

## Априорное ранжирование и анализ факторов, влияющих на износ шин

Эльдар Камильевич АБДУЛАЕВ\*  
Павел Николаевич МАХАРАТКИН\*\*  
Арсений Ильич КУЖЕЛЕВ\*\*\*  
Виктор Александрович АТРОЩЕНКО\*\*\*\*

Санкт-Петербургский горный университет, Россия, Санкт-Петербург

### Аннотация

**Актуальность работы.** Эффективность работы и техническое состояние карьерного автотранспорта в большой степени зависят от срока службы и эксплуатационных характеристик шин. Важнейшим технологическим процессом, определяющим эффективность разработки месторождения, является транспортирование горной массы. Доля автотранспортных затрат в общей себестоимости и добычи открытым способом на российских горнодобывающих предприятиях существенна, и достигает по мере роста глубины карьеров (разрезов) 70 %. Вместе с тем, фактическая производительность карьерных самосвалов значительно ниже их технико-технологических возможностей, и эта разница составляет до 2,5 раз и более по различным маркам машин, в том числе и импортным. В максимально эффективном управлении шинным хозяйством сегодня заинтересованы как потребители, так и производители крупногабаритных шин.

**Цель работы:** рассмотрение основных факторов, влияющих на ходимость шин, а также проведение априорного ранжирования этих факторов для определения степени значимости каждого.

**Методология исследования.** Использован системный подход, включающий метод априорного ранжирования, аналитические, вычислительные методы и обобщение.

**Результаты.** Проведено ранжирование тремя независимыми группами экспертов по ряду предложенных факторов. Были выделены основные факторы в каждой группе и оценена степень согласованности мнений опрошенных специалистов. Подтверждено общее мнение различных групп экспертов о значимости и ранжировании факторов, влияющих на ходимость КГШ.

**Выводы.** Априорное ранжирование и анализ факторов, влияющих на износ крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов, существенно влияют на оптимизацию работы машин и при соответствующих корректировках способны дать положительный экономический эффект.

**Ключевые слова:** априорное ранжирование, износ крупногабаритных шин, ходимость шин, карьерный автосамосвал.


### Введение

Применение в горной промышленности материалов крупногабаритных технологических агрегатов связано со значительными издержками, как на этапах становления производства, так и при эксплуатации применяемого оборудования. Разработка оптимальных производственных технологий и методов восстановления изношенных деталей является актуальным вопросом [1].

Отказы, возникающие в машинах, сопровождаются значительными экономическими затратами, превышающими в итоге стоимость диагностического оборудования, позволяющего с достаточной точностью и оперативностью по утвержденным в Госгортехнадзоре методикам оценивать степень износа сопрягающихся элементов и наличие внутренних дефектов и напряжений в несущих металлоконструкциях [2]. Важнейшим технологическим

процессом, определяющим эффективность разработки месторождения, является транспортирование горной массы. Доля автотранспортных затрат в общей себестоимости добычи открытым способом на российских горнодобывающих предприятиях существенна и достигает по мере роста глубины карьеров (разрезов) 70 %. Вместе с тем фактическая производительность карьерных автосамосвалов значительно ниже их технико-технологических возможностей, и эта разница составляет до 2,5 раза и более по различным маркам машин, в том числе и импортным. При этом более половины потерь производительности карьерных автосамосвалов обусловлены состоянием системы технического обслуживания и ремонта (мониторинга). В связи с этим возникает задача поддержания работоспособного состояния и повышения

✉ [Ehldarabdulaev@mail.ru](mailto:Ehldarabdulaev@mail.ru)

 <https://orcid.org/0000-0003-2326-80-53>

 <https://orcid.org/0000-0002-9376-061X>

 <https://orcid.org/0000-0003-3202-1685>

 <https://orcid.org/0000-0003-1582-1285>

эффективности использования большегрузных автосамосвалов на карьерах.

Немаловажную роль в обеспечении эффективной, непрерывной и безопасной работы горной автотранспортной техники занимают крупногабаритные шины (КГШ). Не случайно затраты на приобретение и обслуживание КГШ входят в число основных статей расходов предприятий открытой добычи. С учетом весомой роли КГШ как в структуре расходов, так и в техническом обеспечении горного производства ведущие производители и потребители КГШ заинтересованы в максимально эффективном управлении шинным хозяйством [3]. Поэтому современные технологии: накачка шин азотом, постоянный контроль давления в процессе эксплуатации, бортовая диагностика – являются перспективными, особенно для карьерных автомобилей [4, 5]. Качественное техническое обслуживание КГШ позволит сэкономить шинный бюджет и увеличить производительность предприятия за счет минимизации простоев оборудования, связанных с неисправностью и заменой шин.

Экология – слабое место любого карьерного транспортного средства. Дизельные двигатели производят вредные выбросы в больших объемах (все 17 250 единиц карьерных самосвалов БелАЗа в СНГ сжигают около 2,1 млн т дизельного топлива ежегодно), что приводит к ухудшению экологии в районах горных работ [6]. Также стоит обратить внимание на загрязнения в процессе истирания протектора, так как выделяются мелкодисперсные частицы, оказывающие неблагоприятное влияние на здоровье человека [7, 8]. Снижение износа шин позволит улучшить экологическую обстановку в регионе эксплуатации за счет снижения его загрязнения неулавливаемыми и не утилизируемыми отходами.

Ходимость крупногабаритных шин зависит от множества факторов, а для выявления наиболее значимых и влияющих на ходимость шин было проведено априорное ранжирование факторов [9].

Для этого предложено использовать известные способы экспериментального отсеивания факторов, предусматривающие проведение серии опытов и выбор значимых факторов по результатам этих опытов [10].

#### Результаты

Для применения предложенного метода при проведении априорного ранжирования были выбраны эксперты из трех разных групп, по 9 человек в каждой. Каждый эксперт получил опросный лист со следующим списком факторов:

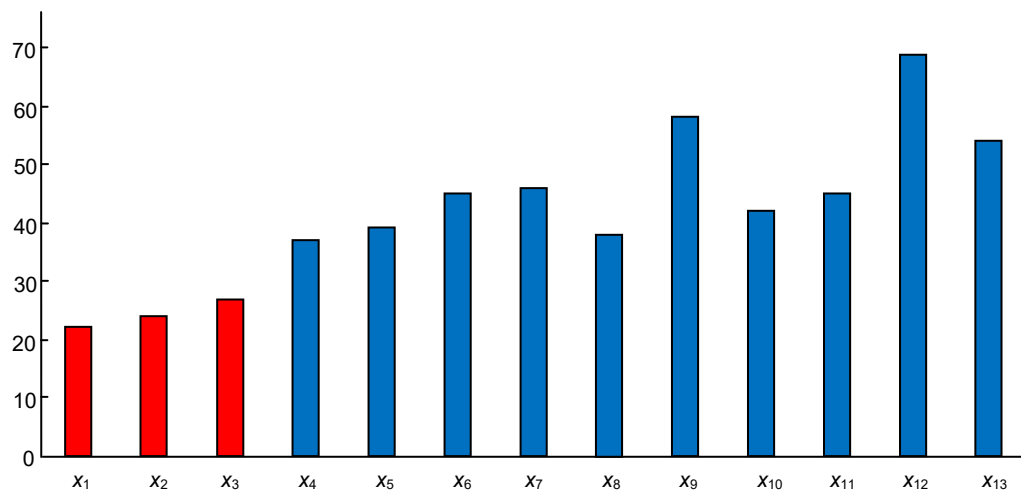
1. Давление в шинах
2. Рабочая температура в шинах
3. Развал-схождение
4. Манера вождения
5. Перегруз автомобиля
6. Состояние дорожного покрытия
7. Неисправность амортизаторов
8. Балансировка колес
9. Скоростной режим в соответствии с ПДД
10. Диски с нарушенной геометрией
11. Неисправность рулевого управления
12. Выход из строя пружины
13. Физико-механические свойства

Первая группа экспертов состояла из научных сотрудников, которые выделили три основных, по их мнению, фактора, влияющих на износ (табл. 1). Это давление в шинах, рабочая температура в шинах и развал схождения.

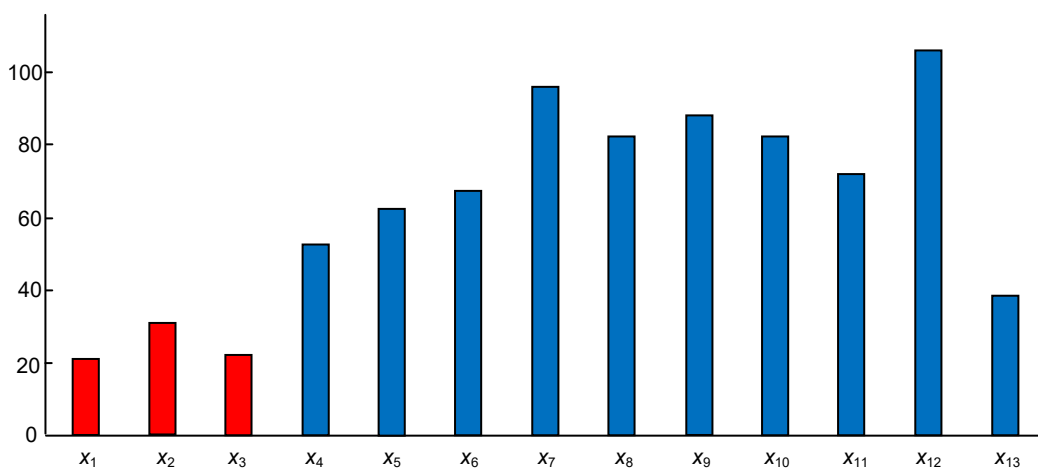
Вторая группа экспертов включала в себя водителей транспортных средств со стажем более 10 лет. Данная

**Таблица 1. Ранжирование факторов, влияющих на износ шин тремя группами экспертов.**  
Table 1. Ranking of factors affecting tire wear by three expert groups.

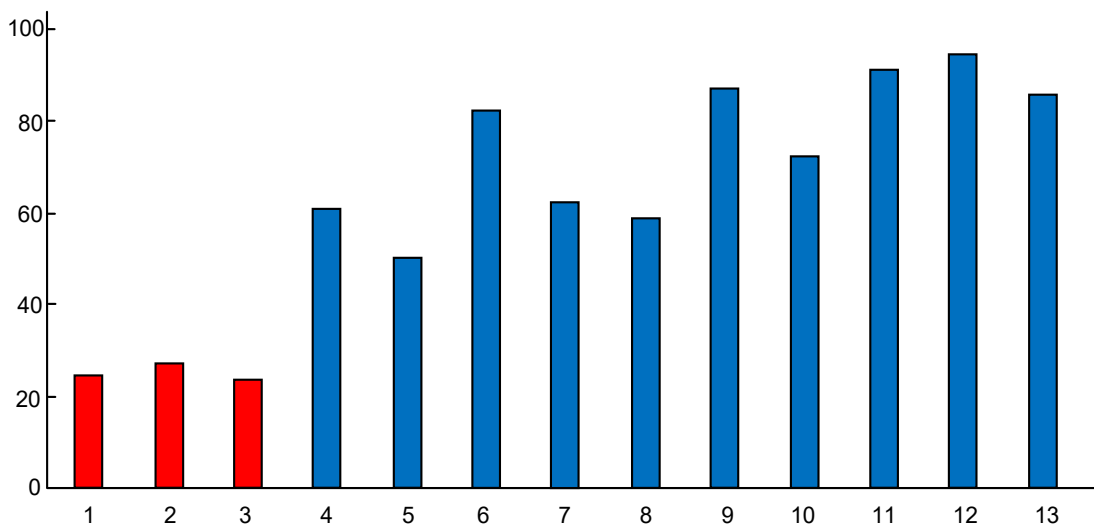
Эксперты (научные сотрудники)	Ранги по факторам												
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$
1	2	3	1	9	8	5	11	4	12	6	7	13	10
2	1	3	4	6	2	5	8	7	9	10	12	13	11
3	3	10	1	6	7	8	12	2	11	4	5	13	9
4	2	3	1	4	5	12	7	6	8	9	13	11	10
5	1	3	10	4	11	6	7	12	13	9	5	8	2
6	13	2	10	8	6	9	1	7	5	4	3	11	12
$\Sigma$	<b>22</b>	<b>24</b>	<b>27</b>	<b>37</b>	<b>39</b>	<b>45</b>	<b>46</b>	<b>38</b>	<b>58</b>	<b>42</b>	<b>45</b>	<b>69</b>	<b>54</b>
$\pm\Delta_{cp}$	20	18	15	5	3	-3	-4	4	-16	0	-3	-27	-12
$\pm\Delta_{cp2}$	400	324	225	25	9	9	16	16	256	0	9	729	144
Эксперты (водительский состав)	Ранги по факторам												
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$
$\Sigma$	21	31	22	53	62	67	96	82	88	82	72	106	39
Эксперты (руководящий состав)	Ранги по факторам												
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$
$\Sigma$	25	27	24	61	50	82	62	59	87	72	91	95	86



**Рисунок 1. Диаграмма рангов первой группы экспертов.**  
**Figure 1. Ranking chart of the first group of experts.**



**Рисунок 2. Диаграмма рангов второй группы экспертов.**  
**Figure 2. Ranking chart of the second group of experts.**



**Рисунок 3. Диаграмма рангов третьей группы экспертов.**  
**Figure 3. Ranking chart of the third group of experts.**

группа также выделила три основных фактора, которые оказались такими же, как и у первой группы.

Третья группа экспертов состояла из руководящего состава транспортных предприятий, их мнение также совпало с первыми двумя группами.

Далее оценивают степень согласованности мнений опрошенных специалистов. Для этого используют коэффициент конкордации  $W$  [11]:

$$W = \frac{12S}{m^2(k^3 - k)},$$

где  $S$  – сумма квадратов отклонений;  $m$  – количество экспертов;  $k$  – количество факторов.

Значимость коэффициента конкордации  $W$  устанавливают с помощью критерия Пирсона [12, 13]. Для этого находят расчетное значение  $X_p^2$ :

$$X_p^2 = m(k-1)W.$$

Расчетное значение сравнивают с табличным значением из распределения Пирсона, найденным для принятого уровня значимости и числа степеней свободы  $F = k - 1$  М [14, 15]. Гипотеза о наличии согласия мнений опрошенных специалистов принимается, если  $X_p^2 \geq X_t^2$ .

Результаты расчетов представлены в табл. 2.

**Таблица 2. Результаты расчетов.**

**Table 2. Calculation results.**

Показатель	Первая группа	Вторая группа	Третья группа
$W$	0,537	0,646	0,529
$X_p^2$	58,05	69,79	57,184
$X_t^2$	21	21	21

Если  $X_p^2 \geq X_t^2$ , то это означает, что мнения экспертов согласуются.

#### **Заключение**

Полученные результаты подтверждают общее мнение различных групп специалистов о значимости и ранжировании факторов, влияющих на ходимость шин.

Вопрос ходимости шин в зависимости от группы рассматриваемых факторов недостаточно изучен и является актуальным с учетом экономических затрат на стоимость и эксплуатацию шин, в том числе КГШ в машинах горного производства.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Санин С. Н., Пелипенко Н. А. Инновационная технология изготовления крупногабаритных изделий // Записки Горного института. 2018. Т. 230. С. 185–189. <http://doi.org/10.25515/PMI.2018.2.185>
2. Махараткин П. Н., Абдулаев Э. К. Методы и средства диагностирования узлов и агрегатов карьерных автосамосвалов // Измерительная техника и технологии контроля параметров природных и техногенных объектов минерально-сырьевого комплекса: сб. науч. трудов II Междунар. науч.-практ. конф. 2019. С. 63–65.
3. Зеночкин М. Ю. Система учета и отслеживание крупногабаритных шин как важнейшее условие эффективного управления шинным хозяйством в горнодобывающей промышленности // ГИАБ. 2009. № 11. С. 56–64.
4. Руководство по эксплуатации крупногабаритных и сверхкрупногабаритных шин радиальной и диагональной конструкции. Республика Беларусь, Бобруйск: Транстэкст, 2009. 35 с.
5. Крупногабаритные шины: руководство по эксплуатации Yokohama / ООО «Йокохама Рус», 2012. 90 с.
6. Koptev V. Yu., Kopteva A. V. Developing an Ecological Passport for an Open-Pit Dump Truck to Reduce Negative Effect on Environment // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017. Vol. 66. 012009. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/66/1/012009>
7. Кульпин А. Г., Стенин Д. В., Кульпина Е. Е. Исследование потока отказов крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов // Вестник КузГТУ. 2017. № 6. С. 162–167. <http://doi.org/10.26730/1999-4125-2017-6-1-162-167>
8. Ашихмин В. Е., Фурман А. С., Шадрин В. Н. Скоростные и рабочие режимы карьерных автосамосвалов // Вестник КузГТУ. 2012. № 4. С. 123–125.
9. Красавин П. А., Фисичев Г. В., Смирнов А. О., Касимов Н. О. Факторы, влияющие на изменение давления в шинах автомобиля, и современные системы его контроля // Журнал автомобильных инженеров. 2015. № 3 (92). С. 16–21.
10. Барахтанов Л. В., Котляренко В. И., Манянин С. Е., Соколов И. А. Моделирование взаимодействия колесной машины с грунтом // Журнал автомобильных инженеров. 2011. № 2. С. 26–28.
11. Смелянский В. М. Влияние основных конструктивно-технологических и эксплуатационных факторов на тепловое состояние и работоспособность сверхкрупногабаритных шин: дис. ... канд. техн. наук. М., 1991. 208 с.
12. Гудков В. А., Тарновский В. Н., Устаров Р. М. Прогнозирование пробега автомобильных шин в горных условиях эксплуатации // Каучук и резина. 2011. № 5. С. 31–33.
13. Курбаков В. П., Тарновский В. Н., Пимкин А. П., Гудков Д. В. Износ шин при движении грузовых автомобилей на подъемах // Эксплуатация транспорта: межвуз. сб. науч. статей. Саратов: СГТУ, 1996. С. 11–15.
14. Скорняков Е. С. Крупногабаритные шины автомобилей и тракторов. Днепропетровск: Пороги, 2000. 263 с.
15. Автотранспортные колеса. Справочник / Под общ. ред. И. В. Балабина. – М.: Машиностроение, 1985. 272 с.

Статья поступила в редакцию 19 февраля 2020 года

# Datum ranking and analysis of factors affecting tire wear

El'dar Kamil'evich ABDULAEV\*  
 Pavel Nikolaevich MAKHARATKIN\*\*  
 Arseniy Il'ich KUZHELEV\*\*\*  
 Viktor Aleksandrovich ATROSHCHENKO\*\*\*\*

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

## Annotation

**Relevance of the work.** The operational efficiency and technical condition of mining vehicles to a large extent depend on the service life and performance characteristics of tires. The most important technological process that determines the effectiveness of field development is the transportation of rock mass. The share of motor transport costs in the total cost and production by open method at Russian mining enterprises is significant, and reaches 70% as the depth of open pits (cuts) increases. At the same time, the actual productivity of mining trucks is much lower than their technical and technological capabilities, and this difference is up to 2.5 times or more for various brands of vehicles, including imported ones. Today, both consumers and manufacturers of large tires are interested in the most efficient tire production management.

**Purpose of the work:** consideration of the main factors affecting tyre life, as well as datum ranking of these factors to determine the degree of significance of each factor.

**Methodology of research.** The systematic approach was used including datum ranking method, some analytical, computational methods and generalization.

**Results.** The ranking was carried out by three independent groups of experts on a number of proposed factors. The main factors in each group were identified and the degree of agreement between the opinions of the interviewed specialists was evaluated. The general opinion of various expert groups on the significance and ranking of factors affecting the integrity of giant tires is confirmed.

**Conclusions.** Datum ranking and analysis of factors affecting the wear of giant tires of mining dump trucks significantly affect the optimization of machine operation and, with appropriate adjustments, can give a positive economic effect.

**Keywords:** datum ranking, giant tire wear, tyre life, mining dump truck.

## REFERENCES

- Sanin S. N., Pelipenko N. A. 2018, Innovative technology for the manufacture of heavy goods. *Zapiski Gornogo instituta* [Journal of Mining Institute], vol. 230. pp. 185–189. (In Russ.) <http://doi.org/10.25515/PMI.2018.2.185>
- Makharatkin P.N., Abdulaev E.K. 2019, Metody i sredstva diagnostirovaniya uzlov i agregatov kar'yernykh avtosamosvalov [Methods and means of diagnosing the components and assemblies of mining dump trucks]. Measuring equipment and technology for monitoring the parameters of natural and technogenic objects of the mineral resource complex: a collection of scientific papers of the II International Research-to-Practice Conference. pp. 63–65.
- Zenochkin M. Yu. 2009, Giant tire tracking and tracking system as an essential condition for effective tire management in the mining industry. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], No 11. Pp. 56–64. (In Russ.)
- 2009, Operation manual for large and giant tires of radial and diagonal design. Republic of Belarus, 35 p.
- 2012, Giant tires: Yokohama user manual. 90 p.
- Koptev V. Yu., Kopteva A. V. 2017, Developing an Ecological Passport for an Open-Pit Dump Truck to Reduce Negative Effect on Environment. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 66. 012009. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/66/1/012009>
- Kulpin A. G., Stenin D. V., Kulpina E. E. 2017, Investigation of the failure series of giant tires of mining dump trucks. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kuzbass State Technical University], No 6. pp. 169–174. (In Russ.) <http://doi.org/10.26730/1999-4125-2017-6-1-170-175>
- Ashikhmin V.E., Furman A.S., Shadrin V.N. 2012, High-speed and operating modes of mining dump trucks. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kuzbass State Technical University], No 4. pp. 123–125. (In Russ.)
- Krasavin P. A., Fischev G. V., Smirnov A. O., Kasimov N. O. 2015, Factors affecting the change in pressure in the tires of a car, and modern systems for its control. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov* [Journal of Automotive Engineers], No 3 (92). pp. 16–21. (In Russ.)
- Barakhtanov L. V., Kotlyarenko V. I., Manyanin S. E., Sokolov I. A. 2011, Modeling the interaction of a wheeled vehicle with soil. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov* [Journal of Automotive Engineers], No 2. pp. 26–28. (In Russ.)
- Smelyanskiy V. M. 1991, *Vliyaniye osnovnykh konstruktivno-tekhnologicheskikh i ekspluatatsionnykh faktorov na teplovoye sostoyaniye i rabotosposobnost' sverkhkrupnogabaritnykh shin* [Influence of the main structural, technological and operational factors on the thermal condition and performance of giant tires], PhD thesis, Moscow, 208 p.
- Gudkov V. A., Tarnovskiy V. N., Ustarov R. M. 2011, Forecasting the life of automobile tires in mountain operating conditions. *Kauchuk i Rezina*

✉ [Ehldarabdulaev@mail.ru](mailto:Ehldarabdulaev@mail.ru)

 <https://orcid.org/0000-0003-2326-80-53>

 <https://orcid.org/0000-0002-9376-061X>

 <https://orcid.org/0000-0003-3202-1685>

 <https://orcid.org/0000-0003-1582-1285>

[Russian rubbers], No 5. pp. 31–33. (*In Russ.*)

13. Kurbakov V.P., Tarnovsky V.N., Pimkin A.P., Gudkov D.V. 1996, *Iznos shin pri dvizhenii gruzovykh avtomobiley na pod'yemakh* [Tire wear during the movement of trucks uphill]. Transport operation: interuniversity collection of scientific articles. Saratov, pp. 11–15.

14. Skornyakov E. S. 2000, *Krupnogabaritnyye shiny avtomobiley i traktorov* [Giant tires for cars and tractors], Dnepropetrovsk, 263 p.

15. 1985, Motor transport wheels. Book of reference. Ed. by I. V. Balabin. – Moscow, 272 p.

*The article was received on February 19, 2020*