УДК656.1/5

© С. А. Евтюков, д-р техн. наук, профессор
© О. В. Щербакова, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: w.Olga.v_ne@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-6-185-192

© S. A. Evtyukov, Dr. Sci. Tech., Professor
© O. V. Scherbakova, post-graduate student
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: w.Olga.v_ne@mail.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПРИЧИН СКЛАДЫВАНИЯ СЕДЕЛЬНОГО АВТОПОЕЗДА И ОБОСНОВАНИЯ ДОПУСТИМОГО ПО БДД ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПО ФАКТОРАМ ДЛЯ ПНЕВМОПРИВОДА КАЖДОГО КОЛЕСА СЕДЕЛЬНОГО АВТОПОЕЗДА

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF PREVENTING THE CAUSES THE TRUCK TRAIN FOLDING AND SUBSTANTIATION OF THE TECHNICAL CONDITION PERMISSIBLE BY ROAD SAFETY REGULATION ACCORDING TO THE FACTORS FOR THE PNEUMATIC DRIVE OF EACH WHEEL OF THE TRUCK

Представлена методика решения задач предупреждения причин складывания седельного автопоезда (САП) и обоснования допустимого по БДД технического состояния по факторам для пневмопривода каждого колеса САП, позволяющая предупредить первопричины ДТП.

Ключевые слова: диагностирование, рабочая тормозная система, седельный автопоезд, несимметрия тормозных сил, пневмопривод, торможение, утечки сжатого воздуха, скорость потока воздуха, перепад давления, параметры рабочих процессов.

The paper presents a methodology for solving problems of preventing the causes of folding the truck train. The author offers a substantiation of the technical condition permissible by road safety according to the factors for the pneumatic drive of each wheel of the truck train, which helps to prevent the root causes of accidents.

Keywords: diagnosing, braking system, truck train, brake force asymmetry, pneumatic actuator, braking, compressed air leakage, air flow rate, pressure drop, workflow settings.

Организация деятельности по обеспечению безопасности дорожного движения (БДД) в России является трудно разрешимой задачей. К ней относят предупреждение ДТП, в которых участвуют и седельные автопоезда (САП). Такие САП представляют собой особый класс шарнирно-сочлененных автотранспортных средств (АТС), перевозящих различные виды грузов — сыпучих, жидких, тяжеловесных, крупногабаритных. САП имеют максимальные допустимые для дорог общего пользования массово-габаритные параметры, высокую энергоемкость и скорость движения. Как следствие, ДТП с их участием отличаются высоким уровнем особо тяжких последствий, как правило, гибелью, травмированием людей и тяжелыми видами наносимого ущерба.

Особым и наиболее сложным видом ДТП с участием САП являются происшествия, возникающие в результате их торможения с выходом из занимаемой полосы (складывания) как конечной причины тяжких ДТП. Для предупреждения этой причины, а значит, снижения смертности в дорожном движении априори необходимы знания, как того требует ст. 2 Федерального закона «О безопасности дорожного движения» от 26.12.1995 № 196-ФЗ, о полном множестве первопричин, вызывающих бортовую несимметрию действия тормозных сил, которая вызывает последующее ДТП с участием САП. Поэтому необходимы исследования механизмов предупреждения этих причин.

В практике диагностирования к этим механизмам относят периодическую оценку макси-

мальных значений тормозных сил на каждом колесе САП и их разницы по бортам, измеряемой в процентах в стендовых условиях, а также оценку общесистемных (объемных) утечек сжатого воздуха в элементах конструкции пневмоприводов тормозных механизмов — по скорости падения в них давления. В общемировой и отечественной практике такая оценка осуществляется в нормативные сроки диагностированием на барабанных роликовых автоматизированных стендах, исключая влияние на точность оценки эффективности тормозных систем человеческого фактора. Пневматические тормозные системы АТС при стендовом контроле представляются «черным ящиком». В нем измерению подлежит входной сигнал — сила на тормозной педали и выходной — тормозная сила на затормаживаемых колесах. Связь между этими сигналами в начальной и конечной фазах контроля не содержит полной информации о внутреннем состоянии этого «ящика» — так же, как и объемные утечки сжатого воздуха. Отсутствие методических и технических средств предупреждения ДТП в режиме торможения САП диктует необходимость решения задачи исследования влияния внутрисистемных факторов технического состояния и рабочих процессов в рабочей тормозной системе (РТС) САП на возникновение тяжких ДТП.

Поиск решения указанной, ставившейся и ранее задачи предупреждения ДТП в режиме торможения остается и в настоящее время вне поля зрения науки и практики обеспечения БДД с участием САП. Не доведены до практического приложения исследования по оценке влияния таких факторов, как скорость начала торможения, несимметрия при размещении грузов в полуприцепах относительно их продольных осей, состояние контакта и сцепления колес с дорожной поверхностью, техническое состояние функциональных элементов пневматических тормозных систем, влияющих на процессы затормаживания каждого отдельно взятого колеса и т. п. В практике остаются не учтенными такие факторы, как время нарастания давления сжатого воздуха в приводах тормозных механизмов отдельно взятого колеса до максимума, величина сдвига по времени этих максимумов для разных колес, износа и состояния пар трения в тормозных механизмах, величины степени блокировки

затормаживаемых колес, также влияющих на сдвиг указываемых максимумов по бортам САП, их разницу и др.

Множество факторов, влияющих на процесс торможения САП и, в итоге, на уровень дорожной опасности, а также проблемы организации трудоемких дорожных и стендовых исследований делают целесообразным выполнение исследований механизма влияния на него не доступных для оценки ранее параметров рабочих процессов функционирования пневматических приводов РТС САП — с целью разработки (обоснования) соответствующего методического и технического обеспечения задач стендового диагностирования пневматических тормозных систем САП.

Потребность в новых знаниях, необходимых для решения указанных задач, подтверждается внедрением в мировую практику инструментов дистанционного мониторинга параметров рабочих процессов функционирования тормозных систем в режимах торможения САП, количественной оценкой этих параметров, их накопления, прогнозирования и т. д.

Уравнения расходов сжатого воздуха пневмопривода тормозной системы [9, 12] известны. Расход сжатого воздуха пневмопривода тормозной системы зависит от скорости потока воздуха и определяется перепадом давления на входном отверстии в тормозную камеру.

Для определения факторов, способных вызвать несимметрию тормозных сил по бортам САП, были проведены теоретические исследования. По результатам проведенного анализа взаимодействия элементов в тормозном пневмоприводе определены факторы, способные вызвать несимметрию тормозных сил по бортам САП: утечки сжатого воздуха из элементов пневмопривода, время нарастания давления сжатого воздуха в приводах тормозных механизмов отдельно взятого колеса до максимума, величина сдвигов по времени этих максимумов для разных колес, длина трубопроводов, давление и время наполнения рабочей полости рассчитываемых элементов пневмопривода тормозных систем при внешних утечках, которые позволяют обосновать механизм формирования тормозных сил по бортам САП и осуществить полную оценку труднодоступных

параметров рабочих процессов функционирования пневмоприводов РТС САП.

Для оценки теоретических результатов исследования и технического состояния РТС САП на предмет соответствия эффективности торможения нормативам, установленным ГОСТ 33997–2016 «Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки», выполнено диагностирование 22 однотипных САП в составе тягачей Scania R 114 LA 4×2 и полуприцепов Cargobull Schmitz SPR 24 на тормозном роликовом стенде IW 7 Eurosystem. Целью экспериментальных исследований являлось измерение параметров рабочих процессов функционирования пневмопривода РТС САП и сопоставление их с диагностическими параметрами при имитации дефектов различной степени развития на силовом роликовом тормозном стенде немецкой фирмы «МАНА» IW 7 Eurosystem для оценки влияния несимметрии тормозных сил по бортам на механизм складывания САП. При проведении эксперимента утечку воздуха рабочего тела пневмопривода РТС имитировали посредством внешнего подключения к контрольным точкам соответствующих магистралей устройства имитации неисправности и контроля падения давления на проверяемом участке. Это устройство представляет собой тройник (рис. 1), вход которого имеет специальный выступ для нажатия клапана контрольного вывода пневмопривода на участке магистрали: первый вывод предназначен для подключения датчика давления с передачей радиосигнала на пульт управления линии технического контроля,

Рис. 1. Пневматический радиодатчик давления и тройник

второй вывод — для подключения шарового крана для имитации утечки воздуха из системы [14].

На основании полученных экспериментальных данных для различных технических состояний РТС САП построены графики параметров рабочих процессов эффективности действия пневмопривода РТС САП. Для неисправного технического состояния РТС САП, представленного на рис. 2–5, проведен анализ механизма формирования несимметрии тормозных сил по бортам и времени их приложения для каждого колеса САП: тормозная сила первой оси левого колеса $P_{T1_T} = 19,77$, правого $P_{T1_T} = 18,76$ без сдвигов во времени, при имитации неисправности $P_{T1_T} = 18,19$ и $P_{T1_T} = 15,54$ и сдвиг во времени составил 1,2 с, для второй оси тягача $P_{T2_T} = 11,12$, $P_{T2_T} = 11,63$ без сдвигов во времени, при имитации неисправности $P_{T2_T} = 8,83$, $P_{T2_T} = 10,59$ и сдвиг 1,3 с, для осей полуприцепа левого борта $P_{T3_{\text{лн}}} = 12,48$ и правого борта $P_{T3_{\text{лн}}} = 12,30$ без сдвигов во времени срабатывания, при имитации неисправности левого борта $P_{T3_{\text{лн}}} = 11,37$ и правого борта $P_{T3_{\text{лн}}} = 13,05$, сдвиг во времени составил 0,85 с, разница максимумов P_T по бортам осей САП составила 12–17 %. Сравнение графиков давлений в тормозных камерах с графиками тормозных сил колес САП показывает, что торможение всех осей происходит несимметрично по причине сдвигов по времени максимумов давлений в тормозных камерах колес САП, давление в тормозных камерах задней оси тягача и правого борта полуприцепа почти равно атмосферному, суммарное давление в тормозных камерах САП левого и правого бортов САП отличается на 37 %, тогда как суммарная тормозная сила бортов САП отличается лишь на 7,67 %.

При утечках сжатого воздуха из элементов пневмопривода РТС САП возникает перепад давлений, что приводит к снижению функции расхода воздуха, сдвигу по времени срабатывания тормозных механизмов по бортам и возникновению несимметрии тормозных сил, которые в совокупности с влиянием величины длины трубопроводов приводят к увеличению времени срабатывания тормозных механизмов по бортам и, как следствие, складыванию САП при торможении.

Для расчета давления сжатого воздуха при утечках необходимо определить эффективную площадь сечения утечек:

Рис. 2. Осциллограмма зависимости тормозных сил на колесах САП от времени при торможении неисправной РТС

Рис. 3. Осциллограмма зависимости тормозных сил и давления в тормозных камерах колес САП от времени при торможении неисправной РТС САП

Рис. 4. Осциллограмма зависимости давления в тормозных камерах колес полуприцепа САП от времени при торможении неисправной РТС САП

Рис. 5. Осциллограмма зависимости давления в тормозных камерах колес САП от времени при торможении неисправной РТС

$$f_y dt = \frac{V_1 dp_i}{k \gamma \left(\frac{p_a}{p_i} \right) K \sqrt{RT_1 p_i}}, \quad (1)$$

где $V = \frac{\pi d_1^2}{4} l_k$, d_1 — диаметр проходного отверстия трубопровода, м; $l_k = \frac{4V}{\pi d_1^2}$, l_k — длина тормозного контура пневмопривода РТС САП, м; p_i — давление при торможении в рабочей полости тормозной камеры i -го колеса САП, МПа; k — показатель адиабаты; γ — функция расхода сжатого воздуха; p_a — атмосферное давление, МПа; K — коэффициент усиления; R — газовая постоянная, Дж/(кг · К); T_1 — температура воздуха в тормозной камере, К.

С учетом уравнения (1) перепад давления в рабочей полости тормозной камеры колеса при внешних утечках предлагается определять:

$$\dot{p}_i = \frac{k}{x_0 + x_1} \times \left(\frac{f_{\text{вх}} K \sqrt{RT_k}}{F} \left[p_k \gamma \left(\frac{p_i}{p_k} \right) - -p_{i-1} \frac{f_y}{f_{\text{вх}}} \sqrt{\frac{T_1}{T_k}} \gamma \left(\frac{p_a}{p_i} \right) \right] - -p_{i-1} \dot{x}_{i-1} \right) \Delta t_i, \quad (2)$$

где x_0 — исходное положение штока диафрагмы тормозной камеры i -го колеса САП; Δt_i — величина шага интегрирования; x_1 — координата перемещения штока диафрагмы; $f_{\text{вх}}$ — эффективная площадь входного отверстия, м²; T_k — температура воздуха в тормозном контуре, К; F — площадь поршня, м²; p_k — давление в тормозном контуре РТС САП, МПа.

Проинтегрировав уравнение (1) по времени, можно определить время наполнения рабочей полости тормозной камеры колеса при внешних утечках:

$$t = \frac{V}{k f_{\text{вх}} K \sqrt{RT_1}} \int_{\sigma'_i}^{\sigma''_i} \frac{d\sigma}{p_k \gamma(\sigma) - \sigma \frac{f_y}{f_{\text{вх}}} \sqrt{\frac{T_1}{T_k}} \gamma \left(\frac{p_a}{p_i} \right)}, \quad (3)$$

где $\sigma'_i = \frac{p'_i}{p_k}$; $\sigma''_i = \frac{p''_i}{p_k}$; $p_i = \frac{p'_i + p''_i}{2}$; $\sigma = \frac{p}{p_k}$; p'_i , p''_i — начальное и конечное значения давления в рабочей полости тормозной камеры i -го колеса САП при торможении, МПа; σ'_i , σ''_i — отношения начального и конечного значения давления.

Предлагаемая методика расчета параметров рабочих процессов пневмопривода позволит выполнить расчет внутренних параметров рабочих процессов РТС САП: утечки сжатого воздуха в пневмоприводе, перепад давлений в элементах пневмопривода РТС САП, влияние длины тормозных контуров, время наполнения рабочей полости рассчитываемых элементов пневмопривода тормозных систем САП при внешних утечках, что является первопричинами, вызывающими бортовую несимметрию действия тормозных сил на колесах САП, и, как следствие, ДТП в результате их складывания при торможении.

В таблице представлены расчеты предложенных параметров рабочих процессов пневмопривода САП: утечек сжатого воздуха в пневмоприводе, перепада давлений, времени наполнения рабочей полости рассчитываемых элементов пневмопривода тормозных систем САП при внешних утечках с учетом текущего технического состояния ТС.

Данные результаты позволяют определить исправность пневмопривода РТС САП для каждой оси:

- тормозные камеры на колесах первой оси тягача имеют незначительную f_y , однако перепад давлений Δp_i при наполнении рабочих полостей тормозных камер избыточен и давление в тормозных камерах в сумме с этим значением находится в диапазоне отказов, т. е. необходим ремонт, эксплуатация ТС недопустима;

- вторая ось тягача f_y существенна и снижает давление в рабочих полостях тормозных камер, для обеспечения эффективного торможения компрессор осуществляет подкачку сжатого воздуха в пневмопривод второй оси, в результате чего Δp_i высокая, и в сумме с p_i давление в тормозной камере правого колеса выше предельно допустимого давления для данного САП (для тормозной камеры левого колеса значение давления находится на границе допустимого и избыточного), однако ввиду очень маленького периода времени t_p из-за значительной утечки рабочего тела f_y время наполнения рабочей полости тормозной камеры колеса увеличивается, давление в тормозных камерах почти равно атмосферному и не обеспечивает торможение этой оси, т. е. тормозные камеры колес второй оси на-

Результаты рассчитанных значений параметров рабочих процессов пневмопривода РТС САП

Название параметра	Обозначение	Ед. изм.	Значения параметров рабочих процессов пневмопривода САП		
			Оси САП	Колеса левого борта САП	Колеса правого борта САП
Эффективная площадь сечения утечек рабочего тела	f_y	м ²	Первая ось тягача	$2,20 \cdot 10^{-7}$	$1,70 \cdot 10^{-7}$
			Вторая ось тягача	$2,30 \cdot 10^{-6}$	$5,30 \cdot 10^{-6}$
			Ось полуприцепа САП	$1,40 \cdot 10^{-7}$	$2,40 \cdot 10^{-6}$
Перепад давления в рабочей полости тормозной камеры колеса при внешних утечках	Δp_i	МПа	Первая ось тягача	0,885	0,899
			Вторая ось тягача	0,81	0,89
			Ось полуприцепа САП	0,18	0,82
Время наполнения рабочей полости тормозной камеры колеса при внешних утечках	t	с	Первая ось тягача	$5,60 \cdot 10^{-3}$	$6,90 \cdot 10^{-3}$
			Вторая ось тягача	$5,02 \cdot 10^{-4}$	$2,70 \cdot 10^{-6}$
			Ось полуприцепа САП	$1,30 \cdot 10^{-2}$	$9,00 \cdot 10^{-4}$

ходятся в диапазоне отказов, необходим ремонт, эксплуатация ТС недопустима;

- оси полуприцепа САП: тормозная камера колеса левого борта имеет нормативное значение давления, f_y незначительная, о чем свидетельствует Δp_i , время наполнения рабочей полости тормозной камеры достаточное и тормозной привод обеспечивает эффективное торможение колеса, технически находится в рабочем состоянии; тормозная камера колеса правого борта ввиду значительной f_y имеет низкое значение давления в рабочей полости, для обеспечения эффективного торможения компрессор осуществляет подкачку сжатого воздуха в пневмопривод рассматриваемого колеса, в результате чего Δp_i избыточна, т. е. техническое состояние тормозной камеры правого колеса полуприцепа находится в диапазоне отказов, необходим ремонт, эксплуатация САП недопустима.

Таким образом, согласно требованиям ГОСТ 33997–2016 несимметрия тормозных сил по бортам исследуемой РТС САП менее 25 % и соответствует исправному техническому состоянию, согласно разработанной методике эксплуатация ТС недопустима до проведения ремонтных работ.

Учитывая вышеизложенное, использование на практике разработанной методики позволяет предупредить первопричины ДТП обеспечением контроля предельно допустимой разницы тормозных сил на всех осях САП, времени нарастания давления сжатого воздуха в приводах

тормозных механизмов отдельно взятого колеса до максимума, величины сдвигов по времени этих максимумов для разных колес, давления и времени наполнения рабочей полости рассчитываемых элементов пневмопривода тормозных систем при внешних утечках, и значит, может снизить смертность в дорожном движении, как того требует ст. 2 ФЗ «О безопасности дорожного движения» № 196-ФЗ.

Библиографический список

1. Андреев А. Ф., Артемьев П. П., Бартош П. Р. и др. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Средства гидропневмоавтоматики. Минск: ВУЗ-ЮНИТИ БГПА — ИСН, 1998. 224 с.
2. Василевский В. И. Алгоритм бортовой системы диагностики тормозов магистральной АТС // Вестник Белорусско-Российского университета. 2013. № 1 (38). С. 5–10.
3. Василевский В. И. Концепция создания бортовой системы диагностики тормозов магистральной АТС // Вестник Белорусско-Российского университета. 2013. № 1 (38). С. 11–17.
4. Гуревич Л. В., Меламуд Р. А. Пневматический тормозной привод автотранспортных средств: Устройство и эксплуатация. М.: Транспорт, 1988. 224 с.
5. Донской А. С. Математическое моделирование процессов в пневматических приводах. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 121 с.
6. Евтюков С. А., Васильев Я. В. ДТП: Расследование, реконструкция и экспертиза. СПб.: ООО «Издательство ДНК», 2008. 390 с.

8. Закин Я. Х. Автомобильные поезда. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Автотрансиздат, 1955. 109 с.

9. Закин Я. Х. Автомобиле- и тракторостроение. Динамика движения автомобилей и тракторов. Минск: Высшая школа, 1970. 129 с.

10. Ибрагимов И. А., Фарзани Н. Г., Илясов Л. В. Элементы и системы пневмоавтоматики. М.: Высшая школа, 1985. 544 с.

11. Литвинов А. С., Фаробин Я. Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. М.: Машиностроение, 1986. 240 с.

12. Литвинов А. С. Управляемость и устойчивость автомобиля. М.: Машиностроение, 1971. 416 с.

13. Навроцкий К. Л. Теория и проектирование гидро- и пневмопривода. М.: Машиностроение, 1991. 384 с.

14. Щербакова О. В., Евтюков С. А., Доценко С. Н. Экспериментальное исследование диагностических параметров тормозных свойств автопоезда и оценка эффективности работы рабочей тормозной системы ТС // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 2 (61). С. 224–231.

References

1. Andreev A. F., et al. *Gidropnevmoavtomatika i gidroprivod mobil'nykh mashin. Sredstva gidropnevmoavtomatiki* [Hydro pneumatic automation and hydraulic mobile machines. Tools of hydraulic and pneumatic automation equipment]. Minsk, VUZ-YuNITI BGPA ISN Publ., 1998, 224 p.

2. Vasilevskiy V. I. *Algoritm bortovoy sistemy diagnostiki tormozov magistral'noy ATS* [Algorithm of onboard system of diagnostics of the main ATS brakes]. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta – Bulletin of the Belarusian-Russian University*, 2013, no. 1 (38), pp. 5–10.

3. Vasilevskiy V. I. *Kontseptsiya sozdaniya bortovoy sistemy diagnostiki tormozov magistral'noy ATS* [Concept of creation of onboard system of diagnostics of the ATS brakes]. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta – Bulletin of the Belarusian-Russian University*, 2013, no. 1 (38), pp. 11–17.

4. Gurevich L. V., Melamud P. A. *Pnevmaticheskiy tormoznoy privod avtotransportnykh sredstv: Ustroystvo i*

ehkspluatatsiya [Pneumatic brake drive of motor vehicles: design and operation]. Moscow, Transport Publ., 1988, 224 p.

5. Donskoy A. S. *Matematicheskoe modelirovanie protsessov v pnevmaticheskikh privodakh* [Mathematical modeling of processes in pneumatic drives]. St. Petersburg, Politekh. un-t Publ., 2009, 121 p.

6. Evtyukov S. A., Vasil'ev Ya. V. *DTP: Rassledovanie, rekonstruktsiya i ehkspertiza* [Road accident investigation, reconstruction and examination]. St. Petersburg, DNK Publ., 2008, 390 p.

7. Zakin Ya. Kh. *Avtomobil'nye poezda* [Truck trains]. 2-nd ed., revised. Moscow, Avtotransizdat Publ., 1955, 109 p.

8. Zakin Ya. Kh. *Avtomobile- i traktorostroenie. Dinamika dvizheniya avtomobiley i traktorov* [Automobile and tractor building. Dynamics of car and tractor movement]. Minsk, Vysshaya shkola Publ., 1970, 129 p.

9. Ibragimov I. A., Farzane N. G., Ilyasov L. V. *Ehlementy i sistemy pnevmoavtomatiki* [Elements and systems of pneumatic automation equipment]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1985, 544 p.

10. Litvinov A. S., Farobin Ya. E. *Avtomobil': Teoriya ehkspluatatsionnykh svoystv* [Automobile. Theory of operational properties]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986, 240 p.

11. Litvinov A. C. *Upravlyaemost' i ustoychivost' avtomobilya* [Handling and stability of vehicles]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1971, 416 p.

12. Navrotsky K. L. *Teoriya i proektirovanie gidro- i pnevmoprivoda* [Theory and design of hydraulic and pneumatic drive]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1991, 384 p.

13. Shcherbakova O. V., Evtyukov S. A., Dotsenko S. N. *Ehksperimental'noe issledovanie diagnosticheskikh parametrov tormoznykh svoystv avtopoezda i otsenka ehffektivnosti raboty rabochey tormoznoy sistemy TS* [Experimental study of diagnostic parameters of brake properties of road trains and assessment of the effectiveness of the vehicle braking system]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 2 (61), pp. 224–231.