

УДК 624.042

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СМЕЩЕНИЙ СЫПУЧЕГО ГРУЗА НА ИЗМЕНЕНИЕ ОСЕВЫХ НАГРУЗОК ГРУЗОВОГО АВТОТРАНСПОРТА

Е.Р. Кирколуп, И.В. Харламов*

*ФГБОУ ВО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия
kirkolup@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Изменения законодательства в области эксплуатации автомобильных дорог и правил грузоперевозок привели к необходимости учета максимальных осевых нагрузок, возникающих при грузоперевозках. В частности, эта задача актуальна при перевозке сыпучих грузов, так как при торможении или разгоне грузовых автомобилей (автопоездов), при движении по продольному уклону или при движении на поворотах может произойти смещение части груза относительно осей автомобиля. В статье приведены результаты экспериментального исследования смещений сыпучего груза (гравия, щебня) при перевозках и их влияния на изменение осевых нагрузок грузового автотранспорта.

Материалы и методы. В ходе исследования измеряли уровень сыпучего груза в полуприцепе автопоезда до и после эксперимента, производили поосное взвешивание и взвешивание полной массы автопоезда, дополнительно проводили видеосъемку смещений сыпучего груза.

Результаты. Проводя анализ экспериментальных данных поосного взвешивания, установили, что при перевозке сыпучих грузов происходит его перераспределение внутри полуприцепа, а это в свою очередь приводит к изменению осевых нагрузок автопоезда. Изменения осевых нагрузок лежали за пределами погрешности измерения и составляли от 1,4 до 4,9%. Еще одним доказательством смещения сыпучего груза в полуприцепе послужила видеосъемка груза в процессе его перевозки. Анализ видеозаписей показал, что и щебень, и гравий смещаются в полуприцепе в моменты ускоренного движения автопоезда.

Обсуждение и заключение. В результате выполненной работы получено экспериментальное подтверждение того, что сыпучий груз при перевозках смещается относительно бортов полуприцепа в моменты торможения и это смещение приводит к изменению осевых нагрузок грузового автотранспорта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нагрузка на ось, угол естественного откоса, сыпучий груз, поосное взвешивание, торможение.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы статьи выражают глубокую благодарность директору ООО «БГПК» Э.В. Колерту за оказанное содействие в проведении эксперимента по перевозке сыпучих грузов, в частности за предоставление грузового автотранспорта и материалов, и директору департамента экономического развития Алтайской торгово-промышленной палаты Ю.В. Пономаревой за организацию поосного весового контроля при проведении эксперимента и экспертизу полученных результатов.

© Е.Р. Кирколуп, И.В. Харламов



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE FRIABLE LOAD OFFSETS' EFFECT ON THE VEHICLES' AXIAL CARGO CHANGING

E.R. Kirkolup¹, I.V. Kharlamov^{1}*

*¹ Altai State Technical University named after I.I. Polzunov,
Barnaul, Russia*

**kirkolup@mail.ru*

ABSTRACT

Introduction. Law changes concerning road service and cargo traffic rules lead to the necessity of maximal axel load calculating during the cargo transportation. Such problem is particularly important while friable cargo transporting, as accelerating or breaking cargoes (road-trains) at a longitude inclination or turning could provoke partial lading shift towards the cargo axles. The paper demonstrates the results of friable cargo offset experimental research (grail, broken stone) while transporting. Moreover, the authors also describe influence of the friable cargo offsets on freight transport axle load changing.

Materials and methods. The research measured friable cargo level in the road-train semitrailer before and after the experiment, axle weighting and the full mass weighting. In addition, the authors made video filming of friable cargo offsets.

Results. Analyzing the experimental data of axial weighting, the authors noted that during the friable cargo transportation, the cargo was redistributed inside the semitrailer and such process led to a change in axial loads of the road-train. The axel load changing was not included into the measurement accuracy and was about 1,4 – 4,9%. Another argument of the friable cargo shift inside the semitrailer was cargo video filming while transporting. Video analysis showed that both chip stone and gravel was moving inside the semitrailer while the road-train accelerated motion.

Discussion and conclusions. As a result, the research proves the experimental verification of the friable cargo offset over the semitrailer ramps while braking. Such offsets lead to the changing of freight transport axle load.

KEYWORDS: *axle load, natural angle of repose, friable cargo, axle weighting, braking.*

ACKNOWLEDGEMENTS. *The authors express their gratitude to E.V. Kolert for the assistance in conducting the bulk cargo transportation experiment, in particular for providing trucks and materials. The authors are also grateful to Yu.V. Ponomareva for organizing the post-axial weight control during the experiment and for the examination of obtained results.*

© E.R. Kirkolup, I.V. Kharlamov



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Изменения законодательства в области эксплуатации автомобильных дорог и правил грузоперевозок^{1, 2} привели к необходимости учета максимальных осевых нагрузок, возникающих при грузоперевозках. В частности, эта задача актуальна при перевозке сыпучих грузов, так как при торможении или разгоне грузовых автомобилей (автопоездов), при движении по продольному уклону или при движении на поворотах может произойти смещение части груза относительно осей автомобиля. Это в свою очередь может привести к изменению осевых нагрузок грузового автомобиля [1, 2]. Данная проблема остро стоит перед перевозчиками и мало исследована в научной литературе. Имеющиеся публикации рассматривают в основном колебательное движение системы «автомобиль–груз», которое возникает при торможении, разгоне с учетом неравномерного профиля дорожного полотна [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10], и его влияние на опоры мостов [11] либо транспортировку жидкостей автоцистернами [12, 13], а также проблемы перевозки сыпучих грузов железнодорожным [14, 15, 16] или водным транспортом [17, 18]. В данной статье приведено экспериментальное исследование влияния смещений сыпучего груза (гравия, щебня), происходящих в моменты торможения, на изменение осевых нагрузок автотранспорта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве исследуемого объекта был рассмотрен седельный трехосный тягач с трехосным полуприцепом. Перед проведением экспериментального исследования необходимо было определить параметры перевозимого сыпучего груза, а именно определить его угол естественного откоса, по значению которого можно судить о подвижности груза. Для этого на ровную горизонтальную поверхность (фанерный лист площадью ~1 м²) устанавливали цилиндр высотой 1 м с внутренним диаметром $d = 152$ мм и насыпали в него исследуемый сыпучий материал. Затем медленно поднима-

ли цилиндр, давая материалу свободно высыпаться на горизонтальную поверхность (рисунок 1). Далее измеряли диаметр основания D и высоту h получившегося конуса и определяли угол естественного откоса по формуле

$$\alpha' = \arctg \frac{2h}{D-d}. \quad (1)$$

Испытания проводили три раза для каждого материала: из двух отдельных проб и третьей, приготовленной после усреднения первых двух.

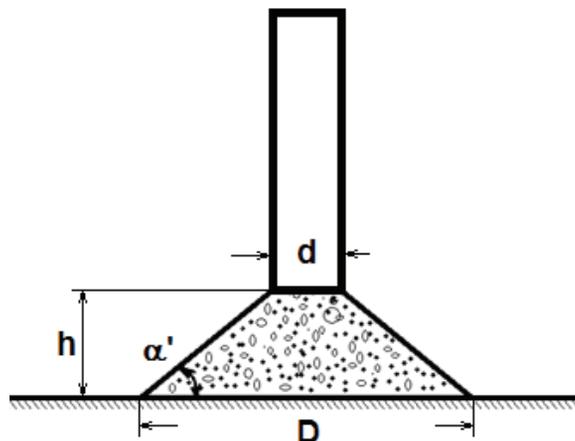


Рисунок 1 – Схема определения угла естественного откоса

Figure 1 – Scheme of natural angle of repose determination

Далее производили засыпку груза в два одинаковых полуприцепа. В первый засыпали щебень фракцией 5–20 мм и массой 24,52 т, во второй – гравий фракцией 5–20 мм массой 25,96 т. Затем производили взвешивание полной массы каждого автопоезда. После этого в пункте первого поосного взвешивания проводили замер уровня груза в полуприцепе. Уровень груза в полуприцепе измеряли с помощью рулетки с точностью ± 1 см вдоль бортов, начиная с передней части правого борта, через интервалы в 1 м от верхней точки до поверхности груза. При этом уровень груза не

¹ Постановление Правительства РФ от 09.01.2014 № 12 (ред. от 18.05.2015) О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам перевозки тяжеловесных грузов по автомобильным дорогам Российской Федерации // Официальный интернет-портал правовой информации : <http://www.pravo.gov.ru>. 13.01.2014; Собрание законодательства РФ. 20.01.2014. № 3. ст. 281.

² Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 № 195-ФЗ (ред. от 07.06.2017). Ст. 12.21.1. Нарушение правил движения тяжеловесного и (или) крупногабаритного транспортного средства (в ред. Федерального закона от 13.07.2015 № 248-ФЗ) // Российская газета. № 256. 31.12.2001 ; Парламентская газета. № 2-5. 05.01.2002 ; Собрание законодательства РФ. 07.01.2002. № 1 (ч. 1). ст. 1.

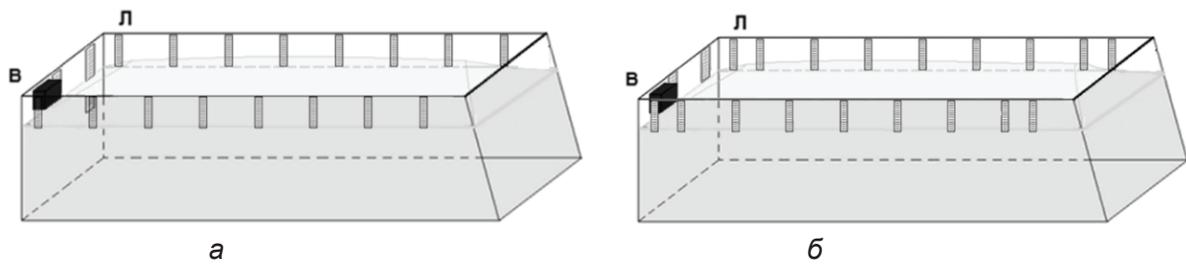


Рисунок 2 – Схема измерения и фиксации уровня груза (а – щебня, б – гравия) в полуприцепе: В – видеокамера, Л – измерительный инструмент (рулетка)

Figure 2 – Scheme of cargo level measurement and fixing (а – chip stone, б – gravel) in the semitrailer: В – video camera, Л – measuring instrument (tapeline)

измеряли на заднем борту и дополнительно при измерении уровня засыпки гравия добавляли дополнительные точки измерения через 0,5 м по одной в передней части левого и правого бортов полуприцепа и аналогично в задней части полуприцепа (рисунок 2). Затем производили поосное взвешивание на весах EVOCAR-2000-10, погрешность которых соответствует требованиям «ГСИ. Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания» ГОСТ OIML R 76-1–2011. После первого поосного взвешивания на каждый полуприцеп устанавливали видеокамеры на передний борт слева.

Далее на участках дороги с продольными уклонами, равными 2–7%, производили резкое торможение со скоростью 90 км/ч. Ускорение, возникающее при этом, оценивали по формуле

$$a = \frac{\Delta V}{t}, \quad (2)$$

где ΔV – изменение скорости автопоезда, t – время, в течение которого осуществлялось торможение.

Дополнительно определяли коэффициент трения при торможении для системы автопоезда «асфальтобетонное покрытие дороги» по формуле

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha + \left(a + \frac{F_c}{m} \right) \cdot \frac{1}{g \cdot \cos \alpha}, \quad (3)$$

где α – продольный уклон дороги (в градусах), a – ускорение автопоезда в момент торможения, $0,5 \cdot C_x \cdot \rho S \Delta V_1^2$ – сила сопротивления воздуха, $C_x = 0,8$ – коэффициент аэродинамического сопротивления для грузовиков данного типа, $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха, S – площадь фронтальной проекции автопоезда,

m – полная масса автопоезда, g – ускорение свободного падения.

После торможения производили второе поосное взвешивание каждого автопоезда и измеряли уровень груза в полуприцепах. Кроме того, фиксировали смещение груза в полуприцепах по видеозаписям с видеокамер. Видеофиксацию смещения сыпучего груза в полуприцепе проводили с помощью видеокамер GoPro в период движения автопоезда от первого пункта весового контроля до второго пункта весового контроля.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Измерение угла естественного откоса показало, что оба груза обладают высоким внутренним трением и соответственно низкой подвижностью частиц груза. Рассчитанные по формуле (1) значения угла естественного откоса для щебня и гравия в пределах погрешности измерения соответствуют данным, приведенным в СНиП 2.05.07–91* и СП 22.13330.2011, и составили для щебня $45^\circ \pm 5^\circ$ и для гравия $42^\circ \pm 4^\circ$. Отметим, что подвижность груза оценивали исходя из условия

$$a \geq g \cdot \operatorname{tg} \alpha', \quad (4)$$

где a – ускорение сыпучего груза в полуприцепе, g – ускорение свободного падения.

Условие (4) показывает, что для того чтобы груз начал смещаться, необходимо преодолеть внутреннее трение между частицами, которое определяется углом естественного откоса сыпучего груза. При таких значениях угла естественного откоса смещение сыпучего груза следовало ожидать только при больших ускорениях автопоезда (не менее 5 м/с^2), которые можно было достичь при резком торможении или при торможении в случае движения вниз под продольный уклон дороги [1].

Экспериментальные данные и рассчитанные по формулам (2) и (3) значения ускорения автопоезда и коэффициента трения в момент торможения приведены в таблице 1. Полученные значения свидетельствуют о том, что в эксперименте были соблюдены условия, указанные в теоретическом расчете [1], то есть в теоретическом расчете были использованы значения ускорения в момент торможения для автопоезда от 5 до 7 м/с², а коэффициент трения скольжения для резины и сухого асфальта брали равным 0,75, руководствуясь тем, что его минимальное значение не должно быть меньше того значения, которое определили по классу сцепления шин с мокрой поверхностью дороги европейской маркировки шин (С, Е) [19, 20]. Существенным наблюдением из данного эксперимента являлись небольшие заносы автопоезда в моменты торможения, если ускорение автопоезда превышало значения 8 м/с², на это обстоятельство было указано в теоретическом расчете.

Экспериментальные данные по определению уровня щебня и гравия в полуприцепах показали незначительные изменения уровня груза в каждом полуприцепе, лишь в некоторых точках была заметна разница между уровнями груза до и после торможения. В основном смещение груза происходило в сторону правого и переднего бортов. Так, например, в полуприцепе со щебнем уровень груза у правого и переднего бортов изменился на 3 см, а в полуприцепе с гравием в некоторых точках у правого борта уровень изменился на 5–11 см. В остальных точках изменения уровня груза были незначительными и лежали в пределах погрешности измерения. Такие изменения уровня щебня и гравия в полуприцепах объяс-

няются неравномерной погрузкой, после которой часть груза была смещена к левому борту каждого полуприцепа. Следует отметить, что выравнивание поверхности груза в полуприцепах сразу после погрузки не проводили, так как стояла задача максимально приблизить эксперимент к реальным грузоперевозкам. Поэтому по результатам измерения уровня груза можно делать только качественную оценку о смещении груза.

Результаты взвешивания полной массы и поосного взвешивания автопоезда до и после эксперимента приведены в таблице 2, даны показания 12 весов EVOCAR, установленных под каждое колесо автопоезда в процессе измерения осевой нагрузки, и данные весового контроля, полученные по стандартной методике, используемой при определении превышений транспортным средством допустимой массы и установленных ограничений по нагрузке на ось. Отметим, что при взвешивании отсчет осей проводили от кабины автопоезда.

Из анализа экспериментальных данных, приведенных в таблице 2, видно, что при перевозке сыпучих грузов происходит его перераспределение внутри полуприцепа, а это в свою очередь приводит к изменению осевых нагрузок автопоезда. Так, к примеру, при перевозке щебня по данным весового контроля, изменение осевой нагрузки автопоезда до и после эксперимента на осях 2, 3, 5 и 6 превысили погрешность, которая была допущена при поосном взвешивании автопоезда с щебнем и не превосходила 1,2%, и составили 1,4, 1,7, 3,3 и 1,4%. Отметим, что наиболее существенным оказалось изменение осевой нагрузки на 5-й оси.

Таблица 1
Данные эксперимента по измерению ускорения автопоезда и коэффициента трения в момент торможения

Table 1
Experimental data while the road-train accelerating and breaking index of friction measurement

Место торможения	Груз	Уклон α , %	Ускорение a , м/с ²	Коэффициент трения μ
Участок 1	Щебень 5-20	7	5,0	0,62
Участок 2	Гравий 5-20	5,6	8,3	0,91
Участок 1	Гравий 5-20	7	6,1	0,69
Участок 3	Гравий 5-20	2	9,3	0,97
Участок 4	Гравий 5-20	4	8,0	0,85

Таблица 2
Данные эксперимента по взвешиванию полной массы и поосного взвешивания автопоезда

Table 2

Experimental data while the road-train gross vehicle weight and axel weight measurement

Тип взвешивания	Объект	Ось 1, кг	Ось 2, кг	Ось 3, кг	Ось 4, кг	Ось 5, кг	Ось 6, кг
Полной массы	автопоезд пустой	18 040					
	груз щебень 5-20	24 520					
	Суммарная масса	42 560					
Поосное до эксперимента	Правое колесо	3230	3980	3590	3860	3920	3710
	Левое колесо	3260	3170	3170	3930	3470	3290
	Суммарная масса	6490	7150	6760	7790	7390	7000
		42 580					
Поосное после эксперимента	Правое колесо	3140	3700	3680	3780	3660	3680
	Левое колесо	3280	3500	3200	3860	3580	3420
	Суммарная масса	6420	7200	6880	7640	7240	7100
		42 480					
% изменения	Правое колесо	-2,9	-7,6	2,4	-2,1	-7,1	-0,8
	Левое колесо	0,6	9,4	0,9	-1,8	3,1	3,8
	Осевая нагрузка	-1,1	0,7	1,7	-2,0	-2,1	1,4
Весовой контроль, поосное до эксперимента	Осевая нагрузка	6440	7120	6740	7520	7520	7080
	Погрешность	80	80	80	80	80	80
	Суммарная масса	42420 ± 480					
Весовой контроль, поосное после эксперимента	Осевая нагрузка	6420	7220	6860	7500	7280	7180
	Погрешность	80	80	80	80	80	80
	Суммарная масса	42460 ± 480					
% изменения	Осевая нагрузка	-0,3	1,4	1,7	-0,3	-3,3	1,4
Полной массы	Автопоезд пустой	17 520					
	Груз гравий 5-20	25 960					
	Суммарная масса	43 480					
Поосное до эксперимента	Правое колесо	3250	3560	3370	3890	3870	3570
	Левое колесо	3340	3350	2980	4100	3870	4080
	Суммарная масса	6590	6910	6350	7990	7740	7650
		43 230					
Поосное после эксперимента	Правое колесо	3320	3210	3180	3850	3560	3450
	Левое колесо	3480	3770	3090	4150	3890	4150
	Суммарная масса	6800	6980	6270	8000	7450	7600
		43 100					
% изменения	Правое колесо	2,1	-10,9	-6,0	-1,0	-8,7	-3,5
	Левое колесо	4,0	11,1	3,6	1,2	0,5	1,7
	Осевая нагрузка	3,1	1,0	-1,3	0,1	-3,9	-0,7
Весовой контроль, поосное до эксперимента	Осевая нагрузка	6640	6920	6280	7960	7760	7700
	Погрешность	80	80	70	100	80	100
	Суммарная масса	43260 ± 510					
Весовой контроль, поосное после эксперимента	Осевая нагрузка	6800	6980	6280	7980	7400	7540
	Погрешность	80	80	80	100	80	100
	Суммарная масса	42980 ± 520					
% изменения	Осевая нагрузка	2,4	0,9	0,0	0,3	-4,9	-2,2

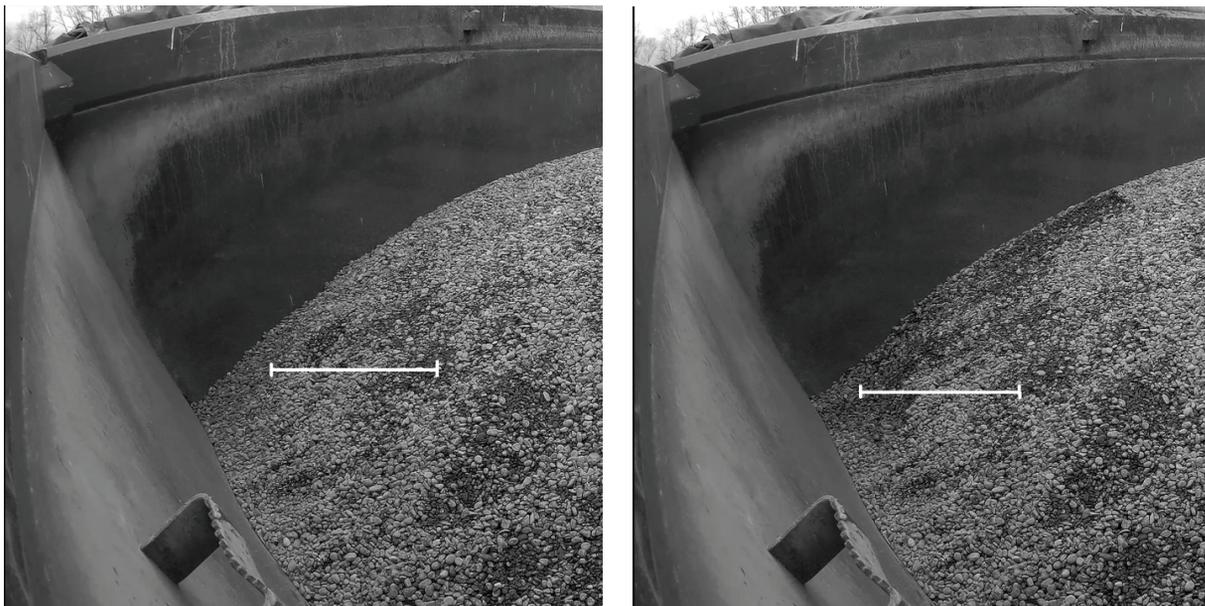


Рисунок 3 – Кадры видеосъемки, сделанные с интервалом в 2 с

Figure 3 – Video filming with 2 seconds apart

При перевозке гравия в ходе эксперимента с торможением также произошли изменения осевой нагрузки. Она заметно изменилась на осях 1, 5 и 6 на 2,4, 4,9 и 2,2%. При этом максимальная погрешность поосного взвешивания автопоезда с гравием не превосходила 1,3%. Если сравнить процент изменения нагрузки на каждое колесо до и после эксперимента, то видим, что у автопоезда со щебнем у половины колес нагрузка изменилась более чем на 2% и в некоторых случаях достигала 9,4% (левое колесо на 2-й оси). У автопоезда с гравием процент изменения нагрузки превзошел значение 2% на 8-ми колесах и так же, как и в первом случае, на левом колесе 2-й оси наблюдалось максимальное изменение – 11,1%.

Еще одним доказательством смещения сыпучего груза в полуприцепе послужила видеосъемка груза в процессе его перевозки. Анализ видеозаписей показал, что и щебень, и гравий смещаются в полуприцепе в моменты ускоренного движения автопоезда. Изменение положения частиц груза в полуприцепе хорошо видно на кадрах (рисунок 3), сделанных с одной из видеозаписей с интервалом в 2 с.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного эксперимента можно заключить следующее:

1. Сыпучие грузы, в частности щебень и гравий, смещаются в полуприцепе во время перевозки, о чем свидетельствуют результаты

эксперимента по измерению уровня груза в полуприцепе и видеофиксация моментов смещения.

2. Смещение сыпучего груза в полуприцепе приводит к изменению осевых нагрузок автопоезда, о чем свидетельствуют экспериментальные данные, полученные в результате весового контроля, проведенного в соответствии со стандартной методикой, используемой при определении превышений транспортным средством допустимой массы и установленных ограничений по нагрузке на ось.

Исходя из полученных результатов видно, что при перевозке сыпучих грузов будут происходить его смещения относительно бортов полуприцепа даже в случае перевозки сыпучих материалов с высоким внутренним трением между частицами (щебня, гравия). Если же говорить о перевозке сыпучих материалов с малым внутренним трением между частицами (пшеницы, овса, сухого песка и др.), то следует ожидать больших смещений в моменты кинематических возмущений, связанных с торможением, поворотами автопоезда, неровным профилем дорожного полотна и т.д. Поэтому чтобы избежать осевых перегрузок из-за смещений сыпучих грузов, необходимо принимать меры по уменьшению его подвижности. Например, производить выравнивание поверхности сыпучего груза внутри полуприцепа и при перевозке не допускать резкой смены режимов движения, либо предусмотреть прижимное

устройство для груза, либо установить в кузов автомобиля специальные диафрагмы по аналогии с цистернами для перевозки жидкостей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кирколуп Е.Р., Харламов И.В., Шайдук А.М. Оценка влияния смещений сыпучих материалов на изменение осевых нагрузок, возникающих при кинематическом воздействии в процессе грузоперевозок // Ползуновский альманах. 2018. № 1. С. 101–108.
2. Абдюшев А.А., Юманов В.А. Определение нагрузок на транспортное средство от динамического воздействия грузов при экстренном торможении // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 2 (20). С. 280–288.
3. Taghavifar H., Mardani A. Off-roa vehicle dynamics. Springer. 2017. 183 p. DOI 10.1007/978-3-319-42520-7.
4. Sun Lu. An overview of a unified theory of dynamics of vehicle-pavement interaction under moving and stochastic load // Journal of Modern Transportation. 2013. Vol. 21. No. 3. P. 135-162 DOI 10.1007/s40534-013-0017-8.
5. Jin Yanfei, Luo Xuan. Stochastic optimal active control of a half-car nonlinear suspension under random road excitation // Nonlinear Dynamics. 2013. Vol. 72. No. 1. P. 185-195 DOI 10.1007/s11071-012-0702-x.
6. Гриднев С.Ю., Будковой А.Н. Оценка динамического воздействия автомобиля на путь при торможении и разгоне с учетом кинематического возмущения // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 4. С. 409–415.
7. Мазур В.В. Математическая модель динамики масс автотранспортного средства с повреждённой пневматической шиной при торможении на неровной дороге // Системы. Методы. Технологии. 2009. № 2 (2). С. 36–38.
8. Мазур В.В. Математическая модель динамики автомобиля при торможении на неровной дороге // Системы. Методы. Технологии. 2009. № 4. С. 42–45.
9. Мазур В.В. Математическая модель силового баланса автомобиля при движении по дороге с неровным микропрофилем // Системы. Методы. Технологии. 2009. № 3. С. 29–32.
10. Sharp R.S., Crolla D.A. Road vehicle suspension system design – a review // International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility. 1987. V. 16. No. 3. P. 167-192. DOI 10.1080/00423118708968877.
11. Кадисов Г.М., Чернышов В.В. Конечно-элементное моделирование динамики мостов при воздействии подвижной нагрузки // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 9 (44). С. 56–63.
12. Гриднев С.Ю., Будковой А.Н. Моделирование совместных колебаний пролетных строений и автоцистерн с частично наполненными жидкостью кузовами при переходных режимах движения // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2009. № 3 (15). С. 103–110.
13. Гриднев С.Ю., Будковой А.Н. Использование механического аналога жидкости для моделирования колебаний автоцистерны при разгоне и торможении // Научный журнал строительства и архитектуры. 2011. № 1. С. 98–106.
14. Shvets A.O. Influence of the longitudinal and transverse displacement of the cargo gravity center in gondola cars on their dynamic indicators // Наука та прогрес транспорту. 2018. № 5 (77). С. 115–128.
15. Путьято А.В., Соколовский А.И. Нагруженность торцевой стены полувагона при изменении когезионных свойств сыпучего груза // Актуальные вопросы машиноведения. 2016. Т. 5. С. 191–194.
16. Путьято А.В., Белогуб В.В. Методы моделирования и расчетные схемы нагруженности кузовов вагонов при перевозке сыпучих грузов // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки. 2007. № 1. С. 45–53.
17. Бухарицин П.И., Беззубиков Л.Г. Устройство для предотвращения смещения грузов в трюме и сохранения плавучести судна // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 3. С. 179–180.
18. Маликова Т.Е. Применение теории катастроф для классификации сценариев потери остойчивости судна при смещении груза // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2014. № 3 (25). С. 15–19.
19. K. Jeon, Y. Yoo, J. Lee, D. Jung Laboratory Alignment Procedure for Improving Reproducibility of Tyre Wet Grip Measurement // International Journal of Automotive Technology. 2016. Vol. 17. No. 3. pp. 457–463. DOI 10.1007/s12239-016-0047-4.
20. Regulation (EC) No 1222/2009 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 on the labelling of tyres with respect to fuel efficiency and other essential parameters.

REFERENCES

1. Kirkolup E.R., KHarlamov I.V., SHajduk A.M. Otsenka vliyaniya smeshhenij sypuchikh materialov na izmenenie osevykh nagruzok, voznikayushhikh pri kinematicheskome vozdeystvii v protsesse gruzoperevozok [Assessment of the shifts impact of bulks on change of the axial loads arising at kinematic influence in the course of cargo transportation]. *Polzunovskij al'manakh*, 2018, no 1, pp. 101–108 (in Russian).
2. Abdyushev A.A., YUmanov V.A. Opre-delenie nagruzok na transportnoe sredstvo ot dinamicheskogo vozdeystviya gruzov pri ehkstre-nom tormozhenii [Definition of vehicle loads of the from dynamic influence of freights at emergency brake application]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo univer-siteta*, 2012, no 2 (20), pp. 280–288 (in Russian).
3. Taghavifar H., Mardani A. Off-roa vehicle dynamics. Springer. 2017. 183 p. DOI 10.1007/978-3-319-42520-7.
4. Sun Lu. An overview of a unified theory of dynamics of vehicle-pavement interaction under moving and stochastic load // *Journal of Modern Transportation*. 2013. Vol. 21. No. 3. P. 135-162 DOI 10.1007/s40534-013-0017-8.
5. Jin Yanfei, Luo Xuan. Stochastic optimal active control of a half-car nonlinear suspension under random road excitation // *Nonlinear Dynamics*. 2013. Vol. 72. No. 1. pp. 185–195 DOI 10.1007/s11071-012-0702-x.
6. Gridnev S.YU., Budkovej A.N. Otsenka dinamicheskogo vozdeystviya avtomobilya na put' pri tormozhenii i razgone s uchetom kinematicheskogo vozmushheniya [Assessment of dynamic influence of the car on the way during the braking and dispersal, taking into account kinematic indig-nation]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2012, no 4, pp. 409–415 (in Russian).
7. Mazur V.V. Matematicheskaya model' dinamiki mass avtotranspornogo sredstva s povrezhdyonnoj pnevmaticheskoy shinoj pri tormozhenii na nerovnoj doroge [Mathematical model of the car dynamics while braking on the uneven road]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2009, no 2 (2), pp. 36–38 (in Russian).
8. Mazur V.V. Matematicheskaya model' dinamiki avtomobilya pri tormozhenii na nerovnoj doroge [Mathematical model of the car power balance at movement along the road with uneven micro-cross-section]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2009, no 4, pp. 42–45 (in Russian).
9. Mazur V.V. Matematicheskaya model' silovogo balansa avtomobilya pri dvizhenii po doroge s nerovnym mikroprofilom [Mathematical model of power balance of the car power balance at movement along the road with uneven micro-cross-section]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2009, no 3, pp. 29–32 (in Russian).
10. Sharp R.S., Crolla D.A. Road vehicle suspension system design – a review // *International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*. 1987. V. 16. No. 3. pp. 167–192. DOI 10.1080/00423118708968877.
11. Kadisov G.M., CHernyshov V.V. Konechno-ehlementnoe modelirovanie dinamiki mostov pri vozdeystvii podvizhnoj nagruzki [Final and element modeling of the bridges' dynamics at influence of the mobile loading]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*, 2013, no 9 (44), pp. 56–63 (in Russian).
12. Gridnev S.YU., Budkovej A.N. Modelirovanie sovместnykh kolebanij proletnykh stroenij i avtotsistem s chastichno napolnennymi zhidkost'yu kuzovami pri perekhodnykh rezhimakh dvizheniya [Modeling of joint fluctuations of flying buildings and tanker trucks with the bodies which are partially filled with liquid at transient states of the movement]. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2009, no 3 (15), pp. 103–110 (in Russian).
13. Gridnev S.YU., Budkovej A.N. Is-pol'zovanie mekhanicheskogo analoga zhidkosti dlya modelirovaniya kolebanij avtotsisterny pri razgone i tormozhenii [Use of a mechanical fluid analogue for modeling tank truck oscillations during acceleration and deceleration]. *Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arkhitektury*, 2011, no 1, pp. 98–106.
14. Shvets A.O. Influence of the longitudinal and transverse displacement of the cargo gravity center in gondola cars on their dynamic indicators. *Nauka ta progres transport*, 2018, no 5 (77), pp. 115–128.
15. Putyato A.V., Sokolovskij A.I. Nagruzhennost' tortsevoj steny poluvagona pri izmenenii kogeziionnykh svoystv sypuchego gruza [Loading of semi track at change of cohesive properties of loose freight]. *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya*, 2016, Vol. 5, pp. 191–194 (in Russian).
16. Putyato A.V., Belogub V.V. Metody modelirovaniya i raschetnye skhemy nagruzhennosti kuzovov vagonov pri perevozke sypuchikh gruzov [Methods of modeling and settlement schemes of loading of cars in transit loose freights]. *Mekhanika. Nauchnye issledovaniya i uchebno-metodicheskie razrabotki*, 2007, no 1, pp. 45–53 (in Russian).

17. Bukharitsin P.I., Bezzubikov L.G. *Ustrojstvo dlya predotvrashheniya smeshheniya gruzov v tryume i sokhraneniya plavuchesti sudna* [Device for prevention of freights' shift in a hold and maintaining buoyancy of the vessel]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2014, no 3, pp. 179–180 (in Russian).

18. Malikova T.E. *Primenenie teorii katastrof dlya klassifikatsii stsenarijev poteri ostojchivosti sudna pri smeshhenii gruzha* [Application of the accidents' theory for classification of the scenarios for stability loss of the vessel at freight shift]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova*, 2014, no 3 (25), pp. 15–19 (in Russian).

19. K. Jeon, Y. Yoo, J. Lee, D. Jung *Laboratory Alignment Procedure for Improving Reproducibility of Tyre Wet Grip Measurement* // *International Journal of Automotive Technology*. 2016. Vol. 17. No. 3. pp. 457–463. DOI 10.1007/s12239-016-0047-4.

20. Regulation (EC) No 1222/2009 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 on the labelling of tyres with respect to fuel efficiency and other essential parameter

Поступила 06.03.2019, принята к публикации 12.04.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кирколуп Евгений Романович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительные конструкции», ORCID 0000-0003-4782-6507, ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, e-mail: kirkolup@mail.ru.

Харламов Иван Викентьевич – канд. техн. наук, проф. кафедры «Строительные конструкции», ORCID 0000-0002-2607-5380, ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, e-mail: hiv@mail.altstu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kirkolup Evgenij Romanovich – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Building Structure Department, ORCID 0000-0003-4782-6507, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov (656038, Barnaul, 46 Lenin Ave., e-mail: kirkolup@mail.ru).

Kharlamov Ivan Vikentevich – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Building Structure Department, ORCID 0000-0002-2607-5380, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov (656038, Barnaul, 46 Lenin Ave., e-mail: hiv@mail.altstu.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Кирколуп Е.Р. – постановка эксперимента, обработка и оформление результатов эксперимента, анализ результатов эксперимента, анализ источников, формирование статьи.

Харламов И.В. – постановка задачи, анализ результатов эксперимента, формулировка выводов, редактирование статьи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Kirkolup E.R. – setting up of the experiment; results' calculation; experimental results' analysis; references analysis; paper writing.

Kharlamov I.V. – setting up of the experimental objectives; experimental results' analysis; conclusions' formulation; paper editing.