

ГРНТИ: 53.03.15

УДК: 544.6

<https://doi.org/10.55452/1998-6688-2022-19-3-6-14>

Елдес М.А.\*<sup>1</sup>, Балгимбаева У.А.<sup>1</sup>, Эль-Сайед Н.А.<sup>1</sup>, Сулейменов Э.Н.<sup>1</sup>, Шарипов Р.Х.<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Казахстанско-Британский технический университет

050000, г. Алматы, Казахстан

\*E-mail: m\_eldes@kbtu.kz

## ВЛИЯНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА РАСТВОРЕНИЕ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ЩЕЛОЧЕЙ

**Аннотация.** Нестационарные воздействия могут быть широко использованы в качестве интенсифицирующего фактора при технологических процессах и в качестве инструмента исследований химических систем. Исследования энергетических воздействий на структурные преобразования в жидких системах могут дать возможность существенно интенсифицировать многие химико-металлургические процессы. Нами исследовалась растворимость алюминия, железа и молибдена в щелочных растворах под влиянием переменного электрического тока. Использовалась двухэлектродная ячейка. Электроды изготавливались из растворяемого металла. Частота электрического тока изменялась от 20 до 200 000 Гц. В процессе растворения алюминия в щелочном растворе при одинаковой частоте тока и концентрации щелочи потеря массы образца алюминия возрастает с увеличением силы тока до 0,042–0,044 г. Дальнейшее увеличение силы тока практически блокирует растворение алюминия – изменение массы составило 0,005–0,007 г Al. Увеличение концентрации щелочи до 5,7% КОН значительно уменьшает растворение алюминия, потеря массы – 0,009 г. Вся поверхность электродов после 6 ч растворения покрывается пленкой. Анализ фаз на поверхности алюминия показал, что пленка представляет собой фазу, основу которой составляет калий. Толщина калиевой пленки меняется в зависимости от глубины погружения электродов в раствор и от времени эксперимента. Структуру и состав соединений калия и алюминия установить не удалось.

**Ключевые слова:** электрический ток, щелочной раствор, частота тока, молибдат натрия, алюминиевый электрод.

Елдес М.А.\*<sup>1</sup>, Балгимбаева У.А.<sup>1</sup>, Эль-Сайед Н.А.<sup>1</sup>, Сулейменов Э.Н.<sup>1</sup>, Шарипов Р.Х.<sup>1</sup>.

Қазақстан-Британ техникалық университеті, 050000, Алматы қ., Қазақстан

\*E-mail: m\_eldes@kbtu.kz

## СІЛТІЛЕРДІҢ СУДАҒЫ ЕРІТІНДІЛЕРІНДЕГІ МЕТАЛДАРДЫ ЕРІТУІНЕ ТҰРАҚТЫ ЕМЕС ЭЛЕКТР ТОГЫНЫҢ ӘСЕРІ

**Аңдатпа.** Стационарлы емес әсерлерді технологиялық процестерде интенсивтендіруші фактор ретінде және химиялық жүйелерді зерттеу құралы ретінде кеңінен қолдануға болады. Сұйық жүйелердегі құрылымдық өзгерістерге энергияның әсерін зерттеу көптеген химиялық және металлургиялық процестерді айтарлықтай қарқындалуға мүмкіндік береді. Айнымалы электр тогының әсерінен алюминий, темір және молибденнің сілтілі ерітінділерде ерігіштігін зерттедік. Екі электродты ұяшық пайдаланылды. Электродтар еріген металдан жасалған. Электр тогының жиілігі 20-дан 200 000 Гц-ке дейін өзгерді. Ток жиілігі мен сілтінің концентрациясы бірдей алюминийді сілтілі ерітіндіде еріту процесінде алюминий үлгісінің массалық жоғалуы ток күші 0,042–0,044 г дейін жоғарылаған сайын артады. Токтың одан әрі жоғарылауы алюминийдің еруін іс жүзінде блоктады – массаның өзгеруі Al 0,005–0,007 г құрады. Сілтілік концентрациясын 5,7% КОН-ға дейін арттыру алюминийдің еруін айтарлықтай төмендетеді, салмақ жоғалту 0,009 г құрайды. Электродтардың бүкіл беті 6

сағат ерігеннен кейін пленкамен жабылады. Алюминий бетіндегі фазаларды талдау пленка калий негізіндегі фаза екенін көрсетті. Калий қабықшасының қалыңдығы электродтардың ерітіндіге батыру тереңдігіне және тәжірибе уақытына байланысты өзгереді. Калий мен алюминий қосылыстарының құрылымы мен құрамын анықтау мүмкін болмады.

**Тірек сөздер:** электр тогы, сілтілі ерітінді, ток жиілігі, натрий молибдаты, алюминий электроды.

**Eldes M.A.\*<sup>1</sup>, Balgimbaeva U.A.<sup>1</sup>, El-Sayed N.<sup>1</sup>, Suleimenov E.N.<sup>1</sup>, Sharipov R.Kh.<sup>1</sup>**

Kazakh-British Technical University, 050000, Almaty, Kazakhstan

\*E-mail: m\_eldes@kbtu.kz

## **INFLUENCE OF NON-STATIONARY ELECTRIC CURRENT ON DISSOLUTION OF METALS IN AQUEOUS SOLUTIONS OF ALKALI**

**Abstract.** Non-stationary effects can be widely used as an intensifying factor in technological processes and as a tool for studying chemical systems. Studies of energy effects on structural transformations in liquid systems can make it possible to significantly intensify many chemical and metallurgical processes.

We have studied the solubility of aluminum, iron and molybdenum in alkaline solutions under the influence of alternating electric current. A two-electrode cell was used. The electrodes were made from dissolved metal. The frequency of the electric current varied from 20 to 200,000 Hz. In the process of dissolving aluminum in an alkaline solution at the same current frequency and alkali concentration, the mass loss of the aluminum sample increases with increasing current strength up to 0.042-0.044 g. A further increase of current practically blocks the dissolution of aluminum - the change in mass was 0.005-0.007 g of Al. Increasing the alkali concentration to 5.7% KOH significantly reduces the dissolution of aluminum, the weight loss is 0.009 g. The entire surface of the electrodes is covered with a film after 6 hours of dissolution. An analysis of the phases on the aluminum surface showed that the film is a phase based on potassium. The thickness of the potassium film varies depending on the depth of immersion of the electrodes in the solution and on the time of the experiment. The structure and composition of potassium and aluminum compounds could not be established.

**Key words:** electric current, alkaline solution, current frequency, sodium molybdate, aluminum electrode.

### **Введение**

Большое количество исследований рассматривает электрохимическую обработку поверхностей металлов и сплавов в растворах электролитов. Сущность метода заключается в придании определенной формы либо характера поверхностного слоя покрытия. В целом электрохимическая обработка помогла решить множество проблем в промышленности, и на данный момент ставится вопрос увеличения точности данного вида обработки. Одним из наиболее перспективных методов улучшения точности является электрохимическая обработка импульсами тока. Таким образом, особое внимание уделяется электрохимической обработке с применением нестационарных импульсных токов [1]. Электрохимическая обработка представляет собой процесс очистки поверхности металлов в растворах электролитов при определенной концентрации и при использовании высокочастотных электрических импульсов. Как результат, местоположение процесса электрохимической обработки вероятно определить переносом ионов.

М. Фарадей [6] оценивает все проявления электричества абсолютно одинаковыми вне зависимости от источника их получения. Источники получения, в свою очередь, могут быть разными: механические, химические, световые, тепловые, физиологические и магнитные. Исходя из данного утверждения, следует говорить об эквивалентности передачи энергии теплом, светом и другими факторами, в результате которой появляется электричество.

### **Основные положения**

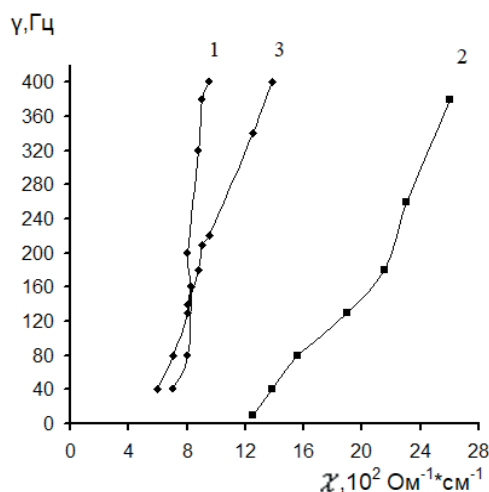
Известно, что электричество, тепло, работа и свет передают энергию посредством

материальных субстанций, то есть электроном, «теплотроном» [7–11], фотоном и «рабочими телами» [12] соответственно. Следовательно, элементарные частицы, передающие движение к структурным элементам другой системы, согласно закону сохранения количества движения, проявляются в различных видоизменениях. Иными словами, данное положение пересматривает механизм реализации процессов между материальными объектами. Учет этих положений и основы физико-химических характеристик, определяющие количественно-качественные свойства материалов, откроют возможность управления составом и свойством материалов, необходимых в соответствующих областях экономики. Это требует углубленного изучения зависимости микро-, макросвойств веществ от размера его составляющих структурных частей как взаимосвязанного единого материального объекта. Отдельное рассмотрение структурных частей, не учитывая их взаимодействия, приводит к ухудшению действительности макроскопического образования. Кроме того, понятие о дискретной природе электрического тока позволяет использовать комбинацию параметров электрического тока для организации необычных химических реакций. Учитывая, что нестационарный электрический ток широко используется для исследования химических систем и усиливающего фактора при реакциях, данное воздействие использовалось в щелочных растворах. В настоящей работе изучено электрохимическое растворение цветных металлов под действием нестационарного электрического тока в присутствии щелочных растворов. Исследования энергетических воздействий на химические системы могут значительно улучшить множество химико-металлургических процессов. Было установлено, что применяемая лабораторная ячейка не позволяет определить влияние формы электрического сигнала на эффективность реакции на границе железо/щелочной раствор для нерастворимого в щелочи металла (железа). Эксперименты в этом направлении проводились на металлах, которые образуют растворимые в щелочи соединения. Данными металлами в исследовании были алюминий и молибден.

### Материалы и методы

Очищенные алюминиевые электроды в виде металлической проволоки диаметром 2,5 мм погружали в раствор щелочи в следующих концентрациях: 1,46; 3,58 и 5,7% КОН (по данным химического анализа). Интенсивность тока в электрохимической ячейке контролировалась через контактные сопротивления (1, 11, 50 Ом) при постоянном приложенном напряжении.

Также было установлено, что электрохимическое растворение алюминиевых электродов начиналось сразу после их погружения в раствор КОН при концентрации = 3,58% ( $R = 50$  Ом,  $h = 50$  Гц). Снижение сопротивления до 11 Ом привело к тому, что по завершении эксперимента потери массы образца увеличились до 0,042–0,044 г. Дальнейшее снижение сопротивления до 1 Ом (то есть увеличение интенсивности тока) существенно подавляет растворение электрода, когда изменения массы достигают 0,005–0,007 г Al. Увеличение концентрации щелочи до 5,7% КОН при всех рассмотренных сопротивлениях не привело к желаемому результату:

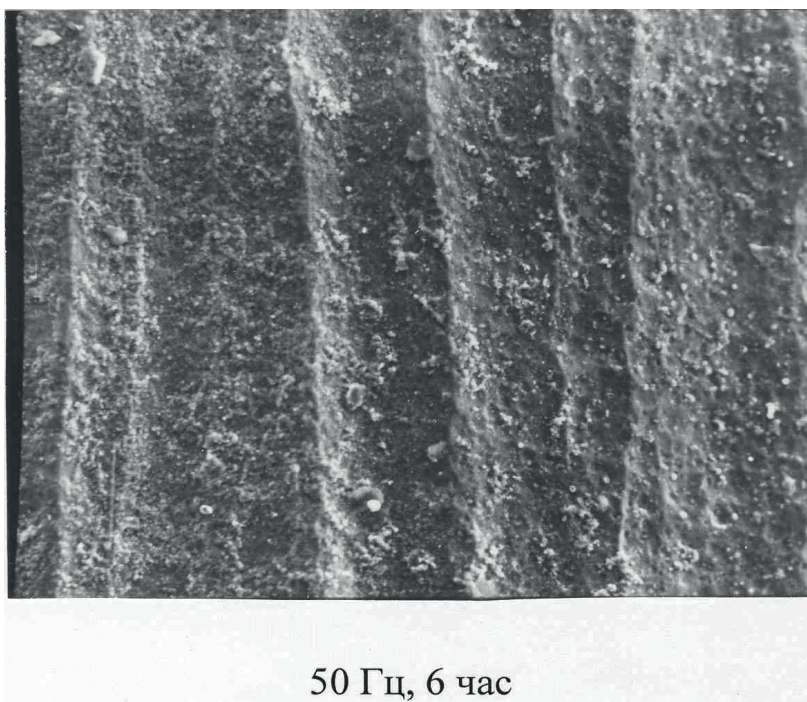


1–25 °C, 2–40 °C, 3–75 °C

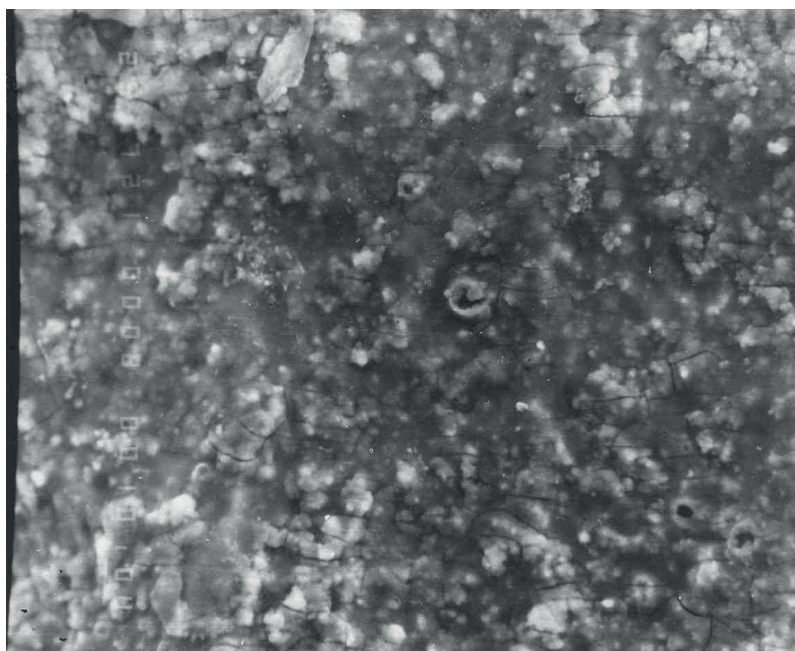
Рисунок 1 – Зависимость электропроводности алюминатного раствора от частоты тока при различной температуре ( $\text{Na}_2\text{O} - 269,3$  г/л;  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 269,0$  г/л)

На рисунке 1 (стр. 8.) представлена зависимость электропроводности алюминатного раствора от частоты тока при температуре 25, 40 и 75 °С (соответственно кривая 1, 2 и 3). Очевидно, что изменение частоты электрического тока приводит к неоднозначному изменению физико-технических характеристик раствора, что требует установления оптимальных параметров растворения для каждого отдельного случая. В целом следует отметить, что значения электропроводности алюминатного раствора увеличиваются с возрастанием частоты тока.

Ниже представлена фотография (рисунок 2) поверхности алюминиевого электрода после растворения алюминия в щелочном растворе.



(а) Увеличение 200X



(б) Увеличение 720X

Рисунок 2 – Тонкие черные линии границы растрескивания металла



Вверху изображение (а) (рис. 1, стр. 9.) поверхности электрода при увеличении 200X. Ниже снимок (б) (рис. 1, стр. 9.), выполненный на электронном микроскопе при увеличении 720X. Можно увидеть, что на поверхности металла видны растрескивания, что говорит о процессе питтинговой коррозии. Вероятно, электрический ток определенных параметров может вызвать растворение отдельных участков в структуре металла более эффективно, чем растворение основной массы металла.

Проведено исследование влияния формы электрического сигнала на поведение раствора молибдата натрия. На рисунке 3 приведена форма электрического сигнала, который использовался для измерений. Величина импульса тока – 1 нс.

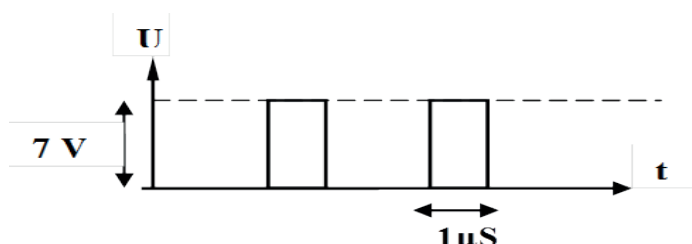


Рисунок 3 – Влияние формы электрического сигнала на поведение раствора молибдата натрия

Исследовалось растворение молибденовой проволоки химического состава, %: Мо 96,8; Cr 2,60; Fe 0,59 (рисунок 4).

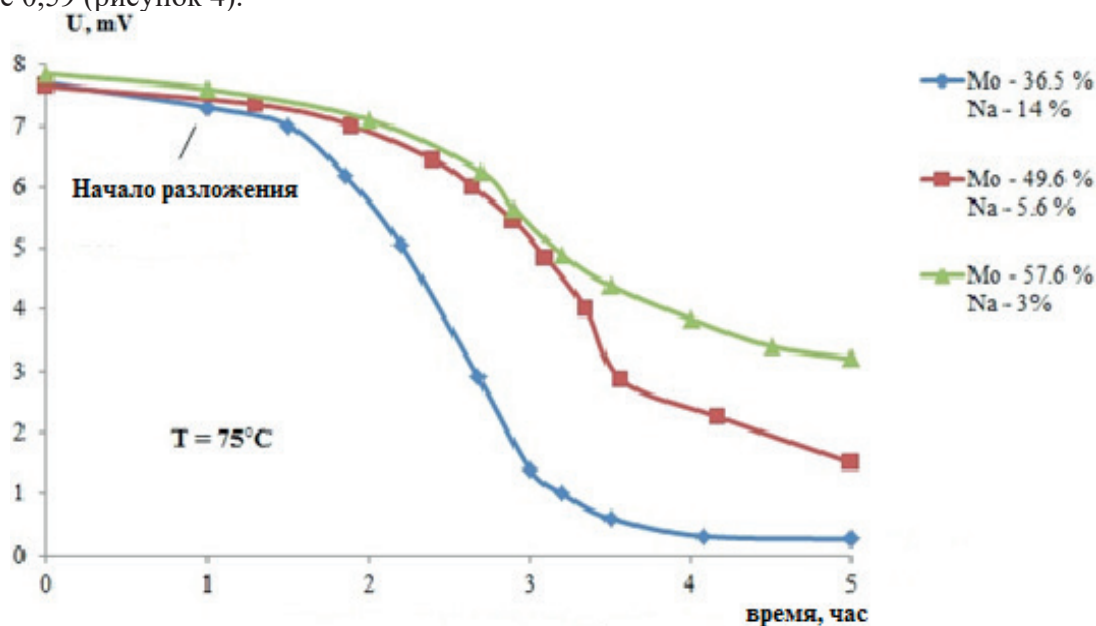


Рисунок 4 – Зависимость электропроводности раствора молибдата натрия от времени

### Результаты и обсуждение

Растворение производилось в термостатированной ячейке в интервале температур 25–80 °С. Напряжение на электродах составляло 1,0–3,2 В. Сила тока составляла от 200 до 500 мА, скорость растворения росла пропорционально силе тока и составляла 0,5–4,3 мг/мин. Установлено:

- скорость растворения непропорциональна частоте тока, начинается при частоте 20 Гц и прекращается с увеличением частоты тока;
- при температуре 75 °С растворение останавливается при различных параметрах тока и концентрациях  $K_2O$ ;
- когда концентрация  $K_2O$  превышает 9%, растворение молибдена не происходит при всевозможных параметрах тока;
- при частотах, не совпадающих с частотами прекращения реакции, происходит активизация

реакции. В частности, для 90 мА это 20 Гц, 200 мА – 30 Гц, 360 мА – 55 Гц, 450 мА – 70 Гц и 500 мА – 90 Гц;

При частоте тока свыше 140 Гц растворение молибдена не начиналось при указанных значениях силы тока.

Как показано на графиках, приведенных на рисунке 4, указанная форма электрического сигнала приводит к декомпозиции растворов молибдата натрия в течение одного часа. При этом скорость разложения растворов находится в соответствии с концентрацией молибдена в щелочном растворе. Степень разложения раствора также зависит от концентрации молибдена. Чем меньше в растворе молибдена, тем выше степень разложения.

Ключевой проблемой современной физической химии остается установление принципа переноса электрического тока через жидкую систему. Более реалистичные взгляды на электроперенос в жидкости окажут решающее влияние на решение многих проблем, о которых говорилось ранее.

В ходе экспериментов было установлено, что для повышения эффективности воздействия электрического тока на систему металл/жидкость необходимо учитывать траекторию движения электронов в этой системе. Мы исходили из анализа взглядов М. Фарадея о влиянии электрического тока на химические реакции.

### Заключение

Из вышеуказанного следует:

1. Растворимость металла в щелочном растворе под действием электрического тока зависит от способности металла образовывать соединения, которые могут растворяться в неорганическом водном растворе щелочи.
2. Частота электрического тока может неоднозначно влиять на растворимость металла в щелочном растворе при различной температуре.
3. Отдельные элементы микроструктуры металла могут растворяться в щелочи быстрее, чем основная масса металла (питтинговая коррозия), что может приводить к разрушению структуры металла.
4. Положение, высказанное в научно-технической литературе об измерении электропроводности с помощью электрического тока короткого импульса, лишь отчасти может соответствовать реальному значению электропроводности и не может определяться в качестве «истинной» электропроводности раствора.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Елисеев Ю.С., Крымов В.В., Митрофанов А.А. Физико-химические методы обработки в производстве турбинных двигателей / Под ред. Б.П. Саушкина. – М., 2002. – 656 с.
- 2 Володина Т.Ф., Звонкий В.Г., Зуев А.А., Магурян И.И., Редкозубова О.О., Яхова Е.А., Дикусар А.И. Локализация анодного травления толстыми полимерными масками и состав поверхностных слоев при электрохимическом маркировании деталей из алюминиевых сплавов // Электронная обработка материалов. – 2005. – № 2. – С. 4–10.
- 3 Рыбалко А.В. Разработка процессов ЭХРО микросекундными импульсами и оборудования для их реализации : Автореф. ...дис. докт. техн. наук. – Воронеж, 1997. – 32 с.
- 4 Галанин С.И. Электрохимическая обработка металлов и сплавов микросекундными импульсами тока. – Кострома: Изд-во КГТУ, 2001. – 118 с.
- 5 Зайцев В.А. Электрохимическая обработка деталей из WC-Co твердых сплавов биполярными импульсами тока микросекундного диапазона : Автореф. дис. ...канд. техн. наук. – Уфа, 2005. – 16 с.
- 6 Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. – М.: Издательство Академии наук СССР, 1947. – Т.1. – 848 с.
- 7 Структурно-энергетическое состояние «химических индивидов» и причины протекания химических реакций // НиМ. – 2018. – № 7(59). – С.19–24.

8 Utelbayev B.T., Suleimenov E.N., Utelbayeva A.B. The Essence of “Temperature” and its Relationship with Thermal state of the System // International Journal of Scientific Research in Science and Technology, 2017, vol.3, iss.2, pp.678–684.

9 Utelbayev B.T., Suleimenov E.N., Utelbayeva A.B. Elementary Carrier of Thermal energy Derivation from the Classical equation of Thermodynamics // International Journal of Engineering and Technical Research (IJSETR), 2018, vol.8, iss. 2, pp. 65–68. ISSN N:2321-0869(0).

10 Utelbayev B.T., Suleimenov E.N., Utelbaeva A.B. The Influence of External Impact in Transfer of the Energy between Material Objects // International Journal of Scientific Research in Science and Technology, vol.2, iss.5, pp. 241–245. Print ISSN:2395-6011.

11 Utelbayev B.T., Suleimenov E.N., Utelbaeva A.B. The Nature and Mass of Elementary Particles of Heat Carriers // International Journal of Scientific Latest Research in Science and Technology, 2016, vol.5, iss.6, pp. 6–9. ISSN(Online) 2278-5299.

12 Сивухин Д.В. Общий курс физики. Термодинамика и молекулярная физика. – Т.2. – М.: Наука, 1990. – 591 с.

## REFERENCES

1 Eliseev Yu.S., Krymov V.V., Mitrofanov A.A. (2002) Fiziko-khimicheskie metody obrabotki v proizvodstve turbinnykh dvigatelei. Eds. B.P. Saushkina. Moscow, 656 p.

2 Volodina T.F., Zvonkii V.G., Zuev A.A., Maguryan I.I., Redkozubova O.O., Yakhova E.A., Dikusar A.I. (2005) Lokalizatsiya anodnogo travleniya tolstyimi polimernymi maskami i sostav poverkhnostnykh sloev pri elektrokhimicheskom markirovanii detalei iz alyuminiyevykh splavov. Elektronnaya obrabotka materialov, no 2, pp. 4–10.

3 Rybalko A.V. (1997) Razrabotka protsessov EKhRO mikrosekundnymi impul'sami i oborudovaniya dlya ikh realizatsii. Avtoref. ...dis. dokt. tekhn. nauk. Voronezh, 32 p.

4 Galanin S.I. (2001) Elektrokhimicheskaya obrabotka metallov i splavov mikrosekundnymi impul'sami toka. Kostroma, KGTU, 118 p.

5 Zaitsev V.A. (2005) Elektrokhimicheskaya obrabotka detalei iz WC-Co tverdykh splavov bipolyarnymi impul'sami toka mikrosekundnogo diapazona. Avtoref. dis. ...kand. tekhn. nauk. Ufa, 16 p.

6 Faradei M. (1947) Eksperimental'nye issledovaniya po elektrichestvu. Moscow, Akademija nauk SSSR, vol.1, 848 p.

7 Strukturno-energeticheskoe sostoyanie “khimicheskikh individov” i prichiny protekaniya khimicheskikh reaktsii. NiM (2018), no 7(59), pp. 19–24.

8 Utelbayev B.T., Suleimenov E.N., Utelbayeva A.B. The Essence of “Temperature” and its Relationship with Thermal state of the System // International Journal of Scientific Research in Science and Technology, 2017, vol.3, iss.2, pp. 678–684.

9 Utelbayev B.T., Suleimenov E.N., Utelbayeva A.B. Elementary Carrier of Thermal energy Derivation from the Classical equation of Thermodynamics // International Journal of Engineering and Technical Research (IJSETR), 2018, vol.8, iss. 2, pp. 65–68. ISSN N:2321-0869(0).

10 Utelbayev B.T., Suleimenov E.N., Utelbaeva A.B. The Influence of External Impact in Transfer of the Energy between Material Objects // International Journal of Scientific Research in Science and Technology, vol.2, iss.5, pp. 241–245. Print ISSN:2395-6011.

11 Utelbayev B.T., Suleimenov E.N., Utelbaeva A.B.. The Nature and Mass of Elementary Particles of Heat Carriers // International Journal of Scientific Latest Research in Science and Technology, 2016, vol.5, iss.6, pp. 6–9. ISSN(Online) 2278-5299.

12 Sivukhin D.V. (1990) Obshchii kurs fiziki. Termodinamika i molekulyarnaya fizika. Moscow, Nauka, vol.2, 591 p.

## Сведения об авторах

**Елдес Медина Абджамикызы** (автор для корреспонденции)

Магистр материаловедения, Казахстанско-Британский технический университет,  
ул. Толе би, 59, 050000, Алматы, Казахстан

ORCID ID: 0000-0002-7729-2959

E-mail: m\_eldes@kbtu.kz

**Балгимбаева Улпан Аманкосқызы**

Магистр технических наук, координатор программ магистратуры и докторантуры Научно-образовательного центра материаловедения и проблем коррозии Казахстанско-Британского технического университета, ул. Толе би, 59, 050000, Алматы, Казахстан

ORCID ID: 0000-0002- 6051-5538

E-mail: u.balgimbaeva@kbtu.kz

**Негим Агтия Эль-Сайед**

Доктор технических наук, профессор, Научно-образовательный центр материаловедения и проблем коррозии Казахстанско-Британского технического университета, ул. Толе би, 59, 050000, Алматы, Казахстан

ORCID ID: 0000-0002-4370-8995

E-mail: a.negim@kbtu.kz

**Сулейменов Эсен Нургалиевич**

Доктор технических наук, главный научный сотрудник Научно-образовательного центра материаловедения и проблем коррозии Казахстанско-Британского технического университета, ул. Толе би, 59, 050000, Алматы Казахстан

ORCID ID: 0000-0002-6992-3028

E-mail: metallaim@mail.ru

**Шарипов Рустам Хасанович**

Магистр технических наук, руководитель, Научно-образовательный центр материаловедения и проблем коррозии Казахстанско-Британского технического университета, ул. Толе би, 59, 050000, Алматы, Казахстан

ORCID ID: 0000-0003-1670-9914

E-mail: r.sharipov@kbtu.kz

**Авторлар туралы мәліметтер**

**Елдес Медина Абджамиқызы** (корреспонденция авторы)

Қазақстан-Британ техникалық университетінің материалтану магистрі, Төле би, 59, 050000, Алматы қ., Қазақстан

ORCID ID: 0000-0002-7729-2959

E-mail: m\_eldes@kbtu.kz

**Балгимбаева Улпан Аманкосқызы**

Техника ғылымдарының магистрі, Материалтану және даттану мәселелері ғылыми-білім беру орталығының магистратура және докторантуралық бағдарламалар үйлестірушісі, Қазақстан-Британ техникалық университеті, Төле би, 59, 050000, Алматы қ., Қазақстан

ORCID ID: 0000-0002-6051-5538

E-mail: u.balgimbaeva@kbtu.kz

**Негим Агтия Эль-Сайед**

Техника ғылымдарының докторы, профессор, Материалтану және өрт мәселелері ғылыми-



білім беру орталығы, Қазақстан-Британ техникалық университеті, Төле би, 59, 050000, Алматы қ., Қазақстан

ORCID ID: 0000-0002-4370-8995

E-mail: a.negim@kbtu.kz

**Сүлейменов Есен Нургалиевич**

Техника ғылымдарының докторы, Материалтану және өрт мәселелері ғылыми-білім беру орталығының бас ғылыми қызметкері, Қазақстан-Британ техникалық университеті, Төле би, 59, 050000, Алматы қ., Қазақстан

ORCID ID: 0000-0002-6992-3028

E-mail: metallaim@mail.ru

**Шарипов Рустам Хасанович**

Техника ғылымдарының магистрі, Қазақстан-Британ техникалық университетінің Материалтану және өрт мәселелері ғылыми-білім беру орталығының жетекшісі, Қазақстан-Британ техникалық университеті, Төле би, 59, 050000, Алматы қ., Қазақстан

ORCID ID: 0000-0003-1670-9914

E-mail: r.sharipov@kbtu.kz

**Information about authors**

**Eldes Medina Abdzhamikyzy (corresponding author)**

Master of Materials science, Kazakh-British Technical University, Tole bi st., 59, 050000, Almaty, Kazakhstan

ORCID ID: 0000-0002-7729-2959

E-mail: m\_eldes@kbtu.kz

**Balgimbaeva Ulpan Amankoskyzy**

Master of Science, Coordinator of Master and Doctoral programs of Scientific educational center of Materials science and corrosion problems, Kazakh-British Technical University, Tole bi st., 59, 050000, Almaty, Kazakhstan

ORCID ID: 0000-0002-6051-5538

E-mail: u.balgimbaeva@kbtu.kz

**Negim Attia El-Sayed**

PhD, Professor, Scientific educational center of Materials science and corrosion problems, Kazakh-British Technical University, Tole bi st., 59, 050000, Almaty, Kazakhstan

ORCID ID: 0000-0002-4370-8995

E-mail: a.negim@kbtu.kz

**Suleimenov Esen Nurgalievich**

Doctor of technical sciences, Chief researcher of Scientific educational center of Materials science and corrosion problems, Kazakh-British Technical University, Tole bi st., 59, 050000, Almaty, Kazakhstan

ORCID ID: 0000-0002-6992-3028

E-mail: metallaim@mail.ru

**Sharipov Rustam Khasanovich**

Master of technical sciences, Head of Scientific educational center of Materials science and corrosion problems, Kazakh-British Technical University, Tole bi st., 59, 050000, Almaty, Kazakhstan

ORCID ID: 0000-0003-1670-9914

E-mail: r.sharipov@kbtu.kz