свободи визначалися з виразів:

$$\bar{m}_{\Delta_i} - \frac{S_i}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n_i} n_{ij}}} t_{\alpha,p} < a < \bar{m}_{\Delta_i} + \frac{S_i}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n_i} n_{ij}}} t_{\alpha,p} \quad (6)$$

$$\frac{S_i^2 \left( \sum_{j=1}^{n_i} n_{ij} - 1 \right)}{\chi_{P_1}^2} < \sigma^2 < \frac{S_i^2 \left( \sum_{j=1}^{n_i} n_{ij} - 1 \right)}{\chi_{P_2}^2} \quad (7)$$

Значення  $t_{\alpha,p}$ ,  $\chi_{P_1}^2$  и  $\chi_{P_2}^2$  визначаються за таблицями залежно від кількості ступенів свободи та вибіркового рівня довірчої ймовірності ( $P=0,95$ ).

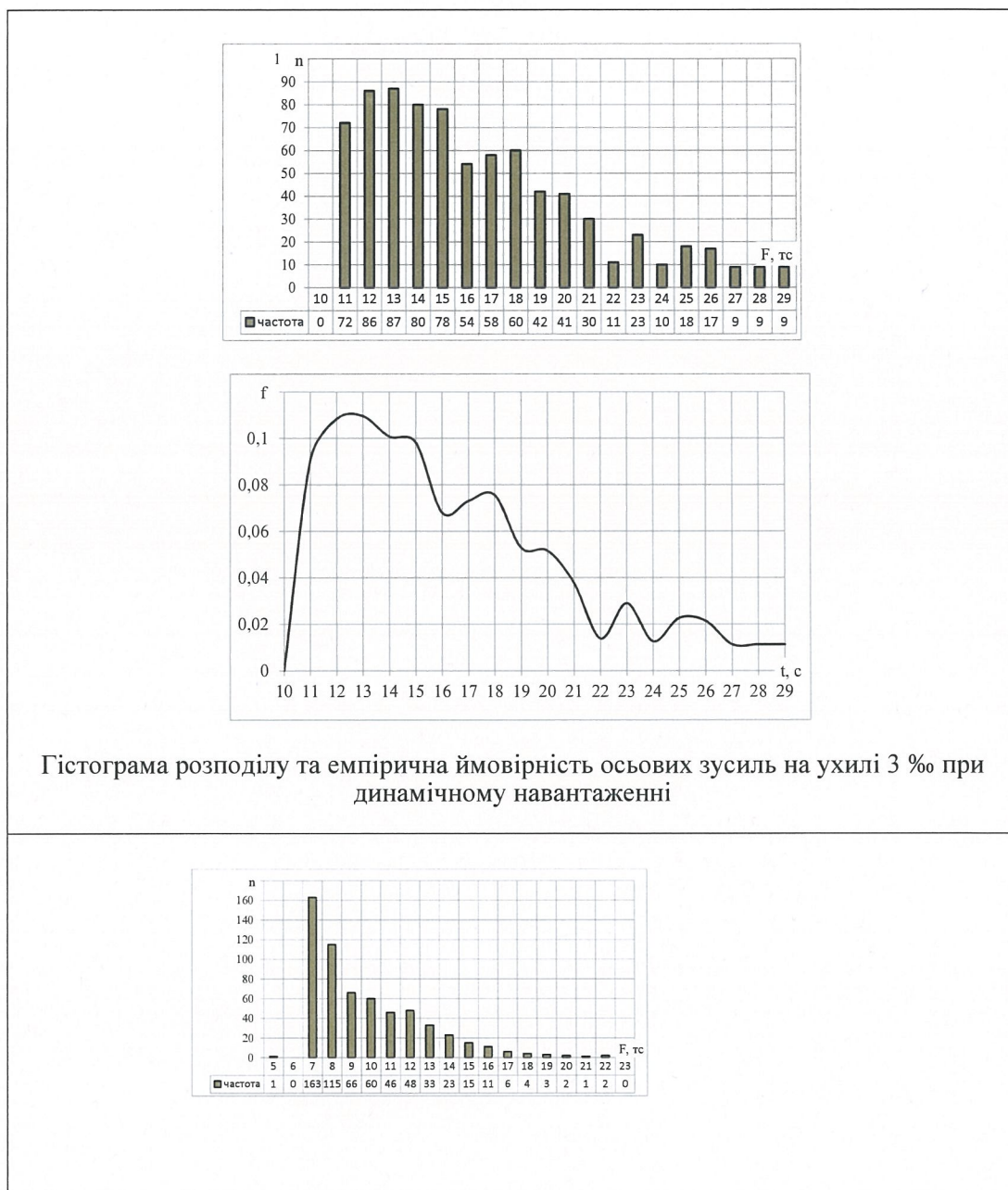
Гістограми розподілу осьових зусиль та емпірична ймовірність їх значень наведені у таблиці 1, а статистичні характеристики – у табл. 2. Максимальні осьові зусилля, що діють на башмак, виникають при накатуванні вагона зі швидкістю 6



## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

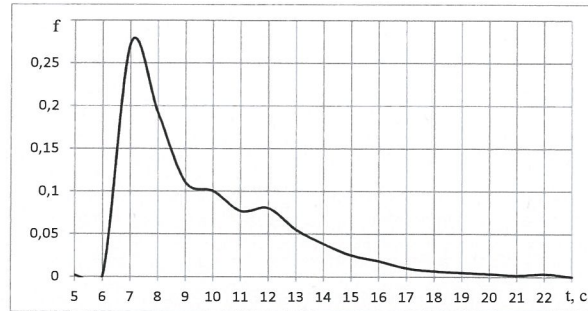
км/год і можуть сягати 29 тс (див. табл. 1).

*Таблиця 1. Гістограми та емпіричні ймовірності розподілу осьових зусиль*

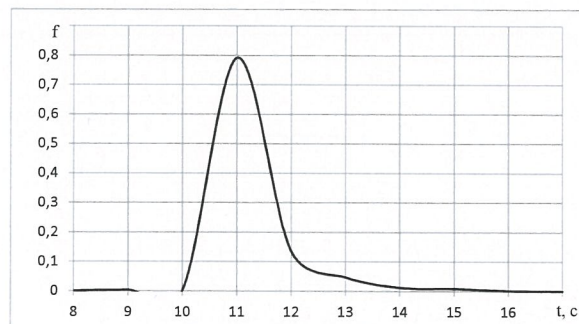
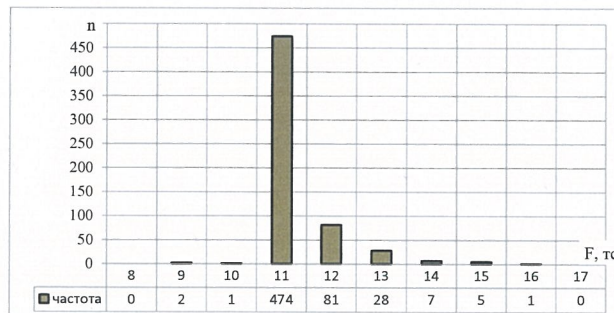


## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Закінчення табл. 1



Гістограма розподілу та емпірична ймовірність осьових зусиль на ухилі 30 ‰ при динамічному навантаженні



Гістограма розподілу та емпірична ймовірність осьових зусиль на ухилі 30 ‰ при статичному навантаженні

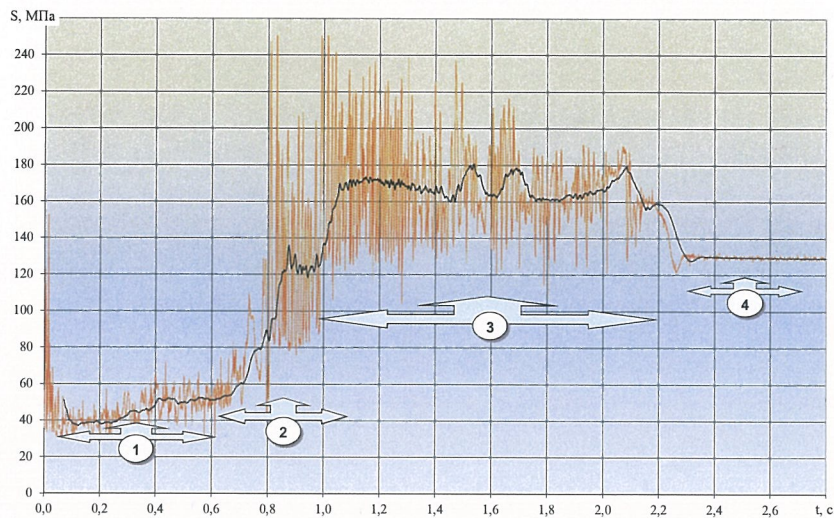
**Таблиця 2. - Результати статистичної обробки**

Ухил	Математичне очікування, тс	Середньоквадратичне відхилення, тс	Довірчий інтервал математичного очікування (0,95)	Максимальні значення, тс
до 3‰	16,089	4,69	15,71 - 16,46	25,48
30‰	10,747	0,767	10,68 - 10,80	13,05



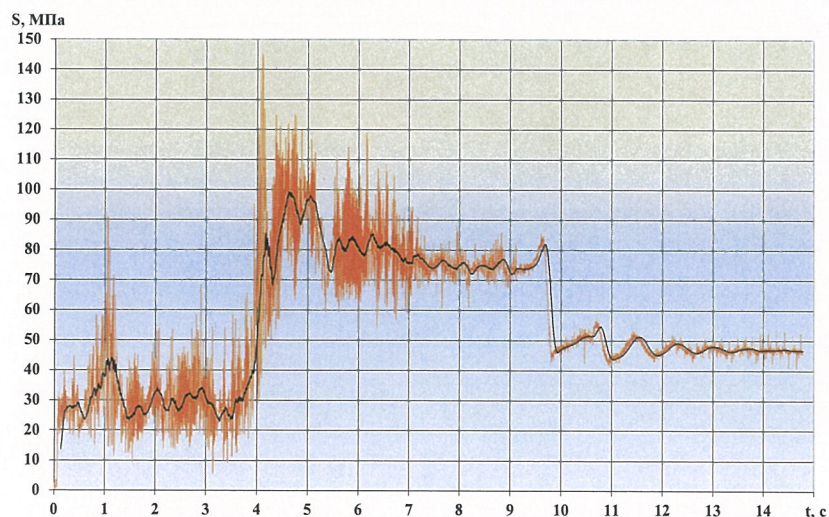
## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Аналіз проведених досліджень показав, що взаємодія башмака і вагона характеризується високочастотними коливаннями амплітуд напружень і супроводжується нагріванням башмака. Так, під час накочування вагона на башмак зі швидкістю 6 км/год на спуску до 3 ‰, максимальне значення напруження в башмаці при силовому впливі не перевищила 180 МПа, а максимальні амплітуди напружень склали близько 250 МПа (рис. 5). Характер силової дії у разі статичного навантаження на ухилі 30 ‰ представлений на рис. 6, динамічного – на рис. 7.



**Рис. 5. Процес зміни динамічного напруження в башмаку при накочуванні вагона на спуску до 3‰ зі швидкістю 6 км/год:**

1 - накочування колеса на підшову башмака; 2 - накочування колеса на опорну поверхню корпусу башмака; 3 - повний контакт колеса з опорною поверхнею корпусу башмака; 4 - зупинка вагона



**Рис. 6. Розподіл напружень у башмаку при накатуванні вагона на ухилі до 30 ‰**



## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

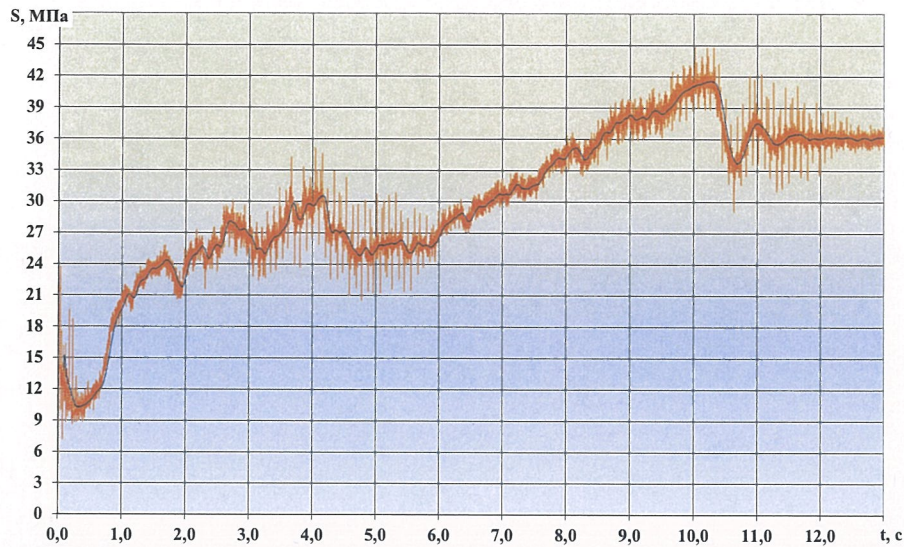


Рис. 7. Діаграма зміни напружень в башмаку при утриманні вагона на спуску 30 % (статичний вплив).

Під час накатування вагона на спуску 30 % максимальні амплітуди напружень склали близько 150 МПа (рис. 6), а при статичному навантаженні – 45 МПа (рис. 7). Амплітуди напружень на площадці не перевищують 70 МПа (рис. 8).

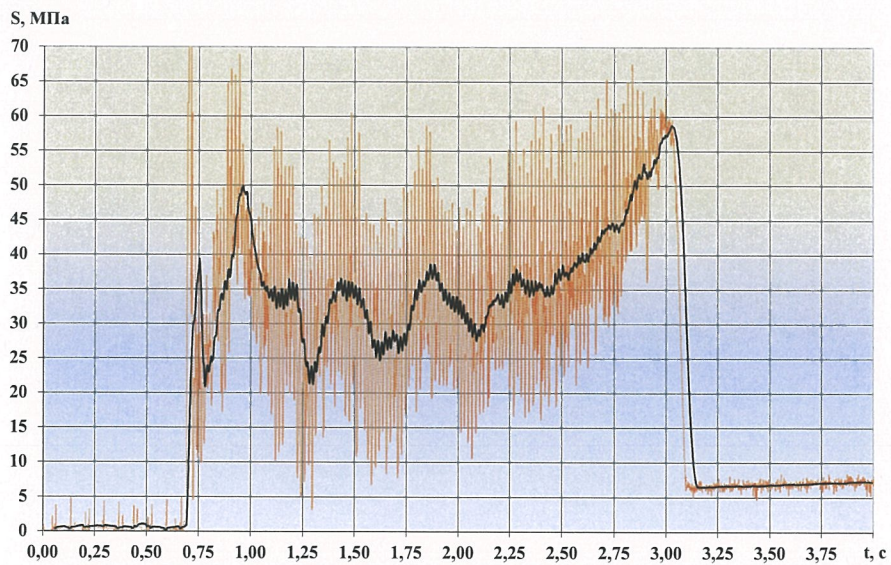


Рис. 8. Процес зміни динамічних напружень у башмаку при накатуванні вагона на площадці

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Осьові натиснення на башмак в залежності від осьової сили вантажного вагона в межах (23,5 – 30) тс/вісь перераховувалися виходячи з лінійної залежності маси вагона та осьового натиснення на башмак, результати яких наведені на рис. 9.

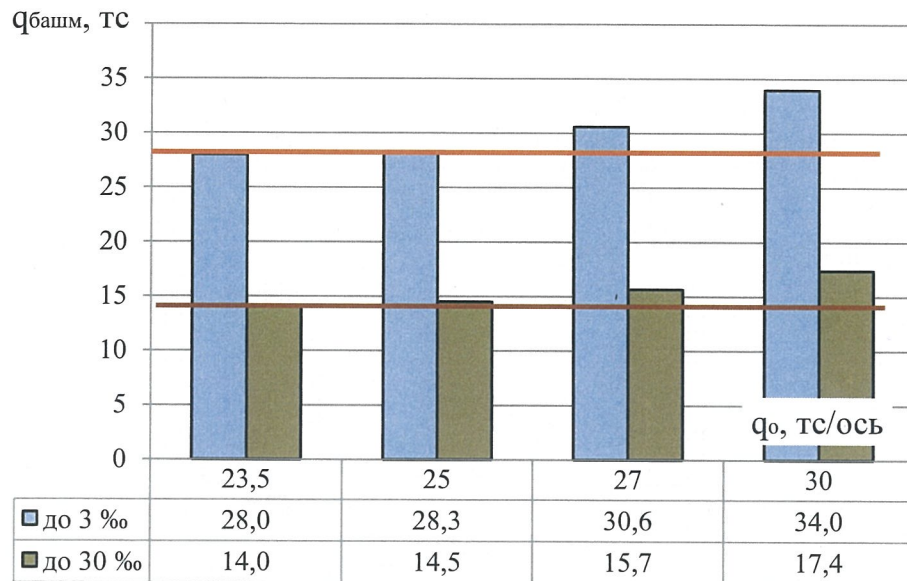


Рис. 9. Осьове натиснення на гальмівний гірковий башмак залежно від осьової сили вантажного вагона

### Висновки.

На підставі виконаних досліджень встановлено:

1. Взаємодія вагона і башмака характеризується складним коливальним процесом, який містить низькочастотні та високочастотні складові амплітуд напружень.
2. За певних умов температурні напруження можуть перевищити динамічні.
3. Максимальні осьові навантаження для даної конструкції башмака не перевищують 26 тс та 13 тс відповідно на ухилах до 3 ‰ і 30 ‰ [3].
4. Максимальні динамічні напруження в башмаку зафіксовані при накочуванні вагона на башмак зі швидкістю 6 км/год.
5. Осьове натиснення на гальмівний гірковий башмак зі збільшенням осьового навантаження вагона перевищуватиме нормовані значення.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Стояночные тормозные башмаки для закрепления подвижного состава на станционных путях. Полигонные испытания / Д.П. Марков., И.Н. Воронин, Н.П. Шипулин, В.И. Маршев, А.В. Сухов, М.В. Забавина, В.В. Гузанов, А.В. Куминов. Вестник ВНИИЖТ. 2016. Т. 75. №5. С. 308–317.
2. Расширенные эксплуатационные испытания железнодорожных тормозных горочных башмаков новой конструкции / М. В. Забавина, Д.П. Марков, С.А. Сапожников, Ж.Г. Воробьева, И.Н. Воронин, В.И. Маршев. Вестник ВНИИЖТ. 2015. № 4. с. 33-38.
3. ТУ У 35.2-05786152-065-2003. Башмак гальмовий гірковий. Технічні умови. Введ. 05.06.2003. Київ. 26 с.

4. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. М.: Машиностроение, 1985. 203 с.
5. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. М.: "Высшая школа", 1988. 178 с.
6. Закс Лотар. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976.
7. Тензометрия. Политехнический словарь / Ишлинский А. Ю. и др.. 3 изд., перераб. и доп. М.: Советская энциклопедия, 1989. С. 523-656 с.

### ***O.M. Safronov***

State Enterprise "Ukrainian Research Railway Car Bulding Institute"  
33 I. Prikhodka Str, Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine.  
Tel.: +380 536(6) 60324, E-mail: safronov.am84@gmail.com  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5865-7751>

### ***Y.Y. Vodiannikov***

State Enterprise "Ukrainian Research Railway Car Bulding Institute"  
33 I. Prikhodka Str, Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine.  
Tel.: +380 536(6) 60324, E-mail: vodyann@i.ua  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6111-7128>

### ***K.L. Zhikhartsev***

State Enterprise "Ukrainian Research Railway Car Bulding Institute"  
33 I. Prikhodka Str, Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine.  
Tel.: +380 536(6) 60324, E-mail: kostyakremenchuk@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8981-6369>

## STUDY OF THE DYNAMIC LOADING OF THE HUMP BRAKE SHOES DURING INTERACTION WITH ROLLING STOCK

*The studies concern brake hump shoes designed for braking freight and other types of railway cars on marshalling yards, foothill tracks, shunting hoods and half-hills, and can also be used at these facilities as a fixing shoe. It is shown that increasing the operational reliability of shoes in the conditions of increasing axial loads of freight cars requires a deeper analysis of the study of its strength. The results of studies of the interaction of the hump shoe and the car both on the site and on slopes of 3 ‰ and 30 ‰ are presented. Statistical characteristics of axial forces acting on the shoe are given. It is shown that with an increase in the mass (axial load) of a freight car, the axial pressure on the brake shoe may exceed the maximum allowable values. It has been established that the interaction of the car and the shoe is characterized by a complex oscillatory process of the shoe, which contains both low-frequency and high-frequency components of stress changes in the structure. The maximum dynamic stresses in the shoe were recorded when the car rolled onto the shoe at a speed of 6 km/h on a descent of 3 ‰. Histograms of the distribution of axial pressings on the shoe and their empirical probabilities, as well as statistical characteristics are given. Features of stress*



*changes depending on the forces that act in operation are presented in the form of diagrams. Shows the types of major damage to the brake hump shoes in operation.*

**Keywords:** *brake hump shoe, damage, axial pressure, histogram, empirical probability, statistical characteristics, stresses.*

### REFERENCES

1. Markov D.P., Voronin I.N., Shipulin N.P., Marshev V.I., Suhov A.V., Zabavina M.V., Guzanov, A.V. Kuminov V.V. (2016). Stoyanochnye tormoznye bashmaki dlya zakrepleniya podvizhnogo sostava na stacionnyh putyah. Poligonnye ispytaniya [Parking brake shoes for securing the rolling stock on the station tracks. Field tests]. *Vestnik VNIIZhT – Bulletin VNIIZhT*. (Vols. 75), 5, 308–317 [in Russian]
2. Zabavina M. V., Markov D.P., Sapozhnikov S.A., Vorobyova Zh.G, Voronin I.N., Marshev V.I. (2015). Rasshirennye ekspluatatsionnye ispytaniya zheleznodorozhnyh tormoznyh gorochnyh bashmakov novej konstrukcii [Extended performance testing of new design railway hump shoes]. *Vestnik VNIIZhT - Bulletin VNIIZhT*, 4, 33-38[in Russian]
3. Bashmak halmovyi hirkovyi. Tehnichni umovy [Hump brake shoe. Specifications]. TU U 35.2-05786152-065-2003 from 5-th June 2003 [in Ukrainian]
4. Stepnov M.N. (1985). Statisticheskie metody obrabotki rezultatov mehanicheskikh ispytaniy: Spravochnik [Statistical methods for processing the results of mechanical tests: Handbook. Moscow: Mashinostroenie [in Russian]
5. Lvovskij E.N. (1988). Statisticheskie metody postroeniya empiricheskikh formul [Statistical methods for constructing empirical formulas]. Moscow: "Vysshaya shkola" [in Russian]
6. Lotar Zaks. Statisticheskoe otsenivanie [Statistical evaluation]. (1976). Moscow: Statistika [in Russian]
7. Ishlinskij A. Yu. (1989). Tenzometriy. Politehnicheskij slovar [Tensometry. Polytechnic Dictionary] (3-d ed., rev.), 523. 656. Moscow: Sovetskaya enciklopediya [in Russian].