

### Размерный анализ порошков, полученных электроэрозионным диспергированием высокохромистой стали в керосине

Е. В. Агеева <sup>1</sup> ✉, Е. В. Агеев <sup>1</sup>, А. А. Сысоев <sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»  
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

#### Резюме

**Целью работы** являлась оценка размерных характеристик порошков, полученных электродиспергированием высокохромистой коррозионностойкой стали в керосине осветительном.

**Методы.** При постановке экспериментов для электроэрозионного диспергирования были выбраны отходы высокохромистой коррозионностойкой стали X17. Оборудование для диспергирования – экспериментальная установка (Патент РФ №2449859). В качестве рабочей жидкости применялся керосин осветительный. С целью стабилизации процесса режимы диспергирования подбирались экспериментальным опытным путем и были следующими: напряжение 100 В; частота следования импульсов 120 Гц; емкость 48 мкФ. Гранулометрический состав порошков исследовали на лазерном анализаторе размеров частиц «Analysette 22 NanoТес».

**Результаты.** На основании проведенных экспериментальных исследований, направленных на изучение гранулометрического состава электроэрозионных порошков, полученных из отходов высокохромистой коррозионностойкой стали X17 в керосине осветительном на экспериментальной установке (Патент РФ №2449859) при частоте следования импульсов 120 Гц, напряжении 100 В и емкости разрядных конденсаторов 48 мкФ, установлено, что средний размер частиц составляет 28,66 мкм и 95% от общего объема частиц в порошке имеют размер меньший или равный 57,36 мкм.

**Заключение.** Проведенные исследования позволят посредством применения прогрессивной, экологически чистой, малотоннажной и безотходной технологии электроэрозионного диспергирования получать новые порошковые материалы из отходов высокохромистой коррозионностойкой стали X17 в керосине осветительном с гарантированным гранулометрическим составом.

---

**Ключевые слова:** отходы высокохромистой стали; электроэрозионное диспергирование; порошок; гранулометрический состав.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-33-90053.

**Для цитирования:** Агеева Е. В., Агеев Е. В., Сысоев А. А. Размерный анализ порошков, полученных электроэрозионным диспергированием высокохромистой стали в керосине // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020; 24(2): 8-16. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-2-8-16>.

Поступила в редакцию 29.01.2020

Подписана в печать 17.02.2020

Опубликована 20.04.2020

## Dimensional Analysis of Powders Obtained by Electroerosive Dispersion of High-Chromium Steel in Kerosene

Ekaterina V. Ageeva<sup>1</sup> ✉, Evgeny V. Ageev<sup>1</sup>, Arthur A. Sysoev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Southwest State University  
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

### Abstract

**Purpose of research** was to evaluate the dimensional characteristics of powders obtained by electrodispersion of high-chromium corrosion-resistant steel in lighting kerosene.

**Methods.** When setting up experiments for electroerosive dispersion, wastes of high-chromium corrosion-resistant steel X17 were selected. Dispersing equipment - experimental setup (RF Patent No. 2449859). Lighting kerosene was used as a working fluid. In order to stabilize the process, the dispersion modes were selected experimentally and were as follows: voltage 100 V; pulse repetition rate 120 Hz; capacity 48  $\mu$ F. The granulometric composition of the powders was studied using a laser particle size analyzer "Analysette 22 NanoTec".

**Results.** It has been found that the average particle size is 28.66  $\mu$ m and 95% of the total volume of particles in the powder have a size less than or equal to 57.36  $\mu$ m. ,based on the conducted experimental studies aimed at studying the particle size distribution of electroerosive powders obtained from wastes of high-chromium corrosion-resistant steel X17 in lighting kerosene on an experimental setup (RF Patent No. 2449859) at a pulse repetition rate of 120 Hz, a voltage of 100 V and the capacity of the discharge capacitors is 48  $\mu$ F.

**Conclusion.** The conducted research will allow us to obtain new powder materials from wastes of high-chromium corrosion-resistant steel X17 in lighting kerosene with a guaranteed particle size distribution, through the use of progressive, environmentally friendly, low-tonnage and waste-free technology of electroerosive dispersion.

**Keywords:** high-chromium steel waste; electroerosive dispersion; powder; granulometric composition.

**Conflict of interest.** The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Funding:** The research was carried out with the financial support of the RFBR in the framework of scientific project No. 19-33-90053.

**For citation:** Ageeva E. V., Ageev E. V., Sysoev A. A. Dimensional Analysis of Powders Obtained by Electroerosive Dispersion of High-Chromium Steel in Kerosene // *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2020, 24(2): 8-16 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-2-8-16>.

Received 29.01.2020

Accepted 17.02.2020

Published 20.04.2020

## Введение

Высокохромистые коррозионностойкие стали эффективно используются во многих областях промышленности. В настоящее время одной из основных проблем применения этих сталей является наличие в них значительного количества дорогостоящего хрома [1-6]. Данный недостаток может быть решен повторным их использованием после измельчения отходов. Существующие способы измельчения подобных сплавов являются экологически грязными, энергоемкими и крупнотоннажными. Одним из перспективных и промышленно неприменяемых способов измельчения любого электропроводного материала является электродиспергирование [7-12].

Для разработки технологий повторного использования порошков, полученных электродиспергированием коррозионностойкой стали и оценки возможности их использования в промышленности требуется выполнение экспериментальных исследований.

**Целью работы** являлась оценка размерных характеристик порошков, полученных электродиспергированием высокохромистой коррозионностойкой стали в керосине осветительном.

## Материалы и методы

При постановке экспериментов для электроэрозийного диспергирования были выбраны отходы высокохромистой

коррозионностойкой стали X17. Оборудование для диспергирования – экспериментальная установка (Патент РФ №2449859). В качестве рабочей жидкости применялся керосин осветительный. С целью стабилизации процесса режимы диспергирования подобраны экспериментальным опытным путем и были следующими: напряжение 100 В; частота следования импульсов 120 Гц; емкость 48 мкФ.

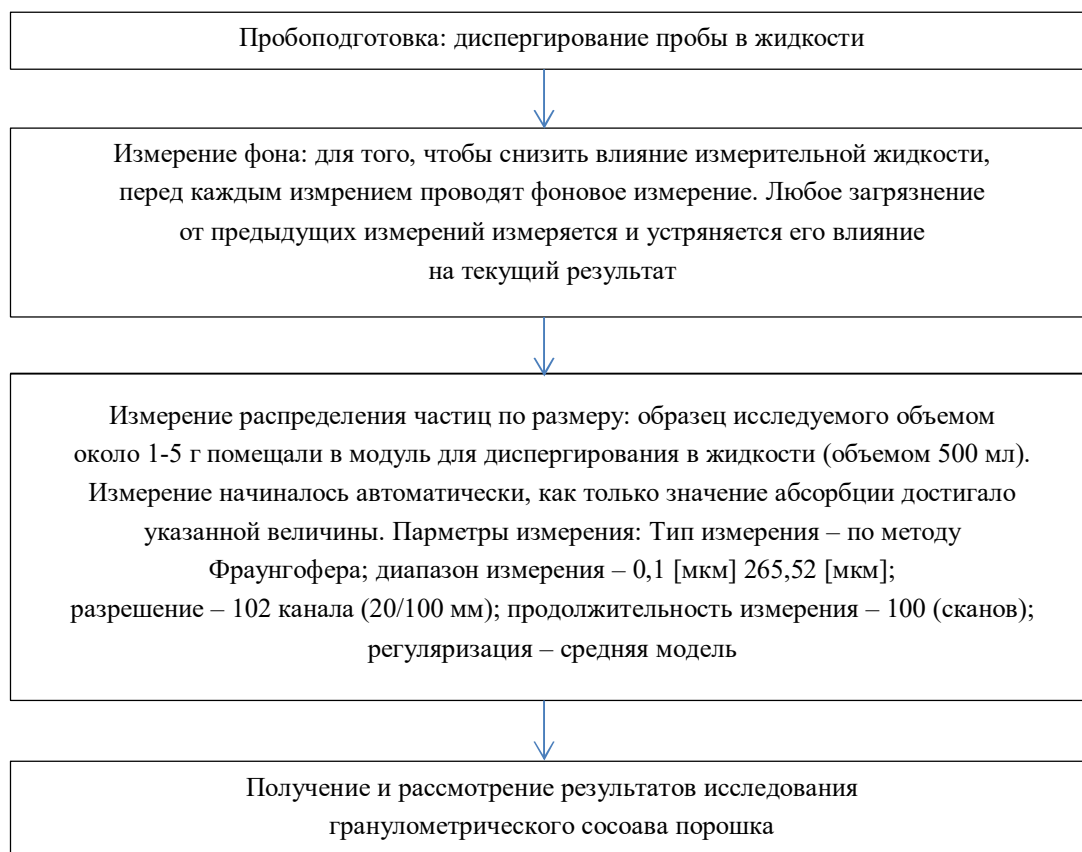
Размерные характеристики порошков исследовали на лазерном анализаторе размеров частиц «Analysette 22 NanoTec» (рис. 1).



**Рис. 1.** Лазерный дифракционный анализатор размера частиц Analysette 22 NanoTec

**Fig. 1.** Laser diffraction particle size analyzer Analysette 22 Nano

На рис. 2 представлена блок-схема исследования размерных характеристик порошков.



**Рис. 2.** Блок-схема исследования размерных характеристик порошков на лазерном дифракционном анализаторе размера частиц Analysette 22 NanoTec

**Fig. 2.** Block diagram for studying the size characteristics of powders using the Analysette 22 NanoTec laser diffraction particle size analyzer

## Результаты и их обсуждение

Результаты исследования размерных характеристик порошков, полученных электродиспергированием высокохромистой коррозионностойкой стали X17 в керосине осветительном, представлены на рис. 3 и в табл. 1.

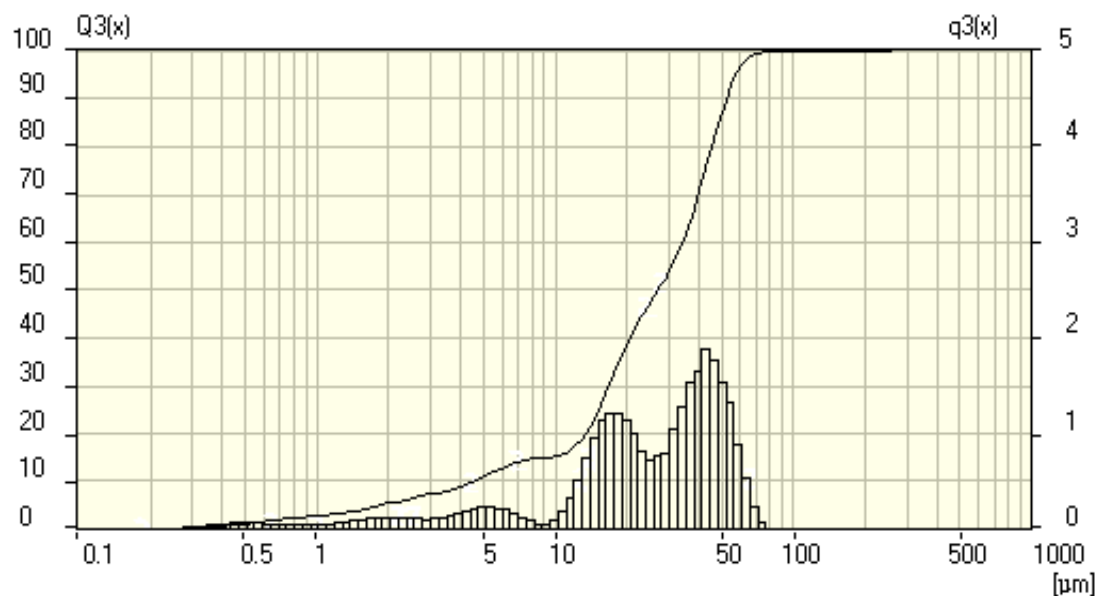
На рис. 3 представлены интегральная кривая и гистограмма: каждая точка на интегральной кривой  $Q3(x)=f(\mu\text{м})$  показывает, сколько процентов частиц имеет размер меньше или равный данному; каждая точка на гистограмме

$q3(x)=f(\mu\text{м})$  показывает количество частиц в процентах с данным размером.

В табл. 1 приведены результаты исследования распределения по размерам микрочастиц.

D50 (50% of particles) – 26,99 мкм, то есть частиц, размером меньше или равно 26,99 мкм в порошке содержится 50,0% от общего объема.

При помощи лазерного дифракционного анализатора размера частиц Analysette 22 NanoTec установлено, что средний составляет 28,66 мкм, арифметическое значение – 28,655 мкм.



**Рис. 3.** Распределение по размерам микрочастиц порошка

**Fig. 3.** Size distribution of powder microparticles

**Таблица 1.** Результаты исследования размера частиц

**Table 1.** Results of the particle size study

Параметр	Значение, мкм
D10 (10% of particles)	4,56
D20 (20% of particles)	13,51
D30 (30% of particles)	16,93
D40 (40% of particles)	20,52
D50 (50% of particles)	26,99
D60 (60% of particles)	34,31
D70 (70% of particles)	39,96
D80 (80% of particles)	45,41
D90 (90% of particles)	52,23
D95 (95% of particles)	57,36
d[4,3] Объемный средний диаметр	28,66
d[3,2] Средний диаметр по площади поверхности	7,86
d[3,0] Средний диаметр по отношению к объему	1,047
d[2,0] Средний диаметр по отношению к площади	0,64
d[1,0] Средний диаметр по отношению к длине	0,45

## Выводы

На основании проведенных экспериментальных исследований, направленных на изучение гранулометрического состава электроэрозионных порошков, полученных из отходов высокохромистой коррозионностойкой стали Х17 в керосине осветительном на экспериментальной установке (Патент РФ №2449859) при частоте следования импульсов 120 Гц, напряжении 100 В и емкости разрядных конденсаторов 48 мкФ, установлено, что средний размер частиц

составляет 28,66 мкм и 95% от общего объема частиц в порошке имеют размер меньший или равный 57,36 мкм.

Проведенные исследования позволяют посредством применения прогрессивной, экологически чистой, малотоннажной и безотходной технологии электроэрозионного диспергирования получать новые порошковые материалы из отходов высокохромистой коррозионностойкой стали Х17 в керосине осветительном с гарантированным гранулометрическим составом.

## Список литературы

1. Попов В.С., Скоробогатых В.Н., Щенкова И.А. Исследование влияния режимов термической обработки на свойства высокохромистых сталей для энергетических установок // Заготовительные производства в машиностроении. 2008. № 3. С. 41-47.
2. Гладштейн В.И., Пчелинцев А.В. Исследование жаропрочности и трещиностойкости металла корпуса стопорного клапана из высокохромистой стали 15Х11МФБЛ после длительной эксплуатации // Электрические станции. 2005. № 10. С. 78-80.
3. Людвиницкий С.С. Предупреждение образования трещин на деталях паровых турбин из высокохромистых сталей при ручной аргонодуговой сварке // Энергетик. 2007. № 2. С. 22-23.
4. Матюшева Е.Л., Теплухина И.В. Разработка паротурбинных высокохромистых сталей нового поколения с повышенной стабильностью характеристик длительной прочности // Вопросы материаловедения. 2010. № 3 (63). С. 5-15
5. Фазовые превращения в коррозионно-стойкой высокохромистой азотсодержащей стали / М.В. Костина, С.О. Мурадян, М.С. Хадыев, А.А. Корнеев // Металлы. 2011. № 5. С. 33.
6. Атрошенко С.А., Королев И.А. Оценка качества высокохромистых инструментальных сталей // Научное обозрение. 2012. № 1. С. 63-70.
7. Размерный анализ порошков, полученных электроэрозионным диспергированием сплава ВНЖ / Е.В. Агеева, В.Л. Селютин, Г.Р. Латыпова, А.С. Осьминина // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2018. Т. 8. № 2 (27). С. 20-31.

8. Рентгеноструктурный анализ порошков, полученных электроэрозионным диспергированием сплава ВНЖ / Е.В. Агеева, В.Л. Селютин, А.А. Горохов, В.В. Куц // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2017. № 3 (24). С. 60-68.

9. Фазовый состав частиц порошка, полученного электроэрозионным диспергированием сплава ВК8 в бутиловом спирте / Е.В. Агеева, А.Ю. Алтухов, С.С. Гулидин, Е.В. Агеев, А.А. Горохов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2016. № 1 (18). С. 20-25.

10. Ageev E.V., Latypov R.A. Fabrication and investigation of carbide billets from powders prepared by electroerosive dispersion of tungsten-containing wastes // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2014. T. 55. No. 6. С. 577-580.

11. Elemental composition of the powder particles produced by electric discharge dispersion of the wastes of a VK8 hard alloy / R.A. Latypov, G.R. Latypova, E.V. Ageev, A.Y. Altukhov, E.V. Ageeva // Russian metallurgy (Metally). 2017. T. 2017. № 12. С. 1083-1085.

12. Properties of the coatings fabricated by plasma-jet hard-facing by dispersed mechanical engineering wastes / R.A. Latypov, G.R. Latypova, E.V. Ageev, A.Y. Altukhov, E.V. Ageeva // Russian metallurgy (Metally). 2018. T. 2018. № 6. С. 573-575.

## References

1. Popov V. S., Skorobogatykh V. N., Schenkova I. A. Issledovanie vliyaniya rezhimov termicheskoi obrabotki na svoistva vysokokhromistyykh stalei dlya energeticheskikh ustano-vok [Investigation of the influence of heat treatment regimes on the properties of high-chromium steels for power plants]. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii = Blank-ing Productions in Mechanical Engineering*, 2008, no. 3, pp. 41-47 (In Russ.).

2. Gladstein V. I., Pchelintsev A.V. Issledovanie zharoprochnosti i treshchinostoikosti metalla korpusa stopornogo klapana iz vysokokhromistoi stali 15Kh11MFBL posle dlitel'noi ekspluatatsii [Study of heat resistance and crack resistance of the metal body of the stop valve made of high-chromium steel 15X11MFBL after long-term operation]. *Elektricheskie stantsii = Electric stations*, 2005, no. 10, pp. 78-80 (In Russ.).

3. Ludvinsky S. S. Preduprezhdenie obrazovaniya treshchin na detalyakh parovykh turbin iz vysokokhromistyykh stalei pri ruchnoi argonodugovoi svarke [Prevention of crack formation on details of steam turbines made of high-chromium steels during manual argon-arc welding]. *Energetik = Energetick*, 2007, no. 2, pp. 22-23 (In Russ.).

4. Matyusheva E. L., Teplukhina I. V. Razrabotka paroturbinnyykh vysokokhromistyykh stalei novogo pokoleniya s povyshennoi stabil'nost'yu kharakteristik dlitel'noi prochnos-

ti [Development of steam turbine high-chromium steels of a new generation with increased stability of long-term strength characteristics]. *Voprosy materialovedeniya = Questions of materials science*, 2010, no. 3 (63), pp. 5-15 (In Russ.).

5. Kostina M. V., Muradyan S. O., Khadiev M. S., Korneev A. A. Fazovye prevrashcheniya v korrozionno-stoikoi vysokokhromistoi azotsoderzhashchei stali [Phase transformations in corrosion-resistant high-chromium nitrogen-containing steel]. *Metally = Metals*, 2011, no. 5, pp. 33 (In Russ.).

6. Atroshenko S. A., Korolev I. A. Otsenka kachestva vysokokhromistyykh instrumental'nykh staley [Evaluation of the quality of high-chromium tool steels]. *Nauchnoe obozrenie = Scientific Review*, 2012, no. 1, pp. 63-70 (In Russ.).

7. Ageev E. V., Selyutin V. L., Latypova G. R., Osminina A. S. Razmernyi analiz poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem splava VNZh [Dimensional analysis of the powders produced by electroerosion dispersion of alloy residence permit]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2018, vol. 8, no. 2 (27), pp. 20-31 (In Russ.).

8. Ageeva E. V., Selyutin V. L., Gorokhov A. A., Kuts V. V. Rentgenostrukturnyi analiz poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem splava VNZh [X-ray Diffraction analysis of powders obtained by electroerosive dispersion of the alloy VNZH]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2017, no. 3 (24), pp. 60-68 (In Russ.).

9. Ageeva E. V., Altukhov A. Yu., Gulidin S. S., Ageev E. V., Gorokhov A. A. Fazovyi sostav chastits poroshka, poluchennogo elektroerozionnym dispergirovaniem splava vk8 v butilovom spirte [Phase composition of powder particles obtained by electroerosive dispersion of VK8 alloy in butyl alcohol]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2016, no. 1 (18), pp. 20-25 (In Russ.).

10. Ageev E. V., Latypov R. A. Fabrication and investigation of carbide billets from powders prepared by electroerosive dispersion of tungsten-containing wastes. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 2014, vol. 55, no. 6, pp. 577-580.

11. Latypov R. A., Latypova G. R., Ageev E. V., Altukhov A. Y., Ageeva E. V. Elemental composition of the powder particles produced by electric discharge dispersion of the wastes of a VK8 hard alloy. *Russian metallurgy (Metallically)*, 2017, vol. 2017, no. 12, pp. 1083-1085.



12. Latypov R. A., Latypova G. R., Ageev E. V., Altukhov A. Y., Ageeva E. V. Properties of the coatings fabricated by plasma-jet hard-facing by dispersed mechanical engineering wastes. *Russian metallurgy (Metallically)*, 2018, vol. 2018, no. 6, pp. 573-575.

---

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Агеева Екатерина Владимировна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии материалов и транспорта, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

**Агеев Евгений Викторович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии материалов и транспорта ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ageev\_ev@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3862-8624>

**Сысоев Артур Алексеевич**, аспирант кафедры технологии материалов и транспорта ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: evoking09@rambler.ru

**Ekaterina V. Ageeva**, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Materials and Transport Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

**Evgeny V. Ageev**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Materials and Transport Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageev\_ev@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3862-8624>

**Arthur A. Sysoev**, Post-Graduate Student of the Department of Materials Technology and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: evoking09@rambler.ru