

**Миназетдинов Наиль Миргазиянович**

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информационных систем и естественно-научных дисциплин, Российский новый университет, Москва.

SPIN-код: 7544-6638, AuthorID: 198232

Электронный адрес: nminazetdinov@yandex.ru

**Nail M. Minazetdinov**

Ph.D. of Physico-Mathematical Sciences, Docent, Associate Professor at the Department of information technologies and natural sciences, Russian New University, Moscow.

SPIN-code: 7544-6638, AuthorID: 198232

E-mail address: nminazetdinov@yandex.ru

---

## ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАТОЧКИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

---

**Аннотация.** Поставлена и решена двумерная задача об электрохимической заточке лезвия режущего инструмента. Математическая модель задачи позволяет определить форму затачиваемой поверхности в зависимости от геометрии электрода-инструмента. Исходная задача сводится к задаче о фиктивном плоскопараллельном потенциальном течении идеальной несжимаемой жидкости. Результаты расчетов формы затачиваемого лезвия для частных случаев представлены в виде графиков.

**Ключевые слова:** электрохимическая обработка, идеальная несжимаемая жидкость, гидродинамическая аналогия, теория функции комплексной переменной.

**Для цитирования:** Миназетдинов Н.М. Об одной задаче электрохимической заточки режущих инструментов // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ, управление. 2026. № 1. С. 22–30. DOI: 10.18137/RNU.V9I187.26.01.P.22

---

## ON THE PROBLEM OF ELECTROCHEMICAL SHARPENING OF CUTTING TOOLS

---

**Abstract.** A two-dimensional problem concerning the electrochemical sharpening of a cutting tool blade is posed and solved. The mathematical model allows determining the shape of the sharpened surface depending on the geometry of the tool-electrode. The original problem is reduced to the problem of a fictitious plane-parallel potential flow of an ideal incompressible fluid. The results of the calculations of the sharpened blade shape for particular cases are presented as graphs.

**Keywords:** electrochemical machining, ideal incompressible fluid, hydrodynamic analogy, theory of functions of a complex variable.

**For citation:** Minazetdinov N.M. (2026) On the problem of electrochemical sharpening of cutting tools. *Vestnik of Russian New University. Series: Complex Systems: Models, analysis, management.* No. 1. Pp. 22–30. DOI: 10.18137/RNU.V9I187.26.01.P.22 (In Russian).

---

### *Введение*

Для затачивания режущих инструментов можно применять методы электрохимической обработки металлов. Заточка осуществляется за счет анодного растворения заготов-

Об одной задаче электрохимической заточки режущих инструментов

ки (анода) в проточном электролите с помощью специального формообразующего электрода-инструмента (катода). Создавая повышенную плотность тока на режущей части инструмента за счет соответствующей ее ориентации относительно катода, можно повысить интенсивность анодного растворения на этом участке, что, в свою очередь, приводит к заострению лезвия [1–5].

Метод электрохимической заточки используется в различных отраслях, например, в машиностроении для обработки твердосплавных инструментов, медицинской технике при производстве хирургических инструментов и др.

В данной работе в рамках модели идеального процесса [6; 7] найдено численно-аналитическое решение двумерной задачи определения формы затачиваемой поверхности для одной из возможных схем электрохимической заточки.

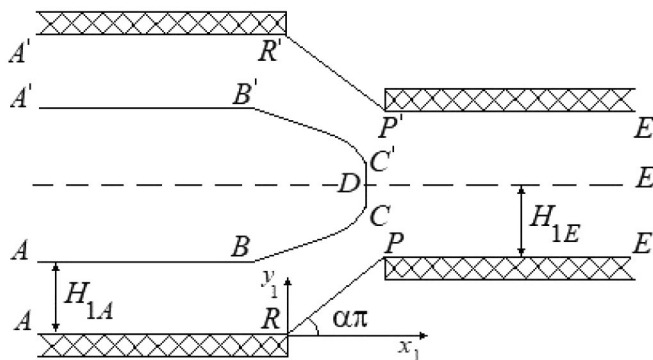
В модели рассматриваемой задачи предполагается, что электрохимическая обработка производится неподвижным катодом с использованием электролитов с пассивирующими свойствами. Например, при обработке деталей из стали такими являются электролиты на основе водного раствора нитрата натрия. В процессе обработки с течением времени плотность тока на обрабатываемой поверхности достигает предельного значения, и анодное растворение металла прекращается. Описанный режим электрохимической обработки называется предельным, получаемая форма обработанной поверхности – предельной [3; 8; 9].

**Схема электрохимической обработки**

Геометрия межэлектродного промежутка имеет вид (см. Рисунок 1):  $ABCD C' B' A'$  – граница заготовки детали;  $ARPE P' R' A'$  – граница электрода-инструмента. Система декартовых координат  $(x_1, y_1)$  связана с катодом, и ее начало выбрано в точке  $R$ . Точки  $A, E, A'$  являются бесконечно удаленными.

Между границами электродов в процессе электрохимической обработки осуществляется прокачка раствора электролита для удаления продуктов электрохимических реакций. Такой электрод можно применять для двусторонней заточки лезвия.

В силу симметрии межэлектродного промежутка ограничимся рассмотрением ее симметричной нижней части, определенной границами электродов  $ABCD, ARPE$  и линией симметрии  $DE$ .



**Рисунок 1.** Геометрия межэлектродного промежутка  
 Источник: здесь и далее рисунки выполнены автором

Граница катода в рассматриваемой части состоит из электроизолированных участков  $AR$ ,  $PE$  и токопроводящей (рабочей) части  $RP$ .

Изолированные участки катода предназначены для локализации анодного растворения металла на участке  $BC$  (заточиваемой части) анода. Будем считать, что на участках  $AB$  и  $CD$  из-за падения анодной плотности тока, вызванной наличием изолированных участков катода, растворения металла не происходит. Будем называть эти участки анода необрабатываемыми [9].

Введем обозначения:  $L_1$  – длина отрезка  $RP$ ;  $\alpha$  – угол наклона отрезка  $RP$  относительно положительного направления оси абсцисс;  $H_{1A}$  – величина межэлектродного зазора на бесконечности в сечении  $AA$ ;  $H_{1E}$  – расстояние между линией симметрии  $DE$  и границей  $PE$  инструмента.

### Модель электрического поля в межэлектродном промежутке

Вводится аналитическая функция  $W_1(z_1) = v(x_1, y_1) + iu(x_1, y_1)$  комплексной переменной  $z_1 = x_1 + iy_1$ , называемая комплексным потенциалом электрического поля [10], где  $v(x_1, y_1) = \text{Re } W(z_1)$  соответствует силовой функции электрического поля,  $u(x_1, y_1) = \text{Im } W(z_1)$  – потенциалу электрического поля. Потенциал  $u(x_1, y_1)$  удовлетворяет уравнению Лапласа  $\Delta u(x_1, y_1) = 0$  в области межэлектродного промежутка. На границах  $ABCD$  и  $RP$ -электродов потенциал принимает постоянные значения  $u_a, u_c$  соответственно:

$$u_{ABCD} = u_a, \quad u_{RP} = u_c. \quad (1)$$

На изолированных участках  $AR$ ,  $PE$  и линии симметрии  $DE$  выполняется условие

$$\frac{\partial u}{\partial n_1} = 0, \quad (2)$$

где  $\vec{n}_1$  – нормаль к границе.

На неизвестной предельной анодной границе  $BC$  выполняется равенство

$$j_a = \kappa \frac{\partial u}{\partial n_1} j_{np}, \quad (3)$$

где  $\kappa$  – удельная электропроводность среды [8; 9].

Введем характерную длину  $H = \frac{\kappa(u_a - u_c)}{j_{np}}$  и безразмерные переменные [8; 11; 12]:

$$z = \frac{z_1}{H} = x + iy, \quad \psi = \frac{u - u_c}{(u_a - u_c)}, \quad \varphi = \frac{v}{(u_a - u_c)}. \quad (4)$$

Функция  $\psi$  в межэлектродном промежутке удовлетворяет уравнению Лапласа и граничным условиям на электродах

$$\psi_{ABCD} = 1, \quad \psi_{RP} = 0. \quad (5)$$

На изолированных участках  $AR$ ,  $PE$  и линии симметрии  $DE$ , согласно условиям Коши – Римана [10], функция принимает постоянные значения. Не нарушая общности, будем считать, что

$$\varphi_{AR} = 0, \quad \varphi_{PE} = \varphi_{ED} = \varphi. \quad (6)$$

Условие (3) в безразмерных переменных имеет вид

$$\left( \frac{\partial \psi}{\partial n} \right)_{BC} = 1. \quad (7)$$

Об одной задаче электрохимической заточки режущих инструментов

Согласно гидродинамической аналогии [10], рассматриваемая задача электрохимической обработки, связанная с определением формы предельной анодной границы  $BC$ , равносильна задаче теории плоских установившихся течений идеальной несжимаемой жидкости по определению свободной поверхности  $BC$ . При гидродинамической интерпретации поток фиктивной жидкости создается системой непрерывно распределенных источников на линии  $AR$  и стоков на линиях  $PE$  и  $DE$  [7; 13].

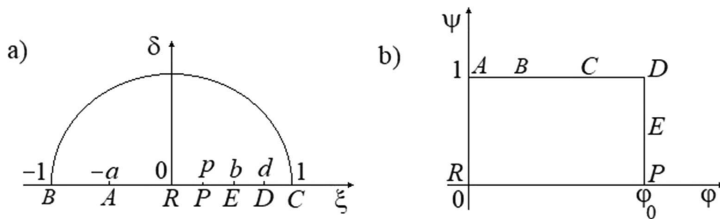
Введем функцию комплексно сопряженной скорости  $dW/dz = Ve^{-i\theta}$ , где  $V$  – величина скорости фиктивного течения,  $\theta$  – угол, образуемый вектором скорости в какой-нибудь точке плоскости течения с осью абсцисс [14]. Тогда скорость фиктивного течения на искомой границе  $BC$ , согласно условию (7), удовлетворяет равенству

$$V_{BC} = \left| \frac{dW}{dz} \right|_{BC} = 1. \tag{8}$$

Далее для решения задачи используются методы теории струй идеальной несжимаемой жидкости [14; 15].

**Численно-аналитический метод решения задачи**

Введем вспомогательное комплексное переменное  $t = \xi + i\delta$ , изменяющееся в области  $G_t$  ( $|t| < 1, \delta > 0$ ) (см. Рисунок 2, а), и будем искать функцию  $z(t)$ , конформно отображающую полуокруг единичного радиуса  $G_t$  на область течения в физической плоскости  $z = x + iy$  с соответствием точек, указанных на Рисунках 1 и 2, а.



**Рисунок 2.** Вспомогательные области:

$a$  – область  $G_t$ ;  $b$  – область изменения комплексного потенциала  $W$

Безразмерный комплексный потенциал  $W(t) = \varphi(t) + i\psi(t)$  удовлетворяет граничным условиям

$$\psi(t) = \begin{cases} 1, & t = \exp(i\sigma), \quad \sigma \in (0, \pi], \\ 1, & t = \xi, \quad \xi \in [d, 1] \cup [-1, -a], \\ 0, & t = \xi, \quad \xi \in [0, p]. \end{cases} \tag{9}$$

$$\varphi(\xi) = \begin{cases} 0, & \xi \in [-f, -\varepsilon], \\ \varphi_0, & \xi \in [p, d]. \end{cases} \tag{10}$$

Область изменения функции  $W(t)$  представляет собой прямоугольник со сторонами  $\varphi_0$  и 1 (см. Рисунок 2, б).

Функция, осуществляющая конформное отображение [10] области  $G_t$  на область изменения переменной  $W(t)$ , с учетом нормировки  $W(0) = 0$ , имеет вид

$$W(t) = N \int_0^t \frac{(1-\tau^2) d\tau}{\sqrt{\tau(\tau-p)(1-p\tau)(\tau-d)(1-d\tau)(\tau+a)(1+a\tau)}}, \quad (11)$$

где  $N$  – постоянная величина.

Интегрированием выражения (11) на отрезке  $[-a, 0]$  найдем постоянную  $N$ :

$$N = -\frac{1}{I_1}, \quad I_1 = \int_0^a \frac{(1-\tau^2) d\tau}{\sqrt{\tau(\tau+p)(1+p\tau)(\tau+d)(1+d\tau)(a-\tau)(1-a\tau)}}. \quad (12)$$

Параметр  $\varphi_0$  определяется по формуле

$$\varphi_0 = \frac{I_2}{I_1}, \quad I_2 = \int_0^p \frac{(1-\tau^2) d\tau}{\sqrt{\tau(p-\tau)(1-p\tau)(d-\tau)(1-d\tau)(\tau+a)(1+a\tau)}}. \quad (13)$$

Введем в рассмотрение функцию Жуковского [14; 15]:

$$\chi(t) = \ln \frac{dW}{dz} = \ln \left| \frac{dW}{dz} \right| e^{-i\theta} = r^{-i\theta}, \quad r = \ln \left| \frac{dW}{dz} \right|. \quad (14)$$

На границе области  $G_t$  функция  $\chi(t)$  удовлетворяет условиям

$$\begin{aligned} r(e^{i\sigma}) &= 0, \quad \sigma \in [0, \pi]; \\ \theta(\xi) &= 0, \quad \xi \in [-1, -a]; \quad \theta(\xi) = \pi/2, \quad \xi \in (-a, 0) \cup (b, 1]; \\ \theta(\xi) &= a\pi, \quad \xi \in (0, p); \quad \theta(\xi) = -\pi/2, \quad \xi \in (p, b). \end{aligned} \quad (15)$$

Функции  $\theta(t)$  приспаны те значения, которые она принимает, изменяясь непрерывно при движении точки  $t$  по отрезку  $-1 \leq \xi \leq 1$ ,  $\delta = 0$  с обходом особых точек  $A(t = -a)$ ,  $R(t = 0)$ ,  $P(t = p)$ ,  $E(t = b)$  функции  $\chi(t)$  по дугам бесконечно малых окружностей [15].

Используя метод особых точек Чаплыгина [14; 15], получим

$$\chi(t) = \ln \left( t^{\alpha-0.5} \left( \frac{t+a}{1+at} \right)^{0.5} \left( \frac{t-p}{1-pt} \right)^{-(0.5+\alpha)} \left( \frac{t-b}{1-bt} \right) \right) - \frac{\pi}{2} i. \quad (16)$$

Используя соотношение

$$dz = e^{-\chi(t)} \frac{dW}{dt} dt, \quad (17)$$

формулы (11), (16) и соответствие  $z(0) = 0$ , получим

$$z(t) = \frac{i}{I_1} \int_0^t F_1(\tau) d\tau, \quad F_1(\tau) = \frac{(1-\tau^2)(\tau-p)^\alpha}{\tau^\alpha(\tau+a)(1-p\tau)^{\alpha+1} \sqrt{(\tau-d)(1-d\tau)}} \left( \frac{1-b\tau}{\tau-b} \right). \quad (18)$$

Интегрированием выражения (18) по полуокружности бесконечно малого радиуса с центром в точке  $t = -a$  с помощью теории вычетов [10] найдем безразмерную величину межэлектродного зазора на бесконечности в сечении  $AA$ :

$$H_A = \frac{H_{1A}}{H} = \frac{\pi}{I_1} \frac{(1-a^2)(a+p)^\alpha}{a^\alpha(1+pa)^{\alpha+1} \sqrt{(a+d)(1+da)}} \left( \frac{1+ba}{a+b} \right). \quad (19)$$

Об одной задаче электрохимической заточки режущих инструментов

Аналогично интегрированием выражения (18) по полуокружности бесконечно малого радиуса с центром в точке  $t = b$  найдем безразмерную величину расстояния между линией симметрии  $DE$  и границей  $PE$  инструмента:

$$H_E = \frac{H_{1E}}{H} = \frac{\pi}{I_1} \frac{(1-b^2)^2 (b-p)^\alpha}{b^\alpha (b+a)(1-pb)^{\alpha+1} \sqrt{(d-b)(1-db)}}. \quad (20)$$

Интегрируя выражение (18) на отрезке  $[0, p]$ , найдем безразмерную длину отрезка  $RP$ :

$$L = \frac{1}{I_1} \int_0^p F_2(\tau) d\tau, \quad F_2(\tau) = \frac{(1-\tau^2)(p-\tau)^\alpha}{\tau^\alpha (\tau+a)(1-p\tau)^{\alpha+1} \sqrt{(d-\tau)(1-d\tau)}} \left( \frac{1-b\tau}{b-\tau} \right). \quad (21)$$

Для учета ориентации заготовки относительно катода введем величину  $l$ , соответствующую смещению абсциссы точки  $D$  относительно абсциссы точки  $P$  в плоскости переменной  $z$ :

$$l = L \cos \alpha\pi - x_D, \quad x_D = \text{Re}(z(d)). \quad (22)$$

Далее будем считать, что абсцисса точки  $D$  не превосходит абсциссу точки  $P$ , т. е.  $l \geq 0$ .

Для численного решения задаются геометрические величины  $\alpha, L, H_A, H_E, l$ . Параметры  $a, b, d, p$  определяются с помощью соотношений (19)–(22). Координаты точек предельной анодной границы определяются с помощью формулы (18).

**Результаты расчетов**

В качестве примера рассмотрим случай, когда  $\alpha = 1/6$  и  $L = 4,5$ . Чтобы выяснить, как влияет расположение точки  $D$  анода относительно катода на форму предельной анодной границы, зафиксируем значение величины  $H_A$  и выполним расчеты для различных значений параметра  $l$ . На Рисунке 3 представлены результаты расчета предельных анодных границ при  $H_A = 0,5$  для трех значений параметра  $l$ : 0; 0,5; 0,8.

Из представленных графиков видно, что при увеличении значения  $l$  уменьшается длина необрабатываемого участка  $CD$ , положение точки  $B$  не меняется.

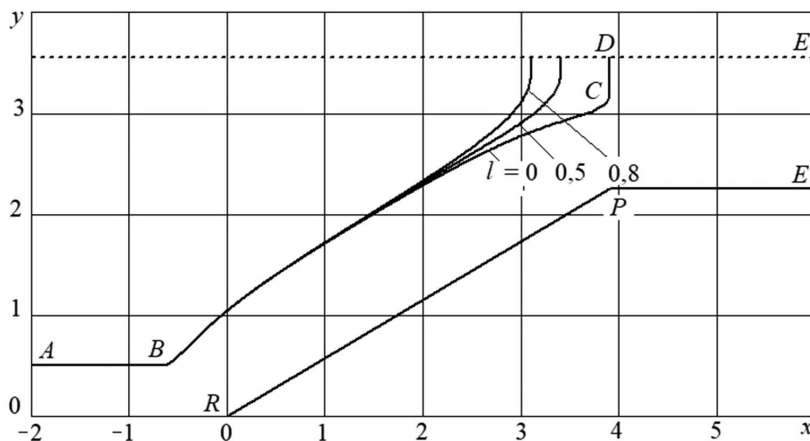


Рисунок 3. Результаты расчета предельных анодных границ

Рассмотрим следующий случай, когда положение точки  $D$  относительно катода зафиксировано, а меняется величина зазора. Выполнены расчеты при для трех значений параметра  $H_A$ . Зависимость формы предельных анодных границ для указанных случаев демонстрируется графиками, представленными на Рисунке 4.

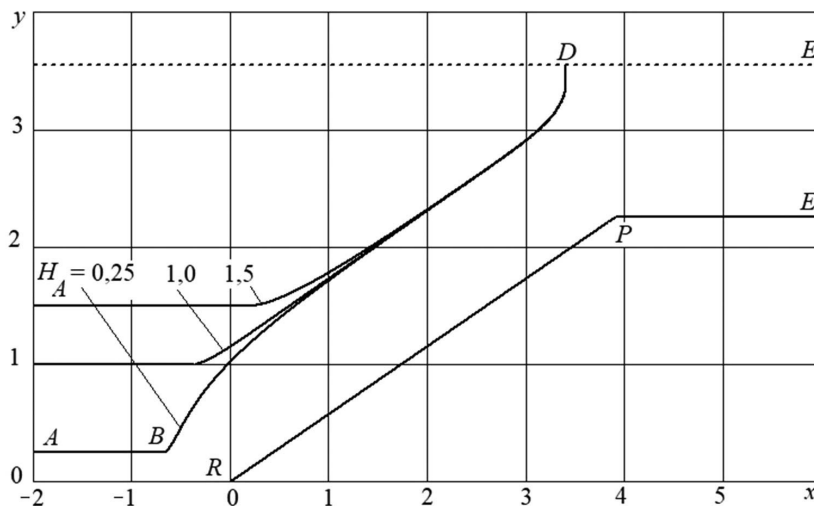


Рисунок 4. Результаты расчета предельных анодных границ

### Заключение

В работе на основе методов теории струй идеальной несжимаемой жидкости с применением гидродинамической интерпретации решена задача расчета предельной формы анодной границы, получаемой при электрохимической заточке режущего инструмента. Анализ полученных результатов позволяет сделать выводы о влиянии геометрических характеристик электрода-инструмента на форму затачиваемой поверхности.

### Литература

1. Седыкин Ф.В. Размерная электрохимическая обработка деталей машин. Москва : Машиностроение, 1976. 304 с.
2. Wilson J.F. Practice and theory of electrochemical machining. R.E. Krieger Publishing Company. 1982. 252 p. ISBN 0898742293.
3. Щербак М.В., Толстая М.А., Анисимов А.П., Постаногов В.Х. Основы теории и практики электрохимической обработки металлов и сплавов. Москва : Машиностроение, 1981. 263 с. EDN YQGKCO.
4. Давыдов А.Д., Козак Е. Высокоскоростное электрохимическое формообразование. Москва : Наука, 1990. 272 с.
5. Rajurkar K.P., Sundaram M.M., Malshe A.P. Review of electrochemical and electrodischarge machining // Procedia CIRP. 2013. Vol. 6. P. 13–26. DOI: 10.1016/j.procir.2013.03.002
6. Крылов А.А. Задача Коши для уравнения Лапласа в теории электрохимической обработки металлов // Доклады АН СССР. 1968. Т. 178. № 2. С. 321–323. URL: <https://www.mathnet.ru/rus/dan33605> (дата обращения: 28.11.2025).

## Об одной задаче электрохимической заточки режущих инструментов

7. Каримов А.Х., Клоков В.В., Филатов Е.И. Методы расчета электрохимического формообразования. Казань : Изд-во Казанского университета. 1990. 386 с. ISBN 5-7464-0170-6.
8. Клоков В.В. Обратные задачи предельной электрохимической обработки // Труды семинара по краевым задачам. 1976. Вып. 13. С. 151–162. URL: <https://www.mathnet.ru/rus/kukz350> (дата обращения: 28.11.2025).
9. Житников В.П., Ошмарина Е.М., Федорова Г.И. Точные решения двух задач предельного квазистационарного электрохимического формообразования // Известия высших учебных заведений. Математика. 2011. № 12. С. 21–30. EDN OGYXXJ.
10. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. Москва : Наука, 1987. 688 с.
11. Миназетдинов Н.М. Об одной предельной квазистационарной задаче электрохимической обработки металлов // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2021. № 3. С. 22–29. DOI: 10.255856/RNU.V9187.21.03.P.022. EDN XZLAEC.
12. Миназетдинов Н.М. Электрохимическая обработка металлов неподвижным катодом-инструментом // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2024. № 2. С. 3–9. DOI: 10.18137/RNU.V9187.24.02.P.3. EDN KWQNXR.
13. Миназетдинов Н.М. Гидродинамическая интерпретация одной задачи теории размерной электрохимической обработки металлов // Прикладная математика и механика. 2009. Т. 73. Вып. 1. С. 60–68. EDN JWLMMN.
14. Гуревич М.И. Теория струй идеальной жидкости. 2-е изд. Москва : Наука, 1979. 536 с.
15. Киселёв О.М., Котляр Л.М. Нелинейные задачи теории струйных течений тяжелой жидкости. Казань : Изд-во Казанского ун-та, 1978. 156 с.

## References

1. Sedykin F.V. (1976) *Razmernaya elektrokhimicheskaya obrabotka detalei mashin* [Electrochemical dimensional machining of machine parts]. Moscow : Mashinostroenie Publ. 304 p. (In Russian).
2. Wilson J.F. (1982) *Practice and theory of electrochemical machining*. R.E. Krieger Publishing Company. 252 p. ISBN 0898742293.
3. Shcherbak M.V., Tolstaya M.A., Anisimov A.P., Postanogov V.Kh. (1981) *Osnovy teorii i praktiki elektrokhimicheskoi obrabotki metallov i splavov* [Fundamentals of theory and practice of electrochemical processing of metals and alloys]. Moscow : Mashinostroenie Publ. 263 p. (In Russian).
4. Davydov A.D., Kozak E. (1990) *Vysokoskorostnoe elektrokhimicheskoe formoobrazovanie* [High-Speed Electrochemical Shaping]. Moscow : Nauka Publ. 272 p. (In Russian).
5. Rajurkar K.P., Sundaram M.M., Malshe A.P. (2013) Review of electrochemical and electrodischarge machining. *Procedia CIRP*. 2013. Vol. 6. Pp. 13–26. DOI: 10.1016/j.procir.2013.03.002
6. Krylov A.L. (1968) Cauchy problem for Laplace's equation in the theory of electrochemical processing of metal. *Doklady Akademii Nauk SSSR* [Reports of the USSR Academy of Sciences]. Vol. 178. No. 2. Pp. 321–323. URL: <https://www.mathnet.ru/rus/dan33605> (accessed 28.11.2025). (In Russian).
7. Karimov A.Kh., Klokov V.V., Filatov E.I. (1990) *Metody rascheta elektrokhimicheskogo formoobrazovaniya* [Methods of Calculating Electrochemical Shaping]. Kazan : Kazan University. 386 p. ISBN 5-7464-0170-6. (In Russian).
8. Klokov V.V. (1976) Inverse problems of limit electrochemical processing. *Trudy seminara po kraevym zadacham* [Proceedings of the seminar on boundary value problems]. Issue 13. Pp. 151–162. URL: <https://www.mathnet.ru/rus/kukz350> (accessed 28.11.2025). (In Russian).
9. Zhitnikov V.P., Oshmarina E.M., Fedorova G.I. (2011) Exact solutions of two limiting quasistationary electrochemical shaping problems. *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedenii. Matematika* [News of Higher

Education Institutions. Mathematics]. Vol. 55. No. 12. Pp. 16–22. DOI: 10.3103/S1066369X11120036 (In Russian).

10. Lavrentiev M.A., Shabat B.V. (1987) *Metody teorii funktsii kompleksnogo peremennogo* [Methods of the Theory of Functions of a Complex Variable]. Moscow : Nauka Publ. 688 p. (In Russian).

11. Minazetdinov N.M. (2021) One limiting quasistatoinary problem of electrochemical machining of metals. *Vestnik of Russian New University. Series Complex systems: Models, analysis, management*. No. 3. Pp. 22–29. DOI: 10.255856/RNU.V9187.21.03.P.022. (In Russian).

12. Minazetdinov N.M. (2024) Electrochemical machining of metals with motionless cathode-tools. *Vestnik of Russian New University. Series Complex systems: Models, analysis, management*. No. 2. Pp. 3–9. DOI: 10.18137/RNU.V9187.24.02.P.3 (In Russian).

13. Minazetdinov N.M. (2009) A hydrodynamic interpretation of a problem in the theory of the dimensional electrochemical machining of metals. *Prikladnaya Matematika i Mekhanika* [Applied Mathematics and Mechanics]. Vol. 73. No. 1. Pp. 60–68. (In Russian).

14. Gurevich M.I. (1979) *Teoriya strui ideal'noi zhidkosti* [The Theory of Jets in an Ideal Fluid]. 2<sup>nd</sup> edition. Moscow : Nauka Publ. 536 p. (In Russian).

15. Kiselev O.M., Kotlyar L.M. (1978) *Nelineinye zadachi teorii struinykh techenii tyazheloi zhidkosti* [Nonlinear problems of the theory of jet streams of heavy liquid.] Kazan : Kazan University. 156 p. (In Russian).

Поступила в редакцию: 03.02.2026

Received: 03.02.2026

Поступила после рецензирования: 27.02.2026

Revised: 27.02.2026

Принята к публикации: 12.03.2026

Accepted: 12.03.2026