

Как разработать расчетно-аналитические задания, проверяемые автоматически для контента Росдистант?

Расчетно-аналитические задания, проверяемые автоматически – это часть учебного курса¹, которая в виде интерактивной компьютерной программы

- предоставляет обучающемуся теоретическо-справочный материал для выполнения задания;
- обеспечивает выдачу варианта по заранее утвержденному алгоритму;
- знакомит с алгоритмом выполнения задания и в некоторых случаях с примером выполнения;
- запрашивает результаты расчетов, выводы, заполненные формы;
- автоматически (без участия преподавателя) проверяет выполненные задания;
- дает обратную связь по итогам проверки;
- передает данные в LMS.

Область применения

Расчётно-аналитические задания с автоматической проверкой разрабатываются как альтернатива традиционным учебным заданиям, проверяемым вручную, а также классическим тестам. В отличие от заданий типа БТЗ (банк тестовых заданий), ориентированных преимущественно на проверку воспроизведения знаний, расчётно-аналитические задания требуют более глубокой обработки информации, выполнения расчётов, построения логических связей и аргументации выводов. Таким образом, они направлены на формирование и проверку аналитических навыков, навыков интерпретации данных и обоснования принятых решений.

По уровню сложности и когнитивной нагрузки расчётно-аналитические задания превосходят задания БТЗ, поскольку требуют не только выбора готового ответа, но и применения формул, понимания взаимосвязей, оценки результатов и оформления выводов. По сравнению с вручную проверяемыми заданиями, они обладают значительным преимуществом за счёт автоматизированной проверки, которая позволяет системе мгновенно оценивать корректность расчётов, наличие логических ошибок, полноту заполнения форм и таблиц. Это существенно снижает нагрузку на преподавателя и обеспечивает студенту оперативную и наглядную обратную связь. Применение расчётно-аналитических заданий с автоматической проверкой целесообразно в курсах любой направленности, где возможна формализация расчётов, построение схем, заполнение таблиц, использование формул и логических конструкций.

Ограничения применения

Расчётно-аналитические задания с автоматической проверкой нецелесообразно использовать, если решение не может быть формализовано, в частности, при выполнении следующих видов заданий:

- написание эссе, рефератов, творческих заданий, сценариев, методических разработок;
- составление и анализ сложных процедур и описаний;
- решение исследовательских задач с открытым множеством решений;
- ситуационные кейсы и задания, требующие экспертной оценки преподавателя.

В таких случаях предпочтительны формы контроля, предусматривающие участие преподавателя в процессе проверки и обратной связи.

Виды расчетно-аналитических заданий, проверяемых автоматически

По типу расчетно-аналитические задания, проверяемые автоматически делятся на:

¹ - здесь и далее речь идет об учебных курсах, реализуемых с применением ДОТ

- **расчетные** – используются алгоритмы вычислений с исходными данными вариантов, формулируются выводы на основе полученных результатов; ответы могут включать числа, произвольные короткие текстовые ответы или развернутые текстовые готовые варианты на выбор;
- **графические** – используются задания с перемещением вариаций блоков в нужное место и указанием мест на чертеже/карте/скриншоте/таблице с помощью области нажатия;
- **смешанные** – используются комбинации расчетных и графических типов заданий.

Преимущества и особенности расчетно-аналитических заданий, проверяемых автоматически

Применение расчётно-аналитических заданий с автоматической проверкой позволяет не только контролировать учебные достижения обучающихся, но и формировать и оценивать профессиональные компетенции, особенно в тех областях, где важны логика, точность расчётов и обоснованность решений. В отличие от заданий, проверяемых вручную, данный формат делает выполнение практических заданий:

- комфортным – благодаря дробной подаче материала в виде отдельных, логически завершённых заданий;
- динамичным – выбор вариантов, ознакомление с материалами и алгоритмами происходит быстрее;
- интерактивным – система реагирует на действия студента, сопровождает процесс выполнения, поддерживает вовлечённость и усиливает мотивацию;

Кроме того, формат обеспечивает оперативную обратную связь — студент моментально получает информацию о результате, что способствует самоконтролю и закреплению материала и снижает нагрузку на преподавателя, избавляя его от необходимости вручную проверять трудоёмкие расчёты и таблицы. Таким образом, расчётно-аналитические задания с автоматической проверкой – это современный инструмент, сочетающий в себе точность, эффективность и удобство как для обучающихся, так и для преподавателей.

Использование расчетно-аналитических заданий, проверяемых автоматически в курсе с применением дистанционных образовательных технологий

Расчётно-аналитические задания с автоматической проверкой могут быть эффективно интегрированы в образовательные контенты теоретико-практических и практико-ориентированных курсов гуманитарной, естественно-научной, экономической и технической направленности. Их применение особенно актуально в рамках дистанционных образовательных технологий, поскольку они обеспечивают самостоятельную и осмысленную работу обучающихся при минимальной нагрузке на преподавателя. Данный тип заданий целесообразно использовать в форматах с:

- алгоритмом вычислений и выводами на основе полученных результатов,
- построением схем процесса,
- заполнением бланков документов,
- систематизацией данных в таблицах,
- сортировкой любого исходного материала по категориям путем перетаскивания,
- указанием верного расположения объектов на скриншоте программного обеспечения.

Рекомендации к структуре и содержанию расчетно-аналитических заданий, проверяемых автоматически

Для реализации автоматической проверки расчётно-аналитических заданий необходимо формализовать задание таким образом, чтобы компьютерная программа могла его однозначно интерпретировать и оценить. В отличие от преподавателя, который способен понять логику решения, распознать ошибки и оценить нестандартные подходы, программа требует точно описанных параметров, действий и ожидаемых результатов. Это означает, что каждое задание должно быть заранее структурировано по определённым правилам.

1. Укажите, какие данные получает студент в задании: числа, параметры, таблицы, графики и т.п.
2. Опишите, что именно студент должен рассчитать: какие формулы использовать, какие величины вывести, какие зависимости установить.
3. Уточните, в каком виде должен быть представлен результат:
 - числовое значение (с заданной точностью),
 - выбор одного или нескольких вариантов,
 - заполненная таблица,
 - расположение элементов (например, на изображении интерфейса),
 - логическая последовательность (например, сортировка или упорядочивание).
4. Задайте точный ответ или допустимый диапазон, в пределах которого система будет считать решение корректным.
5. Для вариантов ответов определите правильный и дистракторы.
6. Для таблиц укажите, какие ячейки подлежат заполнению, какие значения допустимы, каким образом производится проверка (строгое совпадение, диапазон и т.п.).
7. Для логических блоков определите верную последовательность действий или правил.

Формализация позволяет превратить задание в набор чётких инструкций и критериев, понятных для программной среды. Без такой подготовки даже несложное задание не может быть проверено автоматически, так как система не сможет интерпретировать произвольный текст или неструктурированный ответ. Ниже представлены виды заданий с разными педагогическими целями.

Педагогическая цель	Задание
Запоминание	даты, события, термины, имена, факты, принципы, методы и процедуры
Понимание	сравнение, установление последовательности, алгоритм решений, установление соответствия, установление причинно-следственных связей, группировка, предсказание.
Применение	решение задач, интерпретация причинно-следственных связей, анализ, синтез, оценка (кейс, проект, задача и т.п.).

Важно!

Предоставить полный комплект расчётов и/или корректно заполненные формы (таблицы, схемы и иные структурированные элементы) для всех предусмотренных вариантов заданий.

Сформировать качественные дистракторы – неправильно сформулированные, но правдоподобные варианты ответов для всех типов заданий, за исключением расчётных.

Подробно регламентировать механизмы оценивания, включая:

- правила начисления баллов за выполнение различных этапов задания,
- условия пересдачи или повторного выполнения,
- шкалу оценивания в зависимости от степени полноты и корректности ответа.

Образец вариантов расчетно-аналитических заданий, проверяемых автоматически
Тема «Магнитные накопители энергии – дроссели»

Таблица 1 - Исходные данные к практическому заданию.

№ Вар	D, мм	d, мм	h, мм	μ	Bm, Тл	w
1	40	20	20	200	0.4	100
2	30	15	10	150	0.4	100
3	35	20	15	100	0.4	80
4	30	20	15	80	0.35	80
5	40	30	15	70	0.35	130
6	50	30	20	70	0.35	130
7	50	30	15	75	0.4	130
8	40	30	20	50	0.3	150
9	50	40	20	50	0.3	150
10	60	40	20	80	0.3	100
11	30	20	15	200	0.4	100

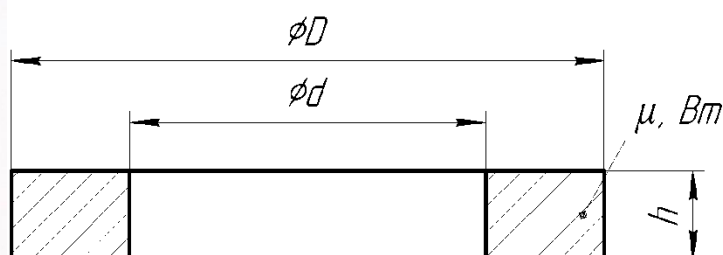
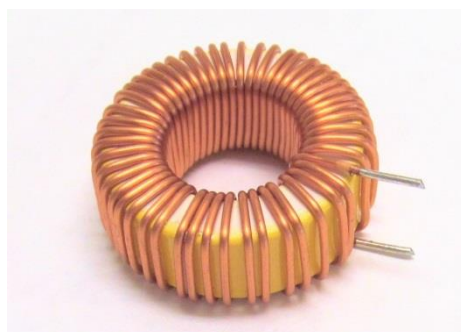


Рисунок 1 – Внешний вид дросселя и геометрические размеры кольца.

В таблице 1 присутствуют параметры, характеризующие дроссель (рисунок 1), а именно:

Геометрические размеры: d (мм), D(мм), h (мм)

Параметры обмотки: число витков w.

Параметры магнитопровода: магнитная проницаемость μ , индукция насыщения Bm (Тл).

Примечание: выдаваемые в задании величины имеют размерности, указанные в заголовке таблицы. Однако расчеты по формулам, приводимым ниже, рекомендуется производить в системе СИ.

Задание: пользуясь формулами, рассчитать величины:

1. Индуктивность L
2. Ток насыщения Im
3. Максимальную энергию Wm
4. Выполнить проверку максимальной энергии

Результаты свести в таблицу.

Рекомендации по выполнению задания 1

При расчетах все величины рекомендуется переводить в систему СИ. Расчет можно производить как вручную (на калькуляторе), так и с использованием компьютерных программ для математических расчетов (например, очень удобного математического пакета MathCAD). Весь ход расчета должен быть включен в отчет. В случае использования для

расчетов компьютерных программ допускается включать его в отчет с соответствующими пояснениями (см. образец выполнения задания).

Последовательность расчета

Последовательность расчета проиллюстрируем на примере варианта 11: Все расчеты проводятся в СИ.

Исходные значения

d, мм	D, мм	h, мм	μ	Bm, Тл	w
30	20	15	200	0.4	100

1. Зададим константы и условные обозначения

$$\mu_0 := 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \quad \text{mH} := 10^{-3} \quad \text{mm} := 10^{-3} \quad \text{cm}^2 := 10^{-4}$$

где μ_0 – магнитная проницаемость вакуума

2. Запишем исходные данные

$$D := 30\text{mm} \quad d := 20\text{mm} \quad h := 15\text{mm} \quad \mu := 200 \quad B_m := 0.4 \quad w := 100$$

3. Найдем площадь сечения кольца S

$$S := \frac{D - d}{2} \cdot h = 0.75 \cdot \text{cm}^2$$

4. Найдем длину средней линии кольца l_{cp}

$$l_{cp} := \pi \cdot \frac{D + d}{2} = 78.5 \cdot \text{mm}$$

5. Найдем магнитную проводимость G

$$G := \mu \cdot \mu_0 \cdot \frac{S}{l_{cp}} \quad G = 2.4 \times 10^{-7}$$

6. Найдем индуктивность L

$$L := w^2 \cdot G = 2.4\text{mH}$$

7. Найдем ток насыщения I_m

$$I_m := \frac{B_m \cdot l_{cp}}{\mu \cdot \mu_0 \cdot w} = 1.25$$

8. Найдем максимальную запасаемую энергию W_m

$$W_m := \frac{B_m^2 \cdot l_{cp} \cdot S}{2 \cdot \mu \cdot \mu_0} = 1.87 \times 10^{-3}$$

9. Выполним проверку, найдя максимальную запасаемую энергию W_m через ток и индуктивность

$$L \cdot \frac{I_m^2}{2} = 1.875 \times 10^{-3}$$

10. Выпишем в таблицу результаты расчетов

Таблица 2 – Результаты расчетов.

№	Величина, единица измерения	Значение	единица измерения
1	Индуктивность L	2.4	мГн
2	Ток насыщения Im	1.25	А
3	Максимальную энергию Wm	1.87	мДж
4	Проверка максимальной энергии	сошлось	

Напоминание

Все приведенные формулы предполагают использования единиц измерения системы СИ (размеры в метрах, площади в метра квадратных, и т.д.). Не забудьте перевести исходные данные в СИ. Например, D=30мм=0.03м. Тогда в результате расчетов будут получаться результаты в СИ (ток – в амперах, энергия в джоулях и т.д.).

Тема «Расчет плоского электромагнита постоянного тока»

В соответствии с таблицей 1 по первой букве своей фамилии каждый студент определяет номер своего варианта и исходные данные для расчета плоского электромагнита постоянного тока (рисунок 1).

Таблица 1 - Исходные данные к практическому заданию.

№ Вар	a, мм	b, мм	δ, мм	J, А/мм ²	Kz	w	μ	Внас, Тл	Проверка I, А	Проверка P, кВт
1	20	50	0.5	5	0.4	10	1000	2	80	1.28
2	15	100	0.3	5	0.4	15	1000	2	30	1.6
3	25	100	0.7	4	0.4	20	2000	2	50	2.89
4	25	150	1	5	0.5	30	2000	2	52.1	5.35
5	15	50	0.5	6	0.4	10	150	1.5	54	0.24
6	10	100	0.5	7	0.4	20	1500	2	14	0.18
7	12	200	0.5	6	0.3	25	1500	2	10.4	0.37
8	20	200	0.5	6	0.3	30	1500	2	24	4.47
9	25	200	0.8	5	0.4	50	1000	2	25	6.4
10	25	100	1	5	0.4	60	100	1.5	20.8	0.81
11	30	300	1	4	0.4	50	1000	2	28.8	9.87

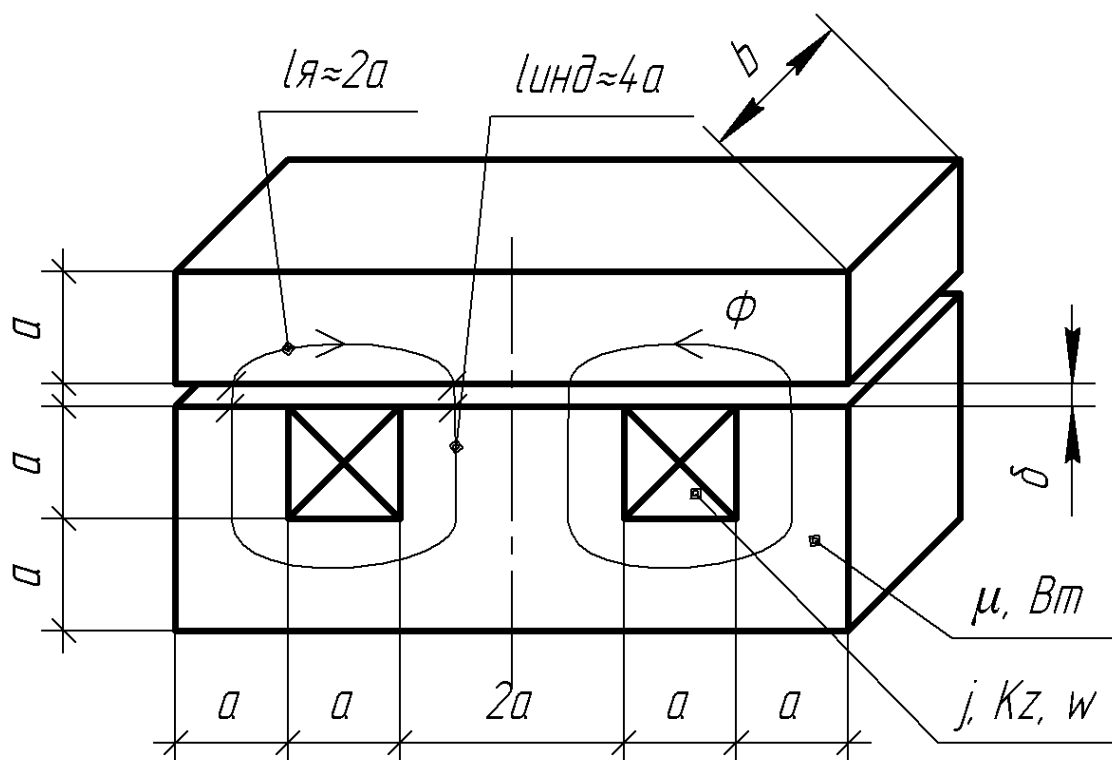


Рисунок 1 – Геометрические размеры электромагнита

В таблице 1 присутствуют параметры, характеризующие плоский электромагнит постоянного тока (рисунок 1), а именно:

Геометрические размеры: a (мм), b(мм), δ (мм)

Параметры обмотки: Плотность тока J (А/мм²), коэффициент заполнения окна Kz, число витков w.

Параметры магнитопровода: магнитная проницаемость μ, индукция насыщения Внас (Тл).

В графах проверка приведены значения тока I и силы P , которые должны быть получены в ходе расчета. Если полученные студентом значения не совпадают с указанными, необходимо проверить правильность произведённых расчетов.

Примечание: выдаваемые в задании величины имеют размерности, указанные в заголовке таблицы. Однако расчеты по формулам, приводимым ниже, рекомендуется производить в системе СИ.

Задание: пользуясь упрощенными формулами, рассчитать величины

1. Диаметр провода обмотки d
2. Силу тока i
3. Магнитодвижущую (намагничивающую) силу f
4. Магнитную проводимость g
5. Магнитный поток Φ (бокового полюса)
6. Индукцию b
7. Электромагнитную (пондеромоторную) силу p
8. Индуктивность L
9. Энергии, запасаемые в системе a
10. выполнить проверку по закону полного тока

Рекомендации по выполнению задания 2

В данном задании производится расчет плоского электромагнита, аналогичного используемому в системе подъездного домофона (рис. 2). Такой электромагнит может использоваться для создания притягивающего усилия или в качестве дросселя индуктивности.

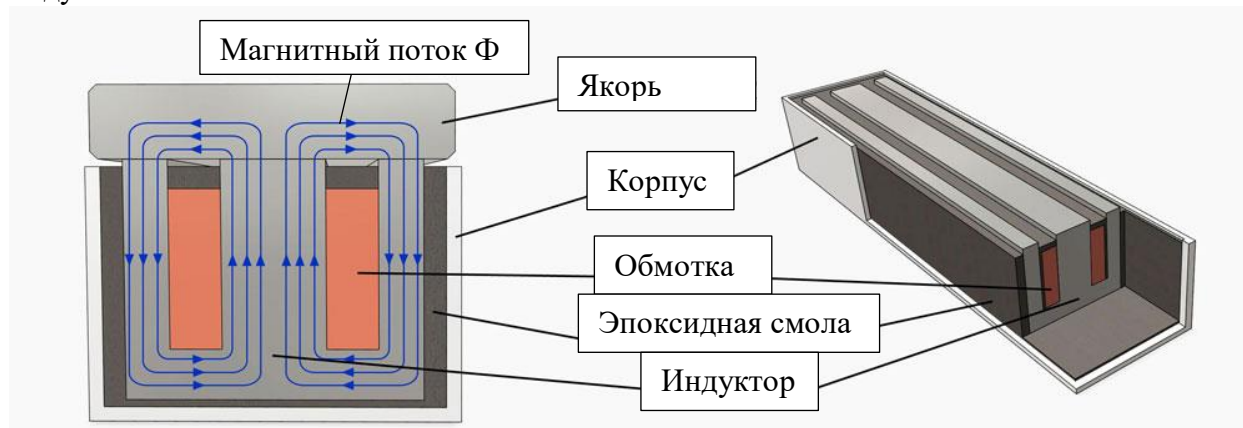


Рисунок 2 – Плоский электромагнит.

При подаче тока I в обмотку по ферромагнитным магнитопроводам якоря и индуктора начинает протекать магнитный поток Φ . Вследствие этого якорь начинает притягиваться к индуктору с силой P . В рассчитываемом примере между якорем и индуктором существует небольшой воздушный зазор δ . Области индуктора из которых выходят линии магнитного потока называются полюсами. Соответственно, имеются один центральный полюс и два боковых полюса, за которые сила P тянет индуктор в направлении якоря.

Место, куда укладывается обмотка называется окном обмотки, а площадь его сечения – площадью окна обмотки. Обмотку наматывают круглым медным проводом, покрытым лаковой изоляцией. Поэтому площадь сечения меди провода S_{cu} меньше площади сечения окна S_{ok} :

$$S_{cu} = K_z \cdot S_{ok},$$

где K_z – коэффициент заполнения обмотки, обычно принимающий значения от 0.3 до 0.6.

В качестве исходных данных в таблице вместо тока I указывается плотность тока J и коэффициент заполнения обмотки K_z . Например, если $J=5 \text{ А/мм}^2$ а $K_z = 0.4$ это означает, что окно под обмотку занято медью на 40% и по медному проводу протекает ток плотностью 5 А/мм^2 .

При расчетах все величины рекомендуется переводить в систему СИ. Расчет можно производить как вручную (на калькуляторе), так и с использованием компьютерных программ для математических расчетов (например, очень удобного математического пакета MathCAD). Весь ход расчета должен быть включен в отчет. В случае использования для расчетов компьютерных программ допускается включать его в отчет с соответствующими пояснениями (см. образец выполнения задания).

Последовательность расчета магнитной системы

Исходные значения

a, мм	b, мм	δ, мм	J, А/мм ²	Kz	w	μ	Внас, Тл	Проверка I, А	Проверка P, кВт
30	300	1	4	0.4	50	1000	2	28.8	9.87

1. Зададим константы и условные обозначения

Константы и условные обозначения $\mu_0 := 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ $\frac{\text{мм}}{\text{мм}} := 10^{-3}$ $\text{см}^2 := 10^{-4}$ $\rho := 1.7 \cdot 10^{-8}$

2. Запишем исходные данные

Исходные данные

Вариант

ВАР = 11

Геометрические размеры

a = 30-мм

b = 300-мм

δ = 1-мм

Магнитная проницаемость и индукция насыщения магнитопровода

μ = 1 × 10³

Bm := 2

J = 4 · $\frac{1}{\text{мм}^2}$

Коэффициент заполнения окна обмотой, число витков и плотность тока в обмотке

Kz = 0.4

w = 50

3. Найдем площади сечений окна обмотки Sok и провода обмотки Spr

Площадь сечения окна обмотки

$$S_{ok} := a^2 = 9 \cdot \text{см}^2$$

Сечение провода обмотки

$$S_{pr} := \frac{S_{ok} \cdot Kz}{w} = 7.2 \cdot \text{мм}^2$$

4. Намотка производится круглым проводом, поэтому выразим диаметр провода d

Диаметр провода обмотки

$$S_{pr} = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$$

$$d := \sqrt{\frac{4 \cdot S_{pr}}{\pi}} = 3.028 \cdot \text{мм}$$

5. Найдем ток обмотки I и результирующую магнитодвижущую силу F

Ток обмотки и намагничивающая (магнитодвижущая) сила

$$I := S_{pr} \cdot J = 28.8$$

$$F_w := I \cdot w = 1.44 \times 10^3$$

Сравним значение тока I с проверочным значением из исходных данных. Если значения не сойдутся – это говорит об ошибках в расчетах.

Выполним проверку расчета магнитодвижущей силы (полученные значения должны совпасть)

Проверка намагничивающей силы

$$F' := S_{ok} \cdot Kz \cdot J = 1.44 \times 10^3$$

6. Площадь сечения полюса (бокового)

Площадь сечения полюса

$$S_p := a \cdot b = 90 \cdot \text{см}^2$$

Пояснение

Магнитная проводимость Gm и магнитное сопротивление Rm находятся по формулам

Пояснение к нахождению магнитного сопротивления

$$G_m = \mu \cdot \mu_0 \cdot \frac{S}{l} \quad R_m = \frac{1}{G_m} = \frac{l}{(\mu \cdot \mu_0 \cdot S)}$$

где μ₀ – магнитная проницаемость вакуума,

μ – магнитная проницаемость среды (единица для воздуха и μ из исходных данных для магнитопровода).

l – длина пути магнитного потока в магнитопроводе сечением S.

По рисунку видно, что магнитный поток Φ проходит по четырем участкам: 1. индуктору, 2. воздушному зазору, 3. якору, 4. воздушному зазору. Суммарное магнитное сопротивление равно сумме этих четырех сопротивлений. Длина пути магнитного потока в якоре примерно равна $2 \cdot a$, в индукторе $4 \cdot a$.

Размеры магнита выбраны таким образом, что магнитный поток проходит через боковой полюс сечением S и далее через половину центрального полюса через такое же сечение. Это сделано для упрощения расчетов (индукции в боковом полюсе и центральном будут одинаковы, следовательно сила притяжения центрального полюса будет в два раза больше боковой).

7. Поэтому найдем эти четыре сопротивления и сложим их, найдя суммарное.

Длины магнитных путей

$$l_{ya} := 2 \cdot a \quad l_{ind} := 4 \cdot a$$

Магнитное сопротивление:
якоря и индуктора

$$R_{m_{ya}} := \frac{l_{ya}}{\mu \cdot \mu_0 \cdot S} = 5.305 \times 10^3 \quad R_{m_{ind}} := \frac{l_{ind}}{\mu \cdot \mu_0 \cdot S} = 1.061 \times 10^4$$

воздушного зазора

$$R_{m_{\delta}} := \frac{\delta}{\mu_0 \cdot S} = 8.842 \times 10^4$$

суммарное

$$R_m := R_{m_{ya}} + R_{m_{ind}} + 2 \cdot R_{m_{\delta}} = 1.928 \times 10^5$$

8. Далее найдем итоговую магнитную проводимость.

Магнитная проводимость

$$G := \frac{1}{R_m} = 5.188 \times 10^{-6}$$

9. Магнитный поток бокового полюса (из рисунка видно, что магнитный поток центрального полюса будет в 2 раза больше).

Магнитный поток

$$\Phi := G \cdot F = 7.471 \times 10^{-3}$$

10. Посчитаем индукцию B и убедимся, что она меньше индукции насыщения B_m , указанной в исходных данных. Если в реальных расчетах будет получено $B > B_m$, это будет означать, что магнитопровод насытился и данная методика расчета не применима. Во всех выдаваемых вариантах должно получаться $B < B_m$ (если этого не получилось, следует проверить правильность расчетов).

Индукция
Убедиться, что $B < B_m$

$$B := \frac{\Phi}{S} = 0.83$$

$$B_m = 2$$

11. Электромагнитная (официальное название – пондеромоторная) сила P , притягивающая якорь к индуктору в 4 раза больше силы P_1 , притягивающей один боковой полюс.

Электромагнитная сила
одного полюса и всего электромагнита

$$P_1 := \frac{B^2 \cdot S}{2 \cdot \mu_0} = 2.467 \times 10^3$$

$$P := 4 \cdot P_1 = 9.869 \times 10^3$$

Сравним значение силы P с проверочным значением из исходных данных. Если значения не сойдутся – это говорит об ошибках в расчетах.

12. Ранее мы рассчитали магнитную проводимость G для половинки конструкции, поэтому при расчете индуктивности ее нужно умножить на 2. Итого, найдем индуктивность всего электромагнита

Индуктивность

$$L := w^2 \cdot (2 \cdot G) = 0.026$$

Пояснение

В магнитном поле запасается энергия A

$$A = \frac{B^2 \cdot V}{2 \cdot \mu \cdot \mu_0},$$

где V – объем области с индукцией B и магнитной проницаемостью μ .

Энергия запасается в магнитопроводах индуктора и якоря (μ из таблицы) и воздушных зазорах ($\mu=1$). Найдем эти энергии и сложим их для получения суммарной.

13. Энергия в четырех воздушных зазорах (два зазора в левой половине магнита и два зазора в правой)

Энергия, запасенная в магн. поле:
в зазоре

$$A_z := 4 \cdot \frac{B^2 \cdot S \cdot \delta}{2 \cdot \mu_0} = 9.869$$

14. Магнит состоит из двух симметричных половинок. Посчитаем энергии в них и умножим на 2. Энергия, запасаемая в магнитопроводах якоря A_{ya} и индуктора A_{ind} .

В якоре и индукторе

$$A_{ya} := 2 \cdot \frac{B^2 \cdot S \cdot l_{ya}}{2 \cdot \mu \cdot \mu_0} = 0.3$$

$$A_{ind} := 2 \cdot \frac{B^2 \cdot S \cdot l_{ind}}{2 \cdot \mu \cdot \mu_0} = 0.59$$

15. Как видно из п.13 и 14, основная часть энергии магнитного поля запасается в воздушных зазорах. Сложим рассчитанные энергии, получив суммарную A .

Суммарная энергия системы

$$A := A_z + A_{ya} + A_{ind} = 10.758$$

16. Для проверки рассчитаем суммарную энергию через индуктивность системы (они должны совпасть).

Энергия системы, рассчитанная
через ток и индуктивность

$$A' := \frac{L \cdot I^2}{2} = 10.758$$

17. Рассчитаем напряженности поля в воздушном зазоре H_δ и магнитопроводах H_m .

Напряженности магнитного поля в
зазоре и магнитопроводе

$$H_\delta := \frac{B}{\mu_0} = 6.606 \times 10^5$$

$$H_m := \frac{B}{\mu \cdot \mu_0} = 660.55$$

Пояснение

Согласно закону полного тока (о циркуляции магнитного поля) сумма произведений напряженности поля на длины участков будет равна магнитодвижущей силе

$$\sum H \cdot l = F$$

Напомним, что магнитный поток проходит по участкам: 1. дважды по воздушному зазору, 2. индуктору и 3. якору.

18. Выполним проверку по закону полного тока. Посчитаем магнитодвижущую силу по закону полного тока и сравним полученное значение с ранее рассчитанным.

Проверка правильности расчетов
по закону полного тока. М.Д.С.

$$F' := 2H_\delta \cdot \delta + H_m \cdot (l_{ya} + l_{ind}) = 1.44 \times 10^3 \quad F = 1.44 \times 10^3$$

Если значения не сойдутся – это говорит об ошибках в расчетах.

19. Выпишем результаты расчетов согласно заданию в итоговую таблицу. В качестве единиц измерения можно выбрать систему СИ, либо производную от нее.

Таблица 2 – Результаты расчетов.

№	Величина, единица измерения	Значение	единица измерения
1	Диаметр провода обмотки d	3.03	мм
2	Сила тока I	28.8	А
3	Магнитодвижущая (намагничивающая) сила F	1440	А
4	Магнитная проводимость G	5.2	нГн
5	Магнитный поток Φ (бокового полюса)	7.47	мВб
6	Индукция B	0.83	Тл
7	Электромагнитная (пондеромоторная) сила P	9.87	кН

8	Индуктивность L	26	мГн
9	Энергии, запасаемые в системе A	10.7	Дж
10	Проверка по закону полного тока	сошлось	

Напоминание

Все приведенные формулы предполагают использования единиц измерения системы СИ (размеры в метрах, площади в метра квадратных, плотность тока ампер на метр квадратный и т.д.). Не забудьте перевести исходные данные в СИ. Например, плотность тока $J=5 \text{ A/мм}^2 = 5 \cdot 10^6 \text{ A/м}^2$. Тогда в результате расчетов будут получаться результаты в СИ (ток – в амперах, магнитный поток в веберах, энергия в джоулях и т.д.).