

Д.Г. Мясищев, С.П. Горбатов, А.С. Вашуткин, А.С. Лоренц

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА ВНОВЬ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ С УЧЕТОМ ИННОВАЦИОННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ

Введение. Рабочие процессы функционирования многих транспортно-технологических машин изучаются издавна, и в этой области накоплен значительный теоретический и практический опыт. В любом предприятии имеются многочисленные виды машин, механизмов и оборудования, действующих в пусковых и тормозных режимах. Это обстоятельство указывает на особую роль, которая отводится исполнительным системам и устройствам, реализующим данные эксплуатационные режимы, в частности тормозным механизмам. В лесном комплексе имеется значительный перечень колесных транспортно-технологических машин, например лесовозные автомобили, автолесовозы, многочисленная линейка внутризаводского погрузочного транспорта. С учетом данной специфики для получения максимальной эксплуатационной эффективности системы транспортно-технологических машин лесного комплекса необходимо наиболее адаптированно к реальному явлению решать вопросы рационального обоснования их конструктивных параметров и характеристик. В полной мере это относится и тормозным системам, а также их компонентам, что является основой безопасной эксплуатации и максимальной производственной отдачи рассматриваемой техники.

Цель данной работы – обобщение многочисленных итогов работ в направлении повышения эффективности тормозных систем транспортно-технологических машин для последующего прогнозирования ресурса вновь проектируемых тормозных механизмов с учетом инновационных инженерных решений на уровне изобретений.

Методика исследования. В основе представленных далее результатов экспериментальных исследований – техническое решение «Способ циркуляции воздуха при подаче его под давлением на фрикционные поверхности тормозного механизма в процессе торможения и устройство для его осуществления» [Мясищев, Вашуткин, Швецов, 2017]. Суть этого изобрете-

ния состоит в том, что в процессе торможения обеспечивается такая циркуляция воздуха в тормозном механизме колеса, что при сближении колодки и барабана реализуется его подача под давлением на фрикционные поверхности тормозного механизма. Конструктивно это происходит в пространстве между элементами фрикционной пары из штуцеров, установленных в несущем элементе фрикционной накладки по нормали к ее образующей. Процесс имеет место в ходе перемещения фрикционной накладки к сопрягаемому с ней фрикционному элементу тормоза. При этом зазор в механизме изменяется от исходной величины до нуля. Показано, что текущее во времени торможения изменение данного зазора на пути циркуляции воздуха из атмосферы через пневмосистему обратно в исходную внешнюю среду проявляет себя как аналог соплу Лаваля с переменными во времени поперечными относительно оси сопла сечениями на протяжении ширины накладки. Это обеспечивает: ускорение потока воздуха в указанном переменном зазоре до сверхзвуковых скоростей с числом Маха > 1 ; возникновение характерного соплу Лаваля явления разряжения в текущем во времени зазоре. Все это предположительно позволит в тормозном механизме обеспечить следующие положительные эффекты: увеличить тормозную силу в механизме; снизить интенсивности фрикционных автоколебаний; уменьшить звуковые проявления процесса торможения [Мясищев, 2016]; снизить интенсивность износа фрикционной пары; поддерживать во фрикционной паре требуемую силу прижатия, с одновременным снижением рабочего давления, а значит и энергопотребления на участке циркуляции сжатого воздуха для привода в действие устройств перемещения элемента с фрикционной накладкой, а значит и всего пневмопривода тормоза, при прочих равных условиях. Кроме того, уменьшится температура фрикционных поверхностей с одновременным выносом продуктов износа, влаги и других нежелательных компонентов трибологического процесса в тормозе.

Не вызывает сомнения, что декларируемые «авансом» положительные эффекты от предлагаемого изобретения весьма серьезны. В итоге следует, что они требуют так или иначе экспериментального подтверждения для возможного практического использования найденного технического решения на реальных машинах в перспективе. Таким образом, требовалось провести комплексные экспериментальные исследования в рамках задач с предполагаемыми указанными выше возможными положительными эффектами от использования данного технического решения.

Первым шагом в намеченном исследовательском процессе является работа [Вашуткин, 2011]. Для проведения эксперимента здесь выбран ав-

томобиль ЗИЛ-ММЗ, так как у него тормозные механизмы имеют конструктивные особенности, схожие с устройством аналогичных компонентов тормозных систем, например порталных автолесовозов, лесовозов на базе автомобилей МАЗ, КАМАЗ, КрАЗ, УРАЛ. Объектом экспериментального исследования являлись его тормозные механизмы задних ведущих колес, как наиболее теплонпряженные, поскольку большая часть массы данного автомобиля приходится на его заднюю ось. В один из задних тормозных механизмов подводился сжатый воздух, который через систему воздухопроводов и штуцеров циркулировал между тормозным барабаном и тормозной колодкой в процессе торможения.

В качестве оптимизационной задачи требовалось варьировать давлением подаваемого воздуха P_v к тормозным механизмам и диаметрами подводящих отверстий в штуцерах колодки d_o , для достижения максимальной тормозной силы.

Для изменения внутренних отверстий штуцеров, установленных в тормозную колодку, были изготовлены втулки (вставки) из текстолита. Эти вставки монтируются в тормозную накладку и согласно плану эксперимента имеют определенный ряд диаметров внутренних отверстий.

С целью уменьшения количества весьма дорогих и трудоемких стендовых опытов за основу были приняты униформ-ротатбельные композиционные планы второго порядка (план Бокса–Хантера).

Прямым показателем измерения, оценивающим косвенные показатели, являлась тормозная сила P_t , Н, которая измерялась при помощи компьютеризированного однорамного тормозного стенда с экраном «люкс» 28», 15T / 2* 11кВ / 44803, мод. 7515 –М 11FP NORD + 102561, фирмы «Muller-BEN», сер. №330. Данный стенд позволяет регистрировать тормозную силу графически, сопоставляя на графике ее значение на правом и левом (экспериментальном) колесах (рис. 1).

На основании полученных экспериментальных данных был сделан следующий основополагающий вывод: для достижения максимальных значений коэффициента трения f тормозного механизма, а значит, и тормозной силы, следует обеспечить оптимальные параметры исследуемой тормозной системы следующих значений: $P_v = 0,66$ МПа, $d_o = 7,1$ мм.

Следует отметить, что обоснованный экстремальный показатель тормозного механизма, в свою очередь, оптимизирует такие важные косвенные величины, как коэффициенты эффективности и относительной чувствительности тормоза.



Рис. 1. Графическое изображение тормозных сил правого и левого (экспериментального, красный график) колес автомобиля

Fig. 1. Graphic representation of the automotive right- and left-hand (experimental, red diagram) wheel braking forces

Подтвержденный экспериментально основной положительный эффект, тем не менее, не раскрывает полной картины исследуемого процесса. В частности, некоторые положительные эффекты скрыты в конкретных конструктивных решениях. Так, например, априори можно предполагать, что уменьшение температуры фрикционных поверхностей с одновременным выносом продуктов износа, влаги и других нежелательных компонентов трибологического процесса в тормозе зависит от характера рисунка на фрикционных поверхностях. Эта составляющая задача анализируемого комплексного исследования решается в работе [Лоренц, 2017].

В данном экспериментальном исследовании основной задачей являлось нахождение оптимального соотношения диаметра отверстий втулок и геометрического рисунка фрикционной накладкой при подводе сжатого воздуха между накладкой тормозной колодки и тормозным барабаном транспортно-технологической машины.

Принципиальная схема экспериментальной установки тормозного стенда [Лоренц, Мясищев, 2017] для проведения эксперимента показана на рис. 2.

Имитатор исследуемого самоходного шасси представляет собой балку моста с закрепленными на ее цапфах колесами с экспериментальными тормозными механизмами. Балка жестко закреплена на раме стенда с возможностью изменять усилие прижатия колес к роликам тормозного стенда.

В процессе воздействия на тормозной привод имитатора балки моста тормозная сила механизма через механическую связь будет передавать усилие на чувствительный элемент стенда. В зону фрикционного контакта одного тормозного механизма требуется производить подачу сжатого воздуха в соответствии с [Мясищев, Вашуткин, Швецов, 2017], в то время как второй остается без каких-либо изменений.



Рис. 2. Принципиальная схема экспериментальной установки тормозного стенда

Fig. 2. Experimental brake gear test bench schematic diagram

В качестве варьируемых конструктивных характеристик экспериментального тормозного механизма были выбраны диаметр подводящих отверстий во фрикционной накладке d_0 и рисунок фрикционной накладки.

Выходной величиной при испытаниях служил тормозной момент (коэффициент тормозной силы) колес балки моста, по величине которого допускается косвенно делать заключение о коэффициенте тормозной эффективности.

Оценочными показателями, определяющими физику процесса взаимодействия факторов истечения сжатого воздуха, являлись:

- коэффициент тормозной силы при давлении воздуха во вставных втулках, равном 0 МПа;

- коэффициент тормозной силы при давлении воздуха, равном 0,6 МПа;
- эффективность тормозного привода с добавочным согласно техническому решению контуром, выраженная в процентном соотношении.

Для реализации визуального отображения сигналов с чувствительного элемента экспериментальной установки было произведено его подключение к персональному компьютеру с использованием аналого-цифрового преобразователя.

В качестве аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразователя использовался модуль ZET 210, разработанный ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы».

За чувствительный элемент, закрепленный на конструктивно рессорно-пружинной стали 50ХГФА экспериментальной установки, были взяты датчики сопротивления (тензорезистор) типа ТКБ.

Эксперимент подтвердил, что независимо от геометрических размеров колодочного тормозного механизма при давлении подачи в его зазор сжатого воздуха 0,6 МПа максимум тормозной силы обеспечивается при системе выходных отверстий втулок $d = 7$ мм, что подтверждает и расширяет область полученных результатов в работе [Вашуткин, 2011].

Эксперимент показал, что наиболее эффективными для повышения тормозной силы являются прямолинейные продольные колодке геометрические рисунки в виде канавок глубиной 1 мм (рис. 3).



Рис. 3. Колодка с прямолинейными продольными геометрическими рисунками на накладке

Fig. 3. The brake block with geometrically designed straight-line longitudinal elements on the brake lining

Вышеизложенные экспериментальные исследования касались исключительно функциональных особенностей исследуемого процесса действия колесного тормоза в рамках технического решения [Мясищев, Вашуткин, Швецов, 2017]. Однако принципиально важное значение имеет эксплуатационный аспект данного явления. В частности, это относится к экспериментальному исследованию на изнашивание фрикционных пар тормозных механизмов транспортных машин, а значит и на их ресурс (долговечность) [Горбатов, Мясищев, Вашуткин, 2020].

Это направление исследований представлено в работе по экспериментальному определению степени износа фрикционных поверхностей тормозного механизма [Горбатов, Вашуткин, Мясищев, 2020]. Были разработаны программа и методика проведения исследовательских испытаний. При этом в качестве экспериментальной установки целесообразным решением было использовать указанный стенд (см. рис. 2) после некоторых его конструктивных модернизаций. Объект экспериментального исследования в этой работе – тормозные механизмы барабанного типа при подводе к ним сжатого воздуха. Предмет исследования – процесс изнашивания фрикционных поверхностей данных тормозных механизмов. В результате данного исследования предполагалось получить экспериментальные зависимости степени износа фрикционных поверхностей тормозного механизма при подаче сжатого воздуха между тормозными колодками и тормозным барабаном в процессе торможения от выбранных переменных факторов.

С учетом изложенного в качестве варьируемых конструктивных параметров, определяющих процесс изнашивания фрикционных поверхностей тормозного механизма, приняты следующие варьируемые факторы: давление жидкости в тормозной системе $p_{\text{ж}}$ (МПа), влияющее на величину нормального давления в фрикционной системе «тормозная колодка–тормозной барабан», и частота повторений (срабатываний) на рабочем органе привода тормоза ν , определяющая характер приложения нагрузки.

Измеряемой величиной при испытаниях принят износ фрикционных накладок тормозных колодок (в граммах) как экспериментального, так и штатного тормозного механизма. По величине износа можно будет судить о влиянии решения [Мясищев, Вашуткин, Швецов, 2017] на процесс изнашивания тормоза.

Частоты повторений (срабатываний) на рабочем органе ν были оценены по практическим замерам на фронтальном погрузчике Volvo WHEEL

LOADER L180G. Опыты проводились с частотой повторений (срабатываний) на рабочем органе 156, 176, 196, 216.

Для проведения измерений износа тормозных колодок использовались профессиональные прецизионные электронные весы SHIMADZU UW-620H.

Данные опытов обрабатывались методами математической статистики.

На рис. 4 показана графическая зависимость износа I , г, прижимной экспериментальной $I_{\text{эк 1приж}}$ и прижимной штатной $I_{\text{1приж}}$ колодок.

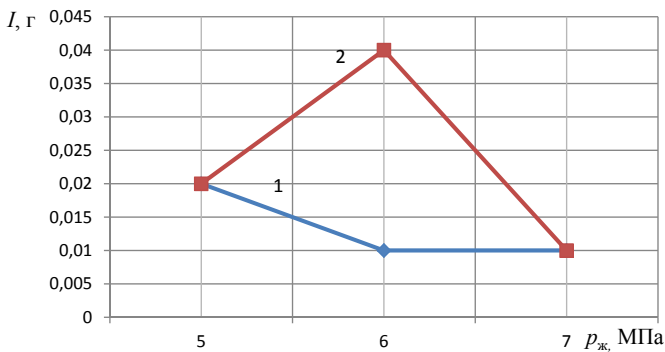


Рис. 4. Графическая зависимость износа I , г, прижимной экспериментальной $I_{\text{эк 1приж}}$ (1) и прижимной штатной $I_{\text{1приж}}$ (2) колодок от давления жидкости в тормозной системе станда $p_{\text{ж}}$ при постоянной частоте повторений на рабочем органе $\nu = 216$

Fig. 4. Graphical dependence of wear I , gr, of the experimental pressure brake shoe $I_{\text{эк 1приж}}$ (1) and of the non-experimental pressure brake shoe $I_{\text{1приж}}$ (2) on the fluid pressure in the brake system $p_{\text{ж}}$ with constant number of repetitions in the working body $\nu = 216$

Анализ графика показал, что износ I , г, прижимной экспериментальной $I_{\text{эк 1приж}}$ колодки оказался ниже (на 43 %), чем прижимной $I_{\text{1приж}}$ штатной колодки при давлении жидкости в тормозной системе станда $p_{\text{ж}}$ в диапазоне от 5 до 7 МПа, при постоянной частоте повторений на рабочем органе $\nu = 216$. Полученные экспериментальные результаты в проведенных опытах показали, что использование технического решения [Мясищев, Вашуткин, Швецов, 2017] в реальных условиях позволит в среднем снизить износ фрикционных поверхностей до 43%, по сравнению с фрикцион-

ными поверхностями штатного тормозного механизма транспортно-технологической машины.

Результаты исследования. Полученные результаты экспериментальных исследований важны с точки зрения подтверждения предпосылок технического решения [Мясищев, Вашуткин, Швецов, 2017]. С другой стороны, требуется результат, обобщающий изложенные экспериментальные предпосылки. Для решения этой обобщающей задачи предлагается следующий эвристический подход.

Прежде всего, предположим, что тормозные колодочные механизмы экспериментального стенда (рис. 2) и некоторого погрузчика, например, аналогичного Volvo WHEEL LOADER L180G, имеют схожее устройство. В качестве рабочей гипотезы принимаем, что имеет место действие первая теорема подобия [Ногид, 1959]. А именно: справедливы следующие положения.

Пусть из представленного выше описания экспериментальных исследований определяются следующие коэффициенты, определим их как коэффициенты износа:

$$K_{1з} = \frac{I_{1з}}{M_{1з0}}; \quad (1)$$

$$K_{2з} = \frac{I_{2з}}{M_{2з0}}, \quad (2)$$

где $I_{1з}$ – суммарный износ накладки тормоза стенда для тормоза штатного колеса, например при $v = 216$ и некотором давлении в гидроприводе тормозов, г; $I_{2з}$ – суммарный износ накладки тормоза стенда для тормоза экспериментального колеса при аналогичных условиях, г; $M_{1з0}$ – масса новой, установленной перед опытами накладки тормоза как для штатного, так и экспериментального колес соответственно, г.

Индекс 1 относится к случаю штатного колеса, индекс 2 при условии оснащения колеса тормозом по [Мясищев, Вашуткин, Швецов, 2017]. Далее в общем виде индекс обозначается i . Индекс «з» соответствует экспериментальному, полученному на стенде результату.

Исходя из выдвинутой гипотезы о справедливости в нашем случае первой теоремы подобия, получим:

$$G_1 = \frac{K_{1з}}{K_{1н}} = 1; \quad (3)$$

$$G_2 = \frac{K_{2э}}{K_{2п}} = 1, \quad (4)$$

где G_1 и G_2 – критерии подобия в системе «экспериментальный стенд + колесный погрузчик», безразмерные величины; $K_{1п}$ – коэффициенты износа для штатного колесного тормоза погрузчика-прототипа, аналог показателя по формуле (1); $K_{2п}$ – виртуальный коэффициенты износа в случае колесного тормоза погрузчика-прототипа, при использовании изобретения [Мясищев, Вашуткин, Швецов, 2017], аналог показателя по формуле (2).

Индекс «п» соответствует погрузчику-прототипу, который в нашем случае виртуален.

Комплексы $K_{iэ,п}$ из теории подобия соответствуют условию

$$K_{iэ,п} = idem, \quad (5)$$

Примем линейной аппроксимацией зависимости

$$I_{iэ,п} = F(v, T_i),$$

где $I_{iэ,п}$, v – раскрыты выше; T_i – в общем виде ресурс тормозного механизма, эквивалентный v .

С учетом отмеченного упрощения для экспериментального стенда будем иметь:

$$K_{1эв} = \frac{I_{1э}}{v} = \frac{I_{э пр}}{T_{1э}}; \quad (6)$$

$$K_{2эв} = \frac{I_{2э}}{v} = \frac{I_{э пр}}{T_{2э}}. \quad (7)$$

В формулах (6) и (7) параметр $I_{э пр}$ – известный предельный износ накладок тормозных механизмов колес на экспериментальной установке (рис. 2). Следствие из анализа (6) и (7):

$$K_{1эв} > K_{2эв}. \quad (8)$$

$T_{1э}$ и $T_{2э}$ – виртуальные ресурсы пар трения тормозных механизмов колес экспериментальной установки, причем, очевидно, что

$$T_{2э} > T_{1э}. \quad (9)$$

Таким образом, принимая во внимание представленные ранее предположения о подобии процессов тормозных колодочных механизмов экспериментального стенда (см. рис. 2) и некоторого виртуального погрузчика,

например, аналогичного Volvo WHEEL LOADER L180G, возможно прогнозировать ресурс $T_{2п}$ тормозного механизма данного погрузчика при реализации на нем технического решения [Мясищев, Вашуткин, Швецов, 2017]:

$$T_{2п} = \frac{I_{п пр}}{K_{2эв}}, \quad (10)$$

где $K_{2эв}$ обоснованный выше коэффициент (7); $I_{п пр}$ – известный предельный износ накладок тормозных механизмов колес погрузчика-прототипа.

Выводы. Рассмотрены результаты ранее проведенных экспериментальных исследований в направлении повышения эффективности тормозных систем транспортно-технологических машин. На основании полученных результатов представлена методика прогнозирования ресурса вновь проектируемых тормозных механизмов с учетом инновационных инженерных решений на уровне изобретений.

Полученные результаты экспериментальных исследований нашли отображение в учебном процессе Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Так, в частности, научный материал, отображенный в статьях авторов представляемой работы, был использован в учебном пособии и методических разработках для всех категорий обучающихся – студентов, магистрантов и аспирантов.

Библиографический список

Мясищев Д.Г., Вашуткин А.С., Швецов А.М. Патент 2016107514 Российская Федерация, МРК51 F16D 65/833. Способ циркуляции воздуха при подаче его под давлением на фрикционные поверхности тормозного механизма в процессе торможения и устройство для его осуществления; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова». № 2000131736/09; заявл. 01.03.16; опубл. 06.09.2017, Бюл. № 25. 3 с.

Мясищев Д.Г., Вашуткин А.С., Лоренц А.С. Уменьшение резонанса релаксационных автоколебаний колесных тормозных механизмов лесовозных автомобилей // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016. № 4. С. 112–121.

Вашуткин А.С. Улучшение эксплуатационных свойств тормозной системы автолесовоза путем подачи сжатого воздуха между тормозными колодками и тормозным барабаном: дис. на соискан. учен. степ. канд. тех. наук. Архангельск, 2011. 129 с.

Лоренц А.С. Свойства системы, повышающей эффективность тормозных механизмов колесных лесных машин: дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2017. 118 с.

Лоренц А.С., Мясищев Д.Г. Особенности устройства, конструкции и применения экспериментального оборудования для исследования элементов тормозных систем лесопромышленных шасси // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 218. С. 121–130.

Горбатов С.П., Мясищев Д.Г., Ваишуткин А.С. Определение дальнейших путей исследования функционирования тормозных механизмов внутризаводского колесного транспорта // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: матер. Междунар. науч.-техн. конф. / отв. ред. С.М. Хамитова. Вологда: ВГТУ, 2018. С. 79–81.

Горбатов С.П., Мясищев Д.Г., Ваишуткин А.С. Организация и планирование экспериментального исследования степени износа фрикционных поверхностей тормозного механизма при подаче сжатого воздуха между тормозными колодками и тормозным барабаном в процессе торможения // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 231. С. 102–109.

Горбатов С.П., Мясищев Д.Г., Ваишуткин А.С. Экспериментальное исследование на изнашивание фрикционных пар тормозных механизмов транспортных машин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 232. С. 130–141.

Ногид Л.М. Теории подобия и размерностей. Л.: Судпромгиз, 1959. 94 с.

References

Myasishchev D.G., Vashutkin A.S., Shvetsov A.M. Patent 2016107514, Russian Federation, MPK51 F16D 65/833. Method of air circulation during its supplying under the pressure on the friction surfaces of the brake assembly during braking and the device for its implementation; the patent applicant and holder is the federal state autonomous higher education institution «Northern (Arctic) Federal University named M.V.Lomonosov». No. 2000131736/09; appl. 01.03.16; publ. 06.09.2017, Bull. no. 25. 3 p.

Myasishchev D.G., Vashutkin A.S., Lorents A.S. Loss of relaxation swinging resonance produced by wheel log truck brake gear. Forest Journal, 2016, no. 4, pp. 112–121.

Vashutkin A.S. Improvement of lumber truck braking performance through the compressed air supply between brake pads and brake drum: thesis for a Candidate Degree in Engineering Science. Arkhangelsk, 2011. 129 p.

Lorents A.S. Properties of the system increasing the performance of brakes in wheeled forest machines: thesis for a Candidate Degree in Engineering Science. Arkhangelsk, 2017. 118 p.

Lorents A.S., Myasishchev D.G. Structural/design features and applications of experimental equipment in order to study forestry truck chassis brake system elements. *St-Petersburg Forest Engineering Academy news*, 2017, is. 218, pp 121–130.

Gorbatov S.P., Myasishchev D.G., Vashutkin A.S. Determination of new methods for studying functionality of in-plant vehicle wheel brake gears. *Actual forestry complex problems, International Research Conference publication*. Editor-in-charge: S.M. Khamitova. Vologda: Vologda State University, 2018, pp 79–81.

Gorbatov S.P., Myasishchev D.G., Vashutkin A.S. Organization and planning of experimental research test for wear rate of brake friction surfaces with the supply of compressed air between brake pads and brake drum during braking. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2020, is. 231, p. 102.

Gorbatov S.P., Myasishchev D.G., Vashutkin A.S. Experimental study of wear of friction pairs of brake assemblies of transport vehicles. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2020, is. 232, p. 130.

Nogid L.M. Similarity and dimension theories. L: Sudpromgiz, 1959, p 94.

Материал поступил в редакцию 13.11.2020

Мясищев Д.Г., Горбатов С.П., Вашуткин А.С., Лоренц А.С. Прогнозирование ресурса вновь проектируемых тормозных механизмов с учетом инновационных инженерных решений // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 234. С. 182–197. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.234.182-197

Для получения максимальной эксплуатационной эффективности транспортно-технологических машин лесного комплекса решались вопросы рационального обоснования их конструктивных параметров и характеристик, а именно тормозных систем и их компонентов, что является основой безопасной эксплуатации и максимальной производственной отдачи рассматриваемой техники. Приведено обобщение результатов экспериментальных исследований в направлении повышения эффективности тормозных систем транспортно-технологических машин для последующего прогнозирования ресурса вновь проектируемых тормозных механизмов с учетом инновационных инженерных решений на уровне изобретения. В изобретении «Способ циркуляции воздуха при подаче его под давлением на фрикционные поверхности тормозного механизма в процессе торможения и устройство для его осуществления» предлагается в процессе торможения обеспечить такую циркуляцию воздуха в тормозном механизме колеса, что при сближении колодки и барабана реализуется его подача под давлением на фрикционные поверхности тормозного

механизма. Для реализации такого технического решения проводились комплексные экспериментальные исследования с целью выявления предполагаемых возможных положительных эффектов. Выполнен анализ результатов экспериментальных исследований, который наглядно показывает повышение тормозной эффективности лесотранспортных машин. Для решения обобщающей задачи, связанной с повышением тормозной эффективности лесотранспортных машин, предлагается эвристический подход. В качестве рабочей гипотезы имеет место первая теорема подобия. Принятые во внимание представленные ранее предположения о подобии процессов тормозных колодочных механизмов экспериментального стенда и некоторого виртуального погрузчика позволил прогнозировать ресурс тормозного механизма и при реализации приведенного технического решения. В результате представлена методика прогнозирования ресурса вновь проектируемых тормозных механизмов с учетом инновационных инженерных решений на уровне изобретения.

Ключевые слова: тормозная эффективность, барабанный тормоз, стендовый эксперимент, оптимизация, теория подобия, увеличение ресурса тормоза.

Myasishev D.G., Gorbatov S.P., Vashutkin A.S., Lorents A.S. Service-life prediction of newly-designed brake gears having in consideration innovation engineering concepts. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2021, is. 234, pp. 182–197 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2021.234.182-197

Specific rational problems were brought to consideration in order to validate design parameters and characteristics, particularly behavior of brake systems and their components, for gaining maximum performance of forestry vehicles, thereby providing safe operation and maximum output efficiency of the machinery concerned. The experimental study results have been generalized to improve efficiency of transport-processing vehicle brake systems for predicting service life of newly designed brake gears having in consideration innovation engineering concepts subject to the invention. According to the invention “Method of compressed air circulation with air fed to the brake gear friction surfaces during braking and its embodiment”, it is offered to provide air circulation in the wheel brake gear during braking so that air is charged to the brake gear friction surfaces with a brake gear block and drum moving close to each other. Some complex experimental studies were held in order to identify possible positive effects for implementing such technical decision. The experimental study results were analyzed for demonstrating improvement of forestry vehicle brake performance. The heuristic approach was offered for solving the problem generalized in order to improve forestry vehicle

brake performance. The first similarity theorem was applied as a working hypothesis. Taking into account the previously offered theories of similarity of brake block behavior when testing on a bench and on a virtual loader, it was possible to predict service life of the brake gear subject to the above technical decision. As a result, the method of service life prediction of newly-designed brake gears having in consideration innovation engineering concepts subject to the invention was provided.

Key words: brake efficiency, drum brake, test bench experiment, optimization, theory of similarity, brake service life extension.

МЯСИЩЕВ Дмитрий Геннадьевич – профессор ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», доктор технических наук, профессор

163002, наб. Сев. Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: d.myasishchev@narfu.ru. SPIN-код: 2130-0093, ORCID iD 0000-0002-6895-8253.

MYASISCHEV Dmitry G. – DSc (Technical), professor at FGAOU VO «Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov».

163002. Severnoi Dviny emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: d.myasishchev@narfu.ru. SPIN-код: 2130-0093, ORCID iD 0000-0002-6895-8253.

ГОРБАТОВ Сергей Павлович – преподаватель ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова».

163002, наб. Сев. Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: qorbatovsp@yandex.ru. SPIN-код: 1998-0785, ORCID iD 0000-0002-6425-1226.

GORBATOV Sergei P. – lecturer at FGAOU VO «Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov».

163002. Severnoi Dviny emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: qorbatovsp@yandex.ru. SPIN-код: 1998-0785, ORCID iD 0000-0002-6425-1226.

ВАШУТКИН Александр Сергеевич – преподаватель ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», кандидат технических наук.

163002, наб. Сев. Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: a.vashutkin@narfu.ru. SPIN-код: 8298-2838, ORCID iD 0000-0001-8256-2768.

VASHUTKIN Alexander S. – PhD (Technical), lecturer at FGAOU VO «Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov».

163002. Severnoi Dviny emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: a.vashutkin@narfu.ru. SPIN-код: 8298-2838, ORCID iD 0000-0001-8256-2768.

ЛОРЕНЦ Анатолий Сергеевич – преподаватель ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», кандидат технических наук.

163002, наб. Сев. Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: a.lorents@narfu.ru. SPIN-код: 3154-6140, ORCID iD 0000-0002-0906-8779.

LORENTS Anatoly S. – PhD (Technical), lecturer at FGAOU VO «Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov».

163002. Severnoi Dviny emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: a.vashutkin@narfu.ru. SPIN-код: 3154-6140, ORCID iD 0000-0002-0906-8779.