

УДК 629.33

Д.Г. Мясищев, А.С. Вашуткин

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Мясищев Дмитрий Геннадьевич родился в 1959 г., окончил в 1981 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры транспортных машин Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 30 печатных работ в области разработки, создания и исследования мобильных средств малой механизации лесного комплекса.
E-mail: d.myasishchev@narfu.ru



Вашуткин Александр Сергеевич родился в 1980 г., окончил в 2004 г. Архангельский государственный технический университет, ст. преподаватель кафедры транспортных машин Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 4 печатные работы в области исследования лесовозного автомобильного транспорта.
E-mail: vashutkin.a@yandex.ru



ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДА СЖАТОГО ВОЗДУХА МЕЖДУ ТОРМОЗНЫМИ КОЛОДКАМИ И ТОРМОЗНЫМ БАРАБАНОМ В ПРОЦЕССЕ ТОРМОЖЕНИЯ

Рассмотрены вопросы, связанные с организацией и планированием экспериментального исследования подачи сжатого воздуха между тормозными колодками и тормозным барабаном в процессе торможения, предложены конструктивные мероприятия, направленные на реализацию подвода сжатого воздуха.

Ключевые слова: тормозной механизм, тормозной барабан, тормозная колодка, редуктор, манометр, штуцер, тройник, сжатый воздух, электромагнитный клапан.

Для уменьшения тепловой нагруженности тормозные механизмы автолесовозов должны охлаждаться принудительно, путем подачи сжатого воздуха между тормозными колодками и тормозным барабаном в процессе торможения [2].

Цель данного эксперимента – разработка методики и программы исследовательских испытаний тормозной системы автолесовоза с техническим решением подачи воздуха на фрикционные пары тормозных механизмов в процессе торможения.

В ходе проведения эксперимента использовался автомобиль-самосвал ЗИЛ-ММЗ, так как его тормозная система имеет конструктивные особенности, схожие с тормозными системами порталных автолесовозов, лесовозов на базе автомобилей МАЗ, КАМаз, КрАЗ. Объектом исследования являлись тормозные механизмы его задних ведущих колес, как наиболее теплонпряженные,

поскольку 2/3 массы данного автомобиля приходится на заднюю ось. Предметом экспериментального исследования послужили такие характеристики барабанных тормозных механизмов, как эффективность и стабильность их работы, которые оценивались коэффициентами эффективности тормоза C_T и относительной чувствительности e .

Для подвода в один из задних тормозных механизмов (между тормозным барабаном и тормозными колодками) сжатого воздуха через систему воздухопроводов и штуцеров предложена принципиальная схема, показанная на рис. 1.

Схема работает следующим образом. Сжатый воздух из ресивера 1 автомобиля поступает в управляемый редуктор 4 (типа клапан 122-16 УХЛ 4 ГОСТ 18468–79). Для контроля за давлением подаваемого воздуха в редуктор встроен манометр 3. Из редуктора воздух сначала поступает в электромагнитный клапан 5 (клапан газа СПБ Пг-24 ПВ-16) и далее, через систему тройников 6 и трубопроводов, – к штуцерам 9 тормозных колодок 7 (4 штуцера на одной колодке).

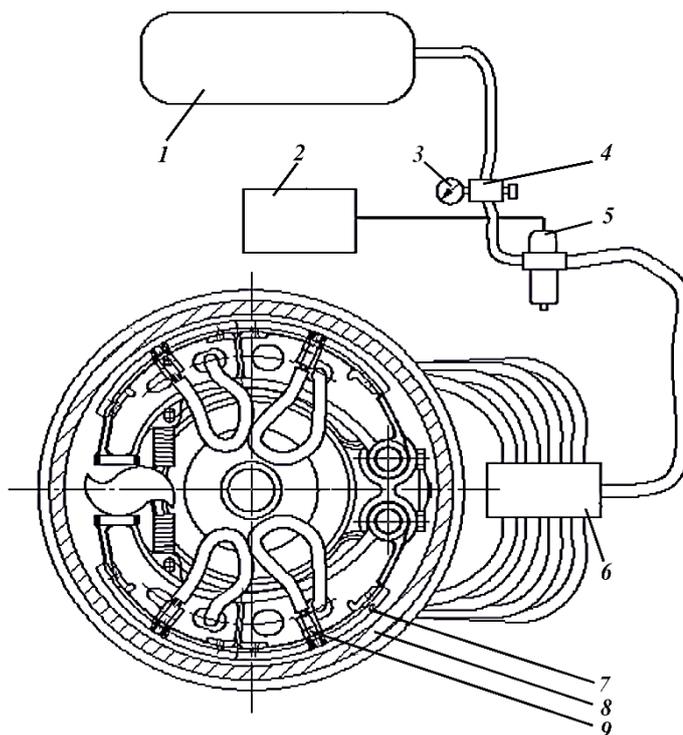


Рис. 1. Принципиальная схема подвода сжатого воздуха к тормозному механизму: 1 – ресивер; 2 – тормозной кран управления автомобиля; 3 – манометр; 4 – редуктор; 5 – электромагнитный клапан; 6 – тройник; 7 – колодка; 8 – тормозной барабан; 9 – штуцер

Электромагнитный клапан предназначен для того, чтобы подать воздух к тормозному механизму в процессе торможения и прекратить его подачу после торможения. Для этого электромагнитный клапан проводником соединен с конечным выключателем тормозного крана управления 2, который включает и задние стоп-сигналы. При нажатии на педаль тормоза сначала срабатывает конечный выключатель, который приводит в действие стоп-сигналы и электромагнитный клапан, последний начинает подавать сжатый воздух из редуктора к тормозным механизмам. Через некоторое время сжатый воздух поступает в пневматические камеры, и в работу вступает разжимной кулак, приводящий тормозные колодки в движение. После прекращения воздействия на педаль тормоза сжатый воздух перестает подаваться к тормозным камерам, а через некоторое время конечный выключатель отключает электромагнитный клапан и стоп-сигналы. При этом воздух некоторое время будет еще поступать в зону трения после процесса торможения.

В качестве оптимизационной задачи требуется варьировать давление подаваемого воздуха P_v к тормозным механизмам и диаметры подводящих отверстий d_o в штуцерах колодки. В ходе испытаний необходимо установить, при каком оптимальном сочетании этих характеристик и параметров будет создаваться воздушная подушка между тормозными колодками и тормозным барабаном, которая не будет снижать эффективность действия тормозных механизмов, а также будет наблюдаться качественное охлаждение фрикционных пар и высокие значения коэффициентов C_T и e .

Редуктор 4 предназначен для регулирования давления сжатого воздуха, поступающего к тормозному механизму, от 0 до 0,77 МПа. Давление сжатого воздуха было выбрано максимальным $P_{v \max}$ потому, что компрессор автомобиля позволяет его создать и в этом случае нет необходимости в дополнительном компрессоре, установка которого может привести к удорожанию эксперимента, а в дальнейшем и конструкции автомобиля.

Электромагнитный клапан и редуктор были расположены в задней части автомобиля, как можно ближе к левому экспериментальному тормозному механизму. Их крепление показано на рис. 2.

Рис. 2. Установка редуктора и электромагнитного клапана на одном кронштейне в задней части автомобиля



Максимальный диаметр отверстия в колодке (во фрикционной накладке) для установки в нее штуцера выбирали из условия, чтобы на ее поверхность приходилось давление, не разрушающее фрикционный материал [1]. В работе [3] отмечено, что удельная нагрузка на фрикционную накладку не должна превышать $2,5 \text{ кгс/см}^2$ (0,25 МПа). Удельная нагрузка, приходящаяся на одну фрикционную накладку (с учетом изготовления в ней отверстий) составила 0,178 МПа. Следовательно, отверстия под штуцера во фрикционной накладке не приводят к потере ее прочности, так как $0,178 \text{ МПа} < 0,25 \text{ МПа}$.

Число подводящих сжатый воздух штуцеров в колодке и их расположение выбирали, учитывая конструктивный и динамический факторы. Поэтому на одну колодку было установлено 4 штуцера: по 2 с одной и с другой стороны реборды. При большем числе штуцеров на одну колодку возникают трудности в подводе воздуха к ним, так как мало внутреннее пространство тормозного механизма. При симметричном расположении штуцеров воздух будет равномерно обтекать поверхность колодки, при этом колодка будет обладать высокой устойчивостью.

Установка штуцеров в тормозной колодке приведена на рис. 3.

Для изменения внутренних отверстий штуцеров, установленных в тормозную колодку, были изготовлены вставки из текстолита. Вставки крепятся в тормозной накладке и имеют следующие диаметры d_0 внутренних отверстий, мм: 2,0; 2,9; 5,0; 7,1 и 8,0 (рис. 4).

Для уменьшения количества весьма дорогих и трудоемких стендовых опытов за основу были приняты равномер-ротатбельные композиционные планы второго порядка (план Бокса–Хантера) [4].

В качестве функций отклика требуется определить косвенные показатели: коэффициенты C_T и e . Прямым показателем измерения, оценивающим косвенные показатели, являлась тормозная сила (P_T , Н). В качестве варьируемых конструктивных параметров тормозного механизма выбраны давление подаваемого через штуцер воздуха P_B и диаметр подводящих отверстий, вворачиваемых во фрикционную накладку, с учетом ее прочности d_0 .



Рис. 3. Установка штуцеров в тормозных колодках



Рис. 4. Текстолитовые вставки

Методика проведения эксперимента включает в себя следующие этапы: определение уровней рассматриваемых факторов (P_v и d_0) и интервалов их варьирования;

построение плана (матрицы планирования) эксперимента.

Верхние уровни рассматриваемых факторов ($P_{v \max} = 0,77$ МПа, $d_{0 \max} = 8,0$ мм) определены выше. При увеличении диаметра выходного отверстия в штуцере более 8,0 мм возрастает расход воздуха из ресивера, падает производительность компрессора, уменьшается быстрдействие тормозного механизма за счет создания мощной воздушной подушки между тормозными колодками и тормозным барабаном.

Нижние уровни рассматриваемых факторов: минимальное давление подаваемого воздуха $P_{v \min} = 0$ МПа (редуктор закрыт); минимальный диаметр подводящего отверстия в штуцере $d_{0 \min} = 2,0$ мм. Установка меньшего диаметра подводящего отверстия в штуцере приводит к созданию завихрений подаваемого воздуха в зону трения, которые уменьшают его эффективность как охлаждающего агента, а также к неудовлетворительному удалению влаги и грязи с поверхностей трения.

Определим интервалы варьирования рассматриваемых факторов согласно плану эксперимента Бокса–Хантера [4]:

по давлению подаваемого воздуха (X_1)

$$P_{v \min} \leq P \leq P_{v \max}, \quad 0 \leq P \leq 0,77 \text{ МПа}, \quad P_0 \approx 0,39 \text{ МПа};$$

$$- \alpha = 0, \quad + \alpha = 0,77 \text{ МПа};$$

$$-1 = \frac{0 - 0,39(1 - 1,41)}{1,41} \approx 0,12 \text{ МПа};$$

$$+1 = \frac{0 - 0,39(1 - 1,41)}{1,41} \approx 0,66 \text{ МПа};$$

$$\Delta P = (0,66 - 0,12)/2 = 0,27 \text{ МПа};$$

по диаметру подводящих отверстий в штуцерах (X_2)

$$d_{0 \min} \leq d \leq d_{0 \max}, \quad 2,0 \leq d \leq 8,0 \text{ мм}, \quad d_0 \approx 5,0 \text{ мм};$$

$$- \alpha = 2,0 \text{ мм}, \quad + \alpha = 8,0 \text{ мм};$$

$$-1 = \frac{2 - 5(1 - 1,41)}{1,41} \approx 2,9 \text{ мм};$$

$$+1 = \frac{8 - 5(1 - 1,41)}{1,41} \approx 7,1 \text{ мм};$$

$$\Delta d = (7,1 - 2,9)/2 = 2,1 \text{ мм}.$$

Обозначения, используемые в формулах и таблице: $-\alpha$ и $+\alpha$ – соответственно отрицательное и положительное значение звездных плеч; -1 и $+1$ – нижний и верхний уровни варьирования; 0 – центр эксперимента; ΔX_j – интервал варьирования факторов ($j = 1, 2$).

План эксперимента представлен в табл. 1.

Таблица 1

Фактор	Уровни варьирования					$\Delta X_j (j = 1, 2)$
	$-\alpha$	-1	0	$+1$	$+\alpha$	
X_1 , МПа	0	0,12	0,39	0,66	0,77	0,27
X_2 , мм	2,0	2,9	5,0	7,1	8,0	2,1

Матрица факторного эксперимента (план Бокса-Хантера, ядро 2^2) приведена в табл. 2 (количество опытов – 13).

Таблица 2

Кодированные факторы		Z_{1K}, Z_{2K_i}	$Z_{1K_i}^2$	$Z_{2K_i}^2$
Z_{1K}	Z_{2K}			
-1	-1	+1	+1	+1
+1	-1	-1	+1	+1
-1	+1	-1	+1	+1
+1	+1	+1	+1	+1
-1,41	0	0	1,988	0
+1,41	0	0	1,988	0
0	-1,41	0	0	1,988
0	+1,41	0	0	1,988
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

После создания экспериментальной установки, определения варьируемых конструктивных параметров и косвенных показателей в качестве функций отклика, построения плана эксперимента решался вопрос о его непосредственном проведении.

Как уже отмечалось выше, измеряемой величиной при испытаниях является тормозная сила задних ведущих колес автомобиля, на основании которой можно косвенно судить о коэффициентах трения f , эффективности тормоза C_T и относительной чувствительности e тормозного механизма.

Перед нами стояла задача доказать, что давление воздуха, создаваемое между тормозной колодкой и тормозным барабаном, не будет противодействовать тормозной силе, прижимающей колодки к барабану во время процесса торможения, а также будет наблюдаться повышение коэффициентов f , C_T и e . В ходе эксперимента* подача воздуха происходила в процессе торможения и прекращалась после его завершения. При определении тормозной силы параллельно на обоих колесах регистрировали и температуру внутренних поверхностей тормозных барабанов.

*Место проведения эксперимента – пункт технического осмотра ООО «Авто-транспортное предприятие -1» г. Архангельска.

Для определения тормозной силы использовали компьютеризированный однорамный тормозной стенд (экран «люкс» 28", 15Т / 2* 11кВт /44803, модель 7515-М 11FP NORD + 102561 фирмы «Muller-BEN», сер. № 330), который прошел периодическую поверку (периодичность поверки 12 мес.), что подтверждается соответствующим документом. Данный стенд позволяет регистрировать тормозную силу как графически, сопоставляя на графике тормозную силу правого и левого (экспериментального) колес, так и с помощью карты диагностики, в которой указано численное значение тормозной силы. Класс точности (погрешность) данного стенда – $\Delta \pm 200$ Н (± 2 %); предел измерений – по ГОСТ Р 51709–2001. Значения тормозной силы на колесах грузовых автомобилей приведены в [5].

Согласно плану эксперимента (табл. 2) было запланировано 13 опытов, пять из которых дублировались, т. е. технологически требовалось пять раз снимать левое заднее колесо и устанавливать вставыши в тормозную накладку. После этого колесо устанавливали на ступицу и регулировали тормозные механизмы. Это выполнялось для того, чтобы обеспечить одинаковый зазор между тормозными колодками и тормозным барабаном у обоих колес и равномерное срабатывание тормозных механизмов. Торможение колес производили пять раз и определяли среднее значение тормозной силы на каждом колесе. Согласно плану эксперимента параллельно устанавливали давление подаваемого воздуха к тормозному механизму. Опыты были рандомизированы.

Перед началом стендовых испытаний требовалось обеспечить следующие условия: шины автомобиля при испытании должны быть чистыми и сухими с давлением воздуха, соответствующим нормативному значению, тормозные механизмы – «холодными».

В результате организации и планирования экспериментального исследования можно сделать вывод, что с учетом предлагаемого переоборудования тормозной системы автомобиля, сложности исследовательского процесса целесообразно применение методов оптимального планирования эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров М.П., Лысяков А.Г., Новожилов М.В. Тормозные устройства: справ. / Под общ. ред. М.П. Александрова. М.: Машиностроение, 1985. 312 с.
2. Вакуткин А.С., Мясницев Д.Г. Анализ функционирования барабанных тормозных механизмов автобусов и пути улучшения их показателей // Лесн. журн. 2010. № 3. С. 61–68. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Генбом Б.Б. Вопросы динамики торможения и теории рабочих процессов тормозных систем автомобилей. Львов, 1974. 234 с.
4. Методы организации эксперимента и обработки его результатов: метод. указания / А.П. Плехотин, Л.Г. Михалкина, В.А. Курочкина, М.М. Овчинников. Л.: ЛТА, 1982. 59 с.
5. РД 200 РСФСР 15-0150–81. Руководство по диагностике технического состояния подвижного состава автомобильного транспорта.

Поступила 04.10.11

D.G. Myasishchev, A.S. Vashutkin

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

**Organization and Planning of the Experimental Study of Compressed Air Supply
between the Brake Pads and Brake Drum under Deceleration**

The article describes the parameters of the drum brake gear performance and lists the factors affecting the heat load of the drum brakes. Structural measures reducing the heat load of the brakes and improving their work are considered.

Key words: brake gear, brake drum, brake shoe, reduction drive, manometer, connecting pipe, tee, compressed air, solenoid valve.
