

УДК 621.762

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2026-16-1-19-32>

Исследование процесса электродиспергирования металлоотходов быстрорежущей стали марки Р6М5К5 в воде

Е. В. Агеева¹✉, О. Г. Локтионова¹, М. Ю. Степанов¹, А. Е. Андреева¹

² Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Резюме

Цель данной работы ориентирована на установление закономерных связей между электрическими и режимными характеристиками экспериментальной установки электророзионного диспергирования и интенсивностью процесса формирования порошковой шихты стали Р6М5К5 при переработке металлоотходов быстрорежущего инструмента. Основное внимание уделено анализу влияния ключевых параметров электрического воздействия на эффективность преобразования твёрдого металлического сырья в дисперсное порошковое состояние.

Методы. Экспериментальные исследования проводились с использованием авторской лабораторной установки электророзионного диспергирования. Получение порошковой шихты быстрорежущей стали осуществлялось в условиях контролируемого изменения электрических параметров процесса: напряжения в диапазоне 100–200 В, ёмкости разрядных конденсаторов в пределах 25,5–65,5 мкФ и частоты следования импульсных разрядов 25–75 Гц. Геометрические и временные параметры процесса сохранялись постоянными: межэлектродное расстояние составляло 120 мм, а продолжительность диспергирования 600 минут. В качестве исходного сырья использовались металлоотходы быстрорежущего инструмента, предварительно подготовленные к переработке.

Результаты. Установлено, что увеличение значений электрических параметров установки сопровождается ростом производительности процесса формирования порошковой шихты быстрорежущей стали. Экспериментально выявлена устойчивая прямая зависимость массы получаемого порошкового материала от влияния величины электрической ёмкости разрядных накопителей энергии. Установлено, что совокупная масса исходных веществ, вовлекаемых в зону электророзионного диспергирования, количественно соответствует массе формируемых продуктов процесса вне зависимости от специфики протекающих физико-химических, фазовых и структурных трансформаций. Экспериментально подтверждено, что потери вещества в ходе исследований не превышают 2% от суммарного количества перерабатываемого материала.

Заключение. Полученные результаты подтверждают технологическую целесообразность применения электророзионного диспергирования для промышленного получения порошков быстрорежущих сталей и могут быть использованы при разработке оптимальных режимов работы установок, а также при совершенствовании составов и структуры порошковых материалов в задачах порошковой металлургии и ресурсосберегающих технологий.

Ключевые слова: сталь; электророзионное диспергирование; ёмкость разрядных конденсаторов; напряжение на электродах; характеристики.

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

Для цитирования: Исследование процесса электродиспергирования металлоотходов быстрорежущей стали марки Р6М5К5 в воде / Е. В. Агеева, О. Г. Локтионова, М. Ю. Степанов, А. Е. Андреева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2026. Т. 16, № 1. С. 19–32. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2026-16-1-19-32>.

Поступила в редакцию 02.02.2026

Подписана в печать 24.02.2026

Опубликована 25.03.2026

© Агеева Е. В., Локтионова О. Г., Степанов М. Ю., Андреева А. Е., 2026

Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии /
Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies. 2026;16(1):19-32

Investigation of the process of electrodispersion of metal waste of high-speed steel grade P6M5K5 in water

Ekaterina V. Ageeva ✉¹, Oksana G. Loktionova¹, Mikhail Yu. Stepanov¹,
Anna E. Andreeva¹

¹ Southwest State University
50 let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Abstract

The purpose of this work is focused on establishing regular relationships between the electrical and operating characteristics of the experimental installation of electroerosion dispersion and the intensity of the process of forming the powder charge of steel P6M5K5 during the processing of metal waste from high-speed tools. The main attention is paid to the analysis of the influence of key parameters of electrical action on the efficiency of converting solid metal raw materials into a dispersed powder state.

Methods. Experimental studies were carried out using the author's laboratory installation of electroerosion dispersion. The production of a high-speed steel powder charge was carried out under conditions of controlled changes in the electrical parameters of the process: voltage in the range of 100-200 V, discharge capacitance in the range of 25.5-65.5 UF and pulse discharge frequency of 25-75 Hz. The geometric and temporal parameters of the process remained constant: the interelectrode distance was 120 mm, and the dispersion duration was 600 minutes. Metal waste from high-speed cutting tools, previously prepared for processing, was used as the starting material.

Results. It is established that an increase in the values of the electrical parameters of the installation is accompanied by an increase in the productivity of the process of forming a high-speed steel powder charge. A stable direct dependence of the mass of the obtained powder material on the influence of the electric capacity of discharge energy storage devices has been experimentally revealed. It has been established that the total mass of the starting materials involved in the zone of electroerosion dispersion quantitatively corresponds to the mass of the formed products of the process, regardless of the specifics of the ongoing physico-chemical, phase and structural transformations. It has been experimentally confirmed that the losses of the substance during the research do not exceed 2% of the total amount of processed material.

Conclusion. The results obtained confirm the technological feasibility of using electroerosion dispersion for the industrial production of high-speed steel powders. They can be used in the development of optimal operating modes of plants, as well as in improving the compositions and structures of powder materials in the tasks of powder metallurgy and resource-saving technologies.

Keywords: steel; electroerosion dispersion; capacity of discharge capacitors; voltage; electrodes; characteristics.

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

For citation: Ageeva E.V., Loktionova O.G., Stepanov M.Yu., Andreeva A.E. Investigation of the process of electrodispersion of metal waste of high-speed steel grade P6M5K5 in water. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2026;16(1):19-32. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2026-16-1-19-32>.

Received 02.02.2026

Accepted 24.02.2026

Published 25.03.2026

Введение

В структуре современного производства быстрорежущего инструмента доминирующее положение занимает сталь

марки P6M5K5 [1]. Данный материал характеризуется совокупностью эксплуатационно значимых свойств, включающих

высокую термическую стабильность, повышенную износостойкость, устойчивость к агрессивным химическим средам, а также способность сохранять прочностные характеристики при интенсивных механических и тепловых нагрузках [2]. Благодаря такому сочетанию параметров сталь Р6М5К5 широко применяется при изготовлении режущего инструмента и деталей, работающих в условиях повышенных температур и химического воздействия [3].

Вместе с тем интенсивная эксплуатация изделий из данной стали сопровождается образованием значительных объёмов производственных и эксплуатационных отходов, которые традиционные методы утилизации перерабатывают недостаточно эффективно [4]. Это формирует технологическую и ресурсную проблему, связанную с потерей ценных легирующих элементов, таких как вольфрам, молибден и кобальт [5]. В связи с этим актуальной научно-технической задачей становится разработка ресурсосберегающих технологий переработки отходов стали Р6М5К5 с их трансформацией в порошковые материалы, пригодные для повторного использования в процессах порошковой металлургии и аддитивного производства [6].

Порошковый материал, получаемый из отходов стали Р6М5К5, обладает высоким потенциалом вторичного применения в различных технологических направлениях, включая повторное использование в производстве режущего инструмента [7].

К числу перспективных, но недостаточно исследованных технологий переработки металлических сплавов в порошкообразное состояние относится метод электророзионного диспергирования, основанный на воздействии импульсных электрических разрядов в межэлектродном пространстве [8].

Ранее выполненные пилотные исследования процессов электророзионного разрушения быстрорежущих сталей продемонстрировали существенную зависимость характеристик диспергирования от электрических параметров установки, что указывает на их определяющую роль в формировании гранулометрического состава и производительности процесса [9].

Целью настоящей работы является комплексное исследование влияния воздействия электрического напряжения на электродах, частотных характеристик импульсного разряда и параметров ёмкости разрядных конденсаторных блоков на интенсивность формирования порошковой шихты из стали Р6М5К5 при переработке металлотходов быстрорежущего инструмента.

Материалы и методы

В ходе экспериментальных исследований применялась специализированная лабораторная установка, реализующая процесс электророзионного диспергирования электропроводящих материалов и находящаяся под правовой охраной патента РФ [10]. В рабочую камеру установки загружались предварительно измельчённые отходы быстрорежущего инструмента, изготовленного из стали Р6М5К5, при этом в качестве диэлектрической среды применялась дистиллированная вода [11]. Под действием импульсных электрических разрядов, формируемых в межэлектродном пространстве, происходило локальное термическое и механическое разрушение кусков стали, сопровождающееся образованием мелкодисперсной порошковой фракции [12].

На рисунке 1 приведено структурно-функциональное представление технологического процесса электророзионного разрушения отходов [13] стали Р6М5К5, реализуемого в дистиллированной воде.

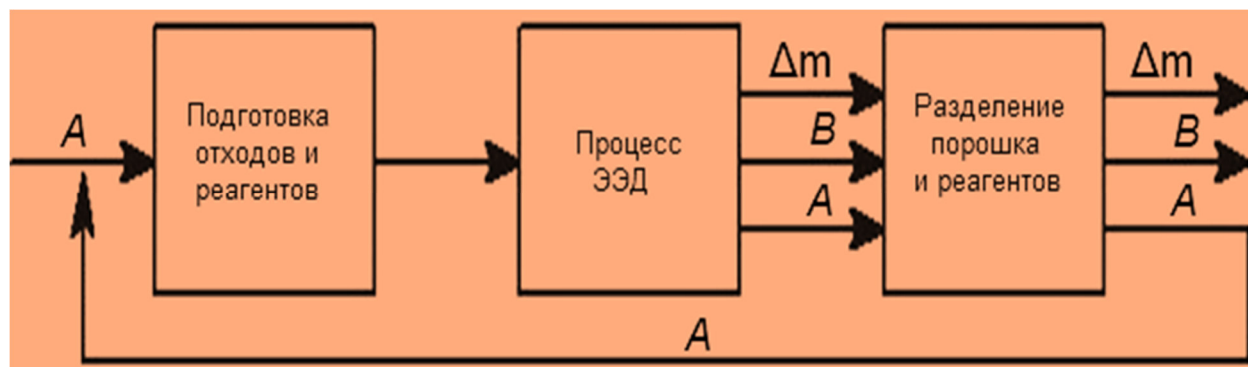


Рис. 1. Технологическая схема формирования порошковой шихты из отходов стали P6M5K5 методом электроэрозионного диспергирования: A – реагент (крупнофракционные остатки исходного разрушаемого материала P6M5K5); B – мелкодисперсная порошковая фракция; Δm – потери материала и рабочей жидкости при ЭЗД

Fig. 1. Technological scheme for the formation of a powder charge from waste steel P6M5K5 by electroerosive dispersion: A – the reagent (coarse-grained residues of the initial destructible material P6M5K5); B – the fine powder fraction; Δm – is the loss of material and working fluid during ED

Рассмотрение данной схемы позволяет проанализировать особенности протекания процесса электроэрозионного диспергирования и взаимосвязь его основных технологических стадий, что в результате его протекания формируются три основных потока продуктов [14]. Первый поток (A) включает крупнофракционные остатки исходного разрушаемого материала, которые после завершения технологического цикла могут быть повторно вовлечены в процесс диспергирования [15]. Второй поток (B) представлен мелкодисперсной порошковой фракцией, пригодной для промышленного использования, в том числе для получения изделий методами прессования, а также для формирования деталей с применением аддитивных технологий [16]. Третий компонент (Δm) характеризует совокупные потери материала и рабочей жидкости, возникающие в ходе электроэрозионного воздействия [17].

В процессе экспериментальных исследований в реактор электроэрозионной

установки [18] загружались предварительно измельчённые металлотходы быстрорежущего инструмента, в качестве обрабатываемого материала использовался сплав P6M5K5 [19], соответствующий требованиям ГОСТ 19265-73, а роль рабочей среды выполняла дистиллированная вода [20], регламентированная стандартом ГОСТ Р 58144-2018.

Результаты и их обсуждение

Ключевые технологические параметры режима электроэрозионного диспергирования стали P6M5K5, а также количественные показатели выхода сформированного порошкового продукта представлены в таблице 1.

Интерпретация экспериментальных результатов, представленных в таблице 2, свидетельствует о положительной корреляции между увеличением электрической ёмкости разрядных накопителей энергии и ростом производственной отдачи процесса.

Таблица 1. Ключевые технологические параметры электроэрозионного диспергирования стали Р6М5К5**Table 1.** Key technological parameters of electroerosion dispersion of steel R6M5K5

Номер опыта	Основные характеристики процесса ЭЭД			
	U , В	C , мкФ	ν , Гц	m , г
1	80	20,5	30	4,3
2	150	20,5	30	6,3
3	220	20,5	30	8,8
4	220	40,5	30	18,9
5	220	65,5	30	28,4
6	220	65,5	60	56,6
7	220	65,5	80	64,2

Таблица 2. Параметрические характеристики режимов ЭЭД и результативность формирования порошкообразного продукта из стали Р6М5К5 при варьировании ёмкости конденсаторных элементов в системе**Table 2.** Parametric characteristics of the EED modes and the effectiveness of the formation of a powdered product from steel P6M5K5 with varying capacitance of capacitor elements in the system

Номер опыта	Ёмкость, мкФ	Напряжение, В	Частота, Гц	Масса полученного ПМ, г
1	30	150	30	13,2
2	50	150	30	19,1
3	65,5	150	30	26,3

На основании полученных результатов построена графическая зависимость выхода порошкового материала от величины ёмкости, представленная на рисунке 2.

В качестве следующего управляемого технологического фактора была выбрана

частота импульсного воздействия. Значения режимных параметров электроэрозионного диспергирования стали Р6М5К5, а также количественные показатели массы полученного порошкового материала приведены в таблице 3.

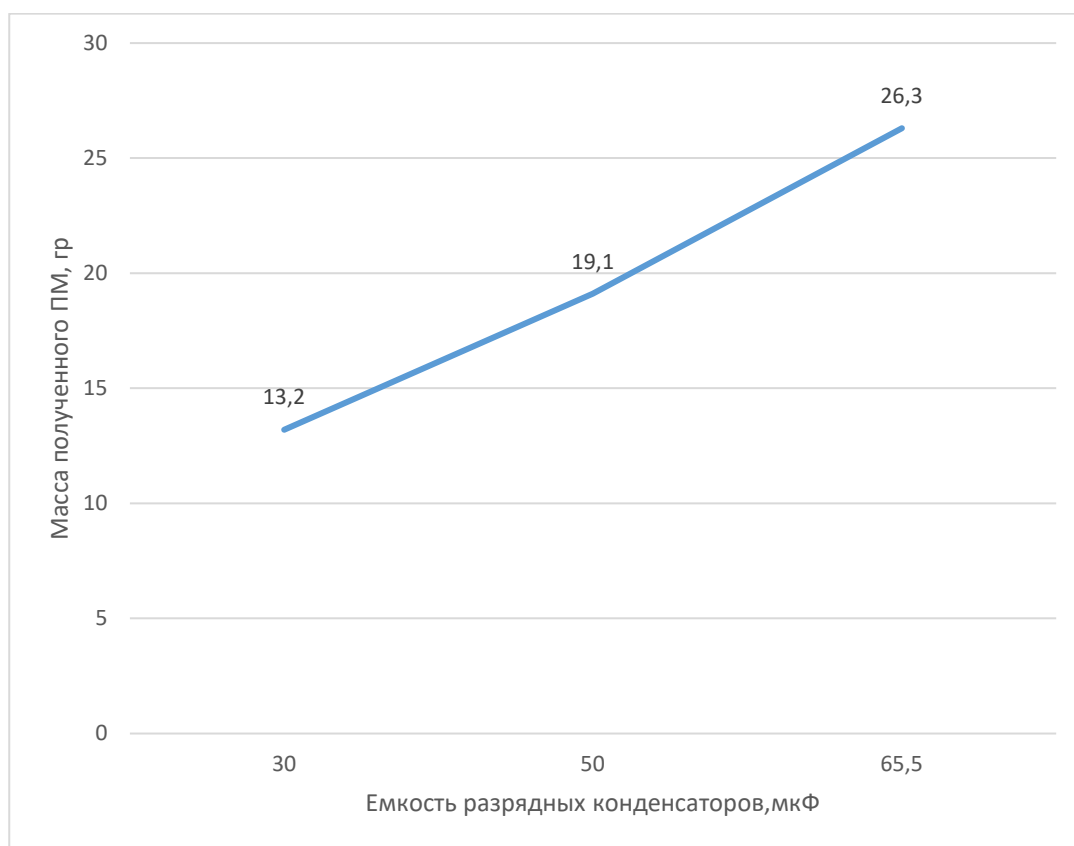


Рис. 2. Влияние ёмкости разрядных конденсаторов на производительность формирования порошка

Fig. 2. The effect of discharge capacitor capacity on powder formation performance

Таблица 3. Функциональная зависимость производительности процесса электроэрозионного диспергирования стали Р6М5К5 от параметров электрической ёмкости разрядных конденсаторных блоков

Table 3. Functional dependence of the performance of the process of electroerosion dispersion of steel Р6М5К5 on the parameters of the electrical capacity of discharge capacitor banks

Номер опыта	Емкость, мкФ	Напряжение, В	Частота, Гц	Масса полученного ПМ, г
1	65,5	150	40	26
2	65,5	150	80	49
3	65,5	150	120	53

Аналитическая обработка экспериментальных массивов данных подтверждает, что увеличение частоты импульсного разряда в межэлектродном проме-

жутке приводит к интенсификации процесса и росту выхода порошкового продукта, что наглядно демонстрируется графической зависимостью, представленной на рисунке 3.

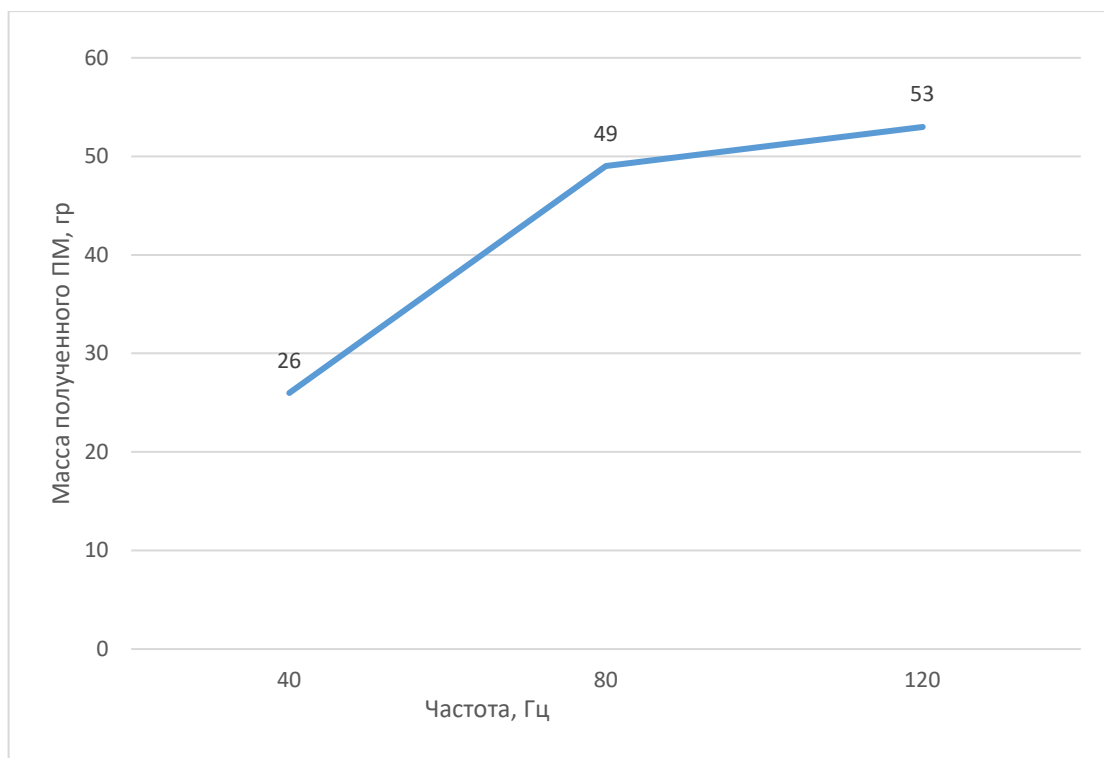


Рис. 3. Диаграмма, отражающая зависимость массы сформированного порошкового продукта от частоты импульсных электрических воздействий

Fig. 3. A diagram showing the dependence of the mass of the formed powder product on the frequency of pulsed electrical effects

С целью оценки влияния электрического потенциала на результативность технологического процесса были реализованы три независимые экспериментальные серии, в рамках которых уровень напряжения варьировался в интервале от 80 до 220.

На основе полученных экспериментальных данных была составлена таблица 4, а также построена графическая зависимость выхода порошкового материала от величины межэлектродного напряжения (рис. 4).

Таблица 4. Влияние напряжения на режимные показатели и массовый выход порошка стали Р6М5К5 при электроэрозионном диспергировании

Table 4. Effect of voltage on operating parameters and mass yield of steel powder Р6М5К5 during electroerosion dispersion

Номер опыта	Емкость, мкФ	Напряжение, В	Частота, Гц	Масса полученного ПМ, г
1	25,5	80	25	5,5
2	25,5	150	25	8,6
3	25,5	220	25	10,4

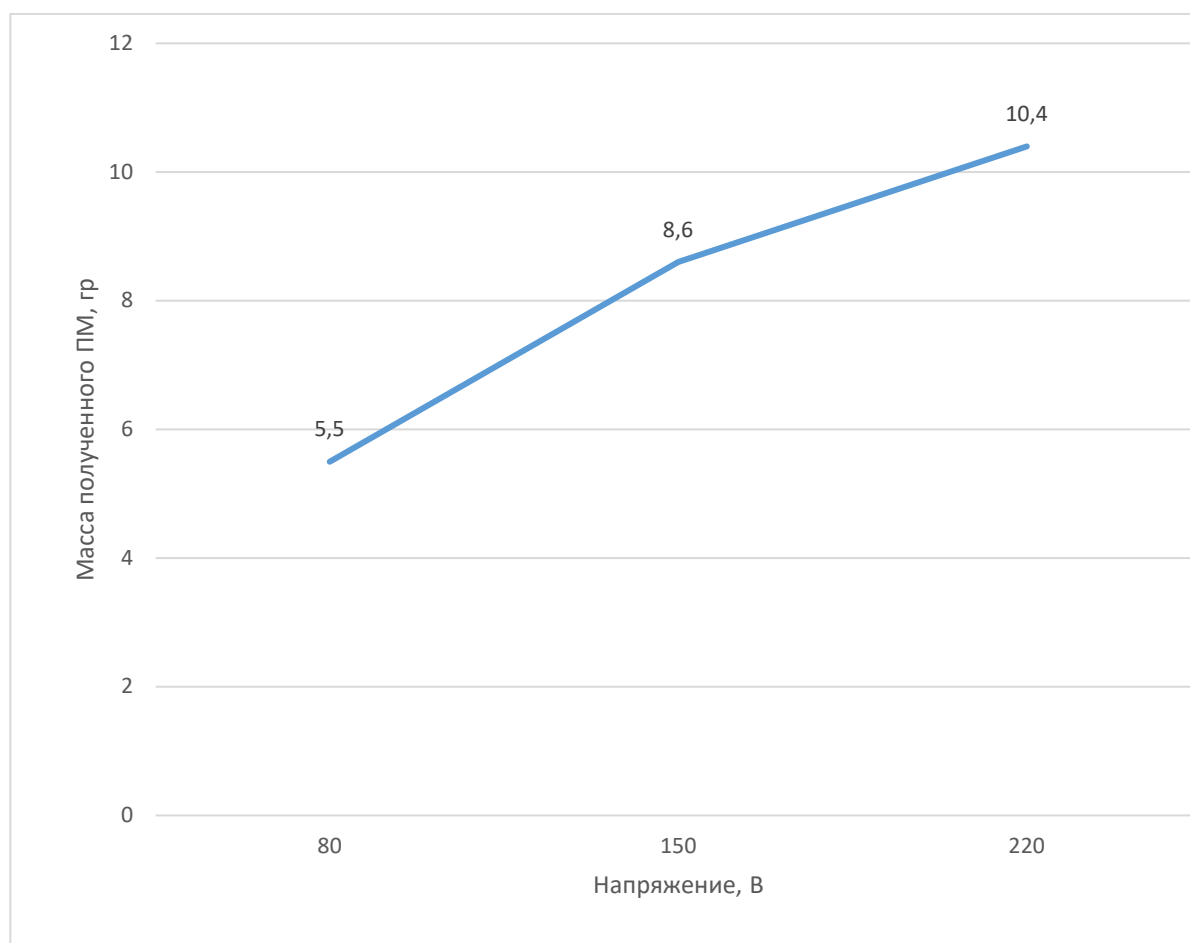


Рис. 4. Влияние ёмкости разрядных конденсаторов на производительность формирования порошка

Fig. 4. The effect of discharge capacitor capacity on powder formation performance

Материальный баланс процесса электроэрозионного диспергирования формировался на основе закона сохранения массы

$$\sum G_{\text{исх}} = \sum G_{\text{кон}}, \quad (1)$$

где $\sum G_{\text{исх}}$ – суммарная масса исходных компонентов процесса; $\sum G_{\text{кон}}$ – суммарная масса продуктов, образующихся в результате процесса.

Комплексные параметры электроэрозионного диспергирования при различных режимах функционирования технологи-

ческой системы приведены в таблице 5. Составление материального баланса включало три последовательных этапа:

- 1) первоначальное взвешивание электродов и исходного материала, подлежащего диспергированию (измельчённые сверла из стали Р6М5К5);
- 2) проведение экспериментального процесса;
- 3) последующее контрольное взвешивание полученного порошкового материала, электродов и остаточных фрагментов разрушаемой стали.

Таблица 5. Материальный баланс процесса ЭЭД стали Р6М5К5**Table 5.** Material Balance of the R6M5K5 Steel EED Process

Номер опыта	Приход			Расход		
	наименование	<i>m</i> , г	%	наименование	<i>m</i> , г	%
1	Электроды	166,5	27,7	Электроды	162,4	27
	Материал	434,7	72,3	Материал	430,7	71,7
				Порошок	4,3	0,7
				Потери	3,8	0,6
	Итого	601,2	100	Итого	601,2	100
2	Электроды	162,4	27,4	Электроды	156,9	26,5
	Материал	430,7	72,6	Материал	425,2	71,6
				Порошок	6,3	1,1
				Потери	4,7	0,8
	Итого	593,1	100	Итого	593,1	100
3	Электроды	156,9	26,9	Электроды	150,9	25,9
	Материал	425,2	73,1	Материал	416,2	71,5
				Порошок	8,8	1,5
				Потери	6,2	1,1
	Итого	582,1	100	Итого	582,1	100
4	Электроды	150,9	26,6	Электроды	140,9	24,8
	Материал	416,2	73,4	Материал	400,2	70,6
				Порошок	18,9	3,3
				Потери	7,1	1,3
	Итого	567,1	100	Итого	224,5	100
5	Электроды	140,9	25,9	Электроды	129,8	24
	Материал	400,2	74,1	Материал	375,8	69,4
				Порошок	28,4	5,3
				Потери	7,1	1,3
	Итого	541,1	100	Итого	541,1	100
6	Электроды	129,8	25,6	Электроды	114,8	22,7
	Материал	375,8	74,4	Материал	325,8	64,4
				Порошок	56,6	11,2
				Потери	8,4	1,7
	Итого	505,6	100	Итого	505,6	100
7	Электроды	114,8	26,1	Электроды	96,3	21,8
	Материал	325,8	73,9	Материал	270,8	61,5
				Порошок	64,9	14,8
				Потери	8,6	1,9
	Итого	440,6	100	Итого	440,6	100

В результате проведённых экспериментальных исследований установлено, что интенсивность формирования порошковой шихты стали Р6М5К5 возрастает по мере увеличения значений варьируемых режимных параметров установки. Так, при изменении частоты следования электрических импульсов наибольший выход порошкового материала был зафиксирован при максимальном исследуемом значении частоты 120 Гц. Достоверность полученных результатов подтверждена серией из трёх экспериментов, выполненных при значениях частоты 40, 80, 120 Гц, при которых масса полученного порошка составила 26, 49, 53 г соответственно.

Кроме того, выявлена устойчивая зависимость выхода порошкового материала в процессе электроэрозионного диспергирования стали Р6М5К5 от величины напряжения на электродах. При фиксированных значениях частоты и ёмкости наблюдается закономерное увеличение производительности процесса с ростом напряжения, что сопровождается увеличением объёма получаемого порошка. Максимальные показатели достигнуты при напряжении 220 В, что подтверждено тремя сериями опытов при значениях 80, 125, 220 В и выходе порошка 5,5; 8,6; 10,4 г соответственно.

Анализ влияния ёмкости разрядных конденсаторов также показал наличие прямой функциональной зависимости: увеличение ёмкости приводит к росту выхода порошкового материала. Максимальные значения производственной эффективности были зафиксированы при использовании предельного для данной экспериментальной установки уровня электрической ёмкости, составляющего 65,5 мкФ. Это подтверждается результатами опытов, проведённых при параметрах ёмкости 30, 50 и 65,5 мкФ, при кото-

рых выход порошкового продукта составил соответственно 13,2; 19,1 и 26,3 г. Одновременно выявлено, что при экстремальных режимах функционирования оборудования (напряжение 220 В, ёмкость 65,5 мкФ, частота импульсов 120 Гц) процесс электроэрозионного диспергирования приобретает выражено неустойчивый характер. Это проявляется в усиленном искровом разряде, агломерации и контактном спекании частиц перерабатываемых отходов быстрорежущего инструмента, а также в необходимости непрерывного механического управления положением электродов с использованием фрикционно-направленного перемещения.

Экспериментальные исследования показали, что количество формируемого порошкового продукта из стали Р6М5К5, получаемого при переработке отходов быстрорежущего инструмента, функционально связано с величиной электрической ёмкости разрядных накопителей энергии. Установлено, что масса вещества, поступающего в зону электроэрозионного воздействия, количественно соответствует массе образующихся продуктов процесса независимо от природы протекающих физико-химических и структурных преобразований. При этом доля материальных потерь в экспериментальных сериях не превышает 2% от суммарного количества исходного сырья, что указывает на высокую технологическую результативность метода и обосновывает его перспективность для промышленного синтеза порошковых материалов из легированных сталей.

Выводы

Проведённое исследование распределения массопотоков в технологии электроэрозионного разрушения стали

Р6М5К5, реализуемой в среде дистиллированной воды, свидетельствует о том, что данный технологический процесс характеризуется минимальными потерями вещества и может быть рекомендован в качестве эффективного промышленного способа получения порошковой шихты из стали Р6М5К5. Результаты исследования

подтверждают, что изменение режимных параметров работы электроэрозионной установки оказывает прямое влияние на производительность процесса, при этом рост значений параметров в пределах исследуемых интервалов сопровождается увеличением выхода порошкового материала.

Список литературы

1. Кремнев Л. С., Сапронов И. Ю. Ликвация легирующих компонентов сталей Р6М5К5 и Р6М5К5-МП и ее связь с их структурой и свойствами // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2013. № 11(701). С. 3-8. EDN RSZLSP.
2. Свистун Л. И., Павлыго Т. М., Дмитренко Д. В. Структура и свойства композита быстрорежущая сталь Р6М5К5 – карбид титана в горячештампованном двухслойном изделии // *Металлы*. 2009. № 3. С. 68-73. EDN KRRQTP.
3. Ахметов А. С., Еремеева Ж. В. Исследование структуры спеченных заготовок из порошковой смеси быстрорежущей стали Р6М5К5, содержащей диффузионно-легированный порошок // *Металлург*. 2022. № 3. С. 57-60. https://doi.org/10.52351/00260827_2022_03_57. EDN NBPDOI.
4. Ахметов А. С., Еремеева Ж. В. Изменение микроструктуры и твердости после термической обработки порошковой быстрорежущей стали Р6М5К5, содержащей диффузионно-легированную добавку // *Перспективные материалы*. 2023. № 3. С. 43-48. <https://doi.org/10.30791/1028-978X-2023-3-43-48>. EDN TXVOLD.
5. Тимофеев Е. Н., Шестаков И. Я., Шестаков В. И. Электрохимические особенности взаимодействия сталей Р6М5К5 и Р18 с медной связкой шлифовального круга // *Системы. Методы. Технологии*. 2024. № 2(62). С. 28-33. <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2024-2-28-33>. EDN MYYSIY.
6. Жолдошов Б. М., Муратов В. С., Морозова Е. А. Энергоэкономный отжиг поковок из быстрорежущих сталей типа Р6М5 и Р6М5К5 // *Международный журнал экспериментального образования*. 2010. № 9. С. 86-87. EDN RATXGT.
7. Дисперсное упрочнение порошковой быстрорежущей стали Р6М5К5 частицами СВС-керамики $\text{MoSi}_2\text{--MoB--HfB}_2$ / А. С. Ахметов, С. К. Муканов, М. Е. Самошина, В. Ю. Лопатин, Ж. В. Еремеева // *Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия*. 2024. Т. 18, № 4. С. 45-54. <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2024-4-45-54>. EDN UQDPBK.
8. Агеев Е. В., Семенихин Б. А. Выбор метода получения порошковых материалов из отходов спеченных твердых сплавов // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Специальный выпуск: Актуальные проблемы машиностроения*. 2009. Т. 2009. С. 12-14. EDN UDPDBR.
9. Агеев Е. В., Латыпов Р. А. Получение и исследование заготовок твердого сплава из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием вольфрамсодержащих отходов // *Известия вузов. Цветная металлургия*. 2014. № 5. С. 50-53. EDN SQJAER.
10. Manufacture of Cobalt–Chromium powders by the electric discharge dispersion of wastes and their investigation / R. A. Latypov, E. V. Ageev, A. Y. Altukhov, E. V. Ageeva // *Russian Metallurgy (Metally)*. 2018. Vol. 2018, no. 12. P. 1177-1180. <https://doi.org/10.1134/S0036029518120108>. EDN MWHYYK.
11. Агеев Е. В., Новиков Е. П., Алтухов А. Ю. Технология переработки алюминиевых деталей автомобилей до микро- и нанодисперсий // *Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования*. 2015. Т. 2, № 1(2). С. 328-332. <https://doi.org/10.12737/14066>. EDN UQGRVT.

12. Рентгеноструктурный анализ порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава / Е. В. Агеев, В. Н. Гадалов, Б. А. Семенихин, Е. В. Агеева, Р. А. Латыпов // Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 2. С. 42-44. EDN NDINXT.
13. Рентгеноспектральный микроанализ частиц порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава / Е. В. Агеев, В. Н. Гадалов, Б. А. Семенихин, Е. В. Агеева, Р. А. Латыпов // Упрочняющие технологии и покрытия. 2011. № 2(74). С. 13-16. EDN LVQSGC.
14. Получение износостойких порошков из отходов твердых сплавов / Е. В. Агеев, В. Н. Гадалов, Б. А. Семенихин, Е. В. Агеева, Р. А. Латыпов // Заготовительные производства в машиностроении. 2010. № 12. С. 39-44. EDN NBXQRT.
15. Агеева Е. В., Хорьякова Н. М., Агеев Е. В. Получение и исследование композиционных медных гальванических покрытий, модифицированных медными электроэрозионными порошками микро- и нанодисперсий. Курс : Университетская книга, 2016. 131 с. EDN VJFDSX.
16. Агеев Е. В., Агеева Е. В., Воробьев Е. А. Гранулометрический и фазовый составы порошка, полученного из вольфрамсодержащих отходов инструментальных материалов электроэрозионным диспергированием в керосине // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. № 4(112). С. 11-14. EDN SAMGBH.
17. Определение основных закономерностей процесса получения порошков методом электроэрозионного диспергирования / Е. В. Агеев, Е. В. Агеева, А. С. Чернов, Г. С. Маслов, Е. И. Паршина // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 1(46). С. 85-90. EDN PGMCAA.
18. Хорьякова Н. М., Агеев Е. В., Агеева Е. В. Электроэрозионные медные порошки для гальванических покрытий // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. № 4(112). С. 18-20. EDN QFQFMG.
19. Быстрорежущая сталь, диспергированная в керосине / Е. В. Агеева, Е. В. Агеев, Е. А. Воробьев, М. А. Зубарев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2014. № 5(56). С. 21-25. EDN TCUFQH.
20. Новиков Е. П., Поданов В. О., Агеева А. Е. Свойства порошков корунда, полученных электродиспергированием металлоотходов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2022. № 7(266). С. 90-94. <https://doi.org/10.35211/1990-5297-2022-7-266-90-94>. EDN LRXMIF.

References

1. Kremnev L.S. Saprnov I.Yu. Liquefaction of alloying components of P6M5K5 and P6M5K5-MP steels and its relation to their structure and properties. *Metallvedenie i termicheskaya obrabotka metallov* = *Metallurgy and heat treatment of metals*. 2013;(11):3-8. (In Russ.) EDN RSZLSP.
2. Svistun L.I., Pavligo T.M., Dmitrenko D.V. Structure and properties of the composite high-speed steel R6M5K5 – Titanium carbide in a hot-stamped two-layer product. *Metally = Metals*. 2009;(3):68-73. (In Russ.) EDN KRRQTP.
3. Akhmetov A.S., Ereemeeva Zh.V. Investigation of the structure of sintered blanks from a powder mixture of high-speed steel P6M5K5 containing diffusion-alloyed powder. *Metallurg = Metallurgist*. 2022;(3):57-60. (In Russ.) https://doi.org/10.52351/00260827_2022_03_57. EDN NBPDOI.
4. Akhmetov A.S., Ereemeeva Zh.V. Change in microstructure and hardness after heat treatment of powdered high-speed steel P6M5K5 containing a diffusion-alloyed additive. *Perspektivnye materialy = Promising materials*. 2023;(3):43-48. (In Russ.) <https://doi.org/10.30791/1028-978X-2023-3-43-48>. EDN TXVOLD.
5. Timofeev E.N., Shestakov I.Ya., Shestakov V.I. Electrochemical features of the interaction of P6M5K5 and P18 steels with a Copper bundle of a grinding wheel. *Sistemy. Metody. Tekhnologii = Systems. Methods. Technologies*. 2024;(2):28-33. (In Russ.) <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2024-2-28-33>. EDN MYYSIY.

6. Zholdoshev B.M., Muratov V.S., Morozova E.A. Energy-efficient annealing of forgings from high-speed steels such as R6M5 and R6M5K5. *Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya = International Journal of Experimental Education*. 2010;(9):86-87. (In Russ.) EDN RATXGT.
7. Akhmetov A.S., Mukanov S.K., Samoshina M. E., Lopatin V.Yu., Ereemeeva Zh.V. Dispersed hardening of powdered high-speed steel P6M5K5 with SHS ceramic particles MoSi₂-MoB-HfB₂. *Izvestiya vuzov. Poroshkovaya Metallurgiya i funktsional'nye pokrytiya = Powder Metallurgy and Functional Coatings*. 2024;18(4):45-54. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2024-4-45-54>. EDN UQDPBK.
8. Ageev E.V., Semenikhin B.A. The choice of a method for obtaining powder materials from waste sintered hard alloys. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk. Spetsial'nyi vypusk: Aktual'nye problemy mashinostroeniya = Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Special issue: Actual problems of mechanical engineering*. 2009;(2009):12-14. (In Russ.) EDN UDPDBR.
9. Ageev E.V., Latypov R.A. Obtaining and studying hard alloy blanks from powders obtained by electroerosion dispersion of tungsten-containing waste. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya = Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy*. 2014;(5):50-53. (In Russ.) EDN SQJAER.
10. Latypov R.A., Ageev E.V., Altukhov A.Y., Ageeva E.V. Manufacture of Cobalt–Chromium powders by the electric discharge dispersion of wastes and their investigation. *Russian Metallurgy (Metally)*. 2018;(12):1177-1180. <https://doi.org/10.1134/S0036029518120108>. EDN MWHYYK.
11. Ageev E.V., Novikov E.P., Altukhov A.Yu. Technology of processing aluminum car parts to micro and nanofractions. *Al'ternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskoy kompleks: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya = Alternative energy sources in the transport and technological complex: problems and prospects of rational use*. 2015;2(1):328-332. (In Russ.) <https://doi.org/10.12737/14066>. EDN UQGRVT.
12. Ageev E.V., Gadalov V.N., Semenikhin B.A., Ageeva E.V., Latypov R.A. X-ray diffraction analysis of powders obtained by electroerosion dispersion of a hard alloy. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroyeniye = Procurement production in mechanical engineering*. 2011;(2):42-44. (In Russ.) EDN NDINXT.
13. Ageev E.V., Gadalov V.N., Semenikhin B.A., Ageeva E.V., Latypov R.A. X-ray spectral microanalysis of powder particles obtained by electroerosion dispersion of a hard alloy. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening Technologies and Coatings*. 2011;(2):13-16. (In Russ.) EDN LVQSGC.
14. Ageev E.V., Gadalov V.N., Semenikhin B.A., Ageeva E.V., Latypov R.A. Obtaining wear-resistant powders from waste of hard alloys. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroyeniye = Procurement production in mechanical engineering*. 2010;(12):39-44. (In Russ.) EDN NBXQRT.
15. Ageeva E.V., Khoryakova N.M., Ageev E.V. Preparation and investigation of composite Copper electroplating coatings modified with copper electroerosion powders of micro- and nanofractions. *Kursk : Universitetskaya kniga*; 2016. 131 p. (In Russ.) EDN VJFDSX.
16. Ageev E.V., Ageeva E.V., Vorobyev E.A. Granulometric and phase compositions of powder obtained from Tungsten-containing waste of tool materials by electroerosion dispersion in kerosene. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening Technologies and Coatings*. 2014;(4):11-14. (In Russ.) EDN SAMGBH.
17. Ageev E.V., Ageeva E.V., Chernov A.S., Maslov G.S., Parshina E.I. Determination of the main patterns of the powder production process by electroerosion dispersion. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2013;(1):85-90. (In Russ.) EDN PGMCAA.
18. Khoryakova N.M., Ageev E.V., Ageeva E.V. Electroerosive copper powders for electroplating. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening Technologies and Coatings*. 2014;(4):18-20. (In Russ.) EDN QFQFMG.

19. Ageeva E.V., Ageev E.V., Vorobyov E.A., Zubarev M.A. High-speed steel dispersed in kerosene. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2014;(5):21-25. (In Russ.) EDN TCUFQH.

20. Novikov E.P., Podanov V.O., Ageeva A.E. Properties of corundum powders obtained by electro-dispersion of metal waste. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of the Volgograd State Technical University*. 2022;(7):90-94. (In Russ.) <https://doi.org/10.35211/1990-5297-2022-7-266-90-94>. EDN LRXMIF.

Информация об авторах / Information about the Authors

Агеева Екатерина Владимировна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ageeva-ev@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8457-6565, SPIN-код: 2561-0708

Ekaterina V. Ageeva, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Professor of the Department of Materials Technology and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageeva-ev@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8457-6565, SPIN-код: 2561-0708

Локтионова Оксана Геннадьевна, доктор технических наук, профессор, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: log7.9@mail.ru

Oksana G. Loktionova, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: log7.9@mail.ru

Степанов Михаил Юрьевич, аспирант кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: hard-bass2016@yandex.ru

Mikhail Yu. Stepanov, Postgraduate Student of the Department of Materials Technology and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: hard-bass2016@yandex.ru

Андреева Анна Евгеньевна, студент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ageevaanna2004@yandex.ru, SPIN-код: 6687-3804

Anna E. Andreeva, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageevaanna2004@yandex.ru, SPIN-код: 6687-3804