

## ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ/ELECTRICAL COMPLEXES AND SYSTEMS

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.16>

### РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ОЧИСТКЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ФАРФОРА

Научная статья

Чарыков В.И.<sup>1,\*</sup>, Евдокимов А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-6434-3825;

<sup>2</sup> ORCID : 0000-0001-7818-3351;

<sup>1</sup> Курганский институт железнодорожного транспорта, филиал Уральского государственного университета путей сообщения, Курган, Российская Федерация

<sup>2</sup> Сургутский государственный университет, Сургут, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (viktor52-chimesh[at]yandex.ru)

#### Аннотация

Основными положениями производства электрических изоляторов, для достижения наилучших технико-экономических показателей, является применение современных технологических комплексов, обеспечивающих соответствие рабочих параметров данных изоляторов. В статье рассматривается дилемма очистки электротехнического фарфора от металлических включений. Предлагается разработка электромагнитного устройства (сепаратора) для очистки составляющих электротехнического фарфора от металлических включений в процессе производства. В данном устройстве ключевыми элементами являются магнитопровод, катушки и концентраторы магнитного поля. Магнитопровод, представляющий собой магнитный сердечник, служит для концентрации магнитного поля, что позволяет эффективно управлять процессами, связанными с магнитной сепарацией. Концентраторы магнитного поля усиливают магнитное воздействие на обрабатываемый материал, что особенно важно в процессах очистки. Все эти компоненты создают эффективную систему для работы с материалами, обеспечивая высокую степень очистки в процессе магнитной сепарации.

**Ключевые слова:** электротехнический фарфор, очистка, электромагнитный сепаратор, магнитная индукция, концентратор магнитного поля, магнитопровод.

### DEVELOPMENT OF AN HARDWARE TECHNOLOGICAL COMPLEX FOR THE CLEANING OF ELECTRICAL PORCELAIN

Research article

Charikov V.I.<sup>1,\*</sup>, Evdokimov A.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-6434-3825;

<sup>2</sup> ORCID : 0000-0001-7818-3351;

<sup>1</sup> Kurgan Institute of Railway Transport, branch of the Ural State University of Railway Transport, Kurgan, Russian Federation

<sup>2</sup> Surgut State University, Surgut, Russian Federation

\* Corresponding author (viktor52-chimesh[at]yandex.ru)

#### Abstract

The main provisions of the production of electrical isolators, in order to achieve the best technical and economic performance, is the use of modern technological complexes that ensure compliance with the operating parameters of these isolators. The article discusses the dilemma of cleaning electrical porcelain from metal inclusions. The development of electromagnetic device (separator) for cleaning the components of electrical porcelain from metal inclusions in the production process is suggested. In this device, the key elements are a magnet wire, coils and magnetic field concentrators. The magnetic conductor, which is a magnetic core, serves to concentrate the magnetic field, which allows effective control of the processes associated with magnetic separation. Magnetic field concentrators enhance the magnetic effect on the material to be treated, which is particularly important in cleaning processes. All these components create an efficient system for handling materials, ensuring a high degree of purification in the magnetic separation process.

**Keywords:** electrotechnical porcelain, cleaning, electromagnetic separator, magnetic induction, magnetic field concentrator, magnetic conductor.

#### Введение

Современный рынок электромагнитных сепараторов и прогноз продемонстрировал ускоренный рост за последние годы, и ожидается, что эта позитивная тенденция сохранится в период с 2026 по 2033 годы. Стабильно высокий спрос со стороны потребителей и непрерывные инновации способствуют устойчивому росту рынка на протяжении всего прогнозируемого периода.

В современных системах, предназначенных для очистки составляющих электротехнического фарфора, активно применяются устройства, осуществляющие электромагнитную сепарацию.

Исследования, проведенные как российскими, так и зарубежными учеными и представленные в обширной технической литературе, стали основой для значительных успехов в разработке технологий электромагнитной сепарации твердых и жидких веществ [1].

В настоящее время доступны методики проектных расчетов, которые дают возможность заранее установить важнейшие характеристики устройств, нужные для их глубокой проработки и производства с учетом первоначальных условий. Окончательный выбор в пользу разработки определенного механизма должен опираться на математические модели, с учетом опыта и знаний разработчика.

Цель — разработать методологию инженерного расчета и предложить конструкцию электромагнитного сепаратора, как основной составляющей аппаратно-технологического комплекса по очистке электротехнического фарфора.

Задачи:

- 1) разработать методологию инженерного расчета рабочего элемента электромагнитного сепаратора;
- 2) разработать конструкцию электромагнитного сепаратора по очистке составляющих электротехнического фарфора.

### **Методы и принципы исследования**

Основная задача данной работы заключается в оптимизации рабочего элемента электромагнитного сепаратора, оценка которого позволяет определить степень очистки жидкой составляющей электротехнического фарфора от металлических примесей [2].

Для этого требуется установить определенные параметры и безразмерные коэффициенты для предварительного анализа:

1. Ожидается, что катушка будет работать в соответствии с нормальными условиями, имея сложную структуру и защищенную изоляцию (класс изоляции В). Допустимые пределы повышения температуры [3]:

$$Q_g = 85^{\circ}\text{C}$$

При нормальных условиях эксплуатации допустимая температура ( $Q_{o.c.} = 85^{\circ}\text{C}$ ) составляет:

$$Q_{g.m} = 85 + 35 = 120^{\circ}\text{C}.$$

2. С учетом выбранных знаний  $Q_g$  и  $Q_{g.m}$  определяются

а) коэффициент, характеризующий интенсивность теплообмена между поверхностью катушки и окружающей средой

$$\begin{aligned} H = h_{85} &= 9,3 \cdot 10^{-4} (1 + 0,0059 \cdot Q_g) = 9,3 \cdot 10^{-4} (1 + 0,0059 \cdot 85) = \\ &= 13,96 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/град} \cdot \text{см}^2 = 13,96 \text{ Вт/град} \cdot \text{м}^2 \end{aligned}$$

- б) удельное сопротивление нагретой катушки [3]:

$$\rho = \rho_{120\text{C}} = 2,44 \cdot 10^{-2} \Omega \text{М} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$$

в) учитывая способ, в котором катушка была намотана, мы принимаем значение  $\alpha=1,73$  [2].

3. Значение коэффициентов, не имеющих размерности, принимаются [3]:

$$n = 0,9; \tau = 1,6; \beta = 4,2; m = \beta \cdot n = 4,2 \cdot 0,9 = 3,7$$

$$f = 0,55 (\text{ провод ПЭВ-2}); f = 0,6 (\text{ провод ПЭТВ});$$

$$\chi = 0,85.$$

4. Предварительный расчет общей потери магнитной энергии в стальном магнитопроводе осуществляется с помощью коэффициента  $j=0,8$  [3].

5. Определяется величина постоянной  $C_1$ :

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{2 \cdot 10^3 \rho (1+n)}{\varphi^2 \chi^2 f_3 \tau^2 m^2 n (1+2n+\alpha) h \cdot Q_g} = \\ &= \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 2,44 \cdot 10^{-2} (1+0,8)}{0,8^2 + 0,85^2 \cdot 1,6^2 \cdot 0,55 \cdot 4^2 0,8 (1+2 \cdot 0,8 + 1,7) \cdot 13,96 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-4} \cdot 85} = \frac{87,84}{4,24} = 21 \end{aligned}$$

7. Величина основной характеристики магнитного поля - индукции в зазоре составляет

$$B_0 = 0,25 \cdot 10^{-4} \text{ Вб/см}^2 = 0,25 \text{ Вб/м}^2$$

Общая критическая сила F:

$$F = \frac{B_0 r^3 c_1 \delta_0}{64 \cdot 10^{-15}},$$

где: d — величина воздушного зазора в электромагнитном сепараторе,  $d=0,03$  м.

$$F = \frac{0,25^3 \cdot 10^{-12} \cdot 1,6^3 \cdot 3}{64 \cdot 10^{-10}} = 63 \text{ кг} = 617,7 \text{ (Н)}$$

8. Определяется значение коэффициента, который учитывает «выпучивание» магнитного потока в основном промежутке между сердечниками для данного типа сердечника

$$\varepsilon^2 = 1 + \frac{2,08}{\tau \chi} = 1 + \frac{1,3}{\chi}.$$

9. Полученные значения  $C_1$  и  $\varepsilon^2$  позволяют найти определяющий размер ядра электромагнита  $d_c$  по зависимости [3]:

$$\frac{F}{\delta_0^3} = \frac{63}{9} = 7.$$

Или в соответствии с методикой [3]:

$$6 \leq x \leq 7,$$

получаем:  $x=6,5$ ;  $d_c=xd_0=6,5 \times 3=19,5 \text{ см}=0,195 \text{ м}$ .

10. Определяются размеры ядра электромагнита:

$$\begin{aligned} A &= nd_c = 0,9 \times 0,195 = 0,175 \text{ м}; \\ H &= md_c = 3,7 \times 0,195 = 0,172 \text{ м}; \\ D_n &= td_c = 1,6 \times 0,195 = 0,312 \text{ м}. \end{aligned}$$

11. Устанавливаются начальные характеристики катушки

а) требуемая магнитодвижущая сила [3]

$$I\varnothing = \frac{9 \cdot 10^2}{\varphi \chi \tau} d_c \sqrt{\frac{d_c}{c_1}} = \frac{9 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 0,85 \cdot 1,6} \cdot 19,5 \sqrt{\frac{19,5}{21}} = 15543,7 \text{ A}$$

б) Определяются основные характеристики обмоточного провода — сечение и диаметр [2]:

$$S_M = \frac{\rho(1+n)}{U\varphi\chi\tau} d_c \cdot \sqrt{\frac{d_c}{c_1}} = \frac{2,44 \cdot 10^{-2} \cdot (1+0,9) \cdot 0,195^2}{220 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1,6} \sqrt{\frac{0,195}{21}} = 0,71 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$d = \sqrt{\frac{S_M \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,71 \cdot 4}{3,14}} = 0,95 \text{ мм}$$

Выбирается наиболее подходящий по размеру провод марки ПЭТВ [3]:

диаметр меди-  $d=0,96 \text{ мм}$ ;

диаметр по изоляции  $-d_i = 1,02 \text{ мм}$ ;

сечение меди  $-S=0,724 \text{ мм}^2$ .

г) Определяется число витков одной катушки:

$$\omega = \frac{f_3 A \cdot H}{S_M} = \frac{0,6 \cdot 0,175 \cdot 0,172}{0,724 \cdot 10^{-6}} = 25000 \text{ витков.}$$

12. Исходя из предварительных расчетов и выбранной формы электромагнита, выполняется эскизная проработка конструкции, с учетом требований к ее технологичности и надежности в эксплуатации. Уточняются геометрические размеры магнитопровода и катушки, учитывая округление до конструктивных размеров и использование доступных материалов.

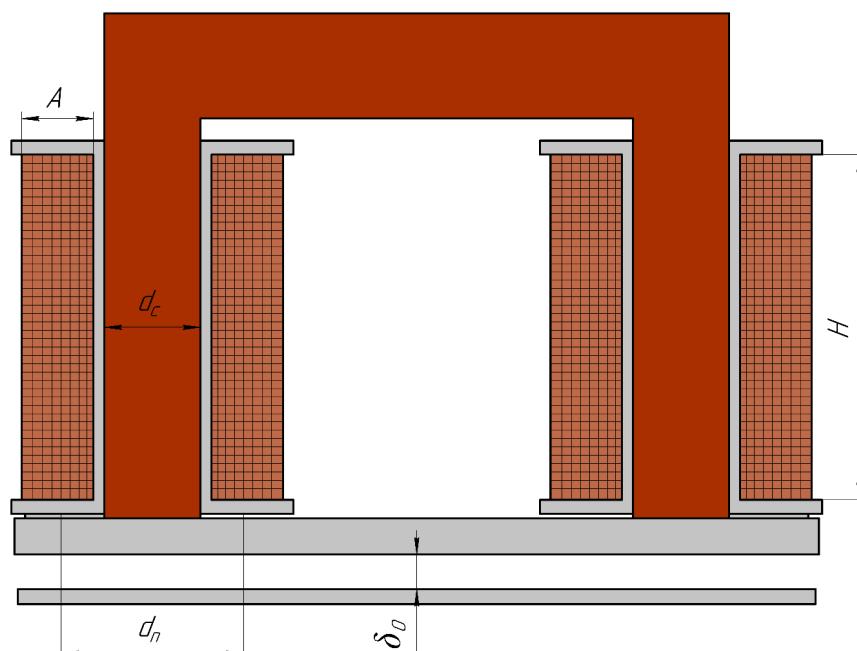


Рисунок 1 - Проектный эскиз электромагнита  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.16.1>

13. Для определения индукции в основном зазоре в наиболее удаленной точке, необходимо найти ее значение в этой точке. Для этого определяются:

$$\chi = \frac{d_c}{\delta_0} = \frac{0,195}{0,03} = 6,5$$

$$\varepsilon' = \sqrt{1 + \frac{2,8}{1,6 \cdot 6,5}} = 1,12$$

и, следовательно, по [3], [4]:

$$B'_0 = \frac{\sqrt{F} \cdot 10^{-4}}{\tau \varepsilon' d_c} = \frac{\sqrt{63} \cdot 10^{-4}}{1,6 \cdot 1,12 \cdot 19,5} = 0,227 \cdot 10^{-4} = 0,227 \text{ Вт/м}^2.$$

14. Проводимость основного зазора

$$G_0 = \frac{\mu_0 \pi \cdot d_0^2}{4 \delta_0} = \frac{\mu_0 \pi (\varepsilon' \tau d_c)^2}{4 \delta_0} = \frac{1,25 \cdot 10^{-4} \cdot 3,14 (1,12 \cdot 1,6 \cdot 0,195)^2}{4 \cdot 0,03} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Сим.}$$

15. Проводимость нерабочего зазора между полюсным наконечником и сердечником:

$$G_{\text{Н.р.}} = \frac{\mu_0 \pi d_c^2}{4 \Delta_{\text{Н.р.}}} = \frac{1,25 \cdot 10^{-6} \cdot 3,14 \cdot 0,195^2}{4 \cdot 5 \cdot 10^{-5}} = 7,46 \cdot 10^{-6} \text{ Сим.}$$

16. Используя значения  $G_0$  и  $G_{\text{Н.р.}}$ , учитывая последовательное прохождение потока через два нерабочих зазора, вычисляется нормированная проводимость:

$$G = \frac{1}{2} = \frac{G_0 G_{\text{н.п.}}}{G_0 + G_{\text{н.п.}}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot 746}{4 + 746} \cdot 10^{-6} = 1,92 \cdot 10^{-6}.$$

17. Определяется удельная проводимость утечки  $g$ , проводимость утечки, коэффициент утечки для П-образного магнитопровода с двумя катушками [4], [5]:

$$g = \mu_0 \left( \frac{\tau}{2n} + \frac{1}{n + 0,78} \right) = 1,25 \cdot 10^{-6} \left( \frac{1,6}{2 \cdot 0,9} + \frac{1}{0,9 + 0,78} \right) = 1,84 \cdot 10^{-6}.$$

$$G_y = \frac{gH}{2} = \frac{1,84 \cdot 10^{-2} \cdot 0,172}{2} = 0,16 \cdot 10^{-6} \text{ Сим.}$$

$$\sigma = 1 + \frac{G_y}{G} = 1 + \frac{0,16 \cdot 10^{-6}}{1,98 \cdot 10^{-6}} = 1,08.$$

18. Расчет среднего значения индукции в стали сердечника:

$$B_c = B_0 \sigma (\epsilon' \cdot \tau)^2 = 0,227 \cdot 1,08 (1,12 \cdot 1,6)^2 = 0,78 B_0 / \text{м}^2.$$

19. Определяется магнитодвижущая сила (м.д.с.) для участков двух нерабочих зазоров:

$$(I\omega)_{\text{н.п.}} = 2\Delta_{\text{н.п.}} \frac{B_0}{\mu_0} = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \frac{0,227}{1,25 \cdot 10^{-4}} = 820 \text{ А.}$$

20. М.д.с., которая требуется для проведения потока на участках двух рабочих зазоров:

$$(I\omega)_0 = 2\delta_0 \frac{B_0}{\mu_0} = 2 \cdot 0,03 \frac{0,227}{1,25 \cdot 10^{-6}} = 10896 \text{ А.}$$

21. Для того чтобы провести поток по стали, необходимо вычислить минимально допустимую силу магнитного поля, используя значения  $B_o$  и  $B_c$ , которые были получены из эскиза магнитопровода сепаратора и учитывая наличие полюсных наконечников и кривую намагничивания материала, примененного в конструкции материала [4], [5], [6].

Для низкоуглеродистой электротехнической стали результаты расчета сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Результаты расчета для низкоуглеродистой электротехнической стали

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.16.2>

Участок	Длина участка, м	Удельная м.д.с., А/м	М.д.с. участка, А
Магнитопровод	1,5	180	270
Полюсные наконечники, сталь лотка	0,16	180	30

22. Полная магнитодвижущая сила равна:

$$(I\omega)' = (I\omega)_0 + (I\omega)_{\text{н.п.}} + (I\omega)_{cm} = 10896 + 820 + 300 = 12016 \text{ А.}$$

23. Сравнение двух м.д.с. позволяет уточнить характеристики провода и количество витков катушки, сечение медного провода и его диаметр:

$$S'_m = S_m \frac{(I\omega)'}{(I\omega)} = 0,71 \cdot 10^{-6} \frac{12016}{15543,7} = 0,548 \cdot 10^{-6} \text{ м;}$$

$$d = \sqrt{\frac{4S'_m}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,548 \cdot 10^{-6}}{3,14}} = 0,79 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Выбирается провод с характеристиками:

$$\begin{aligned} D &= 0,8 \text{ мм}, \\ D_1 &= 0,86 \text{ мм}, \\ S_m &= 0,503 \text{ мм}^2. \end{aligned}$$

24. Коэффициент заполнения окна намотки при идеальной шахматной укладке проводов [3], [6], [7]:

$$f_3 = f_m = \frac{\pi d^2}{4d_1 \sqrt{(d_1 + \Delta)^2 - \left(\frac{d_1}{2}\right)^2}} = \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4 \cdot 0,86 \sqrt{(0,86 + 0,1)^2 - \left(\frac{0,86}{2}\right)^2}} = \frac{2,0096}{2,96} = 0,67.$$

25. Уточненное число витков:

$$\omega' = \frac{a_3 A \cdot H}{S_m} = \frac{0,67 \cdot 0,175 \cdot 0,172}{0,503 \cdot 10^{-6}} = 40093.$$

26. Активное сопротивление одной катушки, отнесенное к 0°C:

$$R_0 = \frac{10^{-4} \cdot 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot 3,14 \cdot 37}{50 \cdot 10^{-4}} \cdot 40093 = 510 \Omega$$

где:  $d_{cp}$  — средний диаметр катушки, м.

27. Потребляемая мощность:

$$P_0 = \frac{U^2}{R_0} = \frac{220^2}{510} = 95 \text{ Вт.}$$

28. Удельные потери в единице объема обмотки:

$$g_0 = \frac{P_0}{V'} = \frac{95}{0,035} = 2714 \text{ Вт/м}^3;$$

где:  $V'$  — объем обмотки.

$$V' = \pi d_{cp} \cdot A \cdot H = 3,14 \cdot 0,37 \cdot 0,175 \cdot 0,172 = 0,035 \text{ м}^3.$$

29. Определяется эквивалентный коэффициент теплопроводности обмотки.

По известному значению коэффициента заполнения  $f_3 = f_u = 0,67$  и кривым [3], [7], [8] находится, для шахматной укладки проводов, корректирующий коэффициент  $K_3=4,7$ . Затем определяем  $2\delta = d_1 - d = 0,86 - 0,8 = 0,06$ ;

$$2i = 0,5d_1 \left( 2 - 0,5\sqrt{4 - c^2} - \frac{2}{c} \arcsin \frac{c}{2} \right) = \\ = 0,5 \cdot 0,86 \left( 2 - 0,5\sqrt{4 - 0,86} - \frac{2}{0,93} \arcsin \frac{0,93}{2} \right) = 0,03 \text{мм}; \\ c = \frac{d}{d_1} = \frac{0,8}{0,86} = 0,93.$$

Выбираются по таблице [3], [8] значения коэффициентов теплопроводности изоляции провода, наполнителя и прокладки:

$$\lambda_1 = 2,5 \times 10^{-2} \text{ Вт/мм} \times \text{град};$$

$$\lambda_2 = 1,5 \times 10^{-2} \text{ Вт/мм} \times \text{град};$$

$$\lambda_3 = 1,25 \times 10^{-2} \text{ Вт/мм} \times \text{град}.$$

30. Определяется приведенный коэффициент

$$\lambda_u = \frac{2\delta + 2i + \Delta}{\frac{2\delta}{\lambda_1} + \frac{2i}{\lambda_2} + \frac{\Delta}{\lambda_3}} = \frac{0,06 + 0,03 + 0,1}{\frac{0,06}{2,5 \cdot 10^{-2}} + \frac{0,03}{1,5 \cdot 10^{-2}} + \frac{0,1}{1,25 \cdot 10^{-2}}} = 0,15 \text{ Вт/мм} \cdot \text{град}.$$

и эквивалентный коэффициент теплопроводности обмотки:

$$\lambda = K_3 \cdot \lambda_u = 4,7 \cdot 0,15 = 0,705 \text{ т/град} \cdot \text{мм}.$$

31. Среднее  $Q_{cp}$  и максимальное  $Q_{max}$  превышение температуры

$$Q_{cp} = \frac{\omega}{3} \left( 1 - 0,98 \frac{th\gamma}{\gamma} \right)$$

$$Q_{max} = \frac{\omega}{2} \left( 1 - \frac{1,03}{ch\gamma} \right)$$

где:

$$\gamma = \frac{\pi H}{2A} = \frac{3,14 \cdot 0,172}{2 \cdot 0,175} = \frac{0,54}{0,35} = 1,54; ch1,54 = 262,89; th1,54 = 1;$$

$$\omega = \frac{q_0 A^2}{4\lambda} = \frac{2714 \cdot 0,175^2}{4 \cdot 0,705 \cdot 10^{-3}} = 29,76 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/град} \cdot \text{м} = 29,76 \text{ Вт/град} \cdot \text{мм};$$

$$Q_{cp} = \frac{29,76}{3} \left( 1 - 0,98 \frac{1}{1,54} \right) = 3,6^\circ\text{C};$$

$$Q_{max} = \frac{29,76}{3} \left( 1 - \frac{1,03}{262,89} \right) = 9,87^\circ\text{C}.$$

32. Рассчитывается превышение температуры на поверхности катушки

$$Q_n = 84,5 \left[ \sqrt{1 + 25,4 \left( \frac{P}{S_{ox}} \right)} - 1 \right]$$

где:  $S_{ox} = \pi H (D_n + \alpha D_B) = 3,14 \cdot 17,2 (32 + 1,7 \cdot 18,4) = 3417,6 \text{ см}^2 = 0,34176 \text{ м}^2$

$$Q_n = 84,5 \left[ \sqrt{1 + 25,4 \left( \frac{95}{3417,6} \right)} - 1 \right] = 35,8^\circ\text{C}.$$

33. Определяются  $Q_{cp}$  и  $Q_n$  с учетом окружающей среды:

$$Q_{нагр.} = Q_n + Q_{о.с.} = 35,8 + 35 = 70,8^\circ\text{C};$$

$$Q_{cp} = Q_{cp} + Q_{нагр.} = 3,6 + 70,8 = 74,4^\circ\text{C}.$$

34. Определяются  $R$ ,  $I$ ; м.д.с:

$$R = R_0 (1 + \alpha Q_{cp}) = 510 (1 + 0,0039 \cdot 74,4) = 658 \Omega;$$

$$(\alpha = 3,9 \cdot 10^{-3});$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{658} = 0,33 A;$$

$$(I\omega)_2 = \omega' \cdot I = 40093 \cdot 0,33 = 13230 A.$$

35. Определяется потребляемая мощность:

$$P = U \cdot I = 220 \cdot 0,33 = 72,6 \text{ Вт}$$

36. Определяется размер провода по длине:

$$\ell = \pi \frac{D_H + D_\theta}{2} \omega' = 3,14 \frac{32 + 18,4}{2} \cdot 40093 = 31724 \text{ м}$$

37. Окончательная масса меди:

$$G_M = \gamma_M \cdot \ell \cdot S_M = 0,89 \cdot 3172400 \cdot 0,503 \cdot 10^{-2} = 142011, \text{ г} = 14,2 \text{ кг}.$$

## Результаты исследования и обсуждение

Электромагнитный сепаратор представлен на рисунке 2 [9], [10], [11].

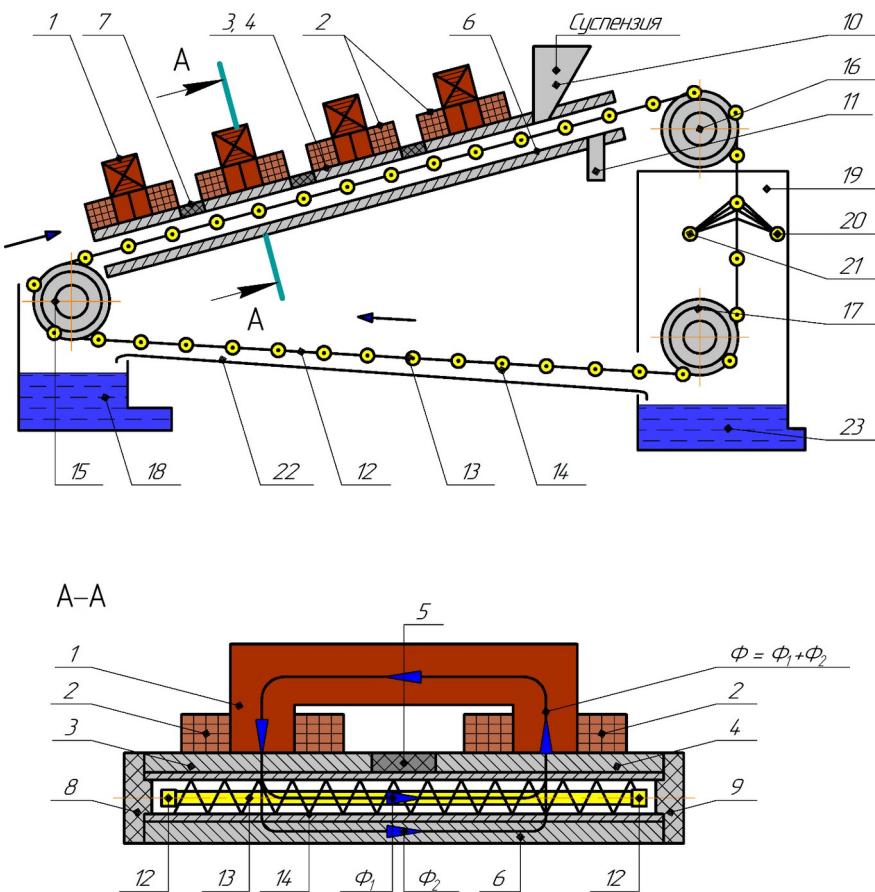


Рисунок 2 - Электромагнитный сепаратор УМС-1М  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.16.3>

**Примечание:** 1 – магнитопровод; 2 – катушки; 3 и 4 – полюсные наконечники; 5 и 7 – немагнитные вставки; 6 – нижняя плита; 8 и 9 – немагнитные стенки; 10 – загрузочное устройство; 11 – устройство крепления; 12 – цепи; 13 – штанги; 14 – концентраторы магнитного поля; 15, 16, 17 – зубчатые барабаны; 18 – ванна; 19 – кабина для форсунок; 20, 21 – форсунки; 22 – наклонный поддон; 23 – водосборник

В данном устройстве, которое используется для обработки материалов с помощью магнитного поля, ключевыми элементами являются магнитопровод (1) и катушки (2). Магнитопровод, представляющий собой магнитный сердечник, служит для концентрации магнитного поля, что позволяет эффективно управлять процессами, связанными с магнитной сепарацией.

Полюсные наконечники, обозначенные как 3 и 4, играют важную роль в формировании и направлении магнитного потока, позволяя ему равномерно распределяться по всему рабочему объему устройства. Немагнитные вставки (5 и 7) используются для изоляции магнитных компонентов и предотвращения ненужных магнитных утечек, что также способствует повышению производительности.

Нижняя плита (6) и немагнитные стенки (8 и 9) обеспечивают структурную целостность устройства и защищают его внутренние компоненты от внешних воздействий. Загрузочное устройство (10) предназначено для подачи обрабатываемого материала в систему. Устройство крепления (11) фиксирует все элементы конструкции, обеспечивая их надежное соединение.

Цепи 12 одеты на зубчатые барабаны: натяжной 15, приводной 16 и отклоняющий 17, выполняют функцию вращения или перемещения материала, что обеспечивает его равномерное распределение в магнитном поле сепаратора. Привод цепи осуществляется от электродвигателя с редуктором (на схеме не показан). Штанги (13) могут использоваться для поддержания и стабилизации различных компонентов устройства.

Концентраторы магнитного поля (14) усиливают магнитное воздействие на обрабатываемый материал, что особенно важно в процессах очистки. Ванна (18) служит для сбора жидкости или других материалов, которые могут использоваться в процессе очистки шлифера. Кабина для форсунок (19) и сами форсунки (20 и 21) предназначены для распыления жидкости.

Наклонный поддон (22) помогает в сборе и отводе жидкости, а водосборник (23) собирает излишки воды или других веществ, предотвращая их попадание в окружающую среду.

Все эти компоненты создают эффективную систему для работы с материалами, обеспечивая высокую степень очистки в процессе магнитной сепарации.

### Заключение

Разработанная методика инженерного расчета позволяет спроектировать электромагнитную установку с заданными параметрами последующей разработкой аппаратно-технологического комплекса по очистке составляющих электротехнического фарфора от металлических примесей.

Основой комплекса является электромагнитный сепаратор УМС -1М, производительность которого составляет 5600 л/ч; мощность 1.5 кВт; масса 1700 кг; магнитная индукция в рабочей зоне 300 мТл.

Научная новизна — предложена конструкция электромагнитного сепаратора, обеспечивающего совершенствование технологии очистки составляющих электротехнического фарфора за счет использования оригинальных концентраторов магнитного поля.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Новые изобретения российских авторов: информационный портал российских изобретателей. — URL: <http://bankpatentov.ru/node/286278> (дата обращения: 21.03.2025).
2. Евдокимов А.А. Теоретическое обоснование критерия эффективности извлечения ферромагнитных частиц из потока жидкости в электромагнитном сепараторе УМС-4М / А.А. Евдокимов, В.И. Чарыков // Вестник Алтайского ГАУ. — 2013. — № 9 (107). — С. 106–110.
3. Любчик М.А. Оптимальное проектирование силовых электромагнитных механизмов / М.А. Любчик. — Москва: Энергия, 1974. — 392 с.
4. Бодякшин А.И. Метод расчета магнитных полей / А.И. Бодякшин. — Москва: Наука, 1968. — 53 с.
5. Чарыков В.И. Распределение магнитной индукции в межполюсном зазоре сепаратора / В.И. Чарыков // Вестник ЧГАУ. — Т. 39. — С. 81.
6. Андреева Е.Г. Математическое моделирование электротехнических комплексов: монография / Е.Г. Андреева, В.З. Ковалев; под общ. ред. Ю.З. Ковалёва. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 1999. — 172 с.
7. Буль О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов: учеб. пособие для вузов / О.Б. Буль. — Москва: Академия, 2005. — 335 с.
8. Новиков Ю.Н. Теория и расчет электрических аппаратов / Ю.Н. Новиков. — Ленинград: Энергия, 1970. — 327 с.
9. Сумцов В.Ф. Электромагнитные железоотделители / В.Ф. Сумцов. — Москва: Машиностроение, 1981. — 212 с.
10. Нейман Л.А. К оценке выбора типа электромагнита по значению конструктивного фактора / Л.А. Нейман, А.А. Петрова, В.Ю. Нейман // Известия вузов. Электромеханика. — 2012. — № 6. — С. 62–64.
11. Зуев В.С. Электромагнитные сепараторы: теория, конструкция / В.С. Зуев, В.И. Чарыков. — Курган: Зауралье, 2002. — 178 с.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Novye izobretenija rossijskikh avtorov: informacionnyj portal rossijskikh izobretatelej [New inventions by Russian authors: Information portal of Russian inventors]. — URL: <http://bankpatentov.ru/node/286278> (accessed: 21.03.2025). [in Russian]
2. Evdokimov A.A. Teoreticheskoe obosnovanie kriterija effektivnosti izvlechenija ferromagnitnyh chastic iz potoka zhidkosti v jelektromagnitnom separator UMS-4M [Theoretical justification of the efficiency criterion for extracting ferromagnetic particles from a liquid flow in the UMS-4M electromagnetic separator] / A.A. Evdokimov, V.I. Charykov // Vestnik Altajskogo GAU [Bulletin of Altai State Agricultural University]. — 2013. — № 9 (107). — P. 106–110. [in Russian]
3. Ljubchik M.A. Optimal'noe proektirovanie silovyh jelektromagnitnyh mehanizmov [Optimal design of power electromagnetic mechanisms] / M.A. Ljubchik. — Moscow: Jenergija, 1974. — 392 p. [in Russian]
4. Bodjakshin A.I. Metod rascheta magnitnyh polej [Method for calculating magnetic fields] / A.I. Bodjakshin. — Moscow: Nauka, 1968. — 53 p. [in Russian]
5. Charykov V.I. Raspredelenie magnitnoj indukcii v mezhpolygonom zazore separatoria [Distribution of magnetic induction in the interpo lar gap of a separator] / V.I. Charykov // Vestnik ChGAU [Bulletin of Chelyabinsk State Agricultural University]. — Vol. 39. — P. 81. [in Russian]
6. Andreeva E.G. Matematicheskoe modelirovanie jelekrotehnicheskikh kompleksov: monografija [Mathematical modeling of electrotechnical complexes: Monograph] / E.G. Andreeva, V.Z. Kovalev; ed. by Ju.Z. Kovalev. — Omsk: Publishing house of OmGTU, 1999. — 172 p. [in Russian]

7. Bul' O.B. Metody rascheta magnitnyh sistem jelektricheskikh apparatov: ucheb. posobie dlja vuzov [Methods for calculating magnetic systems of electrical apparatus: Textbook for universities] / O.B. Bul'. — Moscow: Akademija, 2005. — 335 p. [in Russian]
8. Novikov Ju.N. Teoriya i raschet jelektricheskikh apparatov [Theory and calculation of electrical apparatus] / Ju.N. Novikov. — Leningrad: Jenergija, 1970. — 327 p. [in Russian]
9. Sumcov V.F. Jelektromagnitnye zhelezootdeliteli [Electromagnetic iron separators] / V.F. Sumcov. — Moscow: Mashinostroenie, 1981. — 212 p. [in Russian]
10. Nejman L.A. K ocenke vybora tipa jelektromagnita po znacheniju konstruktivnogo faktora [On the evaluation of the choice of electromagnet type based on the design factor] / L.A. Nejman, A.A. Petrova, V.Ju. Nejman // Izvestija vuzov. Jelektromehanika [Proceedings of Universities. Electromechanics]. — 2012. — № 6. — P. 62–64. [in Russian]
11. Zuev V.S. Jelektromagnitnye separatory: teorija, konstrukcija [Electromagnetic separators: Theory, design] / V.S. Zuev, V.I. Charykov. — Kurgan: Zaurale, 2002. — 178 p. [in Russian]