

УДК 621.9.048

Doi: 10.31772/2712-8970-2023-24-4-760-767

Для цитирования: Удельные энергозатраты электро-контактно-химической обработки металлов вибрирующим инструментом в электролите / И. Я. Шестаков, В. И. Шестаков, И. В. Трифанов, И. А. Ремизов // Сибирский аэрокосмический журнал. 2023. Т. 24, № 4. С. 760–767. Doi: 10.31772/2712-8970-2023-24-4-760-767.

For citation: Shestakov I. Ya., Shestakov V. I., Trifanov I. V., Remizov I. A. [Specific energy consumption of electro-contact-chemical treatment of metals with a vibrating tool in the electrolyte]. *Siberian Aerospace Journal*. 2023, Vol. 24, No. 4, P. 760–767. Doi: 10.31772/2712-8970-2023-24-4-760-767.

Удельные энергозатраты электро-контактно-химической обработки металлов вибрирующим инструментом в электролите

И. Я. Шестаков^{1*}, В. И. Шестаков¹, И. В. Трифанов¹, И. А. Ремизов²

¹Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский Рабочий», 31

²Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79,

*E-mail: yakovlevish@mail.ru

По удельному расходу энергии процессы формообразования располагаются в трёх энергетических уровнях. Электрофизические и электрохимические методы обработки металлов находятся на третьем уровне, где удельные энергозатраты составляют более $6 \cdot 10^4$ Дж/см³. Анализ литературных данных показал противоречивость удельных затрат некоторых авторов. Удельные энергозатраты электроконтактной обработки (ЭКО) никак не могут быть соизмеримы с затратами при электрохимической обработке (ЭХО) из-за разных размеров удаляемых частиц с поверхности обрабатываемой детали. Литературные данные по удельным энергозатратам электроконтактно-химической обработки металлов вибрирующим инструментом в электролите отсутствуют, поэтому проведены эксперименты с фиксацией осциллограмм тока, напряжения и межэлектродного зазора. Приведена методика расчёта удельных энергозатрат по осциллограммам процесса. Рассчитаны затраты энергии на вибрацию электрода-инструмента, которые на порядок меньше на электро-контактно-химическую обработку. При уменьшении амплитуды вибрации или увеличении напряжения на электродах процесс в межэлектродном зазоре переходит в размерную обработку дугой. При электро-контактно-химической обработке металлов вибрирующим инструментом в воде удельные энергозатраты равны $(3,5–3,8) \cdot 10^5$ Дж/см³, что соответствует электроконтактной обработке. Предполагается, что использование водных растворов нейтральных солей приведёт к снижению затрат энергии.

Ключевые слова: удельные энергозатраты, электро-контактно-химическая обработка, вибрация, амплитуда, частота, осциллограмма, расчёт.

Specific energy consumption of electro-contact-chemical treatment of metals with a vibrating tool in the electrolyte

I. Ya. Shestakov^{1*}, V. I. Shestakov¹, I. V. Trifanov¹, I. A. Remizov²

¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

²Siberian Federal University
79, Svobodnyi Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

*E-mail: yakovlevish@mail.ru

According to the specific energy consumption, the shaping processes are arranged in three energy levels. Electrophysical and electrochemical methods of metal processing are at the third level, where the specific energy consumption is more than $6 \cdot 10^4 \text{ J/cm}^3$. The analysis of the literature data showed the inconsistency of the specific costs of some authors. The specific energy consumption of electrical contact processing cannot be commensurate with the costs of electrochemical processing due to the different sizes of the particles removed from the surface of the workpiece. There are no literature data on the specific energy consumption of electro-contact-chemical treatment of metals with a vibrating instrument in the electrolyte, therefore, experiments have been carried out with the fixation of current, voltage and interelectrode gap oscillograms. The method of calculation of specific energy consumption according to the oscillograms of the process is given. The energy costs for vibration of the electrode-tool are calculated, which are an order of magnitude less for electro-contact-chemical treatment. When the vibration amplitude decreases or the voltage on the electrodes increases, the process in the interelectrode gap turns into dimensional arc processing. When electro-contact-chemical treatment of metals with a vibrating tool in water, the specific energy consumption is equal to $(3.5\text{--}3.8) \cdot 10^5 \text{ J/cm}^3$, which corresponds to electrocontact treatment. It is assumed that the use of aqueous solutions of neutral salts will lead to a reduction in energy costs.

Keywords: specific energy consumption, electro-contact-chemical treatment, vibration, amplitude, frequency, oscillogram, calculation.

Введение

Удельный расход энергии – один из важных показателей, влияющих на экономичность процесса формообразования. Удельный расход энергии определяют в кВт·час/кг, Дж/см³. В [1; 2] рекомендуют при выявлении закономерностей поведения металлов при различных физических процессах свойства металлов определять на единицу объема.

По этому признаку все процессы формообразования располагаются в трех энергетических уровнях. Первый уровень включает процессы, при осуществлении которых необходим минимум энергии для нарушения сил связи только между частью атомов или молекул тела. Этот уровень простирается до энергии плавления металлов (табл. 1), т. е. примерно до 10^4 Дж/см^3 [3].

Второй уровень включает процессы, требующие затрат энергии для нарушения связей между всеми атомами и молекулами тела. Для этого условия характерным процессом является литьё. Непонятно, почему развёртывание и шлифование расположены в этом уровне, ведь там не происходит нарушение связей между всеми атомами и молекулами. Удаление металла происходит в виде стружки [4]. Второй энергетический уровень расположен между энергией плавления 10^4 Дж/см^3 и энергией испарения металлов $6 \cdot 10^4 \text{ Дж/см}^3$.

Таблица 1

Энергетические уровни процессов формообразования

Энергетический уровень	Способ формообразования	Удельный расход энергии, Дж/см ³
I	Холодное деформирование	$1 \cdot 10^1\text{--}4 \cdot 10^1$
	Штамповка	$2 \cdot 10^1\text{--}6,5 \cdot 10^1$
	Холодное выдавливание	$5,5 \cdot 10^2\text{--}8,5 \cdot 10^2$
	Точение	$1,7 \cdot 10^3\text{--}2,5 \cdot 10^3$
	Протягивание	$2,5 \cdot 10^3\text{--}3,7 \cdot 10^3$
	Фрезерование	$5 \cdot 10^3\text{--}7,5 \cdot 10^3$
II	Горячее деформирование	$9 \cdot 10^3\text{--}3,4 \cdot 10^4$
	Литье	$1,4 \cdot 10^4\text{--}2,5 \cdot 10^4$
	Развёртывание	$1,2 \cdot 10^4\text{--}3 \cdot 10^4$
	Шлифование	$5,5 \cdot 10^4\text{--}7 \cdot 10^4$

Энергетический уровень	Способ формообразования	Удельный расход энергии, Дж/см ³
III	Размерная ЭХО	$4,25 \cdot 10^5 - 4,35 \cdot 10^5$
	Обработка:	
	анодно-механическая	$1,7 \cdot 10^5 - 5,2 \cdot 10^5$
	электроконтактная	$2,3 \cdot 10^5 - 4,6 \cdot 10^5$
	электроимпульсная	$3,5 \cdot 10^5 - 7,1 \cdot 10^5$
	электроискровая	$1,1 \cdot 10^6 - 2,9 \cdot 10^6$
	ультразвуковая	$6 \cdot 10^5 - 3,6 \cdot 10^6$
	светолучевая	$2,8 \cdot 10^7 - 4,7 \cdot 10^7$

В третьем энергетическом уровне расположены процессы, при осуществлении которых необходима энергия для полного разрушения сил связи между всеми атомами или молекулами тела. Характерными для этого уровня являются электрохимическая размерная обработка (ЭХРО), электроискровая и электроимпульсная обработки, обработка электронным и световым лучами. Этот уровень расположен выше энергии испарения металлов, т. е. выше $6 \cdot 10^4$ Дж/см³.

С ростом твердости и прочности материалов растут затраты энергии (рис. 1) [4], снижается производительность обработки. Современные металлы и сплавы имеют предел прочности более 200 МПа, поэтому вполне оправданы высокие энергозатраты электрообработки, так как другие способы формообразования становятся неконкурентоспособными по производительности.

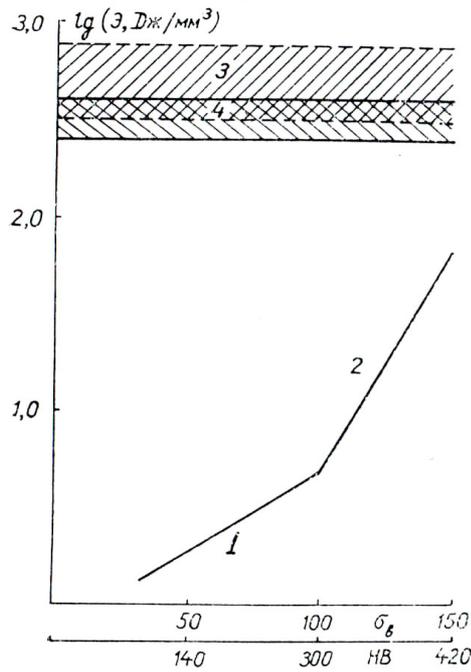


Рис. 1. Энергоёмкость некоторых видов обработки:
1 – обработка лезвийным инструментом; 2 – шлифование;
3 – электроимпульсная; 4 – ЭХО

Fig. 1. Energy intensity of some types of processing
1 – blade tool processing; 2 – grinding; 3 – electric pulse; 4 – ECHO

Анализ

Данные, приведенные в работах [4–6] и табл. 1–3, не согласуются со значениями удельного расхода энергии при электрохимической обработке, представленными авторами [7; 8] (табл. 4).

По мнению этих авторов, затраты при электрохимической обработке в 9–40 раз больше, чем при электроконтактной обработке. Из табл. 1 и 2 видно, что удельные расходы энергии электроконтактной и электрохимической обработок соизмеримы, что не соответствует действительности, так как удаление металла с обрабатываемой поверхности происходит разными размерами частиц: в первом случае – в виде капель расплавленного металла, во втором – в виде ионов металлов.

Подробные показатели разновидностей электрофизических способов обработки приведены в справочнике [6], табл. 3.

Таблица 2

Удельный расход энергии электрических методов обработки

№ п/п	Вид обработки	Удельный расход энергии, Дж/см ³ *10 ⁵
1	Электроискровая	11–29
2	Электроимпульсная	3,5–7,1
3	Электрохимическая	4–6
4	Электроконтактная	2,3–4,6

Таблица 3

Основные показатели электрофизических способов обработки металлов

Вид обработки	Средняя удельная производительность, см ³ /с	Средний удельный расход энергии, Дж/см ³
Электроискровая: черновая чистовая прецизионная	9,3 · 10 ⁻³ –1 · 10 ⁻² 8 · 10 ⁻⁴ –1,6 · 10 ⁻³ 1,7 · 10 ⁻⁶ –1,7 · 10 ⁻⁵	(4,3–7,2) · 10 ⁵ (1,4–2,0) · 10 ⁶ (2,0–2,5) · 10 ⁶
Электроимпульсная: черновая чистовая	1,7 · 10 ⁻² –1,8 · 10 ⁻¹ 8 · 10 ⁻⁴ –8 · 10 ⁻³	(3,5–7,1) · 10 ⁵ (2,6–5,8) · 10 ⁵
Электроконтактная: разрезание точение обдирка прошивание	1,6 · 10 ⁻² –1,3 · 10 ⁻¹ 1,6 · 10 ⁻² –6,5 · 10 ⁻¹ 15–17 8,3 · 10 ⁻³ –2,5 · 10 ⁻²	(0,3–1,2) · 10 ⁵ (1,2–1,4) · 10 ⁵ (2,3–4,6) · 10 ⁵ (0,12–5,8) · 10 ⁴

В табл. 3 вызывают сомнения удельные расходы энергии при электроконтактном прошивании отверстий, которые на порядок меньше, чем остальные виды этой обработки. При электроконтактном прошивании удаление продуктов эрозии из отверстий затруднено, поэтому требуются дополнительные траты энергии.

Таблица 4

Удельный расход энергии некоторых электрических методов обработки

№ п/п	Обработка	Удельный расход энергии, Дж/см ³ *10 ⁵
1	Электрохимическая	2,52–5,61[5]; 5,61–11,2[6]
2	Электроэрозионная	1,68–3,36
3	Электроконтактная	0,28–0,56

Более полные данные по удельным энергозатратам электрохимической обработки в кВт*час/кг имеются в справочнике [9]. С учётом плотности металлов произведён расчёт энергозатрат на единицу объёма обрабатываемого материала. В табл. 5 приведены результаты расчётов удельных энергозатрат для некоторых металлов.

**Удельные энергозатраты электрохимической размерной обработки металлов
в водных растворах нейтральных солей, Дж/см³ 10⁵**

Металл	25%NaCl	30%NaNO ₃	15%Na ₂ SO ₄
Сталь У10	1,96	6,44	70,84
Сталь 35ХГС	3,28	3,84	28,03
Сталь 4Х5В2ФС	3,12	4,37	34
Алюминий	1,55	1,94	65,5
Никель	2,14	22,3	39,2
Титановый сплав ВТ8	3,49	5,33	258

Из табл. 5 следует, что наименьшие удельные энергозатраты характерны для электрохимической обработки в водном растворе хлорида натрия. Это объясняется наличием в электролите активирующего аниона хлора, который способствует образованию промежуточных комплексных соединений [10]. При электрохимической обработке в водном растворе сульфата натрия удельные энергозатраты увеличиваются в 10–15 раз, что объясняется пассивацией анода [11]. Это явление особенно характерно при обработке титанового сплава ВТ8, так как титан активный металл, его стандартный электродный потенциал равен $-1,2$ В [12] и на его поверхности всегда присутствует окисная плёнка.

Методика

Экспериментальные исследования проводились на установке электрообработки с линейным электродинамическим двигателем, описанной в сборнике научных трудов [13]. Для крепления электрода-инструмента было изготовлено приспособление, обеспечивающее проток воды (слабый электролит) через межэлектродный зазор. Методика экспериментальных исследований изложена в работе [14]. Обработываемый металл-сталь ХВГ. Однако в этой статье не приведена методика расчёта удельных энергозатрат электро-контактно-химической обработки металлов в электролите по осциллограммам процесса.

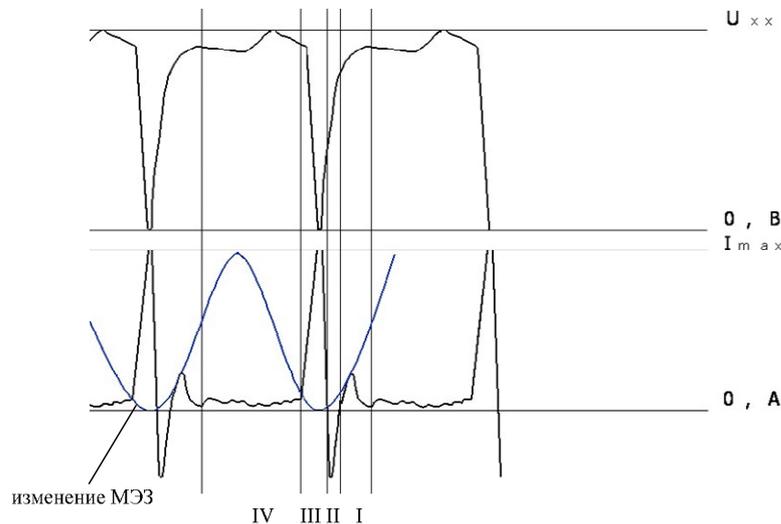


Рис. 2. Осциллограмма напряжения и тока ЭКХО

Fig. 2. Oscillogram of the voltage and current of the ECHO

Расчет удельного расхода энергии по осциллограмме. Типичная осциллограмма тока, напряжения и межэлектродного зазора при электро-контактно-химической обработке вибрирующим электродом-инструментом в воде приведена на рис. 9. Данные получены при среднем напряжении на электродах 16,7 В, амплитуде колебаний инструмента 0,75 мм. При амплитуде колебаний

0,25 мм и средней скорости потока воды в межэлектродном зазоре 1 м/с и менее наблюдается осциллограмма тока и напряжения, характерная для размерной обработки дугой [15; 16].

Осциллограмма разбивается на участки I, II, III, IV. Участок I – это предпробойный период – время образования стримера – канала разряда. Участок II – пробой межэлектродного промежутка, III – контакт электродов, IV – период, когда ток обусловлен анодным растворением обрабатываемого металла (электрохимическая обработка). Определяется площадь каждого треугольника, тем самым будет известно количество электричества, прошедшее в каждый период (участки I – IV). Далее по осциллограмме определяется среднее значение напряжения на каждом участке.

Для участка I имеем

$$q_I = \frac{1}{2} h_I a_I M_I M_\tau,$$

где h_I – высота треугольника участка I; a_I – длина основания треугольника участка I; M_I – масштаб тока, $M_I = 2,5 \text{ A/мм}$; M_τ – масштаб времени, $M_\tau = 0,48 \text{ мс/мм}$.

После расчета количества электричества для всех участков получаем:

$$q_I = 56,25 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}; \quad q_{II} = 76,6 \cdot 10^{-3} \text{ Кл};$$

$$q_{III} = 600 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}; \quad q_{IV} = 162 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}.$$

Среднее напряжение на участках:

$$U_I = 24,3 \text{ В}; \quad U_{II} = 17,5 \text{ В}; \quad U_{III} = 11,3 \text{ В}; \quad U_{IV} = 25,7 \text{ В}.$$

Энергия импульса на участках:

$$Q_I = 1,351 \text{ Дж}; \quad Q_{II} = 1,348 \text{ Дж}; \quad Q_{III} = 6,78 \text{ Дж}; \quad Q_{IV} = 4,155 \text{ Дж}.$$

С учётом частоты колебаний электрода-инструмента (50 Гц), времени обработки и объёма удалённого металла удельные энергозатраты определяются

$$W = [(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) * f * t] / V,$$

где f – частота колебаний, с^{-1} ; t – время обработки, с ; V – объём удалённого металла, см^3 .

Удельный расход энергии составляет $W = (3,5-3,8) \cdot 10^5 \text{ Дж/см}^3$.

Кроме затрат электрической энергии, расходуемой на процесс электрообработки, необходимо учитывать затраты энергии на вибрацию электрода-инструмента. Эта энергия определяется по известной формуле:

$$W_B = m * f^2 * A^2,$$

где m – масса электрода-инструмента с приспособлением для его закрепления, кг ; A – амплитуда вибрации электрода-инструмента, м . После подстановки данных в вышеприведённую формулу получается, что энергозатраты на вибрацию электрода-инструмента на порядок меньше, чем на процессы электро-контактно-химической обработки.

Заключение

При выборе метода обработки металлов и сплавов важным показателем являются удельные энергозатраты. Для материалов, труднообрабатываемых механическими способами, альтернативой являются методы электрообработки. Анализ литературных данных показал, что показатели по удельным энергозатратам противоречивые, а для комбинированного электро-контактно-химического способа обработки вибрирующим электродом в воде эта характеристика практически отсутствует. Расчёт по осциллограммам процесса показывает, что удельные энергозатраты электро-контактно-химической обработки вибрирующим электродом в воде соответствуют электроэрозионной обработке и электрохимической обработке в водном растворе хлорида натрия или нитрата натрия. При электро-контактно-химической обработке в водном

растворе вышеуказанных солей следует ожидать снижение удельных энергозатрат, так как уменьшаются потери энергии на нагрев электролита в связи с уменьшением его электрического сопротивления, а ионы хлора и нитрата снижают энергию активации обрабатываемого металла.

Библиографические ссылки

1. Верхотуров А. Д., Шпилёв А. М., Евстигнеев А. И. Основы материаловедения : монография. Т. 1. Владивосток : Дальнаука, 2012. 270 с.
2. Николенко С. В., Верхотуров А. Д. Новые электродные материалы для электроискрового легирования. Владивосток : Дальнаука, 2005. 219 с.
3. Смоленцев Е. В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки. М. : Машиностроение, 2005. 511 с.
4. Зубарев Ю., Приемышев А. Теория и практика повышения эффективности шлифования материалов. М. : Лань, 2010. 304 с.
5. Физико-химические методы в производстве газотурбинных двигателей / Ю. С. Елисеев, В. В. Крылов, Б. П. Саушкин и др. ; под ред. Саушкина Б. П. М. : Форум, 2013. 456 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Сулова, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. 5-е изд., испр. М. : Машиностроение, 2003. 944 с.
7. Теоретическое обоснование рациональных параметров режима электроконтактной обработки проволочным инструментом / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, А. В. Москаленко, П. С. Богдан // Вестник Гомельского гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. 2012. № 3. С. 3–11.
8. Орлов В. Ф., Чугунов Б. И. Электрохимическое формообразование. М. : Машиностроение, 1990. 240 с.
9. Справочник по электрофизическим и электрохимическим методам обработки / Г. Л. Амитан и др. ; под общ. ред. В. А. Волосатого Л. : Машиностроение, 1988. 719 с.
10. Житников В. П., Зайцев А. Н. Импульсная электрохимическая размерная обработка. М. : Машиностроение, 2008. 413 с.
11. Саушкин Б. П., Сычков Г. А., Атанасянц А. Г. Современное состояние и перспективы развития электрохимической размерной обработки // Металлообработка. 2002. № 6. С. 9–17.
12. Справочник по электрохимии / под ред. А. М. Сухотина. Л. : Химия, 1981. 488 с.
13. Совершенствование системы управления установки электрообработки металлов на базе линейного электродинамического двигателя / И. Я. Шестаков, В. И. Шестаков, А. А. Фадеев, Н. А. Швалева // Сибирский аэрокосмический журнал. 2021. Т. 22, № 3. С. 543–549.
14. Шестаков И. Я., Стрюк А. И., Цуканов А. В. Импульсная электро-обработка вибрирующим электродом-инструментом // Вестник СибГАУ. 2004. Вып. 5. С. 253–258.
15. Носуленко В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой // Электронная обработка материалов. 2006. № 1. С. 1–10.
16. Саушкин Б. П. Электрический разряд в жидких и газовых средах основа нового поколения методов и технологий машиностроительного производства // Электронная обработка материалов. 2004. № 1. С. 1–14.

References

1. Verkhoturov A. D., Shpil'ov A. M., Evstigneev A. I. *Osnovy materialologii* [Fundamentals of Materialology]. Vol. 1. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2012, 270 p.
2. Nikolenko S. V., Verkhoturov A. D. *Novye elektrodnye materialy dlya elektroiskrovogo legirovaniya*. [New electrode materials for electric spark alloying]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2005, 219 p.
3. Smolentsev E. V. *Proektirovanie elektricheskikh i kombinirovannykh metodov obrabotki*. [Design of electrical and combined processing methods]. Moscow, Mechanical Engineering Publ., 2005, 511 p.
4. Zubarev Yu., Priemyshev A. *Teoriya i praktika povysheniya effektivnosti shlifovaniya materialov* [Theory and practice of improving the efficiency of grinding materials]. Moscow, Lan Publ., 2010, 304 p.

5. Eliseev Ju. S., Krylov V. V., Saushkin B. P. *Fiziko-himicheskie metody v proizvodstve gazoturbinnykh dvigateley* [Physico-chemical methods in the production of gas turbine engines]. Moscow, Forum Publ., 2013, 456 p.
6. *Spravochnik tehnologa-mashinostroytelya* [Handbook of a mechanical engineer]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2003, 944 p.
7. Kiselev M. G., Drozdov A.V., Moskalenko A.V., Bogdan P. S. [Theoretical substantiation of rational parameters of the mode of electrocontact processing with a wire tool]. *Vestnik Gomel'skogo gos. tekhn. un-ta im. P. O. Sukhogo*. 2012, No. 3, P. 3–11 (In Russ.).
8. Orlov V. F., Chugunov B. I. *Elektrokhimicheskoe formoobrazovanie* [Electrochemical shaping]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1990, 240 p.
9. *Spravochnik po elektrofizicheskim i elektrokhimicheskim metodam obrabotki* [Handbook of electrophysical and electrochemical processing methods]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1988, 719 p.
10. Zhitnikov V. P., Zaitsev A. N. *Impul'snaya jelektrokhimicheskaja razmernaja obrabotka* [Pulsed electrochemical dimensional processing]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2008, 413 p.
11. Saushkin B. P., Suchkov G. A., Atanasyants A. G. [Current state and prospects of development of electrochemical dimensional processing]. *Metallobrabotka*. 2002, No. 6, P. 9–17 (In Russ.).
12. *Spravochnik po elektrokhimii* [Handbook of Electrochemistry]. Leningrad, Khimiya Publ., 1981, 488 p.
13. Shestakov I. Ya., Stryuk A. I., Bez'yazykov S. A. [Electrical treatment plant with linear electrodynamic motor]. *Siberian Aerospace Journal*. 2021, Vol. 22, No. 3, P. 543–549 (In Russ.).
14. Shestakov I. Ya., Stryuk A. I., Tsukanov A. V. [Impul'snaya elektroobrabotka vibriruyushchim elektrodom-instrumentom]. *Vestnik SibGAU*. 2004, No. 5, P. 253–258 (In Russ.).
15. Nosulenko V. I. [Dimensional processing of metals by electric arc]. *Elektronnaya obrabotka materialov*. 2006, No. 1, P. 1–10 (In Russ.).
16. Saushkin B.P. [Electric discharge in liquid and gas media is the basis of a new generation of methods and technologies of machine-building production]. *Elektronnaya obrabotka materialov*. 2004, No. 1, P. 1–14 (In Russ.).

© Шестаков И. Я., Шестаков В. И., Трифанов И. В., Ремизов И. А., 2023

Шестаков Иван Яковлевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры электронной техники и телекоммуникаций; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: yakovlevish@mail.ru.

Шестаков Владислав Иванович – аспирант кафедры технического регулирования и метрологии; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: pn3vm4t@gmail.com.

Трифанов Иван Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технического регулирования и метрологии; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: sibgau-uks@mail.ru.

Ремизов Игорь Анатольевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры технической механики; Сибирский федеральный университет. E-mail: 2remizov@mail.ru.

Shestakov Ivan Yakovlevich – Dr. Sc., Associate Professor, Professor of the Department of Electronic Engineering and Telecommunications; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. E-mail: yakovlevish@mail.ru.

Shestakov Vladislav Ivanovich – graduate student of the Department of Technical Regulation and Metrology; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. E-mail: pn3vm4t@gmail.com.

Trifanov Ivan Vasilievich – Dr. Sc., Professor, Head of the Department of Technical Regulation and Metrology; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. E-mail: sibgau-uks@mail.ru.

Remizov Igor Anatolyevich – Cand. Sc., associate professor of the department of technical mechanics; Siberian Federal University. E-mail: 2remizov@mail.ru.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Файлы со статьей принимаются по электронной почте vestnik@sibsau.ru.

Электронная копия. Статья набирается в программе Microsoft Office Word 2003 (**расширение имени файла DOC!**)

Объем статьи: 5–20 страниц (включая рисунки, таблицы и библиографические ссылки), краткое сообщение – 4–5 страниц, обзорная статья – до 20 страниц.

Параметры страницы. Формат А4 (210×297). Поля: правое и левое – 2 см, верхнее и нижнее – 2,5 см.

Текст. Шрифт Times New Roman 11. Подзаголовки: шрифт Times New Roman 11 bold.

Межстрочный интервал – одинарный, межбуквенный и междусловный интервал – нормальный, перенос слов не допускается.

Абзацный отступ равен 0,5 см.

Не допускается (!) набирать тексты прописными (заглавными) буквами и жирным шрифтом (кроме названия), а также размещать все указанные элементы в рамках и имитировать оформления набора, выполняемого в журнале.

Статья должна содержать предмет, тему, цель работы; метод или методологию проведения работы; результаты работы; область применения результатов; выводы.

Страницы не нумеруются.

СТРУКТУРА СТАТЬИ:

1) **Индекс УДК** предшествует названию статьи, соответствует заявленной теме и проставляется в верхнем левом углу листа.

2) **Название статьи:** не более 15 слов. Аббревиатуры и сокращения в названии не допускаются.

3) **Авторы.** Инициалы и фамилия. Количество авторов одной статьи не более пяти. Автор имеет право публиковаться в выпуске один раз, второй в соавторстве.

4) **Аффилиация автора при публикации:** название и адрес организации, а также электронная почта автора-корреспондента. Если авторов несколько, у каждой фамилии и соответствующей организации проставляется цифровой верхний индекс. Если все авторы статьи работают в одной организации, она указывается один раз;

5) **Аннотация:** минимум 230–250 слов (следует ориентироваться на объем англоязычной аннотации). Структура аннотации: цель исследования, методы, результаты, заключение. Курсивом.

6) **Ключевые слова:** не более 5–7 слов или словосочетаний. Курсивом.

7) **Название статьи** на английском языке.

8) **Авторы** на английском языке.

9) **Аффилиация автора** на английском языке.

10) **Аннотация** на английском языке.

11) **Ключевые слова** (Keywords) на английском языке.

12) **Основной текст** строится по следующей схеме и содержит обязательные подзаголовки:

– Введение

– Тематические подзаголовки по основной части текста.

– Заключение.

13) **Благодарности** (если есть указание на источники финансирования, гранты).

14) **Acknowledgements** (Благодарности дублируются на английском языке).

15) **Библиографические ссылки.** Библиографические ссылки должны содержать не менее 15 источников! Библиографические ссылки оформляются на русском языке по ГОСТ Р 7.0.5-2008. Ссылки на источники расставляются по тексту в квадратных скобках в порядке нумерации по мере цитирования.

16) **References.** Библиографические ссылки в романском алфавите оформляются по требованиям, представленным на сайте. Используется система транслитерации BGN (translit.net)

17) **Сведения об авторах на русском и английском языках.** сведения указывается ФИО автора, ученая степень, ученое звание, должность, название организации. Например:

Сенашов Сергей Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой ИЭС; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: sen@sibsau.ru.

Senashov Sergei Ivanovich – Dr. Sc, Professor, Head of the Department of IES; Siberian State University of Science and Technology. E-mail: sen@sibsau.ru.