

И. А. Яицков, П. А. Поляков, Е. С. Федотов, Р. С. Тагиев, Р. Н. Дедусенко

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ТОРМОЖЕНИЯ СИЛОВЫХ УСТРОЙСТВ БАРАБАННО-КОЛОДОЧНОГО ТИПА

Аннотация. В статье представлены результаты моделирования развиваемого тормозного момента тормоза на основе дифференциации тормозных колодок по моменту включения и продолжительности взаимодействия с рабочей поверхностью диска. Исследована взаимосвязь между поперечным перемещением тормозной колодки и развиваемым тормозным моментом силового устройства барабанно-колодочного типа, являющегося двухмассовой колебательной системой (тормозная колодка – прижимающий элемент). На основании стендовых испытаний тормозных устройств барабанно-колодочного типа с разным количеством сегментных тормозных колодок доказан рост силовых факторов и показателей стабильности у силовых устройств с шестью прижимающими элементами относительно серийной конструкции тормоза: коэффициент стабилизации тормозного момента силового устройства с шестью сегментными колодками увеличился на 9,4 % относительно серийного тормозного устройства; коэффициент колебаний тормозного момента силового устройства с шестью сегментными накладками увеличился на 45,1 % относительно серийного тормозного устройства.

Ключевые слова: торможение, сегментные колодки, прижимающий элемент, поперечное перемещение, тормозной момент.

Для цитирования: Обеспечение стабильности торможения силовых устройств барабанно-колодочного типа / И. А. Яицков, П. А. Поляков, Е. С. Федотов [и др.] // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 2. – С. 194–199. – DOI 10.46973/0201-727X_2024_2_194.

Введение

Целью исследования [1] являлась оценка точности расчетов и эффективности основанного на искусственной нейронной сети метода важной выборки (*ANN-IS*) надежности конструкций, таких как барабанные тормоза. В данном исследовании использовались два типа *ANN* – нейронная сеть с радиальной базисной функцией (*RBF*) и нейронная сеть обратного распространения (*BP*). Методы *RBF-IS* и *BP-IS* использовались для проведения анализа надежности на обучающих выборках трех различных размеров, и результаты сравнивались с несколькими методами анализа надежности, основанными на *ANN*. Результаты, полученные при использовании метода *RBF-IS*, показали достаточную сходимость с результатами моделирования, выполненного с помощью метода Монте-Карло. Кроме того, метод *RBF-IS* обладал лучшей эффективностью расчетов, чем другие методы, рассмотренные в этом исследовании. В диссертации [2] рассматривались две многомерные модели, в которых величина коэффициента демпфирования, как и местоположение демпфирующих элементов, определены в качестве ключевых факторов стабильности. Кроме того, воспроизводился дестабилизирующий эффект демпфирования задней пластины тормоза, который сравним с действием прокладок. В работах [3, 4] предлагается рассматривать нагружение в паре взаимодействия колодочного тормоза согласно синусоидальному ($q = 1 + k\sin\Theta$) и косинусоидальному ($q = k\cos\Theta$) законам распределения нагрузки по длине колодки. Данная классификация не совсем точно подходит к различным конструктивным схемам устройств барабанно-колодочного типа. Согласно процессам износа, протекающим в период эксплуатации, неравномерность по длине накладки наблюдается во всех без исключения компоновках тормоза. Исследования [5], проводимые опытным путем, показали, что по мере эксплуатации тормозных устройств зоны повышенного износа могут смещаться относительно оси симметрии в сторону набегающей или сбегающей частей колодок. Таким образом, методы проектирования упрощают расчеты параметров узла, заменяя распределенную нагрузку по длинам колодок на сосредоточенные силы и искажая значение тормозного момента. Полученное значение тормозного момента не является средним, – это значение находится в некотором диапазоне. В работе [6] представлено влияние неравномерностей износа по площади колодки фрикционного узла на развиваемый тормозной момент. Полученные значения показали значительные колебания тормозного момента при наличии изменения по площади колодки. В работе [7] приводится методика проектирования тормозных устройств барабанно-колодочного типа на основе методов определения поло-

жения центра давления и структурно-параметрического синтеза. Взаимосвязь между поперечным перемещением тормозной колодки и развиваемым тормозным моментом силового устройства дисково-колодочного типа была рассмотрена в исследовании [8]. Изменение кривых поперечного перемещения колодки показало, что переход перемещения относительно оси абсцисс, представляющей рабочую поверхность диска в стационарном положении, в отрицательную область приводит к максимизации тормозного момента. Тогда как отскоки тормозной колодки от рабочей поверхности диска, попадание значений кривой в положительную область над осью абсцисс приводят к просадке тормозного момента.

Исходя из проанализированных исследований, необходимо рассмотреть влияние поперечных перемещений тормозных колодок на параметры эффективности и стабильности торможения при эксплуатации на тормозных устройствах других типов.

Основная часть

В качестве объекта исследований будет выступать тормозное устройство барабанно-колодочного типа с сегментными тормозными колодками под каждый прижимающий элемент. Отличием его от дисково-колодочного типа с сегментными тормозными колодками является двухмассовая колебательная система, состоящая из вращающихся относительно опор тормозных колодок и прижимающих элементов, встроенных в тела тормозных колодок, совершающих возвратно-поступательные перемещения (рис. 1).

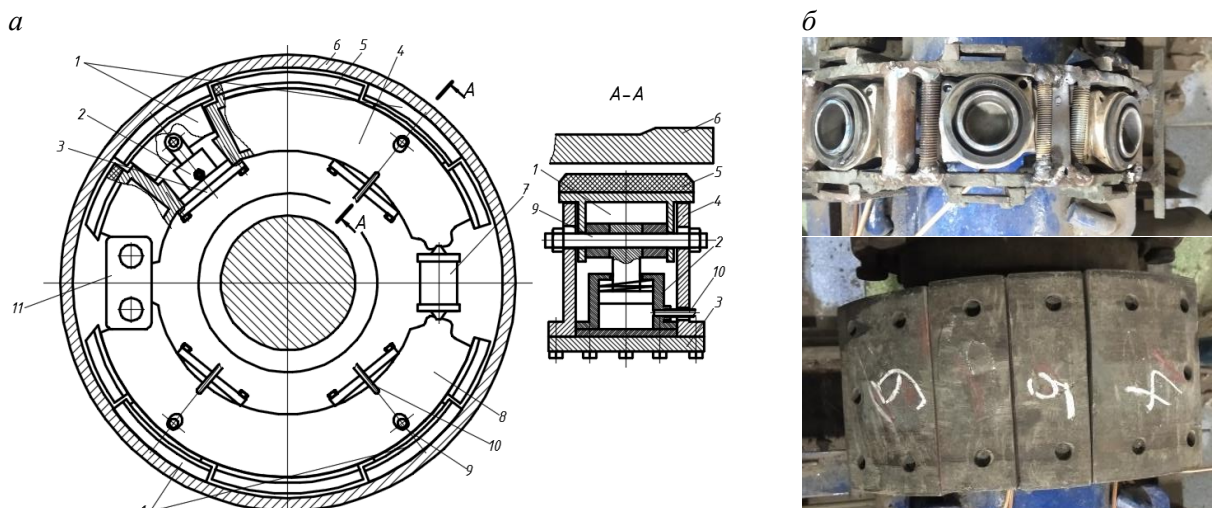


Рис. 1. Тормозное устройство барабанно-колодочного типа с сегментными колодками под каждый прижимающий элемент с гидравлическим приводом:

а – схема; *б* – испытательный образец; 1 – прижимающий элемент; 2 – гидроцилиндр привода прижимающих элементов; 3 – основание; 4 – самоприжимная колодка; 5 – накладка; 6 – обод барабана; 7 – гидроцилиндр привода колодок; 8 – самоотжимная колодка; 9 – ограничитель прижимающего элемента; 10 – трубопровод; 11 – опора колодок

Торможение обеспечивало взаимодействие рабочих поверхностей тормозного барабана *б* с колодками 4 и 8, которые приводятся в движение гидроцилиндром 7. В каждую из колодок встроены прижимающие элементы 1 с индивидуальными накладками 5. Приводом прижимающих элементов являлись гидроцилиндры 2, установленные на основаниях 3. Основания фиксировались в конструкции тормозных колодок с помощью резьбовых соединений. Для предотвращения радиального перемещения прижимающих элементов на каждом из них был установлен ограничитель 9, дающий возможность перемещаться прижимающему элементу параллельно ребрам тормозных колодок 4 и 8. Подача рабочего тела в гидроцилиндры обеспечивалась по трубопроводам 10. Параллельно рабочему гидроцилиндру 7 давление подавалось в гидроцилиндры прижимающих элементов 2.

Для моделирования результирующего тормозного момента были проведены замеры поперечного перемещения одной тормозной колодки и прижимающего элемента, и изменений тормозного момента при кратковременном взаимодействии (до 5 с). В результате наибольшее значение величины тормозного момента достигалось в конце кратковременного режима торможения при перемещении тормозной колодки и прижимающего элемента к поверхности тормозного барабана. Моделируя процессы перемеще-

ния тормозных колодок с индивидуальными прижимающими элементами, получили диаграммы суммарных перемещений силовых устройств барабанно-колодочного типа с четырьмя, пятью и шестью прижимающими элементами при циклическом взаимодействии (рис. 2).

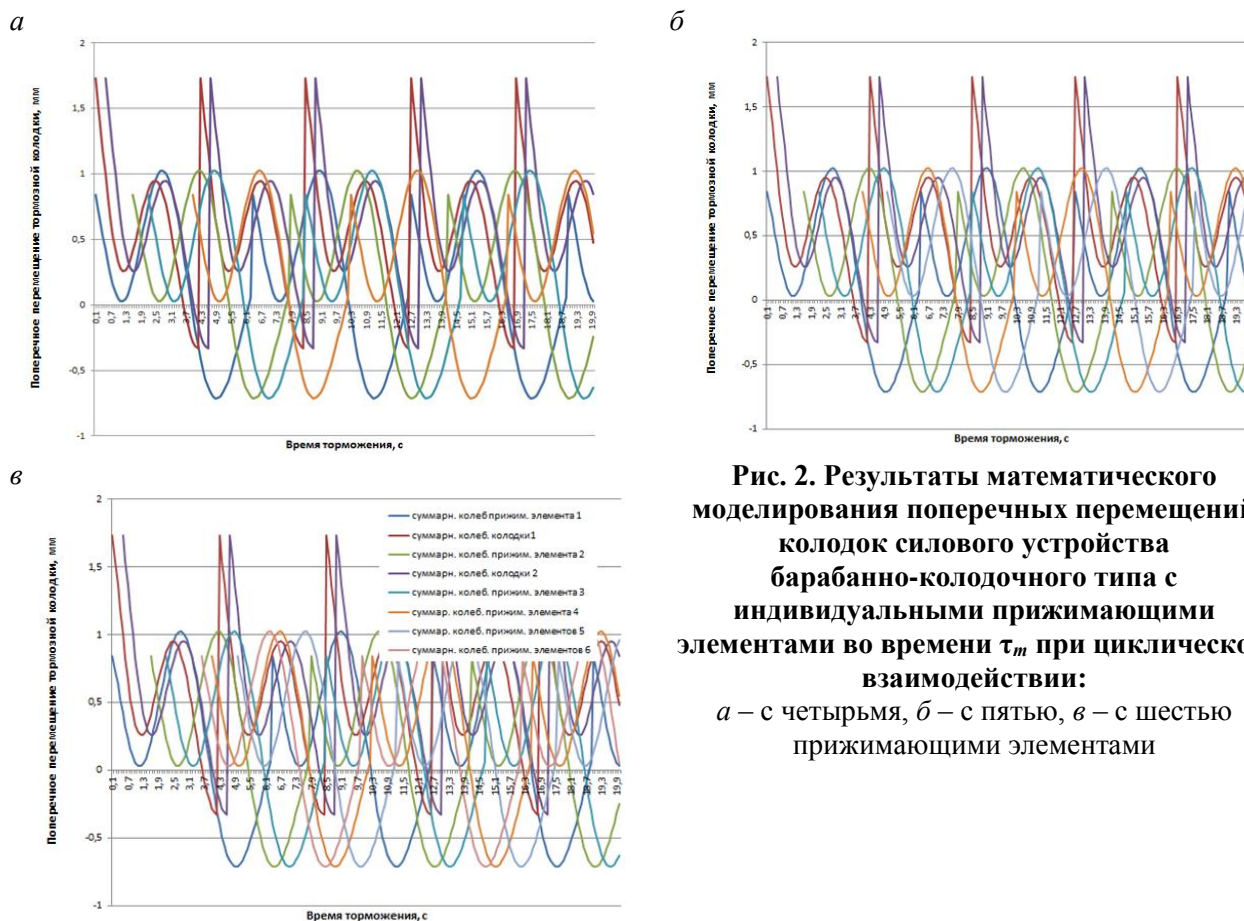


Рис. 2. Результаты математического моделирования поперечных перемещений колодок силового устройства барабанно-колодочного типа с индивидуальными прижимающими элементами во времени τ_m при циклическом взаимодействии:
а – с четырьмя, б – с пятью, в – с шестью прижимающими элементами

Аналогичным образом были смоделированы кривые тормозного момента при циклическом взаимодействии n -го количества прижимающих элементов в заданной последовательности. В результате были построены диаграммы тормозного момента для каждой из двух тормозных колодок и n -го количества прижимающих элементов во времени торможения, ограниченного диапазоном 20 с. Результаты моделирования представлены на рис. 3.

Контур вершин тормозного момента двух тормозных колодок и n -го количества прижимающих элементов во времени торможения являлся результирующим тормозным моментом, развиваемым силовым устройством барабанно-колодочного типа (рис. 4).

Для оценки параметров стабильности торможения силового устройства, были использованы коэффициенты стабильности K_{CTi} и колебания тормозного момента $K_{КТМi}$. Индекс « i » обозначает количество прижимающих элементов тормоза.

Для апробации были проведены испытания тормозного момента силовых устройств барабанно-колодочного типа с разным количеством прижимающих элементов (рис. 5).

Полученные результаты стендовых испытаний силовых устройств барабанно-колодочного типа с сегментными колодками показали, что наилучшие значения тормозного момента и параметров его стабильности достигались при эксплуатации прижимающего механизма, оснащенного шестью элементами.

Для силового устройства барабанно-колодочного типа с шестью прижимающими элементами увеличение K_{CT} составило 9,4 % в сравнении с серийным устройством; в сравнении с силовым устройством с четырьмя сегментными колодками – 2,9 %; в сравнении силовым устройством с пятью сегментными колодками – 0,32 %. $K_{КТМ}$ силового устройства барабанно-колодочного типа с шестью прижимающими элементами увеличился в сравнении с серийным устройством на 45,1 %; в сравнении силовым устройством с четырьмя сегментными колодками – на 2,3 %; в сравнении с силовым устройством с пятью сегментными колодками – на 2,2 %. Отклонение по K_{CT} в среднем для трех вариантов силовых устройств относительно расчетного метода составило 4,9 %, а по $K_{КТМ}$ – 2,1 %.

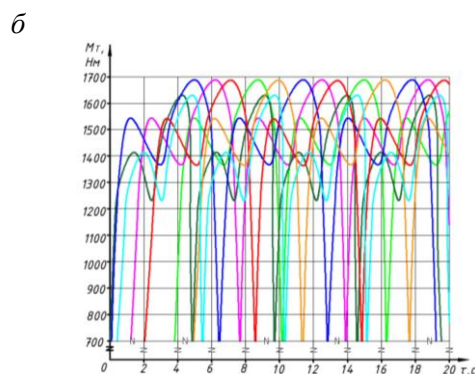
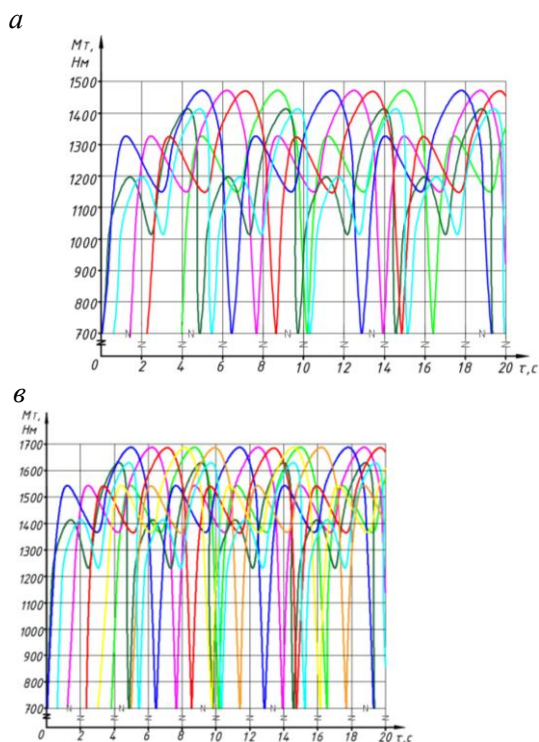


Рис. 3. Моделируемые диаграммы тормозного момента силовых устройств барабанно-колодочного типа во времени τ при циклическом взаимодействии: а – с четырьмя, б – с пятью, в – с шестью прижимающими элементами

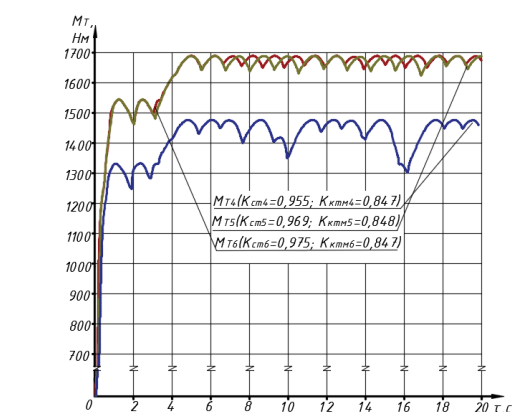


Рис. 4. Моделируемые диаграммы результирующего тормозного момента силовых устройств барабанно-колодочного типа во времени τ при циклическом взаимодействии:

а – с четырьмя, б – с пятью, в – с шестью прижимающими элементами

Заключение

На основе взаимосвязи перемещений колодок и тормозного момента был предложен способ обеспечения стабильности торможения двухмассовой системы на примере тормозных устройств барабанно-колодочного типа с различным количеством прижимающих элементов и сегментных тормозных колодок. На основе концепции тормозных устройств с сегментными тормозными колодками были построены диаграммы результирующего тормозного момента для тормозных устройств барабанно-колодочного типа с четырьмя, пятью и шестью прижимающими элементами, последние показали наилучшие характеристики стабильности и эффективности в сравнении с другими аналогами тормозных устройств. На основании стендовых испытаний тормозных устройств барабанно-колодочного типа с разным количеством сегментных тормозных колодок доказан рост силовых факторов и показателей стабильности у силовых устройств с шестью прижимающими элементами относительно серийной конструкции тормоза:

– коэффициент стабилизации тормозного момента силового устройства с шестью сегментными колодками увеличился на 9,4 % относительно серийного тормозного устройства;

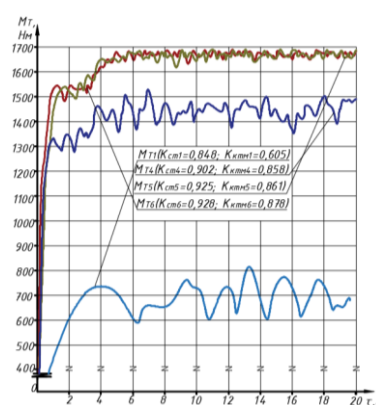


Рис. 5. Диаграммы развиваемого тормозного момента силовых устройств с сегментными колодками в зависимости от количества прижимающих элементов и серийных устройств барабанно-колодочного типа

– коэффициент колебаний тормозного момента силового устройства с шестью сегментными накладками увеличился на 45,1 % относительно серийного тормозного устройства.

Список литературы

- 1 **Yang, Z.** Vibration reliability analysis of drum brake using the artificial neural network and important sampling method / Z. Yang, U. Pak, C. Kwon // Complexity. – 2021. – 14 p. – DOI 10.1155/2021/5517634.
- 2 **Jekel, D.** Optimization of Damping in Self-Excited Mechanical Systems : dissertation of the Doctor of Engineering Sciences. – Darmstadt, 2018. – 140 p.
- 3 Барабанно-колодочные тормозные устройства : монография. Т. 1. / А. А. Петрик [и др.]. – Краснодар : КубГТУ, 2006. – 264 с. – ISBN 5-8339-0257-9.
- 4 **Велизаде, Э. С.** Оптимальное проектирование фрикционной пары тормозного механизма с равномерным давлением / Э. С. Велизаде // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. – 2020. – № 3 (45). – С. 80–88.
- 5 **Пятаков, В. Г.** Исследование влияния радиального биения барабана на работу автомобильного колодочного тормоза : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пятаков Владимир Георгиевич. – Омск, 1974. – 154 с.
- 6 **Поляков, П. А.** Влияние амплитуд поперечных перемещений тормозных колодок на развиваемый дисково-колодочным тормозом тормозной момент / П. А. Поляков // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 3 (87). – С. 55–63. – DOI 10.46973/0201-727X_2022_3_55.
- 7 **Поляков, П. А.** Методика проектирования тормозного механизма барабанно-колодочного типа / П. А. Поляков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 8. – С. 334–342. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-8-334-343.
- 8 **Поляков, П. А.** Разработка способа обеспечения стабильности процесса торможения путем совершенствования конструкции тормозных механизмов / П. А. Поляков // iPolytech Journal. – 2023. – Т. 27, № 4. – С. 682–693. – DOI 10.21285/1814-3520-2023-4-682-693.

References

- 1 **Yang, Z.** Vibration reliability analysis of drum brake using the artificial neural network and important sampling method / Z. Yang, U. Pak, C. Kwon // Complexity. – 2021. – 14 p. – DOI 10.1155/2021/5517634.
- 2 **Jekel, D.** Optimization of Damping in Self-Excited Mechanical Systems : dissertation of the Doctor of Engineering Sciences. – Darmstadt, 2018. – 140 p.
- 3 Drum-pad brake devices : monograph. Vol. 1. / A. A. Petrik [et al.]. – Krasnodar : KubSTU, 2006. – 264 p. – ISBN 5-8339-0257-9.
- 4 **Velizade, E. S.** Optimal design of a friction pair of a brake mechanism with uniform pressure / E. S. Velizade // I. Ya. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University Bulletin. – 2020. – No. 3 (45). – P. 80–88.
- 5 **Pyatakov, V. G.** Investigation of the effect of radial drum beating on the operation of an automobile shoe brake : dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Pyatakov Vladimir Georgievich. – Omsk, 1974. – 154 p.
- 6 **Polyakov, P. A.** The influence of the amplitudes of transverse movements of brake pads on the braking torque developed by a disc brake / P. A. Polyakov // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2022. – No. 3 (87). – P. 55–63. – DOI 10.46973/0201-727X_2022_3_55.
- 7 **Polyakov, P. A.** Method of designing a drum-and-pad type brake mechanism / P. A. Polyakov // Izvestiya Tula State University. Technical sciences. – 2022. – No. 8. – P. 334–342. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-8-334-343.
- 8 **Polyakov, P. A.** Determination of the position of the pressure center in the system “clamping element – brake pad – brake disc” / P. A. Polyakov // iPolytech Journal. – 2023. – Vol. 27, No. 4. – P. 682–693. – DOI 10.21285/1814-3520-2023-4-682-693.

I. A. Yaitsov, P. A. Polyakov, E. S. Fedotov, R. S. Tagiev, R. N. Dedusenko

ENSURING THE STABILITY OF BRAKING POWER DEVICES DRUM AND SHOE TYPE

Abstract. The paper presents the results of modeling the developed braking torque of the brake based on the differentiation of brake pads by the moment of activation and the duration of interaction with the disc working surface. The relationship between the transverse movement of the brake pad and the developed braking torque of a drum-and-pad type power device, which is a two-mass oscillatory system (brake pad is a clamping element), is investigated.

Based on bench tests of drum-and-pad type braking devices with a different number of segment brake pads, an increase in power factors and stability indicators for power devices with six clamping elements relative to the serial brake design was proved: the coefficient of stabilization of the braking torque of a power device with six segment pads increased by 9.4 % relative to the serial brake device; the coefficient of vibration of the braking torque of the power device with six segment pads increased by 45.1 % relative to the serial braking device.

Keywords: braking, segment pads, clamping element, transverse displacement, braking torque.

For citation: Ensuring the stability of braking power devices drum and shoe type / I. A. Yaitskov, P. A. Polyakov, E. S. Fedotov [et al.] // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2024. – No. 2. – P. 194–199. – DOI 10.46973/0201–727X_2024_2_194.

Сведения об авторах

Яицков Иван Анатольевич

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС), кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство», доктор технических наук, профессор, декан электромеханического факультета, e-mail: yia@rgups.ru

Поляков Павел Александрович

Кубанский государственный технологический университет (КубГТУ), кафедра «Транспортные процессы и технологические комплексы», кандидат технических наук, доцент, e-mail: polyakov.pavel88@mail.ru

Федотов Евгений Сергеевич

Кубанский государственный технологический университет (КубГТУ), кафедра «Транспортные процессы и технологические комплексы», старший преподаватель, e-mail: avtoru2009@mail.ru

Тагиев Руслан Суфудинович

Кубанский государственный технологический университет (КубГТУ), кафедра «Транспортные процессы и технологические комплексы», аспирант, e-mail: usytagiev@mail.ru

Дедусенко Роман Николаевич

Кубанский государственный технологический университет (КубГТУ), кафедра «Транспортные процессы и технологические комплексы», магистрант, e-mail: roma.dedusenko@mail.ru

Information about the authors

Yaitskov Ivan Anatolievich

Rostov State Transport University (RSTU), Chair «Car and Car Facilities», Doctor of Engineering Sciences, Professor, Dean of the Electromechanical Faculty, e-mail: yia@rgups.ru

Polyakov Pavel Alexandrovich

Kuban State Technological University (KubSTU), Chair «Transport Processes and Technological Complexes», Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, e-mail: polyakov.pavel88@mail.ru

Fedotov Evgeny Sergeevich

Kuban State Technological University (KubSTU), Chair «Transport Processes and Technological Complexes», Senior Lecturer, e-mail: avtoru2009@mail.ru

Tagiev Ruslan Sufudinovich

Kuban State Technological University (KubSTU), Chair «Transport Processes and Technological Complexes», Postgraduate Student, e-mail: usytagiev@mail.ru

Dedusenko Roman Nikolayevich

Kuban State Technological University (KubSTU), Chair «Transport Processes and Technological Complexes», Master`s Degree Student, e-mail: roma.dedusenko@mail.ru