УДК 629.3.017

© В. Н. Добромиров, д-р техн. наук, профессор

© К. И. Фомин, студент

© У. Н. Мейке, аспирант

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: viktor.dobromirov@mail.ru, fominkirill96@mail.ru,
ulyana.meike@ya.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-4-174-181

© V. N. Dobromirov, Dr. Sci. Tech., Professor

© K. I. Fomin, student

© U. N. Meike, post-graduate student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)

E-mail: viktor.dobromirov@mail.ru, fominkirill96@mail.ru,
ulyana.meike@ya.ru

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА АВТОСАМОСВАЛОВ С ЖЕСТКОЙ И ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ РАМОЙ В УСЛОВИЯХ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

COMPARATIVE EVALUATION OF DUMP TRUCKS WITH RIGID AND ARTICULATED FRAME IN CONDITIONS OF ROAD CONSTRUCTION PRODUCTION

Проведен анализ конструктивного исполнения автосамосвалов, используемых в дорожно-строительной сфере. Отмечена тенденция расширения использования в мировой практике самосвалов с шарнирно-сочлененной рамой. Обоснована необходимость оценки возможности отечественных производителей по созданию машин такого типа. Сравнительная оценка образцов проводилась путем сопоставления обобщенных показателей качества машин, определяемых коэффициентами их технического уровня, а также прямым сопоставлением специфических показателей эксплуатационных свойств машин. В качестве научных методов получения исходных данных для оценки использовались информационный поиск, статистическая обработка информационных материалов, экспертные исследования и математическое моделирование. Проведенная сравнительная квалиметрическая оценка эксплуатационных возможностей самосвалов различного конструктивного исполнения дает основание признать, что использование машины с шарнирно-сочлененной рамой для непосредственной отсыпки дорожной насыпи будет предпочтительнее, чем машины рамной конструкции. Это обусловлено тем, что сочлененный самосвал обладает более высокой проходимостью и маневренностью, имея при этом некоторый резерв увеличения грузоподъемности при одинаковой с рамной машиной грузоподъемности кузова. Результаты оценки подтверждают целесообразность создания отечественного автосамосвала с шарнирно-сочлененной рамой.

Ключевые слова: дорожно-строительное производство, автосамосвал, эксплуатационные свойства, технический уровень, сравнительная оценка.

The article presents the analysis results of the design of dump trucks used in road construction field. The authors point out the tendency of expanding the use of dump trucks with articulated frames in the world practice. The necessity of evaluating the possibilities of domestic manufacturers to produce the machines of this type is justified. Comparative evaluation of samples was carried out by comparing generalized indicators of the vehicle quality determined by their technical level coefficients, as well as by directly comparing a number of specific indicators of their performance properties. Information search, statistical processing of information materials, expert research and mathematical modeling were used as scientific methods for obtaining the initial data for evaluation. The comparative qualimetric assessment of the operational capabilities of dump trucks of various designs gives grounds to recognize that the use of a machine with an articulated frame for direct filling of the road embankment will be preferable to machines of frame construction. This is due to the fact that the articulated dump truck has a higher cross-country ability and maneuverability, while having a certain reserve for increasing the load capacity and the similar cargo capacity of the body with the frame truck. The evaluation results confirm the feasibility of producing a domestic dump truck with an articulated frame.

Keywords: road construction production, dump truck, operational properties, technical level, comparative evaluation.

Дорожное строительство является одной из важнейших отраслей современной экономики, так как оно формирует важнейшую составляющую транспортной инфраструктуры любой страны — автодорожную сеть [1]. Для России это особенно актуально в связи с огромной протяженностью ее территорий, растущим объемом автоперевозок и увеличением числа транспортных средств в личном владении граждан [2].

Высокая доходность и большая конкуренция в отрасли дорожного строительства вынуждают компании непрерывно совершенствовать технологии выполнения работ, повышая их качество. Это достигается путем применения инновационных материалов и новых более производительных видов дорожно-строительной техники [3].

Анализ основных технологий дорожного строительства показывает, что одной из наиболее значимых статей затрат при их реализации является транспортировка сыпучих грузов. Их доставка — комплексный процесс, включающий погрузку, транспортировку, разгрузку и складирование. Затраты на это могут достигать 25 % стоимости работ, а трудоемкость может составлять до 40 % от общей трудоемкости строительства. Перевозка сыпучих материалов на строительной площадке и за ее пределами осуществляется автосамосвалами. Современные производители предлагают широчайшую номенклатуру этих машин, именно поэтому еще на стадии планирования работ очень важно выбрать образец, который будет наиболее эффективно справляться с возложенной на него задачей. Такой выбор возможен по результатам оценки качества и конкурентоспособности изделия, при которой рассматривается как комплекс эксплуатационных свойств, как и технико-экономические показатели эксплуатации машины [4]. Реализация такого подхода на стадии выбора образцов осложняется отсутствием достоверных технико-экономических показателей при значительной неопределенности в части условий применения машин. В такой ситуации сравнительная оценка эффективности образцов любого вида техники может осуществляться на основе оценки их технического уровня [5], которая позволяет путем сопоставления наиболее значимых показателей эксплуатационных свойств, характеризующих

качество изделия, выбрать предпочтительный вид машины.

Такой подход применим и для обоснования выбора строительных автосамосвалов. Они относятся к наиболее распространенному виду специализированных грузовых автомобилей, оснащаются усиленным металлическим кузовом для перевозки навалочных грузов, разгружаемых методом опрокидывания [6]. Наибольшее применение в современном дорожном строительстве получили модели одиночных автосамосвалов жесткорамной конструкции и седельные самосвальные автопоезда. Они обладают высокой грузоподъемностью и имеют ряд неоспоримых преимуществ, одним из которых является возможность бесперебойного транспортирования грузов на большие расстояния. Однако движение таких, как правило, полноприводных, автомобилей непосредственно по возводимой дорожной насыпи бывает затруднено. Это может быть вызвано крайне ограниченным пространством для маневрирования из-за скопления различного оборудования и материалов для производства работ, сложного рельефа местности и низкой несущей способности опорной поверхности [7]. Решается эта проблема путем применения для развоза грунта (от места временного складирования на участке строительства до места отсыпки) полноприводных автосамосвалов относительно небольшой грузоподъемности (до 20–25 т).

Однако существует еще один вид самосвалов, который лишен недостатков, описанных выше, — шарнирно-сочлененные автосамосвалы. К сожалению, данный вид техники не снискал популярности в нашей стране, и ведущие отечественные производители пока обходят стороной разработку и серийный выпуск этого вида строительных грузовиков [8]. В то же время в Англии и Скандинавских странах данный тип самосвальных шасси является преобладающим, постепенно вытесняя автосамосвалы жесткорамной конструкции [9]. Сочлененный самосвал — это специализированная самоходная машина высокой проходимости, предназначенная для перевозки больших объемов сыпучих материалов и используемая в качестве альтернативы автосамосвалам традиционной конструкции на работах в условиях бездорожья. Основное отличие этих машин состоит в реализованном принципе их поворота — не за

счет поворота управляемых колес, а за счет принудительного складывания звеньев шарнирно-сочлененной рамы с помощью гидроцилиндров. Такая конструкция позволяет применять шины большей размерности ввиду отсутствия значительных надколесных ниш и обеспечивает лучшую маневренность машины. В отличие от жесткорамных самосвалов шарнирно-сочлененные показывают лучшую проходимость в сложных дорожных условиях и условиях полного бездорожья — на грунтах с низкой несущей способностью и крутых склонах [10]. Гидравлическая система управления поворотом с обратной связью позволяет точно и плавно управлять поворотом секций шарнирно-сочлененной рамы. Обычно угол складывания секций рамы составляет от 38 до 45 градусов (в каждую сторону), это позволяет оператору осуществлять поворот и маневрирование передним модулем в тяжелых дорожных условиях, добиваясь высокой проходимости [11].

В 2018 году крупнейший отечественный автоконцерн КамАЗ представил свою первую шарнирно-сочлененную машину — КамАЗ-6345-3101, которая, к сожалению, не является автосамосвалом. В интересах строительного производства авторы решили оценить возможность усовершенствования данной конструкции путем установки на нее самосвального оборудования, а также сравнить новую конструкцию с существующей традиционной моделью жесткорамной конструкции по показателям основных эксплуатационных свойств. Грузоподъемность проектируемой машины при широком использовании комплектующих для серийных автосамосвалов КамАЗ может составить до 25,6 т. Это значение находится в наиболее востребованном на данный момент в дорожном строительстве диапазоне грузоподъемности — от 20 до 40 т. Машины такого класса составляют сегодня примерно треть всего мирового рынка автосамосвалов [12, 13]. В качестве машины жесткорамной конструкции для сравнения было принято решение использовать автосамосвал КамАЗ-65802 грузоподъемностью 24,8 т.

В соответствии с изложенным объектами исследования являлись автосамосвалы грузоподъемности около 25 т с жесткой и шарнирно-сочлененной рамой, а предметом исследования стала сравнительная оценка уровня их качества

как совокупности эксплуатационных свойств.

С целью получения наиболее достоверных результатов сравнения оно осуществлялось по двум различным методикам. Одна из них основана на сравнении обобщенных показателей качества машин, определяемых расчетным значением коэффициентов технического уровня $K_{\text{т.у}}$ [14], другая — на прямом сравнении ряда специфических показателей, характеризующих эксплуатационные возможности машин в характерных условиях применения [15].

Методика сравнительной оценки по коэффициенту технического уровня базируется на рассмотрении качества машины как совокупности эксплуатационных свойств, определяющих ее конструктивно-расчетную производительность. При этом коэффициент технического уровня $K_{\text{т.у}}$, принятый за обобщенный показатель качества, является интегральным показателем ряда комплексных свойств, каждое из которых подвергается декомпозиции до частных свойств, характеризующихся единичными показателями, имеющими измеряемое значение [14]. В качестве комплексных свойств для автосамосвалов предложено рассматривать функциональность, маршевую и маневровую подвижность.

Показатели функциональности (грузоподъемность, т; объем кузова, м³; угол опрокидывания кузова, град; количество направлений разгрузки кузова) характеризуют приспособленность машины для выполнения функций по прямому назначению — перевозке сыпучих грузов.

Показатели маршевой подвижности (удельная мощность, кВт/т; максимальная рабочая скорость, м/с; число передач в трансмиссии; путевой расход топлива, л/100 км) характеризуют способность транспортного средства передвигаться с максимально возможной скоростью по маршруту развозки грунта от места временного складирования до места отсыпки насыпи и его топливную экономичность.

Показатели маневровой подвижности (количество ведущих осей; минимальный радиус поворота, м; максимальная ширина габаритного коридора при повороте, м; удельное давление колеса на опорную поверхность, МПа; максимальный угол преодолеваемого подъема, град) определяют возможность машины маневрировать на ограниченных пространствах строительной пло-

щадки, в том числе на грунтах с низкой несущей способностью, и преодолевать предельные по ее тяговым возможностям подъёмы.

Методика расчета коэффициента технического уровня $K_{\text{тв}}$ как обобщенного показателя качества предполагает определение численного значения каждого из комплексных показателей Q_j на основе известных численных значений единичных показателей q_{ji} и коэффициентов их весомости m_{ji} :

$$Q_j = \sum_{i=1}^n m_{ji} \cdot q_{ji},$$

где n — количество единичных показателей j -го комплексного свойства.

Каждому комплексному показателю задается его весомость P_j . Численное значение обобщенного показателя качества $K_{\text{тв}}$ определяется как сумма произведений значений комплексных показателей на коэффициенты их весомости:

$$K_{\text{тв}} = \sum_{j=1}^k P_j \cdot Q_j,$$

где k — количество комплексных показателей.

Обоснование номенклатуры комплексных и единичных показателей и определение коэффициентов их весомости проводится методом экспертных оценок. Полученное значение $K_{\text{тв}}$ дает количественную оценку уровня технического совершенства того или иного образца в сравнении с выбранными аналогами.

Методика прямого сравнения образцов предполагает проводить его на основе сопоставления показателей, в наибольшей степени характеризующих эксплуатационные возможности машин в специфических условиях их применения. Для машин шарнирно-сочлененного типа к таким показателям предлагается отнести [15]:

- удельную мощность машин ($N_{\text{уд}}$) в виде отношения эффективной мощности двигателя машины ($N_{\text{д}}$, кВт) к ее полной массе с грузом ($M_{\text{полн}}$, 10^3 кг), кВт/т;
- среднее давление движителя ($q_{\text{гр}}$) на твердую опорную поверхность грунта, мПа;
- безразмерный показатель провозоспособности ($k_{\text{пр}}$), представляющий собой отношение произведения веса перевозимого груза ($G_{\text{гр}}$, Н) на скорость его перевозки (V , м/с) к эффективной мощности двигателя машины ($N_{\text{д}}$, Вт);
- безразмерный коэффициент использования массы машины ($k_{\text{м}}$) в виде отношения массы пе-

ревозимого груза ($M_{\text{гр}}$, кг) к собственной массе машины ($M_{\text{сн}}$, кг);

- безразмерный коэффициент использования габаритной площади машины ($k_{\text{гп}}$) в виде отношения площади грузовой платформы ($F_{\text{пл}}$, м^2) к габаритной площади всей машины ($F_{\text{м}}$, м^2);

- относительный диаметр поворота ($D_{\text{отп}}$) в виде отношения минимального диаметра поворота машины ($D_{\text{мин}}$, м) к ее габаритной длине ($L_{\text{р}}$, м).

Результаты и обсуждение

Значения единичных показателей q_{ji} для расчета $K_{\text{тв}}$ сравниваемых образцов выбирались по техническим характеристикам машин и по результатам расчетов параметров их движения. Рабочие скорости и путевые расходы топлива при перемещении машин по дорожной насыпи определялись по графикам их динамических характеристик и топливной экономичности (рис. 1 и 2). Показатели маневренности определялись расчетно-графическим методом (рис. 3 и 4), а значения удельных давлений на опорную поверхность рассчитывалось по методике [16].

Для определения показателей маневренности использовались расчетные схемы, представленные на рис. 3 и 4.

Давление колес на опорную поверхность в условиях движения по слабо деформируемому грунту определяется средним давлением на поверхности контакта, которое приближенно может быть рассчитано по зависимости

$$P_{\text{к}} = G_{\text{к}} / A_{\text{к}}, \text{ Па},$$

где $A_{\text{к}}$ — площадь контакта, м^2 ; $A_{\text{к}} = B_{\text{ш}} \cdot L_{\text{к}}$, где $B_{\text{ш}}$ — ширина профиля шины, м; $L_{\text{к}}$ — длина контактной поверхности, м; $L_{\text{к}} = 2(r_{\text{с}}^2 + r_{\text{ст}}^2)^{0.5}$, где $r_{\text{с}}$ — свободный и $r_{\text{ст}}$ — статический радиусы колеса, м.

При оснащении жесткорамной машины шинами 12.00R24 1230×319 (статический радиус 575 мм), а сочлененной — шинами Alliance 710/70R42 176A8 (статический радиус 936 мм) значения $P_{\text{к}}$ составляют 0,56 и 0,31 МПа соответственно.

Результаты сравнительной оценки образцов по коэффициенту технического уровня представлены в табл. 1.

Результаты расчета по методике прямого сравнения приведены в табл. 2.

Анализ результатов сравнения машин по их техническому уровню показывает, что исполь-

Рис. 1. Тягово-динамические характеристики автомобилей

зование шарнирно-сочлененного автосамосвала в условиях дорожно-строительных работ более предпочтительно, нежели машины рамной модели. Это обусловлено тем, что шарнирно-сочлененный автосамосвал в условиях бездорожья, характерного для строительной площадки, обладает более высокой проходимостью и маневренностью, имея при этом некоторый резерв увеличения грузоподъемности при одинаковой с рамной машиной грузоподъемности кузова.

Результаты прямого сравнения образцов также показали превосходство сочлененного само-

Рис. 2. Расход топлива на рабочих скоростях

свала по показателям маневренности, проходимости, провозоспособности и коэффициенту использования массы.

Вывод

Использование самосвала с шарнирно-сочлененной рамой на базе автомобиля типа КамАЗ в условиях дорожно-строительных работ предположительно будет более выгодным, нежели машины жесткорамной конструкции. Окончательный результат сравнения может быть получен только после постройки макетного образца и проведения сравнительных натурных испытаний. В случае подтверждения расчетных выводов появляется реальная возможность импортозамещения дорожно-строительных машин такого типа.

Библиографический список

1. Халтурин Р. А. Состояние и опыт строительства дорожной сети в России и за рубежом // Экономиче-

Рис. 3. Схема поворота шарнирно-сочлененного самосвала

Рис. 4. Схема поворота машины рамной конструкции

ские науки. Экономика и управление. 2011. № 1 (74). С. 223–226.

2. Проблемы дорожного строительства в России. Российская деловая социальная сеть Профессионалы.ru: URL: <https://professional.ru/> (дата обращения: 09.11.19).

3. Жуков Е. А., Ильин С. В. Модернизация дорожного хозяйства России на основе инновационных технологий // М.И.Р. Модернизация. Инновации. Развитие. 2017. Т. 8, № 3. С. 348–356.

4. Фасхиев Х. А. Анализ методов оценки качества и конкурентоспособности грузовых автомобилей // Методы менеджмента качества. 2001. № 3. С. 24–28; № 4. С. 21–26.

5. РД 50-149-79. Методические указания по оценке технического уровня и качества промышленной продукции. М.: Изд-во стандартов, 1979. 124 с.

6. Тарукин Е. М. Обзор грузовых автомобилей. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-gruzovyh-avtomobiley>.

Таблица 1

Результаты оценки образцов по коэффициенту технического уровня

Показатели $q_{ji} (Q_j)$	Коэффициенты весомости показателей $m_{ji} (P_j)$	Численное значение показателя q_{ij}	
		КамАЗ-65802	сочлененная машина
Функциональность			
Грузоподъемность, т	0,45	24,8	25,6
Объем кузова, м³	0,35	15	15
Угол опрокидывания, град	0,10	50	50
Количество направлений разгрузки	0,10	1	1
Q_1	0,4	21,51	21,87
P_1, Q_1		8,60	8,75
Маршевая подвижность			
Удельная мощность, кВт/т	0,30	7,20	6,95
Максимальная рабочая скорость, м/с	0,35	11,74	12,66
Число передач в трансмиссии	0,10	16	12
Путевой расход топлива, л/100 км	0,25	61,9	62,1
Q_2	0,2	9,89	9,69
P_2, Q_2		1,98	1,94
Показатели маневровой подвижности			
Количество ведущих осей	0,10	3	3
Максимальный угол подъема, град	0,15	30	30
Минимальный радиус поворота, град	0,20	10,10	7, 62
Ширина габаритного коридора, м	0,15	3,01	3,41
Удельное давление на площади контакта, МПа	0,40	0,48	0,12
Q_3	0,4	7,29	7,86
P_3, Q_3		2,91	3,14
Комплексный показатель $K_{\text{тв}}$		13,49	13,83

Таблица 2

Результаты расчета по методике прямого сравнения машин

Машина	Показатели					
	$N_{уд}$	$q_{гр}$	$k_{пр}$	k_m	$k_{тп}$	$D_{отн}$
Сочлененная	6,95	0,12	9,5	0,061	0,057	1,376
КамАЗ-65802	7,19	0,48	9,1	0,060	0,074	2,422

7. Перелыгин В. Карьерные самосвалы: борьба концепций. Сравнение эксплуатационных качеств карьерных и шоссейных самосвалов // Интернет журнал «Основные средства». URL: <https://os1.ru/> (дата обращения: 21.11.2019).

8. Шарнирно-сочлененный самосвал. Интернет-портал «Техника и спецтехника в подробностях». URL: <https://gazelka35.com/> (дата обращения: 10.08.2019).

9. Graeme Scott Wood The rolling resistance of articulated dump trucks on haul roads // Department

of civil and environmental engineering, University of Edinburgh. 1994.

10. Липский С. Конструкции шарнирно-сочлененных самосвалов // Интернет журнал о грузовых автомобилях «Грузавтоинфо». URL: <http://mirtransporta.ru/> (дата обращения: 17.09.19).

11. Полеицук С. В. Внедорожные шарнирно-сочлененные самосвалы АМКОДОР // Грузовик. Ежемесячный научно-технический и производственный журнал. 2013. № 12. С. 2–10.

12. In-depth report: articulated dump trucks // Heavy Equipment Guide. URL: <https://www.heavyequipmentguide.ca/> (дата обращения: 09.05.2018).

13. Спецтехника. Рынок шарнирно-сочлененных самосвалов в России // Строительный и архитектурный портал AdExpert. URL: <https://ardexpert.ru/> (дата обращения: 06.01.2020).

14. Добромиров В. Н., Мейке У. Н. Методы прогнозирования и оценки технического уровня наземных транспортно-технологических машин // Сборник научных трудов молодых ученых кафедры наземных транспортно-технологических машин СПбГАСУ. СПб.: Петрополис, 2017. С. 85–97.

15. Ковригин В. Д. Сочлененные гусеничные и колесные машины высокой проходимости // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. 2003. № 5. С. 13.

16. Добромиров В. Н., Евтюков С. С., Алейник В. И. Автотракторный транспорт. Основы теории движения и элементы расчета / под общ. ред. В. Н. Добромирова. СПб.: Петрополис, 2018. 248 с.

References

1. Khalturin R. A. *Sostoyanie i opyt stroitel'stva dorozhnoy seti v Rossii i za rubezhom* [The state and experience of building the road network in Russia and abroad]. *Ekonomicheskie nauki. Ekonomika i upravlenie – Economics. Economics and Management*, 2011, no. 1 (74), pp. 223–226.

2. *Problemy dorozhnogo stroitel'stva v Rossii* [Problems of road construction in Russia]. Russian business social network Professionaly.ru. Available at: <https://professionali.ru/> (accessed: 09.11.19).

3. Zhukov E. A., Il'in S. V. *Modernizatsiya dorozhnogo khozyaystva Rossii na osnove innovatsionnykh tekhnologiy* [Modernization of the road economy of Russia on the basis of innovative technologies]. *M.I.R. Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitie – M. I. D. Modernization. Innovations. Development*, 2017, vol. 8, no. 3, pp. 348–356.

4. Fashkhev Kh. A. *Analiz metodov otsenki kachestva i konkurentosposobnosti gruzovykh avtomobiley* [Analysis of methods for assessing the quality and competitiveness of trucks]. *Metody menedzhmenta kachestva – Quality management methods*, 2001, no. 3, pp. 24–28; no. 4, pp. 21–26.

5. RD 50-149-79. *Metodicheskie ukazaniya po otsenke tekhnicheskogo urovnya i kachestva promyshlennoy produktsii* [RD 50-149-79. Methodological guidelines for assessing the technical level and quality of industrial products]. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 1979, 124 p.

6. Tarukin E. M. *Obzor gruzovykh avtomobiley* [Review of goods-carrying vehicles]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-gruzovykh-avtomobiley>

7. Pereygin V. *Kar'ernye samosvaly: bor'ba kontseptsij. Sravnenie ekspluatatsionnykh kachestv kar'ernykh i*

shosseynykh samosvalov [Quarry dump trucks: the struggle of concepts. Comparison of performance characteristics of quarry and highway dump trucks]. *Internet zhurnal «Osnovnye sredstva» – Online magazine “Fixed assets”*. Available at: <https://os1.ru/> (accessed: 21.11.2019).

8. *Sharnirno-sochlenenniy samosval* [Articulated dump truck]. *Internet-portal «Tekhnika i spetsstekhnika v podrobnostyakh» – Internet portal “Machinery and special equipment in detail”*. Available at: <https://gazelka35.com/> (accessed: 10.08.2019).

9. Graeme Scott Wood. *The rolling resistance of articulated dump trucks on haul roads*. Department of civil and environmental engineering, University of Edinburgh Publ., 1994.

10. Lipskiy S. *Konstruktsii sharnirno-sochlenennykh samosvalov* [Designs of articulated dump trucks]. *Internet zhurnal o gruzovykh avtomobilyakh «Gruzavtoinfo» – Online journal about trucks “Gruzavtoinfo”*. Available at: <http://mirtransporta.ru/> (accessed: 17.09.19).

11. Poleshchuk S. V. *Vnedorozhnye sharnirno-sochlenennyye samosvaly AMKODOR* [Off-road articulated dump trucks AMKODOR]. *Gruzovik. Ezhemesyachniy nauchno-tekhnicheskii i proizvodstvenniy zhurnal – Truck. Monthly scientific, technical and production magazine*, 2013, no. 12, pp. 2–10.

12. In-depth report: Articulated dump trucks. Heavy Equipment Guide. Available at: <https://www.heavyequipmentguide.ca/> (accessed: 09.05.2018).

13. *Spetsstekhnika. Rynok sharnirno-sochlenennykh samosvalov v Rossii* [Special machinery. Market of articulated dump trucks in Russia]. *Stroitel'niy i arkhitekturniy portal AdExpert* [Construction and architectural portal AdExpert]. Available at: <https://ardexpert.ru/> (accessed: 06.01.2020).

14. Dobromirov V. N., Meyke U. N. *Metody prognozirovaniya i otsenki tekhnicheskogo urovnya nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Methods of forecasting and evaluating the technical level of ground transport and technological machines]. *Sbornik nauchnykh trudov molodykh uchenykh Kafedry nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin SPbGASU*. [Collection of scientific works of young scientists of the Department of land transport and technological machines]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2017, pp. 85–97.

15. Kovrigin V. D. *Sochlenennyye gusenichnye i kolesnye mashiny vysokoy prokhodimosti* [Articulated tracked and wheeled vehicles of high cross country capability]. *Tekhnika i vooruzhenie vchera, segodnya, zavtra – Equipment and weapons yesterday, today, tomorrow*, 2003, no. 5, p. 13.

16. Dobromirov V. N., Evtyukov S. S., Aleynik V. I. *Avtotraktorniy transport. Osnovy teorii dvizheniya i elementy rascheta* [Auto-tractor transport. Fundamentals of the theory of motion and the elements of the calculation]. Ed. by Dobromirov V. N. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2018, 248 p.