#### РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

ным транспортом» ФГБОУ ВО «Липецкий ГТУ» (398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, e-mail: kafedrauat@mail.ru ).

Vladimir Ilyich Ignatenko (Russia, Lipetsk) – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automobile Transport Management, FGBOU VO "Lipetsk GTU" (398600, Lipetsk, 30 Moskovskaya St., e-mail: kafedrauat@mail.ru).

Дмитрий Константинович Сысоев (Россия, Пятигорск) – кандидат технических наук, доцент, доцент Института сервиса,

туризма и дизайна (филиал) ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет (СКФУ)» (357500, г. Пятигорск, ул. Ермолова 46, 7 корпус, строение A e-mail: kaf-tsp@pfncfu.ru).

Dmitriy Konstantinovich Sysoev (Russia, Pyatigorsk) – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Institute of Service, Tourism and Design (branch) of the Federal North-Caucasian Federal University (357500, Pyatigorsk, Yermolov Str. Building, building A e-mail: kaf-tsp@pfncfu.ru).

УДК 629.3.02

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ПЛАВНОСТЬ ХОДА ПРИЦЕПА БОЛЬШОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ С ТАНДЕМНЫМИ ОСЯМИ

В.Ю. Костюк, Е.Ю. Липатов Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

**Аннотация:** Статья посвящена оценке влияния эксплуатационных факторов и конструктивных параметров прицепа большой грузоподъемности с тандемными осями на такие оценочные показатели как: среднеквадратическое отклонение вертикальных линейных и продольно-угловых ускорений подрессоренных частей. В статье по силе влияния проранжированы эксплуатационные факторы и конструктивные параметры, которые оказывают влияние на оценочные показатели. Проведен детальный анализ влияния каждого из эксплуатационного фактора и конструктивного параметра на вертикальные линейные и продольно-угловые ускорения подрессоренных частей.

**Ключевые слова:** прицеп, тандемные оси, эксплуатационные факторы, конструктивные параметры, планирование эксперимента.

Современные методы организации перевозок грузов предполагают использование автотранспортных средств большой грузоподъемности, для чего вместе с грузовыми автомобилями применяют прицепные звенья. В последние годы большое распространение получили прицепы с тандемными осями. Преимущества использования прицепов данной компоновки очевидны: во-первых, имеется возможность комбинировать прицеп с различными автомобилями-тягачами, во-вторых, устойчивость прицепа с тандемными осями против возникновения поперечных колебаний выше, чем у одноосных прицепов или прицепных звеньев с разнесенными осями и, в-третьих, сокращается количество шарнирных соединений и, как следствие, повышается маневренность автомобильного поезда.

Наибольшее количество прицепов с тандемными осями выпускается зарубежными производителями прицепной техники. С учетом новых тенденций отечественные производители прицепной техники также расширяют модельные ряды за счет данного вида транспортных средств. При этом анализ существующих моделей прицепов показал, что область их применения очень обширна, а именно: при перевозке сыпучих грузов с высокой плотностью, при перевозке грузов контейнерами и при перевозке скоропортящихся или хрупких грузов.

Целостность груза, долговечность рамы и осей определяется внешними силовыми факторами, которые зависят от режимов эксплуатации (скорость движения и масса перевозимого груза) и состояния дорожного покрытия (длина неровности и высота неровности). Поэ-

ПАРАМЕТРОВ ПРИЦЕПА ВОЛЬШОЙ ГРУЗОПОД ВЕМНОСТИ С ТАНДЕМНЫМИ ОСЯМИ										
Наименование параметра	Обозна- чение -1,94		Уровни варьирования					Границы пара- метров		Шаг
			-1	0	1	1,94	min	max		
Скорость движения автопоезда	V	<b>X</b> <sub>1</sub>	11,11	14,69	18,06	21,64	25	11,11	25	3,58
Длина неров- ности	L <sub>n</sub>	X <sub>2</sub>	6,5	12,56	18,26	24,32	30	6,5	30	6,06
Высота неров-	h <sub>H</sub>	<b>X</b> <sub>3</sub>	0,006	0,011	0,015	0,02	0,024	0,006	0,024	0,004
Масса прицепа	M <sub>p</sub>	X <sub>4</sub>	6500	9464	12250	15214	18000	6500	18000	2964
Высота сцепки	h <sub>c</sub>	<b>X</b> <sub>5</sub>	0,425	0,54	0,64	0,75	0,86	0,425	0,86	0,11
База прицепа	L <sub>p</sub>	X <sub>6</sub>	5,2	5,56	5,9	6,26	6,6	5,2	6,6	0,36

Таблица 1 УРОВНИ ВАРЬИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИЦЕПА БОЛЬШОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ С ТАНДЕМНЫМИ ОСЯМИ

тому с целью повышения долговечности рамы, осей прицепа и повышения его эффективности необходимо провести исследования плавности хода в различных режимах эксплуатации.

Обзор научно-технической литературы показал, что на современном этапе достаточно полно исследованы эксплуатационные качества одноосных прицепов [1, 2, 3, 4], двухосных прицепов [5] и полуприцепов [6]. Вопросы исследования эксплуатационных свойств прицепа с тандемными осями не затрагиваются. Вместе с тем использование результатов исследований, полученных для одноосных прицепов, двухосных прицепов и полуприцепов, может привести к существенным погрешностям, как при проектировании, так и при выборе эксплуатационных режимов прицепа.

Обозначим ключевые моменты проведения эксперимента при оценке влияния эксплуатационных факторов и конструктивных параметров на плавность хода прицепа большой грузоподъемности с тандемными осями. В качестве оцениваемых параметров были выбраны среднеквадратическое отклонение линейных вертикальных ускорений и среднеквадратическое отклонение продольно-угловых ускорений подрессоренных частей прицепа. Исследования проводились с помощью метода планирования эксперимента, т.к.

данный метод характеризуется системным подходом при оценке влияния внешних факторов на оценочный показатель. А расчеты выполнялись на апробированной математической модели прицепа с тандемными осями [7], которая позволяла определить вертикальные линейные перемещения и продольно-угловые перемещения подрессоренных масс с учетом наличия неподрессоренных частей.

Выбор эксплуатационных факторов, оказывающих влияние на оцениваемые показатели, ограничился скоростью движения автомобильного поезда, длиной неровности дороги, дисперсией высот неровностей дороги, полной массой прицепа. К перечисленным эксплуатационным факторам были добавлены конструктивные параметры автопоезда, а именно: высота сцепки и величина колесной базы прицепа. Уровни варьирования факторов, величина «звездного плеча» и шаг варьирования приведены в табл. 1.

В результате проведения расчетного эксперимента были получены уравнения регрессии (1, 2), позволяющие оценить влияние эксплуатационных факторов и конструктивных параметров прицепа с тандемными осями на среднеквадратическое отклонение вертикальных ускорений и продольно-угловых ускорений его подрессоренных частей.

$$y(z) = 0.945 + 0.14 \cdot x_1 - 0.215 \cdot x_2 + 0.141 \cdot x_3 - 0.146 \cdot x_4 + 0.01 \cdot x_6 - 0.075 \cdot x_1^2 - 0.057 \cdot x_2^2 - 0.033 \cdot x_3^2 + 0.042 \cdot x_4^2 - 0.019 \cdot x_5^2 - 0.017 \cdot x_6^2 - 0.016 \cdot x_1 x_2 + 0.02 \cdot x_1 x_3 + 0.043 \cdot x_1 x_4 + 0.026 \cdot x_1 x_6 - 0.035 \cdot x_2 x_3 + 0.046 \cdot x_2 x_4 - 0.004 \cdot x_2 x_6 - 0.02 \cdot x_3 x_4 + 0.001 \cdot x_3 x_6 + 0.006 \cdot x_4 x_6$$

$$(1)$$

$$y(z) = 0.945 + 0.14 \cdot x_1 - 0.215 \cdot x_2 + 0.141 \cdot x_3 - 0.146 \cdot x_4 + 0.01 \cdot x_6 - 0.075 \cdot x_1^2 - 0.057 \cdot x_2^2 - 0.033 \cdot x_3^2 + 0.042 \cdot x_4^2 - 0.019 \cdot x_5^2 - 0.017 \cdot x_6^2 - 0.016 \cdot x_1 x_2 + 0.02 \cdot x_1 x_3 + 0.043 \cdot x_1 x_4 + 0.026 \cdot x_1 x_6 - 0.035 \cdot x_2 x_3 + 0.046 \cdot x_2 x_4 - 0.004 \cdot x_2 x_6 - 0.02 \cdot x_3 x_4 + 0.001 \cdot x_3 x_6 + 0.006 \cdot x_4 x_6$$

$$(2)$$

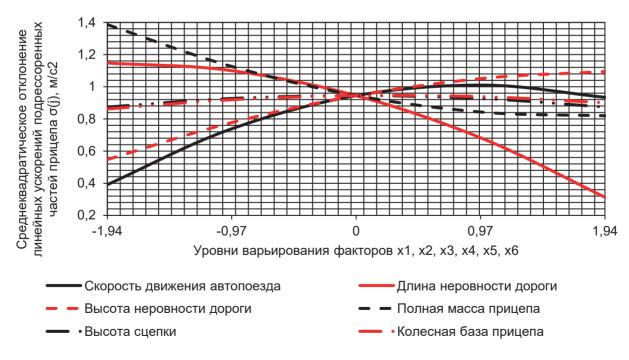
Качественный анализ влияния эксплуатационных факторов и конструктивных параметров прицепа с тандемными осями на среднеквадратическое отклонение линейных вертикальных ускорений и среднеквадратическое отклонение продольно-угловых ускорений подрессоренных частей можно выполнить с помощью коэффициентов  $b_i$  полиномов (1, 2). Так положительная величина коэффициента указывает на негативное влияние фактора на оцениваемый показатель, отрицательная величина, напротив, на положительный эффект.

Обращаясь к полиному (1) нетрудно заметить, что к увеличению среднеквадратического отклонения вертикальных линейных ускорений приводит рост скорости движения прицепа с тандемными осями, дисперсии ординат неровностей и колесной базы прицепа. И наоборот снижают величину среднеквадратического отклонения ускорений: длина неровности и полная масса прицепа. Среднеквадратическое отклонение продольно-угловых ускорений подрессоренных частей прицепа

с тандемными осями (2) увеличивается с ростом величины следующих эксплуатационных факторов и конструктивных параметров: скорость движения прицепа, средняя длина неровности, дисперсия ординат неровностей, полная масса прицепа и колесная база.

Перейдем от качественного сравнения силы влияния эксплуатационных факторов и конструктивных параметров к их количественному анализу. Для наглядности зависимости среднеквадратических отклонений линейных вертикальных и продольно-угловых ускорений показаны на рисунках 1 и 2.

Расчетами первой производной полинома (1) по скорости движения прицепа установлено, что максимальное значение среднеквадратического отклонения линейных вертикальных ускорений наблюдается при величине  $x_1=0,93$ . Что соответствует движению прицепа с параметрами  $h_c=0,64$  м и  $L_p=5.9$  м со скоростью 77 км/ч по участку дороги с неровностями длиной 18,26 м, среднеквадратическим отклонением высот неровностей 0,015 м.



Puc. 1. Зависимость среднеквадратического отклонения вертикальных линейных ускорений подрессоренных частей прицепа с тандемными осями

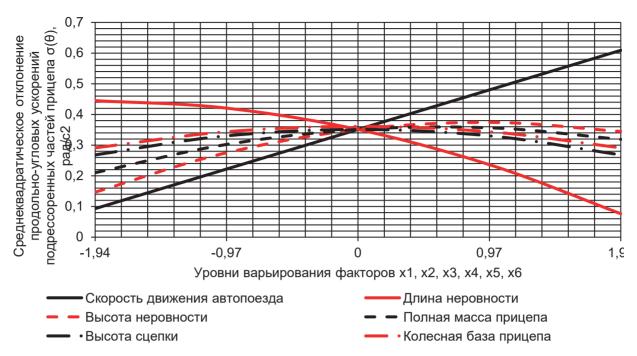
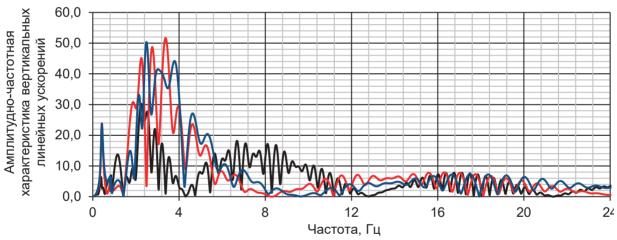


Рис. 2. Зависимость среднеквадратического отклонения продольно-угловых ускорений подрессоренных частей прицепа с тандемными осями



——АЧХ вертикальных линейных ускорений подрессоренных частей прицепа при скорости 40 км——АЧХ вертикальных линейных ускорений подрессоренных частей прицепа при скорости 77 км——АЧХ вертикальных линейных ускорений подрессоренных частей прицепа при скорости 90 км

Puc. 3. Амплитудно-частотные характеристики вертикальных линейных подрессоренных частей прицепа с тандемными осями

Рассмотрим амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) линейных вертикальных ускорений подрессоренных частей прицепа с тандемными осями, которые приведены на графике рисунок 3. Хорошо видно, что величины АЧХ вертикальных линейных ускорений подрессоренных частей прицепа с тандемными осями при скоростях движения 77 км/ч и 90 км/ч на частоте 0,5 Гц практически равны.

Однако, в диапазоне частот 2...4 Гц АЧХ вертикальных линейных ускорений при скорости движении 77 км/ч имеет три максимальных значения. В то время как АЧХ вертикальных линейных ускорений при скорости движении 90 км/ч — один. Ординаты АЧХ вертикальных линейных ускорений при скорости движении 40 км/ч значительно меньше ординат АЧХ при скоростях движения 77 км/ч и 90 км/ч.

км/ч



вертикальных линейных ускорений подрессоренных частей прицепа при скорости 90

Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики вертикальных линейных подрессоренных частей прицепа с тандемными осями

Таким образом, при эксплуатации прицепа с тандемными осями с параметрами  $h_c$ =0,64 м и  $L_p$ =5,9 м на участке дороги с неровностями длиной 18,26 м, среднеквадратическим отклонением высот неровностей 0,015 м следует избегать скоростей 75-80 км/ч.

Несколько иной характер влияния фактор оказывает на величину среднеквадратического отклонения продольно-угловых ускорений, а именно зависимость среднеквадратического отклонения продольно-угловых ускорений носит линейный характер. Причиной этого является увеличение абсолютных значений ординат АЧХ продольно-угловых ускорений подрессоренных частей прицепа с тандемными осями, что наглядно демонстрирует рисунок 4. Следовательно, единственным способом снижения величины продольно-угловых ускорений является снижение скорости движения прицепа.

Длина неровности определяет положение пика спектральной плотности внешнего воздействия на неподрессоренные части прицепа с тандемными осями. Так с увеличением длины неровности снижается значение частоты, на которой наблюдается пик. Это приводит к смещению максимального спектра в правую сторону — в окрестность точки ноль. Обращая внимание на амплитудно-частотные характе-

ристики ускорений подрессоренных масс, не трудно заметить нечувствительность колебательной системы прицепа к внешнему воздействию в начале системы координат — в окрестностях точки ноль. Таким образом, увеличение длины неровности приводит к тому, что в области низких частот внешнее воздействие практически не вызывает колебаний подрессоренных масс прицепа с тандемными осями.

Возвращаясь к уравнениям регрессии (1,2) видим, что увеличение длины неровности способствует снижению среднеквадратических отклонений вертикальных линейных и продольно-вертикальных ускорений подрессоренных масс прицепа с тандемными осями. Это не противоречит выше приведенному утверждению. Однако сила влияния длины неровности на оцениваемые показатели различна. Например, коэффициент перед фактором  $x_2$  в выражении (1) в 2,2 раза больше коэффициента перед фактором  $x_2$  в выражении (2). А отношение коэффициентов  $b_{22}$  при квадрате фактора  $x_2$  равно 2,1. Внешние виды кривых  $\sigma_{ip}(x_2)$  и  $\sigma_{ip}(x_2)$  показаны на рисунках 1 и 2.

Как и следовало ожидать, среднеквадратическое отклонение высот неровностей приводит к увеличению величин вертикальных линейных и продольно-угловых ускорений подрессоренных частей прицепа. В частности,

увеличение среднеквадратического отклонения ординат высот неровностей с 0,015 м до 0,024 м приводит к росту среднеквадратического отклонения вертикальных линейных ускорений на 14,7 %, а среднеквадратического отклонения продольно-угловых ускорений – на 5,7 %.

Влияние полной массы прицепа на среднеквадратическое отклонение вертикальных линейных ускорений подрессоренных частей прицепа с тандемными осями графически показано на рисунке 1. Видно, что ветви параболы  $\sigma_{i}(x_{a})$  направлены вверх, а минимальное значение среднеквадратического отклонения вертикальных линейных ускорений находится в интервале хє[0,97:1,94]. Для определения точки экстремума найдем первую производную выражения  $\sigma_{i_2}(x_{a})$  и приравняем ее нулю. Решением первой производной выражения  $\sigma_{i,j}(x_{,j})$  явилась величина  $x_{,j}=1,74$ , при которой наблюдается минимальное среднеквадратическое отклонение вертикальных линейных ускорений. Данному значению уровня варьирования х, соответствует величина конструктивного параметра М = 17,5 т, что на 3,3 % ниже максимальной полной массы М = 18 т. Это позволяет сделать вывод о том, что повысить плавность хода прицепа с тандемными осями возможно путем расчета оптимальной величины его полной массы.

Несколько иной характер влияния полной массы прицепа с тандемными осями имеется на среднеквадратическое отклонение продольно-угловых колебаний подрессоренных масс. В рассматриваемом диапазоне изменения фактора х, минимальная величина среднеквадратического отклонения продольно-угловых ускорений характерно для минимальной полной массы прицепа. Изменение полной массы прицепа с 6,5 т до 14,0 т приводит к увеличению среднеквадратического отклонения на величину 0,15 рад/с² или на 75 %. В точке  $x_4$ =0,61 происходит перегиб кривой  $\sigma_{\omega}(x_{\scriptscriptstyle A})$  и дальнейший рост полной массы прицепа, напротив, снижает величину среднеквадратическое отклонение продольно-угловых ускорений до значения 0,31 рад/с<sup>2</sup>.

Обратим внимание на значение полной массы прицепа  $x_4$ =1,74, при котором среднеквадратическое отклонение вертикальных линейных ускорений минимально, и рассчитаем для него с помощью выражения (2) среднеквадратического отклонения продольно-угловых ускорений. В результате среднеквадратическое отклонение продольно-угловых ускорений при  $x_4$ =1,74 равно 0,33 рад/

с², что на 5,7 % ниже максимального значения с полной массой 14,0 т. Таким образом, полную массу 17,5 т можно считать оптимальной с учетом величин среднеквадратического отклонения вертикальных линейных ускорений и среднеквадратического отклонения продольно-угловых ускорений.

Наименьшее влияние на среднеквадратические отклонения вертикальных линейных и продольно-угловых ускорений оказывает такой конструктивный параметр как высота установки тягово-сцепного устройства. Причем необходимоотметить, чтовеличинамаксимальных значений  $\sigma_{i,z}(x_z)$  и  $\sigma_{i,z}(x_z)$  находится в точке  $x_z=0$ . Это указывает на то, что низкое или высокое расположение точки сцепки в одинаковой степени приводят к снижению среднеквадратических отклонений вертикальных линейных и продольно-угловых ускорений. Также отсутствуют парные взаимодействия эксплуатационных факторов с данным параметром. Поэтому дать какие-либо рекомендации по выбору данного параметра трудно.

Рассмотрим влияние конструктивного параметра колесная база прицепа х на среднеквадратические отклонения вертикальных линейных и продольно-угловых ускорений подрессоренных частей прицепа с тандемными осями. Изменение колесной базы прицепа с 5,9 до 6,6 м приводит к снижению среднеквадратических отклонений вертикальных линейных и продольно-вертикальных ускорений на 4,7 % и 3,3 %, соответственно. Вместе с тем при колесной базе прицепа 5,2 м среднеквадратические отклонения вертикальных линейных и продольно-вертикальных ускорений составляет  $0.86 \text{ м/c}^2$  и  $0.23 \text{ рад/c}^2$ . Это ниже значений  $\sigma_{i,j}(x_{s})$  и  $\sigma_{i,0}(x_{s})$  в центре плана на 8,8 % и на 35,3 %. Сравнивая полученные данные роста и снижения величин  $\sigma_{iz}(x_6)$  и  $\sigma_{i\theta}(x_6)$  нетрудно заметить, что лучшая плавность хода будет обеспечена прицепом с тандемными осями с меньшей колесной базой.

Проведенный анализ оценки влияния эксплуатационных факторов и конструктивных параметров прицепа большой грузоподъемности с тандемными осями показал, что влияние факторов и параметров носит разнонаправленный характер на среднеквадратические отклонения вертикальных линейных и продольно-угловых ускорения. Поэтому выбор оптимальных величин эксплуатационных факторов и конструктивных параметров прицепа с тандемными осями, при которых будет обеспечен высокий уровень плавности хода, в процессе эксплуатации автотранспортного

средства вызывает определенные трудности. Так как инженеру приходится решать задачу выбора оптимальных режимов эксплуатации автотранспортных средств.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Железнов, Е.И. Эффективность торможения малотоннажных автопоездов : учеб. пособие / Е.И. Железнов. Волгоград. гос. техн. ун-т. Волгоград. 2005. 99 с.
- 2. Королев, В.А. Исследование эксплуатационных качеств автомобильных одноосных прицепов: дис. канд. техн. наук / В.А. Королев. – М., 1964. – 201 с.
- 3. Математическое моделирование движения малотоннажного автопоезда по участку дороги со случайным профилем // Известия ВолгГТУ. Сер. Наземные транспортные системы / А.В. Шустов [и др.]; под редакцией Ю.Я. Комарова. Волгоград, 2011. № 12. С. 64-68.
- 4. Шустов, А.В. Математическое моделирование движения малотоннажного автопоезда

- по участку дороги с волнообразным продольным профилем / А.В. Шустов, Ю.Я. Комаров, Е.Ю. Липатов // Транспортные и транспортно-технологические системы : матер. междунар. науч.-техн. конф. ГОУ ВПО «Тюменский гос. нефтегаз. ун-т», 2011. С. 311-316.
- 5. Шестаков, И.Н. Расчет проектируемого двухосного автомобильного прицепа с поворотным кругом на устойчивость движения с применением ABM : дисс. канд. техн. наук / И.Н. Шестаков. М., 1984. 189 с.
- 6. Кувшинов, В.В. Исследование плавности хода седельных автопоездов: дис. канд. техн. наук / В.В. Кувшинов. Москва, 1981. 178 с.
- 7. Костюк, В.Ю. Математическая модель прицепного звена большой грузоподъемности с тандемными осями / Костюк В.Ю., Рубцов И.С. // Научно-практический журнал «Аспирант» №10, 2016. С. 29-30.
- 8. Силаев, А.А. Спектральная теория подрессоривания транспортных машин : монография / А.А. Силаев. – изд. 2-е, переработ. и доп. – М.: Машиностроение. – 1972. –192 с.

## EVALUATION OF THE EFFECT OF OPERATIONAL FACTORS ON THE SMOOTHNESS OF THE TRAILER HEAVY-DUTY TANDEM AXLES

V. Kostuk, E. Lipatov

Abstract. the Article is devoted to assessing the impact of operational factors and design parameters of the trailer heavy-duty tandem axles to such performance indicators as: the standard deviation of the vertical linear and linear-angular accelerations of the sprung parts. In the article on the impact of ranked operational factors and design parameters that influence the performance indicators. The detailed analysis of the impact of each performance factor and design parameter on the vertical linear and linear-angular acceleration of the sprung parts.

Key words: trailer, tandem axle, performance factors, design parameters, design of experiments.

#### **REFERENCES**

- 1. Zheleznov, E. I. Jeffektivnost' tormozhenija malotonnazhnyh avtopoezdov [Efficiency of braking of low-tonnage road trains]. Volgograd, 2005, 99 p.
- 2. Korolev, V. A. Issledovanie jekspluatacionnyh kachestv avtomobil'nyh odnoosnyh pricepov [Probe of operational qualities of automobile monoaxial trailers]. Candidate's thesis. Moscow, 1964, 201 p.
- 3. Shustov A. V.. Ganzin S.V., Komarov Ju. Ja., Lipatov E. Ju. Matematicheskoe modelirovanie dvizhenija malotonnazhnogo avtopoezda po uchastku dorogi so sluchajnym profilem
- [Mathematical modeling of the movement of the low-tonnage road train on the section of the road with a casual profile]. Izvestija VolgGTU. Ser. Nazemnye transportnye, 2011, № 12, pp. 64-68.
- 4. Shustov A.V., Komarov Ju. Ja., Lipatov E. Ju. Matematicheskoe modelirovanie dvizhenija malotonnazhnogo avtopoezda po uchastku dorogi s volnoobraznym prodol'nym profilem [Mathematical modeling of the movement of the low-tonnage road train on the section of the road with a wavy longitudinal profile]. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii «Transportnye i transportno-tehnologicheskie sistemy» [Materials of the international scientific

and technical conference «Transport and transport and technological systems »]. Tyumen, 2011, pp 311-316.

- 5. Shestakov I. N. Raschet proektiruemogo dvuhosnogo avtomobil'nogo pricepa s povorotnym krugom na ustojchivost' dvizhenija s primeneniem AVM [Calculation of the designed full automobile trailer with the turntable on stability of the movement with application of AVM]. Candidate's thesis, Moscow, 1984, 189 p.
- 6. Kuvshinov V. V. Issledovanie plavnosti hoda sedel'nyh avtopoezdov [Research of smoothness of the course of saddle road trains]. Candidate's thesis, Moscow, 1981, 178 p.
- 7. Kostjuk, V. Ju., Rubcov I.S. Matematicheskaja model' pricepnogo zvena bol'shoj gruzopod#emnosti s tandemnymi osjami [Mathematical model of a hook-on link of big loading capacity with tandem axes]. Scientific and practical magazine «Aspirant», 2016, no. 10, pp. 29-30.
- 8. Silaev, A.A. Spektral'naja teorija podressorivanija transportnyh mashin [Spectral theory of a podressorivaniye of transport vehicles]. Moscow, Mechanical engineering, 1972, 192 p.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Костюк Владимир Юрьевич (Россия, Волгоград) — магистр Волгоградского государственного технического университета (e-mail: wowikkostuk@mail.ru).

Kostyuk Vladimir Yuryevich (Russian Federation, Volgograd) master of the Volgograd state technical university (e-mail: wowikkostuk@mail.ru).

Липатов Евгений Юрьевич (Россия, Волгоград) — доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры Автомобильный транспорт Волгоградского государственного технического университета (400005, Россия, Волгоград, пр. Ленина 28, ЛК-214, e-mail: elpat@mail.ru).

Lipatov Evgeny Yuryevich (Russian Federation, Volgograd) – Ass. professor, Ph. D. in Technical Sciences, ass. professor of the Department of road transport Volgograd state technical University (400005, Russian Federation, Volgograd, Lenin av., 28, LK-214, e-mail: elpat@mail.ru).

УДК 656.09

### РАЗМЕЩЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ УТИЛИЗАЦИИ АВТОТРАНСПОРТА В УРАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

Е.Ю. Кузнецова, А.А. Акулова, Г.А. Маркин, Е.О. Юферова УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г.Екатеринбург, Россия

**Аннотация.** В статье приводится статистика о состоянии перерабатывающей промышленности в Свердловской области, в том числе о предприятиях, занятых в переработке автомобилей и их отходов. В статье проанализирована тенденция выбытия автомобилей из эксплуатации. В статье предлагается система факторов, определяющих размещение инфраструктурных объектов системы утилизации. На основе гравитационной модели построены картосхемы плотности расселения и отходообразования, служащие основанием для выбора места размещения крупных заводов по переработке тарнспорта.

**Ключевые слова:** утилизация автоотходов, методика размещения объектов, авторециклинг, возвратная логистика.

### ПРЕДПОСЫЛКИ К СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ АВТОРЕЦИКЛИНГА В СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В России система утилизации автотранспортных средств только начинает формироваться, наибольший прогресс в решении этой проблеме достигнут в Москве и Московской области. На сегодняшний день ряд ведущих вузов столицы ведет исследования [1, 2, 3] в области утилизации транспортных средств, предлагая организационные и экономико-математические модели системы «авторециклинга».

Созданная одной из первых система утилизации транспорта в Москве включает 3600