

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ АППАРАТЫ И СИСТЕМЫ

*Методические рекомендации к курсовому проектированию  
для студентов направления подготовки  
12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»  
очной формы обучения*



Могилев 2025

УДК 620.3:620.179.14

ББК 31.22

345

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» « 1 » сентября 2025 г.,  
протокол № 1

Составитель д-р техн. наук, проф. В. А. Новиков

Рецензент канд. техн. наук, доц. Герасименко

Приведены общие и методические вопросы курсового проектирования по дисциплине.

Учебное издание

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ АППАРАТЫ И СИСТЕМЫ

## Ответственный за выпуск

А. В. Хомченко

# Korrektor

И. В. Голубцова

## Компьютерная верстка

М. М. Дударева

Подписано в печать 29.12.2025. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1,13. Тираж 16 экз. Заказ № 924.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2025

## **Содержание**

Введение.....	4
1 Общие указания.....	5
2 Расчет эффективности экранирования магнитных, электрических и электромагнитных полей.....	8
3 Технология изготовления каркасных электрических катушек.....	14
Список литературы.....	16
Приложение А. Образец оформления обложки пояснительной записки...	17
Приложение Б. Образец оформления титульного листа.....	18

## **Введение**

Целью курсовой работы является развитие навыков самостоятельной творческой работы студентов на основе знаний, полученных на лекционных, практических и лабораторных занятиях по курсу «Электромагнитные аппараты и системы», при изучении других профилирующих и общеинженерных дисциплин, а также в ходе производственной практики.

Основными задачами работы являются:

- закрепление и углубление теоретических знаний по курсу «Электромагнитные аппараты и системы», необходимых для создания аппаратуры, новых способов и разработки новых методик для медицинских и экологических целей;
- развитие критического подхода при выборе основных направлений решения задачи;
- приобретение навыков комплексного решения задач модернизации или разработки деталей и узлов приборов;
- развитие навыков самостоятельной работы с научно-методической литературой;
- знакомство с передовыми достижениями науки и техники в СНГ и в дальнем зарубежье;
- использование вычислительной техники для решения конкретных задач.

## 1 Общие указания

### 1.1 Тематика курсовых работ

Темой курсовых работ могут быть расчет и разработка вспомогательных технических средств для медицинской диагностики, терапии, проведения научных исследований над медицинскими препаратами, а также различными биологическими объектами.

Курсовая работа может быть посвящена как разработке новых, так и совершенствованию уже существующих устройств, приспособлений, приборов, преобразователей для электромагнитной терапии или диагностики. Работа может быть посвящена как разработке новой, так и усовершенствованию существующей конструкции технического средства.

Примером тем курсовых работ могут быть:

- разработка устройства для импульсной магнитно-электрической обработки биологических объектов;
- разработка макета фильтра для очистки крови при ее заражении;
- разработка и исследование сканирующего емкостного преобразователя для контроля электрофизических свойств воды и водных растворов;
- расчет эффективности экранирования магнитных, электрических и электромагнитных полей и разработка экранов для конкретных случаев;
- совершенствование индукторов для аппарата импульсной терапии «СЕТА-Д».

### 1.2 Исходные данные к работе

Задание на выполнение курсовой работы содержит: формулировку темы работы; исходные данные для ее выполнения; перечень вопросов, подлежащих освещению; перечень графического материала; указание сроков выдачи задания и защиты работы. Задание подписывается руководителем работы и студентом. Задание выдается в течение первой недели семестра.

Исходными данными работы могут быть:

- назначение разрабатываемого устройства;
- условия эксплуатации (температура окружающей среды, давление, влажность);
- диапазон параметров напряжения, тока, магнитной индукции, напряженности электрического поля;
- геометрические и механические параметры, эксплуатационные характеристики;
- указание на применяемые материалы.

### **1.3 Структура, объем и содержание курсовой работы**

Курсовая работа включает пояснительную записку и графическую часть. Графическая часть может содержать результаты патентного поиска, методики выполненных расчетов, графики расчетных или экспериментальных зависимостей, полученных студентом, чертежи разработанных устройств, принципиальные электрические схемы, чертежи приборов и т. д.

Пояснительная записка должна содержать титульный лист, задание, содержание, введение, основную часть, заключение, список использованных источников, приложения. В пояснительной записке должны прослеживаться четкость, логическая последовательность изложения материала, правильность формулировок, конкретика при изложении материала, доведенные до конца доказательства, выводы.

Примерное содержание пояснительной записи указано ниже.

*Введение.* В этом разделе отражается актуальность темы, кратко описывается современное состояние вопроса, высказывается рабочая гипотеза, намечаются пути решения задачи.

*Анализ современных технических средств, методик расчета, проведения экспериментов, выбор предпочтительных.* В этом разделе по результатам патентных исследований и литературных источников рассматривают современные методики и устройства. Отмечают их достоинства и недостатки. Анализируют их применительно к возможности использования для решения настоящей задачи. По результатам этого анализа делают выводы, которые обусловливают проведение основных исследований.

*Основная часть.* В основной части выполняют основные расчеты, приводят и описывают их результаты, разрабатывают принципиальные электрические схемы приборов, приводят разводку плат, выполняют чертежи разработанных устройств, описывают принцип их действия, при необходимости описывают технологию изготовления. Если устройства будут наблюдаться визуально в процессе их эксплуатации, то нужно их спроектировать с учетом требований эргономики, удобства эксплуатации, транспортировки.

*Заключение.* В заключении необходимо привести выводы по результатам проведенных работ. Выводы должны быть конкретными, они не должны подменяться аннотацией, т. е. перечислением выполненных работ.

*Список литературных источников* должен содержать перечень патентов на изобретения, полезные модели, промышленные образцы, литературу, нормативно-технические документы. Он составляется в соответствии с требованиями, предъявляемыми ГОСТ 7.12003 *Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.*

*Приложения.* В этот раздел вносят материалы, которые не вошли в основную часть: ведомости спецификаций чертежей, программы и результаты расчета на ЭВМ, копии актов об использовании разработок, акты

производственных испытаний, графики, таблицы, алгоритмы, не включенные по каким-либо причинам в основную часть, и т. д.

Объем пояснительной записи составляет 30–40 страниц.

## *1.4 Оформление курсовой работы*

Пояснительная записка оформляется на листах писчей бумаги формата А4 на одной стороне и должна соответствовать ГОСТ 2.105–95. На каждом листе оставляются поля: слева – 30 мм, справа – 10 мм, сверху и снизу – 20 мм. Пояснительная записка выполняется машинописным или рукописным способом пастами или чернилами темных цветов, разборчивым почерком. Изложение должно вестись ясным, технически грамотным языком, сокращения допускаются только общепринятые. Заголовки должны выделяться. Оформление списка литературы должно соответствовать ГОСТ 7.2–2003. Использованные источники следует располагать в порядке появления ссылок в тексте записи. Использованные в работе физические величины должны быть выражены в СИ согласно ГОСТ 8.417–2002. Все графические материалы работы должны соответствовать требованиям ЕСКД.

Список использованных источников должен содержать лишь те, на которые есть ссылки в тексте записи. Оформление списка должно выполняться в соответствии с требованиями, предъявляемыми ГОСТ 7.1–2003.

В этот раздел вносят материалы, которые не вошли в основную часть: ведомости спецификаций чертежей, программы и результаты расчета на ЭВМ, копии актов об использовании разработок, акты производственных испытаний, графики, таблицы, алгоритмы, не включенные по каким-либо причинам в основную часть, и т. д. Графические материалы курсовой работы должны соответствовать требованиям ЕСКД.

## *1.5 Защита курсовой работы*

Пояснительная записка и графическая часть выполненной курсовой работы сдаются руководителю на проверку не позднее чем за 3 дня до установленного срока защиты. После проверки курсовая работа может быть представлена к защите. Пояснительная записка, чертежи и ведомости спецификаций должны быть подписаны автором и руководителем.

Защита курсовой работы является заключительным этапом и призвана помочь студентам научиться кратко и четко излагать свои мысли, вести деловые дискуссии, умело держать себя перед аудиторией. Защита производится перед комиссией в составе 2–3 преподавателей кафедры. Общее время, отводимое для приема работы, – 20–25 минут, из которых 8–10 минут предоставляются студенту для доклада, остальные – для ответов на вопросы. При оценке работы учитываются качество, полнота и самостоятельность выполнения поставленной задачи, четкость сообщения, сделанного студентом,

и его ответы на вопросы, качество оформления графической части и пояснительной записи (обоснованность решений, техническая грамотность изложения материала, правильность расчетов, строгость допущений), работа с литературой.

Запись студентов на защиту производится заранее, в соответствии с указанным графиком работы комиссии.

## **2 Расчет эффективности экранирования магнитных, электрических и электромагнитных полей**

Электромагнитные экраны применяются в радиоэлектронных аппаратах медицинской техники для защиты чувствительных элементов и узлов от внешних и внутренних электромагнитных помех. При этом различают следующие виды экранирования:

- экранирование электрического поля (поле в ближней зоне излучения от источника, эквивалентного электрическому диполю);
- экранирование магнитостатического поля (поле в ближней зоне излучения от источника, эквивалентного магнитному диполю – рамке с током);
- экранирование электромагнитного поля (поле в ближней и дальней зонах излучения от любых других электромагнитных источников энергии).

При экранировании *внутри блоков* радиоэлектронной аппаратуры вследствие относительно небольших расстояний между источниками и приемниками помех речь идет, как правило, об экранировании электро- или магнитостатических полей. Известно, что эффективность магнитостатического экрана значительно ниже, чем электростатического. Поэтому наибольшую сложность представляет защита от магнитостатических полей.

Область пространства вокруг условного излучателя электромагнитной помехи делится на ближнюю ( $r \leq \lambda/2\pi$ ) и дальнюю ( $r \geq \lambda/2\pi$ ) зоны, где  $r$  – расстояние от излучателя до экрана;  $\lambda$  – длина волны помехи. Если излучатель может быть представлен в виде электрического диполя, то в ближней зоне существенно преобладает электрическое поле, в случае представления излучателя рамкой с током – в ближней зоне преобладает магнитное поле. В первом случае можно говорить об электростатическом, а во втором – о магнитостатическом поле.

Например, высоковольтные элементы и приборы могут быть представлены электрическим диполем, а катушки индуктивности, трансформаторы, печатные проводники – рамкой с током. В дальней зоне излучения электрического и магнитного полей равны. В электронной аппаратуре экранируют как источники-помехи, так и приемники. При этом вследствие принципа взаимности эффективность экранирования в том и другом случае одинакова.

Основной характеристикой каждого экрана является степень ослабления  $e$  электромагнитного поля, называемая *эффективностью экранирования*, которая представляет собой отношение напряженности электрического  $E$ , магнитного  $H$

поля, предельно допустимой плотности потока энергии (ППЭ) в данной точке при отсутствии экрана к  $E_s$ ,  $H_s$ , ППЭ<sub>s</sub> в той же точке при наличии экрана:

$$e = \frac{E}{E_s} \cdot 100\%; e = \frac{H}{H_s} \cdot 100\%; e = \frac{\text{ППЭ}}{\text{ППЭ}_s} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Эффективность экранирования зависит от материала экрана (токопроводящий, диэлектрический или поглощающий) и его конструкции (сплошной, сетчатый, в виде пластины или замкнутого контура и т.д.).

Электромагнитное поле имеет зоны индукции и излучения, которые для элементарных излучателей (диполей) в воздухе определяются соответственно неравенствами

$$r \ll \frac{\lambda}{2\pi}; \quad r \gg \frac{\lambda}{2\pi}, \quad -$$

$$(2)$$

где  $r$  – расстояние от источника;

$$\lambda \text{ – длина волны помехи, } \lambda = \frac{c}{f};$$

$c$  – скорость электромагнитных волн.

Обычно считают, что расстояние от источника, не большее длины волны, – зона индукции. Например, для частот  $10^9$  и  $10^6$  Гц расстояние, которое определяет зону индукции, меньше 0,3 и 300 м соответственно.

Различают экранирование электромагнитного, магнитного и электрического полей. В большинстве случаев с двух сторон от экрана находится одна и та же диэлектрическая среда – воздух.

Эффективность экранирования электромагнитного поля, выраженную в децибелах, в данном случае записывают в виде

$$e = 20\lg|\text{ch}|\dot{k}h|| + 20\lg|1 + 0,5\left(\frac{z_2}{z_1} + \frac{z_1}{z_2}\right)\text{th}|\dot{k}h||, \quad (3)$$

где  $h$  – толщина экрана, мм;

$\dot{k}$  – коэффициент распространения, мм;

$z_1$  – импеданс среды электромагнитному полю, Ом;

$z_2$  – импеданс материала экрана электромагнитному полю, Ом.

В формуле (3) под импедансом следует понимать сумму логарифмов гиперболических косинуса и тангенса модуля соответствующего комплексного числа.

Для вакуума импеданс

$$z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi, \quad (4)$$

где  $\mu_0$ ,  $\epsilon_0$  – магнитная, Гн/м, диэлектрическая, Ф/м, постоянные соответственно.

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м};$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м.}$$

Ниже индексом «1» обозначены характеристики окружающей среды, «2» – материала экрана.

Таблица 1 – Значения удельной электрической проводимости и относительной магнитной проницаемости некоторых металлов

Материал	Удельная проводимость $\sigma$ , См/м $10^{-6}$	Относительная магнитная проницаемость $\mu_r$
Медь	57,1	1
Алюминий	34,5	1
Сталь	7,2	150
Свинец	4,3	1
Латунь	12,5	1
Серебро	62	1
Железо	10	1100...2200
Никель	13,8	12...80
Пермаллой	4,7	800...8000

Таблица 2 – Значения коэффициента распространения  $|\vec{k}|$  и импеданса  $|z_2|$  для металлов, наиболее часто применяемых для экранирования электромагнитных полей

Металл	Коэффициент распространения $ \vec{k}  = \sqrt{\omega\mu_a\sigma}$ , $\text{мм}^{-1}$	Импеданс $ z_2  = \sqrt{\frac{\omega\mu_a}{\sigma}}$ , Ом
Медь	$21,2 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$	$0,372 \cdot 10^{-6} \sqrt{f}$
Алюминий	$16,4 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$	$0,478 \cdot 10^{-6} \sqrt{f}$
Сталь	$75,4 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$	$10,47 \cdot 10^{-6} \sqrt{f}$
Свинец	$6,2 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$	$1,28 \cdot 10^{-6} \sqrt{f}$

Более сложно определяется импеданс  $|z_1|$ . В зоне излучения импеданс диэлектрической среды – воздуха  $z_1 = \sqrt{\frac{\mu_{a1}}{\epsilon_1}} \approx \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \approx 377$  Ом,  $\mu_{a1} \approx \mu_0$ ,  $\epsilon_{a1} \approx \epsilon_0$ .

Однако в зоне индукции импеданс  $z_1$  зависит не только от вида основной составляющей электромагнитного поля, но и от формы конструкции экрана.

Будем рассматривать следующие конструкции экранов: плоский экран (экран в виде швеллера из гнутого профиля толщиной  $h$  при расстоянии между полками  $L$ ), цилиндрический (с внутренним диаметром  $2\rho$  и толщиной стенки  $h$ ), шарообразный (с внутренним диаметром  $2r$  и толщиной стенки  $h$ ).

Ниже принятые следующие обозначения:  $\omega = 2\pi f$  – круговая частота;  $\epsilon_a$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость;  $\mu_a = \mu_r \mu_0$  – абсолютная магнитная проницаемость;  $\sigma$  – удельная электрическая проводимость среды.

С учетом формы экрана, при экранировании *магнитного поля* импеданс

$$|z_1| = \omega \mu_{a1} r_* m, \quad (5)$$

где  $m = 2$  при  $r_* = \frac{L}{2}$  для плоского экрана;

$m = 1$  при  $r_* = \rho$  для цилиндрического экрана;

$m = \frac{1}{\sqrt{2}}$  при  $r_* = r$  для сферического экрана.

При экранировании *магнитного поля* необходимо учитывать особенности материала, из которого изготовлен экран. Обычно для магнитных материалов

(сталь, пермаллой, железо, феррит)  $\frac{z_2}{z_1} > \frac{z_1}{z_2}$ , а для немагнитных материалов

(медь, алюминий, свинец)  $\frac{z_2}{z_1} < \frac{z_1}{z_2}$ .

При условии, что на относительно *низких частотах* электромагнитного поля ( $f < 10^4$  Гц),  $k h \ll 1$ ,  $\operatorname{ch} kh \approx 1$ , а  $\operatorname{th} kh \approx kh$ , для защитных устройств из *магнитных металлов* эффективность экранирования рассчитывается по формуле

$$e = 20 \lg \left( 1 + \frac{1}{2m} \cdot \frac{\mu_{a2}}{\mu_{a1}} \cdot \frac{h}{r_*} \right). \quad (6)$$

Она не зависит от частоты поля.

Для защитных устройств из *немагнитных металлов* эффективность экранирования рассчитывается по формуле

$$e = 10 \lg \left( 1 + \frac{m}{2} \omega \mu_{a1} \sigma_2 r_* h \right). \quad (7)$$

Эта эффективность зависит от частоты. При частоте  $\omega \rightarrow 0$  она стремится к нулю.

В области относительно *высоких частот* ( $10^4 < f < 10^9$  Гц) эффективность экранирования удобно определять по формуле

$$e = 8,686 \sqrt{\frac{\omega \mu_{a2} \sigma_2}{2}} h + 20 \lg \left( \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\sigma_2}{\omega \mu_{a2}}} |z_1| \right). \quad (8)$$

В *области СВЧ*, охватывающей дециметровые, сантиметровые и миллиметровые волны ( $f \geq 10^9 \dots 10^{10}$  Гц), длина волны  $\lambda$  соизмерима с

диаметром экрана  $d$ , т. е.  $\lambda \geq d$  и эффективность экранирования носит неоднозначный характер.

При наличии в экране отверстий или щелей, возникающих вследствие несовершенства его конструкции и технологии изготовления, эффективность экранирования снижается. В этом случае ее можно определить по формуле

$$e = 10 \lg \left| \frac{\sqrt{2} z_1}{z_2} \right| + A + 8,686B, \quad (9)$$

где импеданс  $z_1$  определяется по формуле (5);

$$|z_2| = \sqrt{\frac{\omega \mu_{a2}}{\sigma_2}},$$

слагаемое  $A$  и множитель  $B$  учитывают негерметичность экрана.

$$A = 20 \lg \left[ \left( \frac{2\pi}{k_1 r_*} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot (1 - 0,5k_1 l)^6 \right]; \quad B = \frac{2\pi h}{l}, \quad (10')$$

где  $r_*$  – эквивалентный радиус экрана любой геометрической формы,  $r_* \approx 0,62V^{\frac{1}{3}}$ .  
 $V$  – внутренний объем экрана,  $\text{мм}^3$ ;  
 $l$  – наибольший размер отверстия (щели) в экране,  $\text{мм}$ ;  
 $k_1 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$ .

Эффективность экранирования *электрического поля* при использовании *проводочных сеток*

$$e = 10 \lg \left| \frac{z_1}{z_2} \right| + A + 8,686C,$$

где  $A$  – то же, что и в выражении (10), а множитель  $C$  и величину  $|z_2|$  при заданном диаметре провода  $d$  и шаге  $s$  сетки рассчитывают по формулам

$$C = \frac{\pi d}{s - d}; \quad |z_2| = \frac{1}{\sigma_2 h_*}; \quad |z_1| = \frac{1}{\omega \epsilon_{a1} r_* m},$$

где  $h_*$  – эквивалентная толщина сетки,  $h_* = \frac{\pi d^2}{4s}$ .

$m = 2$  при  $r_* = \frac{L}{2}$  для плоского экрана;

$m = 1$  при  $r_* = \rho$  для цилиндрического экрана;

$m = \frac{1}{\sqrt{2}}$  при  $r_* = r$  для сферического экрана.

В сортамент фольговых материалов толщиной  $h$  от 0,01 до 0,05 мм входят в основном диамагнитные материалы – алюминий, латунь, цинк. Расчет эффективности экранирования при использовании *фольговых материалов* производится по формулам для тонких материалов.

$$e = 20 \lg \left[ 1,25 \pi \sqrt{h \sigma z_2} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{r_*}} \left( 1 - \frac{\pi m}{\lambda} \right)^6 \right], \quad (11)$$

где  $\lambda$  – длина волны помехи  $\lambda = \frac{c}{f}$ ;

$c$  – скорость электромагнитных волн;

$$z_2 = \frac{1}{\sigma_2 h}.$$

При *негерметичности* эффективность экранирования электрического поля

$$e = 10 \lg \left| \frac{z_1}{z_2} \right| + A + 11,9, \quad (12)$$

где  $z_2 = \frac{1}{\sigma_2 h}$ .

Эффективность экранирования *сотовыми решетками* зависит вплоть до сантиметрового диапазона от отношения глубины к ширине ячейки.

Ориентировочно эффективность

$$e \approx \frac{27l}{l_m} + 20 \lg n,$$

где  $l, l_m$  – глубина и *максимальный поперечный размер* ячейки сотовой решетки;

$n$  – число ячеек.

Как было указано выше, для электромагнитного экранирования могут быть успешно применены тонколистовые и фольгированные материалы толщиной 0,01...0,05 мм. Также широко применяются сеточные материалы. Это объясняется тем, что металлические сетки легки, а сеточные экраны проще в изготовлении, удобны в сборке и эксплуатации, не препятствуют свободным конвективным потокам воздуха, светопроницаемы и позволяют получить высокую эффективность экранирования во всем диапазоне радиочастот. Недостатком сеточных экранов является их низкая механическая прочность. Экранирующие свойства металлических сеток проявляются главным образом в результате отражения электромагнитной волны от их поверхности. Параметрами сетки, определяющими ее экранирующие свойства, являются шаг сетки, диаметр проволоки и удельная проводимость материала сетки.

### **3 Технология изготовления каркасных электрических катушек**

#### **3.1 Виды катушек**

Под термином «электрическая катушка» принимается сборочная единица электрического аппарата, основной частью которой является обмотка, состоящая из витков обмоточного провода. Витки обмотки скрепляются ленточной, листовой и литой изоляцией или наматываются на каркас, а также непосредственно на сердечник магнитопровода. Технологический процесс получения обмотки, т. е. размещение ее витков в определенном положении, называется намоткой. Таким образом, термин «обмотка» определяет конструктивную часть катушки, а термин «намотка» – технологию изготовления обмотки. Термин «намотка» иногда заменяется словами «укладка витков».

В зависимости от функционального назначения многовитковые катушки по своим конструктивно-технологическим признакам разделяются на каркасные и бескаркасные, цилиндрические и прямоугольные, с жесткими и гибкими выводами, многосекционные и односекционные, не пропитанные и пропитанные изоляционным лаком или компаундом, различных классов нагревостойкости от А (105 °C) до С (180 °C и выше).

Функциональное назначение многовитковой катушки определяется ее назначением в аппарате. Часто катушки упомянутых видов каждой конструктивной особенности требуется изготавливать на различные номинальные напряжения и токи с применением различных проводов согласно обмоточным данным на катушки.

#### **3.2 Материалы для многовитковых катушек**

Используемые материалы для многовитковых катушек можно разбить на несколько групп.

1 Обмоточные провода, как известно, служат для изготовления токопроводящей части обмоток аппаратов. В справочной литературе приведены некоторые марки обмоточных проводов по классам нагревостойкости. При маркировке проводов используют следующие обозначения: А – алюминиевый провод; Б – бумажная обмотка пряжей из волокна; Д – двухслойная обмотка пряжей; К – кремнийорганическое связующее; Л – лаковая пленка у проводов ПЭЛ; Л – лавсановое волокно у остальных проводов; О – однослочная обмотка пряжей; П – провод; С – стеклянное волокно; Т – нагревостойкое исполнение; Ш – шелковое волокно; ШК – шелк-капроновое волокно; Э – эмалированный провод.

2 Рулонные, листовые и ленточные электроизоляционные материалы применяют для изолирования обмоточных токоведущих проводов снаружи катушек и отдельных элементов обмотки внутри них. Основными из этих материалов являются ткани, лакоткани, изоляционные ленты, стеклоленты и др.

3 Лаки, компаунды и эмали применяются для пропитки, покрытия наружной поверхности, склеивания внутренней изоляции катушек.

4 Конструкционные материалы каркасов и прочие вспомогательные материалы: пластические массы, низкоуглеродистую сталь, латунь, медь, электроизоляционный картон, фибр, гетинакс, текстолит, припои, канифоль, нитки, шпагат и др.

### **3.3 Типовая технология изготовления катушек**

В связи с тем, что электроаппаратные катушки имеют большое разнообразие по номинальным напряжениям и классам нагревостойкости, они изготавливаются из различного обмоточного провода, изоляционных материалов, пропитываются различными лаками и компаундами. Технология изготовления катушек распадается на много операций, которые для различных конструкций катушек несколько различны.

Все же последовательность основных операций вполне определена и выполняется в следующей последовательности.

1 Изготовление каркаса.

2 Изолировочные и намоточные работы:

- изготовление изоляционных деталей и заготовка материала;
- изолировка каркаса (при изготовлении его из токопроводящих материалов;
- намотка обмоточного провода;
- технический контроль намотанных катушек;
- присоединение и закрепление выводов;
- изолировка наружной поверхности катушек;
- технический контроль изолированных катушек.

3 Сушильно-пропиточные работы:

- подготовительные операции (подготовка оборудования, пропитывающего состава и др.);
- нагрев или сушка перед пропиткой;
- пропитка (несколько разных способов) и отекание пропитывающего состава;
- промывка и очистка от пропитывающего состава металлических, пластмассовых и других частей катушек;
- нагрев и сушка после пропитки или термообработка при термореактивных пропитывающих составах.

4 Окраска катушек лаком, эмалью или заливка компаундом:

- заливка компаундом;
- окраска лаком или эмалью;
- сушка лака или эмали.

5 Технический контроль катушек.

### **3.4 Изготовление каркасов**

Все каркасы по конструкции делятся на группы: трубчатые без фланцев и с фланцами, каркасы-шпули, плоские, ребристые, кольцевые и некоторые другие.

Конструкция каркаса должна быть жесткой и прочной, позволять надежное закрепление провода на каркасе и удобное крепление самого каркаса при монтаже в аппарате. Технология изготовления каркасов для электроаппаратных катушек вытекает из конструктивных особенностей их. В основном преобладают операции прессовки и штамповки.

## **Список литературы**

**1 Кечиев, Л. Н.** Экранирование технических средств и экранирующие системы / Л. Н. Кечиев, Б. Б. Акбашев, П. В. Степанов. – М.: Группа, 2010. – 470 с.: ил.

**2 Кечиев, Л. Н.** Экранирование радиоэлектронной аппаратуры. Инженерное пособие / Л. Н. Кечиев. – Москва: Грифон, –2019. – 720 с.: ил.

**3 Ерофеенко, В. Т.** Экранирование технических средств и экранирующие системы / В. Т. Ерофеенко, В. Ф. Бондаренко. – М.: Информатика, – 2014.– 470 с.: ил.

**4 Блейк, Б.** Защита от электромагнитных полей / Б. Блейк, С. Левит. – Москва: АСТ.–2007.–448 с.: ил.

**5 Кореневский, Н. А.** Узлы и элементы биотехнических систем: учебник / Н. А. Кореневский, Е. П. Попечителев. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 448 с.: ил.

**6 Бессонов, Л. А.** Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. – М.: Высш. шк., 1978. – 231 с.: ил.

## **Приложение А (рекомендуемое)**

### **Образец оформления обложки пояснительной записи**

Министерство образования Республики Беларусь  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Кафедра «Физические методы контроля»

#### **ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА к курсовой работе по курсу «Электромагнитные аппараты и системы»**

Студент \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_

Могилев 2025

## **Приложение Б (рекомендуемое)**

### **Образец оформления титульного листа**

Министерство образования Республики Беларусь  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Кафедра «Физические методы контроля»

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
к курсовой работе по курсу  
«Электромагнитные аппараты и системы»

Тема работы \_\_\_\_\_

Работу выполнил \_\_\_\_\_  
студент \_\_\_\_\_  
группа \_\_\_\_\_  
дата \_\_\_\_\_

Руководитель работы \_\_\_\_\_  
дата \_\_\_\_\_

Могилев 2025

