

А.-З.Р. Джендубаев

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Методические рекомендации к выполнению курсового проекта
для обучающихся направления подготовки 13.03.02
Электроэнергетика и электротехника, профиль
«Электроснабжение»

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**СЕВЕРО-КАВКАЗСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ГУМАНИТАРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ**

А.-З.Р. Джендубаев

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Методические рекомендации к выполнению курсового проекта
для обучающихся направления подготовки 13.03.02
Электроэнергетика и электротехника, профиль
«Электроснабжение»

Черкесск
2017

УДК 621.3
ББК 31.26
Д40

Рассмотрено на заседании кафедры Электроснабжения.

Протокол № 4 от «09» 02 2016 г.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом СевКавГГТА.

Протокол № 8 от «03» 06 2016 г.

Рецензенты:

Гурин А.В. – к.т.н., доцент кафедры Электроснабжения

Эркенов Н.Х. – к. ф.-м.н., доцент кафедры Электроснабжения

Д40 Джендубаев, А.-З.Р. Электрические машины: методические рекомендации к выполнению курсового проекта для обучающихся направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, профиль «Электроснабжение» / А.-З.Р. Джендубаев. – Черкесск: БИЦ СевКавГГТА, 2017. – 56 с.

В методических рекомендациях приведены варианты технического задания для проектирования асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, представлены основные требования к содержанию и оформлению курсового проекта, приведены ошибки, которые выявляются при достижении "контрольных точек" расчета, а также пути их преодоления, приведен текст программы расчета двигателя, реализованный в MATLAB (Octave, SciLab).

**УДК 621.3
ББК 31.26**

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ.....	7
2. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И СОДЕРЖАНИЮ ПРОЕКТА	7
3. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ.....	9
4. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ОТДЕЛЬНЫХ РАЗДЕЛОВ ПРОЕКТА ...	9
4.1. Выбор электромагнитных нагрузок и расчет главных размеров	9
4.2. Электромагнитный расчет.....	10
4.2.1. Расчет статора.....	10
4.2.2. Воздушный зазор.....	11
4.2.3. Расчет ротора	11
4.2.4. Расчет параметров схемы замещения и характеристик двигателя	12
4.2.5. Расчет рабочих характеристик.....	12
4.3. Тепловой и вентиляционный расчеты.....	12
Приложение 1. Варианты заданий на курсовой проект	13
Приложение 2. Программа (m-файл, скрипт) расчета АД.....	14
Список литературы	55

ВВЕДЕНИЕ

В учебном процессе высших учебных заведений значительное место отводится выполнению курсовых проектов, что способствует повышению уровня подготовки будущих специалистов и приобретению ими профессиональных компетенций.

В процессе выполнения данного курсового проекта обучающиеся знакомятся с методикой проектирования асинхронного двигателя и приобретают опыт проектирования.

В ходе проектирования предполагается использование классического учебника "Проектирование электрических машин" под редакцией И.П.Копылова [1, 2].

В данных рекомендациях представлена программа (m-файл, скрипт) расчета асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, в которой используются техническое задание и остальные численные значения из примера, представленного в [1, 2]. Использование этой программы позволит обучающимся по достоинству оценить преимущества, которые дает использование современных вычислительных систем, например, MATLAB или его бесплатных аналогов Octave и SciLab [8, 9, 10], при расчете двигателя.

Следует отметить, что курсовой проект является составной частью дисциплины «Электрические машины» для обучающихся всех форм обучения по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электроснабжение».

Цель курсового проекта – ознакомить студента с практикой проектирования электрических машин и её основными проблемами, научить применять полученные знания при решении реальных задач, воспитать и развить навыки самостоятельной работы и самостоятельного принятия решений.

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Задачами курсового проекта являются закрепление теоретических знаний, полученных при изучении некоторых разделов курсов «Электрические машины»; формирование комплексного представления об электромагнитном взаимодействии; получение навыка принятия технических решений, а также анализа полученных результатов.

Расчёт курсового проекта осуществляется с использованием [1] с использованием технических решений, принятых в существующих асинхронных двигателях на базе серий 4А и АИР. Технические характеристики двигателей этих серий приведены в [6].

Задание на курсовой проект выдается руководителем проекта. Индивидуальное задание представляет собой основные требования, определяющие исходные данные на проектирование: тип и исполнение электрической машины, число пар полюсов, характеризующее синхронную частоту вращения магнитного поля, напряжение фазы статора и частоту питающей сети, номинальную мощность электродвигателя.

При выполнении работы, если нет специальных указаний руководителя, следует ориентироваться на конструктивное исполнение, принятое в двигателях серий 4А или АИР.

Курсовая работа рассчитана на выполнение в течение одного учебного семестра и должна быть закончена и защищена в сроки, указанные руководителем.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И СОДЕРЖАНИЮ ПРОЕКТА

Курсовой проект состоит из пояснительной записки, содержащей технические расчеты, и графического материала, выполненного на основании этих расчетов.

Пояснительная записка оформляется на листах формата А4 (297х210 мм). На титульном листе указываются: министерство, наименование учебного заведения и кафедры; название курсового проекта; группа, фамилия и инициалы разработчика проекта; должность, фамилия и инициалы руководителя проекта; год.

Для оформления пояснительной записки допускается использовать приложения Microsoft Word и Microsoft Excel.

Текст выполняется рукописным или печатным способом: шрифт рукописный (титульный лист чертежным шрифтом) или Times New Roman, обычный (титульный лист полужирным шрифтом), размером 14 пт; абзац с выравниванием по ширине, первая строка – отступ 1 см, междустроочный интервал – одинарный или полуторный. Ориентация листа – книжная. Поля: верхнее и нижнее – 2 см, левое – 3 см, правое – 1,5 см.

Текст размещается на одной стороне листа, страницы нумеруются арабскими цифрами в низу листа посередине. Титульный лист является первым, номер страницы не указывается.

Текст делят на главы и пункты. Заголовки глав располагают симметрично тексту, заголовки пунктов начинают с абзаца. Каждая глава

начинается с новой страницы. Переносы слов в заголовках не допускаются. Точку в конце заголовка не ставят.

Главы должны иметь порядковую нумерацию в пределах всей работы и обозначаться арабскими цифрами с точкой. Пункты нумеруют арабскими цифрами в пределах каждой главы. Например: 1.2 – (первая глава, второй пункт).

Формулы в работе (если их более одной) нумеруют арабскими цифрами в пределах главы. Номер указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках. Например: (3,1) (третья глава первая формула).

Таблицы в пределах раздела обозначаются цифрами: первая обозначает номер раздела, вторая – порядковый номер таблицы в этом разделе, например: «Таблица 3.1». Иллюстрации обозначаются сокращенно с аналогичным цифровым обозначением, например «Рис. 3.2». Таблицы и иллюстрации располагаются в тексте после первой ссылки на них в тексте: «... в табл. 3.1», «... на рис. 3.2».

Каждый пункт расчета начинается с описания параметра, который рассчитывается, с указанием соответствующих ссылок, если это необходимо. Пояснение значений символов и числовых коэффициентов в формулах следует приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в какой они даны в формуле.

Основная часть пояснительной записки курсового проекта выполняется в соответствии с примером, приведенным в [1], с учетом требований на проектирование асинхронных двигателей серии 4А [1].

Записка должна содержать:

1. Титульный лист
2. Задание на курсовой проект
3. Оглавление
4. Введение
5. Выбор главных размеров электродвигателя
6. Определение числа зубцов и витков обмотки статора
7. Расчёт зубцовой зоны статора и воздушного зазора
8. Расчет ротора
9. Расчет магнитной цепи
10. Определение параметров рабочего режима
11. Расчет потерь
12. Расчет рабочих характеристик
13. Тепловой расчет
14. Список использованных источников

По результатам технических расчетов выполняется графическая часть проекта. Графический материал включает в себя следующее:

1. Развернутая схема обмотки статора.
2. Звезда пазовых и звезда фазовых ЭДС.
3. Рабочие характеристики.

Чертежи графического материала выполняются на листах стандартного формата с основной надписью и в соответствии с требованиями по оформлению чертежей.

При изображении графиков рабочих характеристик разрыв осей не допускается; все рабочие характеристики изображаются на одном графике (с несколькими осями ординат).

На листах пояснительной записки и технического задания основную надпись не выполнять.

3. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Исходными данными для выполнения проекта являются технические требования, сформулированные в техническом задании. Вариант технического задания выдается преподавателем (Приложение 1).

В этом приложении приведены исходные данные для проектирования асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором: h , [мм] – высота оси вращения двигателя; $2p$ – число полюсов, здесь p – число пар полюсов; P_n , [кВт] – номинальная мощность двигателя. Общие данные: число фаз – $m=3$; линейное напряжение обмотки статора, фазы которой соединены в звезду, $U_n=380В$; – частота напряжения, подводимого к обмотке статора, $f=50Гц$; режим работы – S1 (длительный); конструктивное исполнение – IM1001; исполнение по способу защиты от воздействия окружающей среды IP44 (закрытое обдуваемое); категория климатического исполнения – У3; способ охлаждения – самовентиляция; класс нагревостойкости изоляции – F.

В качестве проверочных могут быть приняты данные базового двигателя серии 4А или АИР, имеющего равную мощность, скорость и напряжение, данные которые приведены в [6] или других источниках.

4. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ОТДЕЛЬНЫХ РАЗДЕЛОВ ПРОЕКТА

4.1. Выбор электромагнитных нагрузок и расчет главных размеров

Предварительно электромагнитные нагрузки A и B_δ следует выбирать в пределах, рекомендованных в [1] значений для заданного типоразмера и исполнения двигателя. Так как при проектировании допускается относительно широкое варьирование этими величинами, то при их выборе необходимо руководствоваться следующим. Выбор больших (по верхним пределам допускаемых областей) значений A и B_δ приводит к уменьшению габаритов машины и ее массных показателей, но, одновременно, увеличивает нагрев обмотки и ухудшает энергетические показатели двигателя. При низких значениях A и B_δ размеры машины увеличиваются и объем ее активной части используется не полностью.

Выбранные значения A и B_δ определяют только необходимый «объем» активной части машины D^2l_δ , который может быть получен при различных соотношениях главных размеров.

Поэтому в начале проектирования рассчитывают несколько вариантов значений D и l_δ , связанных между собой величиной машинной постоянной. После анализа принимают наиболее удачный из них, т.е. те значения D и l_δ ,

которые наилучшим образом удовлетворяют условиям, приведенным в расчетной методике. При этом значение наружного диаметра сердечника статора D_a должно быть увязано с высотой оси вращения h , которая может быть взята только из стандартного ряда высот осей вращения [1].

При выполнении этого раздела проекта следует иметь в виду, что дальнейший расчет может показать целесообразность некоторого изменения предварительно выбранных главных размеров двигателя.

Следует отметить, что в курсовом проекте существуют контрольные точки. Это когда из таблиц или графиков необходимо предварительно выбрать некоторые параметры, например, индукцию в воздушном зазоре и линейную нагрузку, на основе которых осуществляют расчет до некоторого пункта, где проверяют, попал ли полученный результат в рекомендуемый диапазон или нет. Если результат отрицательный, то необходимо вернуться к первоначальному пункту, выбрать другие значения индукции и линейной нагрузки и повторить расчет. После нескольких неудачных попыток пройти эту контрольную точку, необходимо внимательно проверить весь расчет с первого пункта и отыскать ошибку. В противном случае, обратитесь к руководителю курсового проектирования.

4.2. Электромагнитный расчет

4.2.1. Расчет статора

Основной задачей настоящего раздела является расчет, числа витков фазы обмотки, распределение ее в пазах и расчет индукции на участках магнитопровода статора. Предварительно должен быть решен вопрос о типе обмотки (всыпная, полужесткая, жесткая), которая, в свою очередь, определяет форму паза (полузакрытый, полуоткрытый или открытый). Далее задаются величиной зубцового деления статора [1] и определяют число пазов Z_1 при этом число пазов на полюс и фазу q должно быть целым, так как в асинхронных двигателях дробное число q обычно не применяют.

Число эффективных проводников в пазу u_n целесообразно определить по принятой ранее величине линейной нагрузки. Полученное значение u_n округляется в зависимости от особенностей принятого типа обмотки. После этого необходимо рассчитать число витков в фазе, величины линейной нагрузки, потока и индукции в воздушном зазоре.

Вновь полученные величины B_δ и A могут несколько отличаться от принятых в начале расчета, но не должны выходить за пределы допустимых значений. При больших расхождениях следует проверить правильность проведенных вычислений.

Весь дальнейший расчет проводится на основании полученных в этом разделе значений A и B_δ , а не ранее принятых их величин.

Переходя к расчету размеров зубцов и пазов статора, следует иметь в виду, что в статорах, имеющих всыпную обмотку из круглого провода, как правило, применяют трапецеидальные или грушевидные пазы, причем их размеры должны быть такими, чтобы зубцы имели параллельные стенки. Наиболее простым способом определения размеров паза, удовлетворяющих этому условию, является следующий. На вычерченном в масштабе зубцовом делении листа статора отмечают зоны зубцов и спинки, размеры которых

определяются допустимым уровнем индукции в них. В оставшейся свободной области пазового деления размещается паз.

При выборе материалов и конструкции изоляции обмотки необходимо руководствоваться данными, приведенными в [1].

Окончательные размеры пазов и зубцов статора в штампе определяются после выбора размеров обмоточного провода, расчета коэффициента заполнения паза и индукций в спинке и в зубцах статора с учетом припуска на штамповку листов и шихтовку сердечника.

4.2.2. Воздушный зазор

Поскольку магнитное напряжение воздушного зазора существенно превышает магнитное напряжение остальной части магнитной цепи, то, с одной стороны, увеличение зазора приводит к возрастанию намагничивающего тока и снижению $\cos\varphi$. Однако с другой – чрезмерное уменьшение зазора вызывает резкое возрастание поверхностных и пульсационных потерь, которое может привести к снижению КПД двигателя. В силу этого, величину воздушного зазора следует выбирать, ориентируясь на их значения у серийных асинхронных двигателей новых серий [1] той же мощности и типа.

4.2.3. Расчет ротора

При расчете короткозамкнутого ротора вначале выбирается число пазов ротора в соответствии с рекомендациями о допустимых соотношениях Z_1 и Z_2 . Далее следует принципиально решить вопрос о форме паза ротора с учетом мощности машины и требований к пусковым характеристикам. После этого рассчитываются площади сечения стержней и замыкающих колец, размеры пазов и зубцов и определяются индукции в зубцах и ярме ротора.

Расчет индукции в зубцах ротора в некоторых случаях показывает, что максимальная индукция в них превышает рекомендованный методиками предел. Большей частью это является следствием неудачно выбранных размерных соотношений пазов, особенно при применении фигурных пазов (лопаточных, трапецеидальных и т.д.), или чрезмерно глубоких прямоугольных пазов в короткозамкнутых роторах.

В этих случаях нужно проверить правильность выбора плотности тока и расчета сечения обмотки ротора и, если ошибка не обнаружена, то изменить соотношение размеров паза таким образом, чтобы минимальная ширина зубца возросла. Попытка уменьшить индукцию в зубцах ротора путем уменьшения числа его пазов практически не дает эффекта, особенно в короткозамкнутых роторах.

Если при заданном диаметре ротора не удастся спроектировать его зубцовую зону, не превышая допустимых значений индукции или плотности тока в обмотке, то следует увеличить главные размеры двигателя, что в некоторых случаях требует перехода на большую высоту оси вращения.

В двигателях, сердечники роторов которых насажены непосредственно на вал, часто после расчета зубцовой зоны выясняется, что индукция в ярме ротора существенно ниже допустимых значений. Если при этом на других участках магнитопровода индукция соответствует нормам, то принимать какие-либо искусственные меры для повышения индукции в ярме ротора

(установка втулки на валу и т. п.) не следует. Все они приводят к усложнению конструкции и технологии производства двигателя.

4.2.4. Расчет параметров схемы замещения и характеристик двигателя

Параметры схемы замещения рассчитываются для номинального режима двигателя. Их значения принимают постоянными при изменении нагрузки двигателя от холостого хода до номинальной. При скольжениях больше номинального следует учесть возможные изменения величин ряда параметров, вызванных эффектом вытеснения тока в стержнях обмотки ротора и насыщением зубцовой зоны потоками рассеяния.

Определением параметров схемы замещения для номинального режима завершается основная часть электромагнитного расчета. По их значениям, выраженным в относительных единицах, можно судить о правильности выбранных размерных соотношений в машине и ее обмоточных данных.

Если параметры двигателя в относительных единицах выходят за рекомендуемые пределы, то эту проблему необходимо обсудить с руководителем проекта и определить пути ее решения. Только после устранения этой проблемы можно перейти к расчету характеристик двигателя.

4.2.5. Расчет рабочих характеристик

Расчет проводится с использованием параметров двигателя, рассчитанных для номинального режима. Расчет характеристик проводится аналитическим методом. Наиболее эффективным решением является разработка программы расчета рабочих характеристики на языке MATLAB или его аналогов [3-5]. В противном случае расчет следует осуществлять с помощью калькулятора.

4.3. Тепловой и вентиляционный расчеты

Тепловой расчет заключается в определении превышения температуры активных частей машины над температурой окружающего среды (воздуха). Расчет рекомендуется проводить по тепловым схемам замещения.

Вентиляционный расчет заключается в определении требуемого для охлаждения двигателя расхода воздуха и напора, обеспечивающего этот расход.

По согласованию с руководителем проекта можно использовать упрощенные методы теплового и вентиляционного расчетов [1]. Упрощенный метод теплового расчета базируется на использовании средних значений коэффициентов теплопроводности изоляции, теплоотдачи с поверхности и коэффициентов подогрева воздуха, характерных для асинхронных двигателей серии 4А.

При упрощенном вентиляционном расчете требуемый для охлаждения расход воздуха сопоставляется с расходом, который может быть достигнут при данных размерах двигателя, спроектированного на базе серии 4А.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.
Варианты заданий на курсовой проект

№ варианта	$h, мм$	$2p$	$P_n, кВт$
1.	80	2	1,5
2.	80	4	1,1
3.	90	2	3
4.	90	4	2,5
5.	90	6	1,5
6.	100	2	4
7.	100	4	3
8.	100	2	5,5
9.	100	4	4
10.	100	6	2,2
11.	100	8	1,5
12.	112	2	7,5
13.	132	4	7,5
14.	132	6	5,5
15.	132	8	4
16.	132	2	11
17.	132	4	11
18.	132	6	7,5
19.	132	8	5,5
20.	160	2	15
21.	112	4	5,5
22.	160	6	11
23.	160	8	7,5
24.	160	2	18,5
25.	160	4	18,5

№ варианта	$h, мм$	$2p$	$P_n, кВт$
26.	112	6	3
27.	112	8	2
28.	112	6	4
29.	112	8	3
30.	180	2	22
31.	180	4	22
32.	180	2	30
33.	180	4	30
34.	180	6	18,5
35.	180	8	15
36.	200	2	37
37.	200	4	37
38.	200	6	22
39.	200	8	18,5
40.	200	2	45
41.	200	4	45
42.	200	6	30
43.	200	8	22
44.	225	2	55
45.	225	4	55
46.	225	6	37
47.	225	8	30
48.	250	2	75
49.	250	4	75
50.	250	6	45

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Программа (m-файл, скрипт) расчета АД

```
%=====
% За основу взята книга Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов / под ред.
% И.П. Копылова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2017 – 767 с.
% Скольжение для таблиц задается в строке 1568, а коэф. насыщения - в
% строке 1781 (или рядом, если будут изменяться строки в ходе редактирования
% программы)
% Для экономии места в Command Window установите компактный формат вывода чисел:
File ==> Preferences ==> Command Window ==> Numeric display ==> compact
% Для возврата в режим разряженного формата: Numeric display ==> loose
%***** ПРИМЕЧАНИЯ *****
%*** Если лобовые части изолированы, то скорректировать
% пункт 44 (табл. 6-19., стр. 197)
%*** Если обмотка укладывается после запресовки, то
%  $B=0,015$  (стр. 197)
%*** Если имеются радиальные каналы, скорректировать
% длину воздушного зазора  $l_1, l_2$  (пункт 44)

mu_0 = 4.*pi*1.E-7 ; % магнитная проницаемость воздуха
% Пункты 45-55 Расчет потерь
gamma_c = 7.8*1.E+3 ;
k_o2 = 1.5;
beta_ct = 1.5 ;% для стали 2013 с.412 //стр.206
p_yd_2013 = 2.5 ; % удельные потери в стали 2013
k_da = 1.6;
k_dz = 1.8 ; % с.412
% Пункт 59-60. Тепловой расчет
lambda_ekb = 0.16;
k_ro = 1.07 ;% Для нагревостойкости класса F (стр.235)

% Техническое задание
P_2n = 37 ; % кВт
n_1 = 3000 ;
U_1n = 220 ;
f_1 = 50 ;

a = 2 ; % a_p_vetw = 2 ;% Число // ветвей
p = 1 ; % число пар полюсов
m = 3 ; % число фаз
k_r = 1 ; % коэфф. вытеснения тока п.44. (стр.398)
rho_115 = (1/40)*1e-6; % Удельное сопротивление меди при t=115 гр., стр.187.
rho_115_al = (1/20.5)*1e-6 ;% Удельное сопротивление алюминиевой обмотки при t=115
гр., стр.187.

fprintf('          Техническое задание \n')
fprintf(' Спроектировать асинхронный трехфазный двигатель с короткозамкнутым
ротором:\n')
fprintf(' P2 = 35 кВт; U_1n = 220/380 В; 2p = 2; конструктивное исполнение IM1001; \n')
fprintf(' исполнение по способу защиты IP23; способ охлаждения IC01; климатическое\n')
fprintf(' исполнение и категория размещения У3, класс нагревостойкости F\n\n')
```

% 1. Число пар полюсов

%p=int(60*f_1/n_1)

for temp_for = 1:100 % temp_for - вспомогательная переменная

disp ' *** Выбор главных размеров ***'

disp '1. Высота оси вращения предварительно по рис. 9.18,б (стр.343)'

% Из табл.9.8 выбираем ближайшие стандартные значения h и D_a

%h = input(' Ввести h = ');

%D_a = input(' Ввести D_a = ');

h = 0.180; % первый проход 37 kW

D_a = 0.313; % Внутренний диаметр статора

fprintf(' Высота оси вращения h = %4.3f м\n', h);

fprintf(' Внешний диаметр статора D_a = %5.3f м\n\n', D_a);

% 2. Внутренний диаметр статора

% Из табл.9.9 выбираем значение K_D

%////////// K_D = input(' 2. Ввести K_D = ');

K_D = 0.54; %////////// %0.5463 % Молодой обмотчик стр. 168 %0.535 %0.52

% h = 0.180 % по Кравчику (для информации)

%D_a = 0.313

%K_D = 0.546

fprintf(' 2. Внутренний диаметр статора. Из табл.9.9 выбираем значение K_D = % 0.2f\n', K_D);

fprintf(' D = K_D*D_a = ')

fprintf('%1.2f*%1.3f =', K_D, D_a)

D = K_D*D_a;

fprintf('%7.6f', D)

D = round(D*10000.)*0.0001 ;% Округление

fprintf(' %s %7.4f м\n\n', char(126), D)

fprintf(' 3. Полюсное деление \n')

fprintf(' tay = pi*D/(2*p) =');

fprintf(' pi*%1.3f/(2*%1.1f) =', D, p)

tay = pi*D/(2*p);

fprintf(' %6.5f', tay)

tay = round(tay*1000.)*0.001 ;% Округление

fprintf(' %s %1.4f м\n\n', char(126), tay)

disp '4. Расчетная мощность (стр.344, 345)'

disp ' Вводим k_e, efi /КПД/, cosFi '

% k_e - по рис. 9.20, КПД и cosFi - по рис. 9.21. (стр.345)

% /// k_e = input('4. Ввести k_e = ')

% //// efi = input(' Ввести efi = ') % efi - эффективность по англ., т.е. КПД

% //// cosFi = input(' Ввести cosFi = ')

k_e = 0.985; % //// % 1 проход (37 kW)

efi = 0.9 ; % ////% efi - эффективность по англ., т.е. КПД

cosFi = 0.89 ; % ////

fprintf(' k_e = %4.3f efi = %4.3f cosFi = %4.3f\n', k_e, efi, cosFi)

P_ = round(P_2n*k_e *1000/(efi*cosFi)*0.01)*100; % Округление

```
fprintf('      P_ = P_2n*k_e *1000/(efi*cosFi) = %3.f*%1.3f*1000/(%5.3f*%5.3f) = %6.0f
Вт\n\n' P_2n, k_e, efi, cosFi, P_)
```

```
disp '5. Электромагнитные нагрузки (предварительно по рис.9.22, стр.346)'
```

```
disp '      Вводим A и B_delta '
```

```
%///// A      = input(' 5. Ввести электромагн. нагрузки      A = ');
```

```
%///// B_delta = input(' 5. Ввести электромагн. нагрузки B_delta = ');
```

```
A = 47500 ;      %///// %49000      % первый проход 37 kW
```

```
B_delta = 0.80 ; %///// %0.79 %0.785
```

```
fprintf('      A = %6.1f A/м      B_delta = %1.3f Тл\n\n', A, B_delta)
```

```
disp ' 6. Обмоточный коэффициент (предварительно для двухслойной обмотки, стр.110, 112)'
```

```
disp '      Для точного расчета обмоточного коэффициента следует запустить программу '
```

```
disp '      k_obm.m и внести значения k_ob1, k_y и beta в данную программу'
```

```
%/// k_obm1 = input (' 6. Ввести предварительное значение обмот. коэфф. k_obm1 = ')
```

```
k_obm1 = 0.783; % /////
```

```
%/// beta = input (' Ввести относительное укорочение обмотки beta = ')
```

```
beta = 0.6111; % ///// относительное укорочение обмотки = y/tay = 11/18 (tay в пазах,
а не в мм)
```

```
k_y = sin(pi*beta/2);
```

```
k_ck = 1 ; % коэф. скока
```

```
fprintf('      k_ob1 = %5.3f k_y = %5.3f beta = %5.3f\n\n', k_obm1, k_y, beta)
```

```
disp ' 7. Расчетная длина магнитопровода по (9.6, стр.348)'
```

```
%      K_B на стр. 348
```

```
% k_B = input(' 7. Ввести коэфф. k_B = ')
```

```
disp '      Вводим k_B '
```

```
k_B = 1.11 ;
```

```
fprintf('      k_B = %5.3f\n', k_B)
```

```
Omega = 2*pi*f_1/p ; %угловая скорость поля
```

```
l_delta = P_/(k_B*(D^2)*Omega*k_obm1*A*B_delta) ;
```

```
l_delta = round(l_delta*1000.)*0.001 ; % Округление
```

```
fprintf('      Длина магнитопровода\n')
```

```
fprintf('      l_delta = P_/(k_B*(D^2)*Omega*k_obm1*A*B_delta) = \n') ;
```

```
fprintf('      = %7.1f/(%5.3f*%1.3f*%1.3f*%3.3f*%1.3f*%5.1f*%1.3f = %1.3f м\n',...
```

```
P_, k_B, D, D, Omega, k_obm1, A, B_delta, l_delta)
```

```
fprintf(' [по (9.5) угловая скорость поля Omega = 2*pi*f_1/p = ') ;
```

```
fprintf('2*pi*%3.1f/%1.1f = %3.3f рад/с]\n', f_1, p, Omega)
```

```
disp ' 8. Отношение (стр. 348)'
```

```
Lamda = l_delta/tay;
```

```
fprintf('      Lamda = l_delta/tay = ')
```

```
fprintf(' %1.4f/%1.4f = %1.5f\n', l_delta, tay, Lamda)
```

```
fprintf('      Lamda находится в рекомендуемом диапазоне \n\n')
```

```
%///// fprintf('      Если Lamda находится в рекомендуемом диапазоне, то ввести "1", \n')
```

```
%///// fprintf('      в противном случае ввести "0". \n')
```

```
%///// temp = input('      Выш выбор? = ');
```

```
%///// if temp == 1
```

```
break
```

```

%//// end
end

disp '*** Определение Z_1, W_1 и площади поперечного сечения провода обмотки статора
***'

disp ' 9. Предельные значения t_Z1 по (рис. 9.26, с.351) '
%t_1max = input(' t_1max = ');
%t_1min = input(' t_1min = ');
    t_Z_1max = 0.0181;
    t_Z_1min = 0.0147;
fprintf('    t_1max = %1.4f    t_1min = %1.4f \n\n', t_Z_1max, t_Z_1min)

disp '10. Число пазов статора (стр.373)'
    Z_1min = round(pi*D/ t_Z_1max); % округление до целого
    Z_1max = round(pi*D/ t_Z_1min);
fprintf('    Z_1min = %2.1f    Z_1max = %2.1f \n ', Z_1min, Z_1max)

%//// Z_1 = input(' Из табл.9.18 (стр.373) принимаем Z_1 = ');
    Z_1 = 36.0 ; %//// ;

fprintf(' Принимаем Z_1 = %2.0f , тогда число пазов на полюс и фазу:\n', Z_1 )
    q = Z_1/(2*p*m); % число пазов на полюс и фазу
fprintf('    q = Z_1/(2*p*m) = %2.0f/(2*%1.0f*%1.0f) = %2.0f\n', Z_1, p, m, q)
fprintf(' Обмотка двухслойная, т.к. высота оси h > 160 мм (см.стр.77)\n\n')

fprintf(' 11. Зубцовое деление статора (окончательно)\n ')
    t_Z1 = pi*D/(2*p*m*q);
    t_Z1 = round(t_Z1*10000)*0.0001; % Округление
fprintf('    t_Z1 = pi*D/(2*p*m*q) = pi*%1.4f/(%1.0f*%1.0f*%1.0f) = %1.4f м\n\n', D, p, m, q, t_Z1);
%fprintf(' %s %1.5f м \n (Округление, как у Копылова И.П.) \n\n', char(126), t_Z1)
%fprintf(' %s %1.5f м \n\n', char(126), t_Z1)

disp ' 12. Число эффективных проводников в пазу [предварительно, '
disp ' при условии, что a=1 по (9.17) стр. 352] '
    I_1n = (P_2n*1000.)/(m*U_1n*cosFi*efi);
fprintf(' Номин. ток (предварительно) \n')
    I_1n = (P_2n*1000.)/(m*U_1n*cosFi*efi);
    I_1n = round(I_1n*10.)*0.1; % округленное значение
fprintf('    I_1n = (P_2n*1000.)/(m*U_1n*cosFi*efi) = ');
fprintf(' (%3.1f*1000)/(%1.0f*%3.0f*%1.3f*%1.3f) = %3.2f A\n',...
        P_2n, m, U_1n, cosFi,efi, I_1n );

fprintf(' Число эффективных проводников в пазу при a = 1 равно\n')
    u_p_ = (pi*D*A)/(I_1n*Z_1);
    u_p_ = round(u_p_); % округленное значение
fprintf('    u_p_ = (pi*D*A)/(I_1n*Z_1) = ');
fprintf(' (pi*%0.4f*%3.0f)/(%2.0f*%2.0f) = %3.4f \n\n', D, A, I_1n, Z_1, u_p_);

disp '13. Принимаем число параллельных ветвей обмотки a=2, тогда по (9.19, стр.352)'
% При необходимости введите новое число (//) ветвей с учетом того, что

```

```

% для однослойных обмоток -> p/a - целое число,
% для 2-х слойных      -> 2p/a - целое число, кратное двум. //a = 2//
% a = input(' 13. Принимаем число (//) ветвей a= \n')
% a= 2 ;
    u_p = u_p_*a ;%
fprintf( '      u_p = u_p_*a = %2.0f*%1.0f =%3.0f \n\n', u_p_,a, u_p )

disp ' 14. Окончательное значение числа витков в фазе по (6.20), стр. 352 '
    W_1 = (u_p*Z_1)/(2*a*m);
fprintf( '      W_1 = (u_p*Z_1)/(2*a*m) = ');
fprintf( ' (%2.0f*%2.0f)/(2*%1.0f*%1.0f) = %3.0f\n', u_p, Z_1, a, m, W_1);
% Точное значение обм. коэффициента было рассчитано по справочным
% данным АД серии 4A180S2 (Z_1=36 и u=11) в пункте 5 с помощью программы
k_obm.m'
%fprintf(' Обмоточный коэфф. k_obm1 = %1.5f\n', k_obm1)
%fprintf(' Уточняем для D_a = %1.5f\n', D_a)
%k_e = input( ' коэфф. k_e и вводим его значение k_e = ')
    k_e = 0.99; % стр.345
disp '      Линейная нагрузка'
    A = (2*I_1n*W_1*m)/(pi*D) ;
    A = round(A*0.01)*100 ; % Округление
fprintf( '      A = (2*I_1n*W_1*m)/(pi*D) = ')
fprintf( ' (2*%2.0f*%2.0f*%2.0f)/(pi*%1.f) = %5.0f A\n', I_1n, W_1, m, D, A)
%fprintf( ' %s %5.1f A/м \n', char(126), A)
fprintf('      При D_a = %1.4f k_obm1 = %1.4f k_e = %1.4f магнитный поток\n', D_a,
k_obm1, k_e)
    Fild = (k_e*U_1n)/(4.*k_B*W_1*k_obm1*f_1) ;% по (9.22)
    Fild = round(Fild*10000)*0.0001 ; % Округление
fprintf('      Fild = (k_e*U_1n)/(4.*k_B*W_1*k_obm1*f_1) = \n')
fprintf('      = (%1.3f*%3.0f)/(4*%1.3f*%2.0f*%1.3f*%2.0f) = %1.6f Вб\n', k_e, U_1n,
k_B, W_1, k_obm1, f_1, Fild)
fprintf('      Индукция в воздушном зазоре\n')
    B_delta = round((p*Fild)/(D*l_delta)*10000)*0.0001 ; % Округление;
fprintf('      B_delta = (p*Fild)/(D*l_delta) = ');
fprintf('(%1.0f*%1.4f)/(%1.3f*%1.3f) = %1.3f Тл\n', p, Fild, D, l_delta, B_delta);
fprintf('      Значения A и B_delta находится в допустимых пределах (рис.9.23а,
стр.347)\n\n')

disp ' 15. Плотность тока в обмотке статора (предварительно) '
%AJ_1 = input('      Ввести произведение AJ_1 по рис. 9.27, стр.355 AJ_1 = ')
    AJ_1 = 310E+9 ; % ввести произведение AJ_1
fprintf('      Вводим произведение AJ_1 по рис. 9.27, стр.355 AJ_1 = %7.3d \n',AJ_1)
    J_1 = AJ_1/A ; % предварительное значение
fprintf('      J_1 = AJ_1/A = ')
fprintf(' %7.3e/%5.0f = %7.1f A/(м^2) =', AJ_1, A, J_1 )
    J_1 = round(J_1*0.00001)*100000; % Округление
fprintf(' %2.2f A/(мм^2)\n\n', J_1/1000000)

disp ' 16. Площадь поперечного сечения эффективного проводника (предварительно)'
    q_ef = I_1n/(a*J_1); % в [м*м]
fprintf('      q_ef = I_1n/(a*J_1) =') %(Нет в тексте книги. Мой индекс)
fprintf(' %2.1f/(%1.0f*%7.0f) = %1.8f м^2 =', I_1n, a, J_1, q_ef)

```

```

    q_ef = q_ef * 1000000; % в [мм^2]
fprintf(' %2.2f мм^2\n\n', q_ef)

disp ' 17. Сечение эффективного проводника (окончательно): принимаем n_el = 3, '
% n_el = input(' вводим число элемент. проводн. n_эл = ');
n_el = 3;
q_el = q_ef/n_el; % сечение элементарного проводника
fprintf(' тогда сечение элементарного проводника /эл-ел,эф-ef,из-iz/ \n')
fprintf(' q_el = q_ef/q_el = %2.2f/%1.0f = %2.2f мм^2\n', q_ef, n_el, q_el)
% q_el = input(' ввести q_el = ');
% d_el = input(' ввести d_el = ');
% d_iz = input(' ввести d_iz = ');
q_el = 1.767; % сечение
d_el = 1.5; % диаметр элементарного провода без изоляции
d_iz = 1.585; % диаметр с изоляцией
q_ef = q_el * n_el; % сечение эффективного проводника
fprintf(' Принимаем обмоточный провод марки ПЭТВ (табл.ПЗ.1, стр.713), \n')
fprintf(' q_el = %2.2f мм^2, d_el = %2.2f мм, d_iz = %2.2f мм\n', q_el, d_el, d_iz)
fprintf(' q_ef = q_el * n_el = %2.2f*%1.0f = %2.2f мм^2\n\n', q_el, n_el, q_ef)

disp ' 18. Плотность тока в обмотке статора (окончательно)'
J_1 = I_1n/(a*q_el*n_el);
fprintf(' J_1 = I_1n/(a*q_el*n_el) = %2.2f/(%1.0f*%2.2f*%1.0f) = %2.2f A/(мм^2)\n\n',...
I_1n, a, q_el, n_el, J_1)

disp ' *** Расчет размеров зубцовой зоны статора и воздушного зазора ***'
disp ' 19. Паз статора по рис. 9.29, "а", стр.362 с соотношением размеров,'
disp ' обеспечивающих параллельность боковых граней зубцов.'
B_z1 = 1.9;
B_a = 1.55;
disp ' Принимаем предварительно по табл.9.12, стр.357 .'
fprintf(' B_z1 = %1.3f Тл B_a = %1.3f Тл\n', B_z1, B_a)
k_c = 0.97;
fprintf(' По табл.9.13, стр.358 для оксидированных листов k_c = %1.3f\n', k_c)
fprintf(' Примем, что l_ct1 = l_delta, тогда по (9.37)\n ')
l_ct1 = l_delta; % в данном случае

b_z1 = (B_delta*t_Z1*l_delta)/(B_z1*l_ct1*k_c)*1000; % мм
fprintf(' b_z1 = (B_delta*t_Z1*l_delta)/(B_z1*l_ct1*k_c)*1000 =\n')
fprintf(' = (%1.3f*%1.3f*%1.3f)/(%1.3f*%1.3f*%1.3f)*1000 = %2.3f мм',...
B_delta, t_Z1, l_delta, B_z1, l_ct1, k_c, b_z1)
b_z1 = round(b_z1*10)*0.1; % Округление
fprintf(' %s %2.2f мм\n', char(126), b_z1)
h_a = Fild/(2*B_a*l_ct1*k_c)*1000; % мм
fprintf(' h_a = Fild/(2*B_a*l_ct1*k_c)*1000 = \n')
fprintf(' = (%1.3f/(2*%1.3f*%1.3f*%1.3f))*1000 = %1.3f', Fild, B_a, l_ct1, k_c, h_a)
h_a = round(h_a*10)*0.1; % Округление
fprintf(' %s %2.2f мм\n\n', char(126), h_a)

disp ' 20. Размеры паза в штампе по (9.38), стр.362: '
b_sh = 4; % мм //0.004 (b_sh <=="sh" <=="ш") Ширина шлица
h_sh = 1; % мм //0.001 Высота шлица

```

```

fprintf('    Ширина шлица b_sh = %2.1f мм, высота шлица h_sh = %2.1f мм, угол beta = 45
гр. \n', b_sh, h_sh)
fprintf('    По (9.38)\n')
    h_p = ((D_a - D)/2)*1000 - h_a ; % "p" <==> "П"  "/1000" - перевод в "м"
fprintf('    h_p = ((D_a - D)/2)*1000 - h_a = ((%1.3f-%1.3f)/2)*1000 - %1.3f = %1.3f  мм\n',
D_a, D, h_a, h_p')
fprintf('    По (9.40)\n')
    b_1 = (pi*(D*1000 + 2*h_sh - b_sh) - Z_1*b_z1)/(Z_1 - pi) ;
fprintf('    b_1 = (pi*(D*1000 + 2*h_sh - b_sh) - Z_1*b_z1)/(Z_1 - pi) = \n')
fprintf('        = (pi*(%2.1f + 2*%2.1f - %2.1f) - %2.1f %2.1f)/( %2.1f - pi) = %2.3f',...
        D*1000, h_sh, b_sh, Z_1, b_z1, Z_1, b_1)
    b_1 = round(b_1*10)*0.1 ; % Округление
fprintf('    %s %2.2f  мм\n', char(126), b_1)
fprintf('    По (9.39), стр.362 \n')
    b_2 = pi*(D*1000 + 2.*h_p)/Z_1 - b_z1;
fprintf('    b_2 = pi*(D*1000 + 2.*h_p)/Z_1 - b_z1 = \n')
fprintf('        = pi*(%2.1f*1000 + 2*%2.1f)/%2.1f - %2.1f = %2.3f', ...
        D, h_p, Z_1, b_z1, b_2)
    b_2 = round(b_2*10)*0.1 ; % Округление
fprintf('    %s %2.2f  мм\n', char(126), b_2)

fprintf('    По (9.42)-(9.45), угол бета = 45 гр. стр.365 \n')
    h_pk = h_p - (h_sh + (b_1 - b_sh)/2);
fprintf('    h_pk = h_p - (h_sh + (b_1 - b_sh)/2) = \n')
fprintf('        = %2.1f - (%2.1f + (%2.1f - %2.1f)/2) = %2.3f', ...
        h_p, h_sh, b_1, b_sh, h_pk)
    h_pk = round(h_pk *10)*0.1 ; % Округление
fprintf('    %s %2.2f  мм\n\n', char(126), h_pk)

disp ' 21. Размер паза в свету с учетом припуска на сборку:'
disp '    (по табл.9.14, стр.360, (9.42), стр.365)'
    dlt_b_p = 0.2 ; % припуск на сборку
    dlt_h_p = 0.2 ; % припуск на сборку
fprintf('    Припуски на сборку: dlt_b_p = %2.2f mm; dlt_h_p = %2.2f mm\n', dlt_b_p,
dlt_h_p)
    b_1_ = b_1 - dlt_b_p;
    b_2_ = b_2 - dlt_b_p;
    h_pk_ = h_pk - dlt_h_p;
fprintf('    b_1_ = b_1 - dlt_b_p = ');
fprintf('%2.2f - %2.2f = %2.2f mm\n', b_1, dlt_b_p, b_1_);
fprintf('    b_2_ = b_2 - dlt_b_p = ');
fprintf('%2.2f - %2.2f = %2.2f mm\n', b_2, dlt_b_p, b_2_);
fprintf('    h_pk_ = h_pk - dlt_h_p = ');
fprintf('%2.2f - %2.2f = %2.2f mm\n', h_pk, dlt_h_p, h_pk_);

disp '    Площадь поперечного сечения прокладок  стр. 365 '
    b_pr = 0.4 ;
fprintf('    Толщина прокладки (стр.77) b_pr = %2.2f мм \n', b_pr)
    S_pr = (0.9*b_1_ + 0.4*b_2_)*b_pr ;
fprintf('    S_pr = (0.9*b_1_ + 0.4*b_2_)*b_pr = ')
fprintf('(0.9*%2.2f 0.4*%2.2f)*%2.2f = %2.3f', b_1, b_2, b_pr, S_pr) ;
    S_pr = round(S_pr *10)*0.1 ; % Округление

```

```

fprintf(' %s %2.2f мм^2\n', char(126), S_pr)
%disp '   Площадь поперечного сечения корпусной изоляции в пазу'
    b_iz = 0.4; % толщина изоляции в пазу
fprintf('   Односторонняя толщина изоляции в пазу (по табл.3.1, стр.77) b_iz = %2.2f
мм\n', b_iz )
fprintf('   Площадь поперечного сечения корпусной изоляции в пазу \n')
    S_iz = b_iz*(2*h_p + b_1 + b_2); % % Площадь корпусной изоляции
fprintf('   S_iz = b_iz*(2*h_p + b_1 + b_2) = \n')
fprintf('   = %2.1f*(2*%2.2f + %2.2f + %2.2f) = %3.4f', b_iz, h_p, b_1, b_2, S_iz)
    S_iz = round(S_iz *10)*0.1 ; % Округление
fprintf(' %s %2.2f мм^2\n', char(126), S_iz )
fprintf('   Площадь поперечного сечения паза для размещения проводников по (9.48)\n')
    S_p_ = (b_1_ + b_2_)*h_pk_/2 - (S_iz + S_pr);
fprintf('   S_p_ = (b_1_ + b_2_)*h_pk_/2 - (S_iz + S_pr) = \n')
fprintf('   = (%2.2f + %2.2f)*%2.2f/2 - (%2.2f + %2.2f) = %2.4f ', ...
        b_1_, b_2_, h_pk_, S_iz, S_pr, S_p_)
    S_p_ = round( S_p_ *10)*0.1 ; % Округление
fprintf(' %s %2.2f мм^2\n', char(126), S_p_ )

disp ' 22. Коэффициент заполнения паза (стр.366) '
disp '   Для АД с 2p=2 ==> k_z = (0,69...0,71), с 2p>2 ==> k_z = (0,72...0,74) '
disp '   Для изменения k_z путем варьирования D_a и h см. пункт 1 '
disp '   Для изменения k_z путем варьирования B_z1 и B_a см. пункт 19'
    k_z = (d_iz^2*u_p*n_el)/S_p_;
fprintf('   k_z = (d_iz^2*u_p*n_el)/S_p_ = ')
fprintf('(%2.3f^2*%2.0f*%1.0f)/%2.2f = %2.4f \n\n', d_iz, u_p, n_el, S_p_, k_z)

disp '   ***** Расчет ротора *****'
% Воздушный зазор
    delta = 1; % [мм] по справочнику для АД 4A180S2
fprintf(' 23. Воздушный зазор (по рис.9.31, с.367) delta = %2.2f мм\n\n', delta)

% Число пазов ротора
    Z_2 = 28; % (по табл.9.18, стр.373)
fprintf(' 24. Число пазов ротора (по табл.9.18, стр.373) Z_2 = %2.2f\n\n', Z_2)

fprintf(' 25. Внешний диаметр ротора \n')
    D_2 = D - 2*delta/1000;
fprintf('   D_2 = D - 2*delta = %2.3f - 2*%1.1f/1000 = %2.4f м\n\n', D, delta, D_2)

%26. Длина магнитнопровода ротора
    l_ct2 = l_delta;
fprintf(' 26. Длина магнитопровода ротора l_ct2 = l_delta = %2.4f м\n\n', l_ct2 )

%27. Зубцовое деление ротора
    t_Z2 = (pi*D_2*1000)/Z_2;
fprintf(' 27. Зубцовое деление ротора \n')
fprintf('   t_Z2 = (pi*D_2*1000)/Z_2 = (pi*%2.3f*1000)/%2.0f = %2.4f', D_2, Z_2, t_Z2)
    t_Z2 = round( t_Z2*10.)*0.1; % округленное значение
fprintf('   %s %3.3f мм\n\n ', char(126), t_Z2)

fprintf('28. Внутренний диаметр ротора равен диаметру вала, т.к. \n')

```

```

fprintf('   сердечник непосредственно насажен на вал, по (9.102, с.386)\n')
% Вместо k_b используется k_b_val (для вала), т.к.
% возможна путаница с коэфф. k_B из пункта 8.
    k_b = 0.23 ; % Коэфф. для вала ротора (по табл.9.19, стр. 385)
    D_b = k_b*D_a; %Внутренний диаметр ротора
fprintf('   При k_b = %2.3f (табл.9.19, стр. 385), внутренний диаметр равен:\n', k_b )
fprintf('       D_j = D_b = k_b*D_a = %2.4f *%2.3f = %2.4f', k_b, D_a, D_b )
    D_b = round( D_b*100.)*0.01; % округленное значение
fprintf(' %s %3.3f мм\n\n ', char(126), D_b)
    D_j = D_b ;

fprintf('29. Ток в обмотке ротора по (9.57) с.370. Пазы ротора без скоса - k_ck = 1 \n')
    k_i = 0.2 + 0.8*cosFi ;
    v_i = 2*m*W_1*k_obm1/Z_2 ; % m = 3 - число фаз

fprintf('   По (9.58) k_i = 0.2 + 0.8*cosFi = 0.2 + 0.8*%1.3f = %2.3f\n', cosFi, k_i)
fprintf('   По (9.66) v_i = 2*m*W_1*k_obm1/Z_2 = 2*%1.0f*%2.0f*%1.3f/%2.0f = %2.3f ',
m, W_1, k_obm1, Z_2, v_i)
    v_i = round(v_i*100)*0.01; % Округление
fprintf(' %s %3.2f А\n ', char(126), v_i)
    I_2 = k_i*I_1n*v_i ;
fprintf('   По (9.57) I_2 = k_i*I_1n*v_i = %2.3f*%2.0f*%2.3f = %2.3f', k_i, I_1n, v_i, I_2)
    I_2 = round(I_2); % Округление
fprintf(' %s %3.1f А\n\n ', char(126), I_2)

fprintf(' 30. Площадь поперечного сечения стержня (предварительно) по (9.68), стр.375\n')
    J_2 = 3E+6 ; % 2.8E+6; % у IP23 J_2 на 10-15% больше (стр.375), чем у IP44
fprintf('   Плотность тока литой обмотки принимаем J_2 = %2.3g А/(мм^2)\n', J_2)
    q_c = (I_2/J_2) * 1.E+6 ;% в мм**2
fprintf('   По (9.68) q_c = (I_2/J_2) * 1.E+6 = (%2.3f/%2.3g)* 1.E+6 = %2.3f % в мм^2\n', I_2, J_2, q_c )
    q_c = round(q_c*10)*0.1; % Округление
fprintf(' %s %3.1f мм^2 \n\n ', char(126), q_c)

fprintf('31. Паз ротора по рис.9.40б, с.380.')
% ВНИМАНИЕ% При отсутствии перемины необходимо указать h_sh2_=0, т.к.
% эта информация используется для организации ветвления IF() в пункте 35
% при определении коэф. Картера для ротора с полужакрытыми пазами
    b_sh2 = 1.5;
    h_sh2 = 0.7;
    h_sh2_ = 1; % для 2p=2 (стр. 380)
fprintf(' Принимаем b_sh2 =%2.1f мм, h_sh2 =%2.1f мм, h_sh2_ =%2.1f мм\n', b_sh2,
h_sh2, h_sh2_)
    B_z2 = 2; % магн. индукция в зубцах ротора
fprintf('   Принимаем B_z2 = %2.3f Тл по табл. 9.12 стр.357\n', B_z2)
fprintf('   Допустимая ширина зубца по (9.75), с.380 \n')
    b_z2dop = (B_delta*t_Z2*l_delta)/(B_z2*l_ct2*k_c); %[мм]
fprintf('       b_z2dop = (B_delta*t_Z2*l_delta)/(B_z2*l_ct2*k_c) = \n')
fprintf('       = (%2.3f*%2.3f*%2.3f)/(%2.3f*%2.3f*%2.3f) = %2.3f',...
    B_delta, t_Z2, l_delta, B_z2, l_ct2, k_c, b_z2dop)
    b_z2dop = round( b_z2dop*10)*0.1; % Округление
fprintf(' %s %2.3f мм \n ', char(126), b_z2dop)

```

```

% Дополнительный индекс "_2", т.к размеры относятся к ротору
fprintf(' Размеры паза по (9.76) стр. 380 \n')
% b_1_2 <==> b_1 - эквивалентно. Пазы статора имеют аналогичные обозначения
% (см. стр.458), поэтому добавлен индекс "2", подчеркивающий принадлежность к ротору
b_1_2 = ((pi*(D_2*1000 - 2*h_sh2 - 2*h_sh2_) - Z_2*b_z2dop))/(pi + Z_2);
fprintf(' b_1_2 = ((pi*(D_2*1000 - 2*h_sh2 - 2*h_sh2_) - Z_2*b_z2dop))/(pi + Z_2) = \n')
fprintf(' = ((pi*(%2.3f*1000 - 2*%2.1f - 2*%2.1f) - %2.2f* %2.1f))/(pi + %2.1f) = %2.3f',...
D_2, h_sh2, h_sh2_, Z_2, b_z2dop, Z_2, b_1_2)
b_1_2 = round(b_1_2*10)*0.1; % Округление
fprintf(' %s %2.1f мм \n ', char(126), b_1_2)
fprintf(' По (9.77)\n') % b_2_2 <==> b_2 - эквивалентно
b_2_2 = sqrt( ((b_1_2^2)*(Z_2/pi + pi/2) - 4*q_c)/(Z_2/pi - pi/2));
fprintf(' b_2_2 = sqrt( ((b_1_2^2)*(Z_2/pi + pi/2) - 4*q_c)/(Z_2/pi - pi/2)) = \n')
fprintf(' = sqrt(((%2.1f^2)*(%2.1f/pi + pi/2) - 4*%2.1f)/( %2.1f/pi - pi/2) = %2.3f ', ...
b_1_2, Z_2, q_c, Z_2, b_2_2)
b_2_2 = round(b_2_2*10)*0.1; % Округление
fprintf(' %s %2.1f мм \n ', char(126), b_2_2)
fprintf(' По (9.78)\n')
h_1_2 = (b_1_2 - b_2_2)*Z_2/(2*pi); % h_1_2 <==> h_1 - эквивалентно
fprintf(' h_1 = (b_1_2 - b_2_2)*Z_2/(2*pi) = \n')
fprintf(' = (%2.1f - %2.1f)*%2.3f/(2.*pi) = %2.3f = ',...
b_1_2, b_2_2, Z_2, h_1_2)
h_1_2 = round( h_1_2 *10)*0.1; % Округление
fprintf(' %s %2.1f мм \n\n ', char(126), h_1_2 )

fprintf('32. Уточняем ширину зубцов ротора по формулам табл.9.20, с.389\n')
fprintf(' Полная высота паза \n')
h_p2 = h_sh2_ + h_sh2 + b_1_2/2 + h_1_2 + b_2_2/2;
fprintf(' h_p2 = h_sh2_ + h_sh2 + b_1_2/2 + h_1_2 + b_2_2/2 = \n')
fprintf(' = %2.1f + %2.1f + %2.1f/2 + %2.1f + %2.1f/2 = %2.1f ',...
h_sh2_, h_sh2, b_1_2, h_1_2, b_2_2, h_p2)
h_p2 = round(h_p2 *10)*0.1; % Округление
fprintf(' %s %2.1f мм \n ', char(126), h_p2 )
fprintf(' Ширина зубцов \n')
b_z2_ = pi*(D_2*1000 - 2*(h_sh2 + h_sh2_)-b_1_2)/Z_2 - b_1_2;
fprintf(' b_z2_ = pi*(D_2*1000 - 2*(h_sh2 + h_sh2_)-b_1_2)/Z_2 - b_1_2 = \n');
fprintf(' _ = pi*(%2.3f *1000 - 2*(%2.1f + %2.1f)-%2.1f )/%2.0f - %2.1f = %2.3f',...
D_2, h_sh2, h_sh2_, b_1_2, Z_2, b_1_2, b_z2_)
b_z2_ = round( b_z2_ *10)*0.1; % Округление
fprintf(' %s %2.1f мм \n ', char(126), b_z2_ )
b_z2__ = (pi*(D_2*1000 - 2*h_p2 + b_2_2)/Z_2) - b_2_2;
fprintf(' b_z2__ = (pi*(D_2*1000 - 2*h_p2 + b_2_2)/Z_2) - b_2_2 = \n')
fprintf(' = (pi*(%2.3f*1000 - 2*%2.1f + %2.1f)/%2.0f) - %2.1f = %2.3f ',...
D_2, h_p2, b_2_2, Z_2, b_2_2, b_z2__)
b_z2__ = round( b_z2__ *10)*0.1; % Округление
fprintf(' %s %2.1f мм \n ', char(126), b_z2__ )
fprintf(' Имеем b_z2_ = b_z2__ = b_z2 % s %2.1f мм \n ', char(126), b_z2_)
b_z2 = b_z2_ ; % В пункте 36 используется b_z2
fprintf(' Принимаем b_z2_ = b_z2__ = b_z2 = %2.1f мм \n ', b_z2)

```

```

fprintf('33. Площадь поперечного сечения стержня ротора по (9.79)\n')
q_c = (pi/8)*(b_1_2^2 + b_2_2^2) + (1/2)*(b_1_2 + b_2_2)*h_1_2;
fprintf('    q_c = (pi/8)*(b_1_2^2 + b_2_2^2) + (1/2)*(b_1_2 + b_2_2)*h_1_2 = \n')
fprintf('    = (pi/8)*(%2.1f^2 + %2.1f^2) + (1/2)*(%2.1f + %2.1f)*%2.3f = %2.1f',...
        b_1_2, b_2_2, b_1_2, b_2_2, h_1_2, q_c )
q_c = round(q_c * 10) * 0.1; % Округление
fprintf(' %s %2.2f мм^2 \n ', char(126), q_c)
% Плотность тока в стержне
J_2 = I_2/q_c;
fprintf('    Плотность тока в стержне \n')
fprintf('    J_2 = I_2/q_c = %3.2f/%3.2f = %3.3f', I_2, q_c, J_2)
J_2 = round(J_2 * 10) * 0.1; % Округление
fprintf(' %s %2.2f А/мм^2 \n\n ', char(126), J_2 )

fprintf(' 34. Короткозамыкающие кольца (рис.9.37,б,с.376). \n    Площадь поперечного
сечения кольца по (9.72)\n')
% где
DELTA_2 = 2*sin(pi*p/Z_2);
I_kl = I_2/DELTA_2 ;
J_kl = 0.85 * J_2 ; % плотность тока в кольце выбирают на 15-20% меньше, чем в
стержне
q_kl = I_kl/J_kl ;
fprintf('    По (9.71) DELTA_2 = 2*sin(pi*p/Z_2) = 2*sin(pi*%2.0f/%2.0f) = %2.4f ', p, Z_2,
DELTA_2)
DELTA_2 = round( DELTA_2 * 1000) * 0.001; % Округление
fprintf(' %s %2.3f \n ', char(126), DELTA_2 )
fprintf('    По (9.70) I_kl = I_2/DELTA_2 = %3.0f/%2.3f = %2.3f', I_2, DELTA_2, I_kl)
I_kl = round(I_kl * 1) * 1; % Округление
fprintf(' %s %2.0f А \n ', char(126), I_kl )
fprintf('    Площадь сечения кольца q_kl = I_kl/J_kl = %4.0f/%2.3f = %2.4f', I_kl, J_kl, q_kl)
q_kl = round(q_kl); % Округление
fprintf(' %s %2.1f мм^2 \n ', char(126), q_kl )
fprintf('    Размеры короткозамыкающих колец: \n ')
h_kl = round(1.25*h_p2);
b_kl = round(q_kl/h_kl);
q_kl = round(h_kl*b_kl);
D_kl_cp = round(D_2*1.E+3 - h_kl);

fprintf('    h_kl = 1.25*h_p2 = 1.25*%2.3f = %2.0f мм \n', h_p2, h_kl);
fprintf('    b_kl = q_kl/h_kl = %2.3f/%2.3f = %2.0f мм \n', q_kl, h_kl, b_kl);
fprintf('    q_kl = h_kl*b_kl = %2.3f*%2.3f = %2.0f мм^2 \n', h_kl, b_kl, q_kl);
fprintf('    D_kl_cp = D_2*1.E+3 - h_kl = %2.3f*1.E+3 - %2.3f = %2.0f мм \n\n', D_2, h_kl,
D_kl_cp );

disp '    ***** Расчет магнитной цепи ***** '
disp '    Магнитопровод из стали 2013; толщина листов 0,5 мм'
% Информация об используемых пазах (полузакрытые - h_sh2_=0
% или закрытые -h_sh2_>0) см. в П.31
disp ' 35. Магнитное напряжение воздушного зазора по (9.103) с.386'
gamma_1 = ((b_sh/delta)^2)/(5 + b_sh/delta);
fprintf('    gamma_1 = ((b_sh/delta)^2)/(5 + b_sh/delta) = \n')
fprintf('    = ((%2.1f/%2.1f)^2)/(5 + %2.1f/%2.1f) = %2.4f',...

```

```

        b_sh, delta,      b_sh, delta, gamma_1)
    gamma_1 = round( gamma_1 *100)*0.01; % Округление
fprintf(' %s %2.3f \n ', char(126), gamma_1 )

    k_delta_1 = t_Z1*1000/(t_Z1*1000-gamma_1*delta) ; % Коэф. Картера для статора
fprintf('      k_delta_1 = t_Z1*1000/(t_Z1*1000-gamma_1*delta) = \n')
fprintf('          = %2.3f*1000/(%2.3f*1000 - %2.2f*%2.1f) = %2.4f ', ...
        t_Z1, t_Z1, gamma_1,delta, k_delta_1 )
    k_delta_1 = round( k_delta_1 *100)*0.01; % Округление
fprintf(' %s %2.3f \n ', char(126), k_delta_1 )
% Коэф. Картера для ротора = 1, т.к. имеется шлиц на роторе, т.е. ротор гладкий
    k_delta_2 = 1;
    k_delta = k_delta_1*k_delta_2;
fprintf('      k_delta_2 = %2.1f \n', k_delta_2 )
fprintf('      k_delta = k_delta_1*k_delta_2 = %2.3f*%2.3f = %2.4f \n',...
        k_delta_1, k_delta_2, k_delta)
    F_delta = (2/myu_0)*B_delta*k_delta*delta/1000;
fprintf('      F_delta = (2/myu_0)*B_delta*k_delta*delta/1000 = \n')
fprintf('          = (2/%2.3g)*%2.3f*%2.3f*%2.1f/1000 = %2.3f ',...
        myu_0, B_delta,k_delta,delta, F_delta)
    F_delta = round( F_delta *10)*0.1; % Округление
fprintf(' %s %2.1f A\n\n ', char(126), F_delta )

disp ' 36. Магнитное напряжение зубцовой зоны статора по (9.104), стр.387 '
fprintf('      Расчетная индукция в зубцах по (9.105) \n')
    B_z1_ = (B_delta*t_Z1*1000*l_delta)/(b_z1*l_ct1*k_c);
fprintf('      B_z1_ = (B_delta*t_Z1*1000*l_delta)/(b_z1*l_ct1*k_c) = \n')
fprintf('          = (%1.3f*%2.2f*1000*%2.3f)/(%2.2f*%2.3f*%2.3f) = %2.3f Тл\n', ...
        B_delta,t_Z1,l_delta, b_z1,l_ct1, k_c, B_z1_)
fprintf('      (b_z1 = %2.2f мм по п.19 расчета; k_c1 = %2.2f мм по табл.9.13) \n',b_z1,k_c)
fprintf('      Т.к. B_z1_>1.8 Тл, то необходимо учесть ответвление потока\n')
fprintf('      в паз и найти действительную индукцию в зубце B_z1. \n')
fprintf('      Коэфф. k_px1 по высоте h_zx = 0.5*h_z по (4.33) \n')
    % Расчет ответвления в паз с.178, стр. 387
if(B_z1_>1.800001) % (1.800001 в противном случае работает не корректно)
    b_px1 = (b_1 + b_2)/2;
fprintf('      b_px1 = (b_1 + b_2)/2 = (%2.1f + %2.1f)/2 = %2.1f мм\n', b_1, b_2, b_px1)
    k_px1 = (b_px1*l_delta)/(b_z1*l_ct1*k_c);
fprintf('      k_px1 = (b_px1*l_delta)/(b_z1*l_ct1*k_c) = \n ')
fprintf('          = (%2.1f*%2.3f)/(%2.1f*%2.3f*%2.2f)= %2.3f мм\n', ...
        b_px1,l_delta, b_z1,l_ct1,k_c, k_px1)

    for temp_for = 1:100
        fprintf('      B_z1_ = %2.3f Тл \n', B_z1_)
        % fprintf('      Ввести магн. индукцию в зубцах статора (B_z1 < B_z1_). B_z1 = ')
        % //// B_z1 = input(' При первой итерации ввести магн. индукцию B_z1_>B_z1 =
(При повторной - B_z1_temp) = ');
        B_z1 = 1.896977; % третья итерация. Расхождение при начальной индукции 1.9 Тл
        %////
        fprintf('      Вводим магн. индукцию в зубцах статора (B_z1 < B_z1_). B_z1 = %1.3f Тл\n',
B_z1)
        %      начальном: -0.000001

```

```

H_z1 = spline_H_z_B_z(B_z1); % Вызов функции сплайн аппроксимации (см. файл:
spline_H_B.m) Нет у Копылова И.П.
fprintf('    Для определения напряженности используем функцию spline_H_z_B_z.m,
\n')
fprintf('    с помощью которой аппроксимированы данные табл. П1.7,с.698 H_z1 =
%1.3f A\n', H_z1)

% /// При использовании таблицы из книги.
%///// H_z1 = input('Ввести H_z1, соответствующую B_z1 (табл. П1.7,с.698). H_z1 = ');
% H_z1 = 2043.72 /////
B_z1_temp = B_z1_ - myu_0*H_z1*k_px1;
fprintf('    B_z1_temp = B_z1_ - myu_0*H_z1*k_px1 = \n ')
fprintf('    = %2.6f - %2.6f*%2.6f*%2.6f = %2.6f Тл\n', ...
B_z1_, myu_0,H_z1,k_px1,B_z1_temp)
dlt_B_z1 = B_z1_temp - B_z1;
fprintf('    Расхождение между индукциями \n')
fprintf('    dlt_B_z1 = B_z1_temp - B_z1 = %2.6f - %2.6f = %2.6f Тл\n', B_z1_temp, B_z1,
dlt_B_z1);
% ///fprintf('    Если dlt_B_z1=0, то ввести (0), в противном случае ввести (1) и
повторить расчет ');
% //////////////////////////////////
% temp2 = input( '    Выш выбор? = ');
temp2 = 0 ; %////////////////////////////////
if temp2 == 0
break % внутри if не работает. Использовать ==> return
end
% break
end

else
fprintf('    B_z1_ = %2.3f, B_z1_ = %2.3f ', B_z1_, B_z1 )
fprintf('    Поскольку B_z1_ < 1.8, то не учитываем ответвления в паз и ')
% B_z1 = input(' Ввести магн. индукцию (B_z1 < B_z1_). B_z1 = ')
H_z1 = input('    вводим H_z1, соответствующую B_z1 (табл. П1.7,с.698). H_z1 = ');
% H_z1 = 3235
end

fprintf('\n    Для стали 2013 H_z1 = %2.3f A\n', H_z1);
disp '    Магнитное напряжение зубцовой зоны статора по (9.104), стр.387 '
h_z1 = h_p/1000 ;
fprintf('    h_z1 = h_p = %2.3f , где h_p - высота паза (пункт 19) равна высоте зубца
\n',h_z1)
F_z1 = round(2*h_z1*H_z1) ; % округление
fprintf('    F_z1 = 2*h_z1*H_z1 = 2*%2.3f*%2.3f = %2.1f A\n\n', h_z1, H_z1, F_z1)

disp ' 37. Магнитное напряжение зубцовой зоны ротора по (9.108), стр.387 '
fprintf('    Расчетная индукция в зубцах по (9.109) \n')
B_z2_ = (B_delta*t_Z2*l_delta)/(b_z2*l_ct1*k_c);
fprintf('    B_z2_ = (B_delta*t_Z2*l_delta)/(b_z2*l_ct1*k_c) = \n')
fprintf('    = (%1.3f*%2.2f*1000*%2.3f/(%2.2f*%2.3f*%2.3f) = %2.3f Тл\n', ...
B_delta,t_Z2,l_delta, b_z2,l_ct1, k_c, B_z2_)

```

```

% Расчет ответвления в паз ротора с.178, стр. 387
if(B_z2_ > 1.800001) % (1.800001 в противном случае работает не корректно)
    b_px2 = (b_1_2 + b_2_2)/2;
fprintf('    b_px2 = (b_1_2 + b_2_2)/2 = (%2.1f + %2.1f)/2 = %2.1f \n', b_1_2, b_2_2,
b_px2)
    k_px2 = (b_px2*l_delta)/(b_z2*l_ct1*k_c);
fprintf('    k_px2 = (b_px2*l_delta)/(b_z2*l_ct1*k_c) = \n ')
fprintf('    = (%2.1f*%2.3f)/(%2.1f*%2.3f*%2.2f)= %2.3f мм\n', ....
    b_px2,l_delta, b_z2,l_ct1,k_c, k_px2)

for temp_for = 1:100
    % метка 36    continue
    fprintf('    B_z2_ = %2.3f Тл \n', B_z2_)
    % fprintf('    Ввести магн. индукцию в зубцах ротора (B_z2 < B_z2_). B_z2 = ')
    %/// B_z2 = input(' При первой итерации ввести магн. индукцию B_z2_ > B_z2 = (При
повторной - B_z2_temp) = ');
    B_z2 = 2.007225 ; % третья итерация. Расхождение при начальной индукции 1.9 Тл
    /////
    %    начальном: -0.000002
    fprintf('    Вводим магнитную индукцию в зубцах ротора (B_z2 < B_z2_). B_z2 = %1.3f
Тл\n', B_z2)
        H_z2 = spline_H_z_B_z(B_z2); % Вызов функции
    fprintf('    Для определения напряженности используем функцию spline_H_z_B_z.m, с
\n')
    fprintf('    помощью которой аппроксимированы данные табл. П1.7,с.698    H_z1 =
%1.3f А\n', H_z2)

    %    H_z1 = input('Ввести H_z1, соответствующую B_z1 (табл. П1.7,с.698). H_z1 = ');
    %    H_z1 = 2043.72
        B_z2_temp = B_z2_ - myu_0*H_z2*k_px2;
    fprintf('    B_z2_temp = B_z2_ - myu_0*H_z2*k_px2 = \n ')
    fprintf('    = %2.6f - %2.6f*%2.6f*%2.6f = %2.6f Тл\n', ...
        B_z2_, myu_0,H_z2,k_px2,B_z2_temp)
        dlt_B_z2 = B_z2_temp - B_z2;
    fprintf('    Расхождение между индукциями \n')
    fprintf('    dlt_B_z2 = B_z2_temp - B_z2 = %2.6f - %2.6f = %2.6f Тл\n', B_z2_temp, B_z2,
dlt_B_z2);
    %/// fprintf('    Если dlt_B_z2=0, то ввести (0), в противном случае ввести (1) и
повторить расчет ');
    %/// temp2 = input('    Выш выбор? = ');
    temp2 = 0 ; %///
    if temp2 == 0 ;
        break % внутри if не работает. Использовать ==> return
    end
    % break
end
else
    fprintf('    B_z2_ = %2.3f,    B_z2_ = %2.3f ', B_z2_, B_z2 )
    fprintf('    Поскольку B_z2_ < 1.8, то не учитываем ответвления в паз и ')
    H_z2 = input('    вводим H_z2, соответствующую B_z2 (табл. П1.7,с.698). H_z2 = ');
    %///
    %/// H_z2 = 3235 % подобрать по таблице и ввести значение.

```

```

% Для устранения обращения при каждом вызове программы. При изменении
% B_z2 - ввести новое значение H_z1.
end

fprintf('\n Для стали 2013 H_z2 = %2.3f A\n', H_z2);
disp ' Магнитное напряжение зубцовой зоны ротора (9.108), стр.387 '
h_z2 = (h_p-0.1*b_2_2)/1000;
fprintf(' h_z2 = h_p-0.1*b_2_2 = %2.3f - 0.1*%2.3f = %2.3f м, где h_p_2 - высота паза
(пункт.32)\n', h_p, b_2_2, h_z2)
F_z2 = round(2*h_z2*H_z2); % округление
fprintf(' F_z2 = 2*h_z2*H_z2 = 2*%3.4f*%4.3f = %4.2f A\n\n', h_z2, H_z2, F_z2)

disp ' 38. Коэффициент насыщения зубцовой зоны по (9.115), стр.391 '
k_z = 1 + (F_z1 + F_z2)/F_delta;
fprintf(' k_z = 1 + (F_z1 + F_z2)/F_delta = 1 + (%4.2f + %4.2f)/%4.2f = %4.2f\n\n', ...
F_z1, F_z2, F_delta, k_z)

disp ' 39. Магнитное напряжение ярма статора по (9.116), стр.391 '
% Вместо h_p1 принято h_p, см. пункт 20. В примере расчета значения совпали
h_a_ = (D_a - D)/2 - h_p/1000;
fprintf(' h_a_ = (D_a - D)/2 - h_p = (%3.4f-%4.3f)/2 - %4.3f*10e-3 = %4.3f м\n',...
D_a, D, h_p, h_a_)
fprintf(' При отсутствии радиальных вентиляционных каналов в статоре h_a_ = h_a\n')
disp ' По (9.117) '
B_a = Fild/(2*h_a_*l_ct1*k_c);
fprintf(' B_a = Fild/(2*h_a_*l_ct1*k_c) = %4.2e/(%4.3f*%4.3f*%1.2f) = %4.2f Тл\n', ...
Fild, h_a_, l_ct1, k_c, B_a)
[H_a]=spline_H_a_B_a(B_a);
fprintf(' Для определения напряженности используем функцию spline_H_a_B_a.m, c\n')
fprintf(' помощью которой аппроксимированы данные табл. П1.6,с.697 H_a = %1.3f
A\n', H_a)
% Если используется стандартный ввод, то убрать %///
% // fprintf(' Для B_a = %1.2f Тл по табл. П1.6 стр.697 находим', B_a')
%/////H_a = input(' H_a = '); % 630
% H_a = 630; %///// При изменении B_a - ввести новое значение.
% // fprintf(' напряженность H_a = %1.3 A\n', H_a)
disp ' По (9.119) ' ;
L_a = round(pi*(D_a - h_a/1000)/(2*p)*1000)*0.001;% округление
fprintf(' L_a = pi*(D_a - h_a)/(2*p) = pi*(%3.4f-%4.3f*10e-3)/(2*%1.0f)= %4.3f м\n',...
D_a, h_a, p, L_a)
F_a = round(L_a*H_a);
fprintf(' Магн. напряжение ярма F_a = L_a*H_a = %3.4f*%4.1f = %4.f A\n\n',...
L_a, H_a, F_a)

disp ' 40. Магнитное напряжение ярма ротора по (9.121) '
disp ' По (9.124) для двухполюсной машины без аксиальных каналов на роторе'
h_j_ = ((2+p)/(3.2*p))*(D_2/2-h_p2/1000);
fprintf(' h_j_ = ((2+p)/(3.2*p))*(D_2/2-h_p2) = ((2+%1d)/(3.2*%1d))*(%4.3f/2 - %4.1f*10e-
3) = %4.3f м\n',...
p, p, D_2, h_p2, h_j_)
disp ' По (9.122) '
B_j = Fild/(2*h_j_*l_ct1*k_c); % Здесь l_ct1 = l_ct2 = l_delta

```

```

fprintf('    B_j = Fild/(2*h_j*_l_ct1*k_c) = %4.2e/(%4.3f*%4.3f*%1.2f) = %4.2f Тл\n', ...
        Fild, h_j, l_ct1, k_c, B_j)
[H_j]=spline_H_a_B_a(B_j);
fprintf('    Для определения напряженности используем функцию spline_H_a_B_a.m, с \n')
fprintf('    помощью которой аппроксимированы данные табл. П1.6,с.697 H_j = %1.3f
A\n', H_j)

%fprintf('    Для B_j = %1.2f Тл по табл. П1.6 стр.697 находим\n', B_j)
%////////H_j = input(' H_j = '); % 520
% H_j = 520; %//////////

h_j = (D_2 - D_j)/2 - h_p2/1000;
fprintf('    h_j = (D_2 - D_j)/2 - h_p2 = (%3.4f-%4.3f)/2 - %4.3f*10e-3 = %4.3f м\n',...
        D_2, D_j, h_p2, h_j)
disp '    По (9.119) ' round(2*h_z2*H_z2*10)*0.1;
L_j = round(pi*(D_j + h_j/1000)/(2*p)*1000)*0.001;% округление
fprintf('    L_j = pi*(D_j - h_j)/(2*p) = pi*(%3.4f-%4.3f*10e-3)/(2*%1.0f)= %4.3f м\n',...
        D_j, h_j, p, L_j)
F_j = round(L_j*H_j);
fprintf('    Магнитное напряжение ярма F_j = L_j*H_j = %3.4f *%4.1f = %4.f А\n\n',...
        L_j, H_j, F_j)

disp ' 41. Магнитное напряжение на пару полюсов (9.128) '
F_ch = F_delta + F_z1 + F_z2 + F_a + F_j;
fprintf('    F_ch = F_delta + F_z1 + F_z2 + F_a + F_j =\n')
fprintf('    = %4.1f + %4.1f + %4.1f + %4.1f + %4.1f = %4.1f А\n\n',...
        F_delta, F_z1, F_z2, F_a, F_j, F_ch);

disp ' 42. Коэффициент насыщения магнитной цепи (9.129) '
k_my = F_ch/F_delta;
fprintf('    k_my = F_ch/F_delta = %4.1f /%4.1f = %2.1f\n\n', F_ch, F_delta, k_my);

disp ' 43. Намагничивающий ток (9.130) '
I_my = round((p*F_ch)/(0.9*m*W_1*k_obm1)*10)*0.1;
fprintf('    I_my = (p*F_ch)/(0.9*m*W_1*k_obm1) =')
fprintf('    (%1d*%4.1f)/(0.9*%1d*%3d*%4.3f) = %3.2f А\n', ...
        p, F_ch, m, W_1, k_obm1, I_my);
disp '    Относительное значение по (9.131) (0.2 < I_my_oe < 0.3).'
I_my_oe = I_my/I_1n;
fprintf('    I_my_oe = I_my/I_1n = %3.2d/%3.2f)= %0.2f \n\n', ...
        I_my, I_1n, I_my_oe);

disp '    ***** Параметры рабочего режима *****'
disp ' 44. Активное сопротивление обмотки статора по (9.132) стр. 397, стр.187.'
disp '    По (9.138)'
b_kt = pi*(D + h_p/1000)*beta/(2*p);
fprintf('    b_kt = pi*(D + h_p/1000)*beta/(2*p) = pi*(%0.4f + %2.1f/1000)*%1.3f/(2*%1.0f)=
%0.4f м\n',...
        D, h_p, beta, p, b_kt );
disp '    По (9.136)'
% ////k_l = input('    По табл. 9.23 стр.399 ввести K_l = ')
K_l = 1.2; %1.45 ; % Принято, что лобовые части не изолированы стр. 399

```

```

B = 0.01 ;% стр. 399
l_l1 = K_l*b_kt + 2*B;
fprintf('    l_l1 = K_l*b_kt + 2*B = %1.2f*%3.2f + 2*%3.2f = %3.2f м\n', ...
        K_l, b_kt, B, l_l1);
fprintf('    где B = 0.01 м; по табл. 9.23 /K_л/ K_l = %1.2f\n', K_l)

disp '    Длина вылета лобовой части по (9.140)'
% ////K_vyl = input('    По табл. 9.23 стр.399 ввести K_выл = ')
K_vyl = 0.26 ; % 0.44 ; %    Принято, что лобовые части не изолированы стр. 399
l_vyl = K_vyl*b_kt + B;
fprintf('    l_vyl = K_vyl*b_kt + B = %1.2f*%3.2f + %3.2f = %3.3f м\n', ...
        K_vyl, b_kt, B, l_vyl);
fprintf('    где по табл.9.23 /K_выл/ K_vyl = %1.2f\n', K_vyl)
disp '    По (9.135)'
l_p1 = l_delta; % Длина паза равна длине магитопровода
l_cp1 = 2*(l_p1 + l_l1);
fprintf('    l_cp1 = 2*(l_p1 + l_l1) = 2*(%3.2f + %3.2f) = %3.2f м\n', ...
        l_p1, l_l1, l_cp1);
disp '    Длина проводников фазы обмотки по (9.134)'
L_1 = l_cp1 * W_1;
fprintf('    L_1 = l_cp1*W_1 = %3.2f*%3.2f = %3.2f м\n', ...
        l_cp1, W_1, L_1);
disp '    Активное сопротивление обмотки статора по (9.132)'
r_1 = round(k_r*po_115*L_1/(a*q_ef*1E-6)*1000)*0.001 ; % округление
fprintf('    r_1 = k_r*po_115*L_1/(a*q_ef) = %1.d*%3.2e*%3.2f/(%1d*%3.2fe-006) = %3.4f
Ом\n', ...
        k_r, po_115, L_1, a, q_ef, r_1);
disp '    Относительное значение r_1_oe'
r_1_oe = r_1*I_1n/U_1n ;
fprintf('    r_1_oe = r_1*I_1n/U_1n = %3.3f*%2.0f/%3.0f = %3.4f \n\n', ...
        r_1, I_1n, U_1n, r_1_oe);

disp ' 45. Активное сопротивление фазы обмотки ротора (9.168) стр.405, стр.187.'
disp '    По (9.167)-(9.173)'
r_c = po_115_al*l_delta*k_r/(q_c*1e-6) ;
fprintf('    r_c = po_115_al*l_2*k_r/q_c = ')
fprintf('%3.2e*%3.3f*%1.d/(%3.2fe-6) = %3.4e Ом\n', ...
        po_115_al, l_delta, k_r, q_c, r_c);
fprintf('    здесь k_r = % 1.0f; l_2 = l_r = % 1.3f м\n', k_r, l_delta);
disp '    По (9.170)'
r_kl = po_115_al*pi* D_kl_cp*1e-3/(Z_2*q_kl*1e-6);
fprintf('    r_kl = po_115_al*pi*D_kl_cp/(Z_2*q_kl)r_кл = \n')
fprintf('    = %3.2e*pi*%3.1f*1e-3/(%2d*%3.2fe-6) = %3.4e Ом\n', ...
        po_115_al, D_kl_cp, Z_2, q_kl, r_kl);
fprintf('    где для литой алюминиевой обмотки ротора po_115 = (1e-6)/20.5 Ом*м\n');
fprintf('    Активное сопротивление фазы обмотки ротора (9.168)\n');
r_2 = r_c + 2*r_kl/DELTA_2^2;
fprintf('    r_2 = r_c + 2*r_kl/DELTA_2^2 = \n')
fprintf('    = %3.2e + 2*%3.2e*1e-3/((%3.2fe-6)^2) = %3.4e Ом\n', ...
        r_c, r_kl, DELTA_2, r_2);
disp '    Приводим "r_2" к числу витков обмотки статора по (9.172),(9.173)'
r_2_ = round(r_2*4*m*(W_1*k_obm1)^2/(Z_2*k_ck^2)*1000)*0.001 ;

```

```

fprintf('      r_2_ = r_2*4*m*(W_1*k_obm1)^2/(Z_2*k_ck^2) = \n')
fprintf('      = %3.2e*4*%1.d*(%3.d*%1.3f)/(%2.d*%1.d^2) = %3.4f Ом\n', ...
      r_2, m, W_1, k_obm1, Z_2, k_ck, r_2_);
disp '      Относительное значение r_2_oe'
      r_2_oe = r_2_*I_1n/U_1n ;
fprintf('      r_2_oe = r_2_*I_1n/U_1n = %1.4f*%2.0f/%3.0f = %3.4f \n\n', ...
      r_2_, I_1n, U_1n, r_2_oe);

disp ' 46. Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора (9.152) стр. 402'
disp '      По рис.9.50 е, и 9.73'
% Стороны паза имеют наклон 45 градусов, следовательно
% высота h_1p равна разности сторон трапеции
% Индекс "р" используется для того, чтобы высоты отличались от
% высот рисунка ***** уточнить *****
% рис.9.50, с.402; с.463
      k_beta = 1; k_beta_ = 1; h_1p = 0; betta_ck = 0;
if(beta ==1)
      k_beta = 1;
      k_beta_ = 1;
else
      if(beta >= (2/3) && beta < 1. );
          k_beta_ = 0.25*(1+3*beta) ;
          k_beta = 0.25*(1+3*k_beta_);
      else
          if(beta >=(1/3) && beta <= (2/3) );
              k_beta_ = 0.25*(6*beta - 1);
              k_beta = 0.25*(1+3*k_beta_);
          end
      end
end
end

fprintf('      k_бета = 1; k_бета_ = 1; h_1 = 0; бета_ск = 0 \n')
      h_k = 0.5*(b_1 - b_sh);
fprintf('      h_k = 0.5*(b_1 - b_sh) = 0.5*(%2.2f-%2.2f) = %2.2f мм\n', ...
      b_1, b_sh, h_k);
      h_2p = h_pk - 2*b_iz;
fprintf('      h_2p = h_pk - 2*b_iz = %2.2f-2*%2.2f = %2.2f мм\n', ...
      h_pk, b_iz, h_2p);
fprintf('      По рис.9.51д (стр. 405) для beta_ck =0 и t_z1/t_z2 = %2.2f/%2.2f = %2.4f
\n,t_Z1*1000,t_Z2,t_Z1*1000/t_Z2 )
% /////k_ck_ = input( '      ввести k_ck_=' )
      k_ck_ = 0.7 ; % /////
fprintf('      Вводим k_ck_ = %1.2f\n',k_ck_);
% пазовая проводимость
      lambda_p1 = (h_2p*k_beta)/(3*b_1)+(h_1p/b_1 + ...
          3*h_k/(b_1+2*b_sh) + h_sh/b_sh)*k_beta_ ;
fprintf('      lambda_p1 = (h_2p*k_beta)/(3*b_1)+(h_1p/b_1 + 3*h_k/(b_1+2*b_sh) +
h_sh/b_sh)*k_beta_ =\n')
fprintf('      = (%2.3f*%3.2f)/(3*%3.2f)+(%2.3f/%3.3f)', ...
      h_2p, k_beta, b_1, h_1p, b_1 );
fprintf('+(3*%2.3f)/(3*%3.2f+%3.2f) +(%2.3f/%3.2f)*%3.2f = %3.2f\n', ...
      h_k, b_1, b_sh, h_sh, b_sh, k_beta, lambda_p1)

```

```

ksi = 2*k_ck*k_beta -(k_obm1^2)*((t_Z2/(t_Z1*1000))^2)*(1 + betta_ck^2);
fprintf('      ksi = 2*k_ck*k_beta -(k_obm1^2)*((t_Z2/(t_Z1*1000))^2)*(1 + betta_ck^2) =\n')
fprintf('      = 2*%2.2f*%1.0f-(%2.3f^2)*((%2.2f/(%2.3f*1000)))^2*(1 +
%1.0f^2)=%2.3f\n',....
      k_ck, k_beta, k_obm1,      t_Z2, t_Z1,      betta_ck, ksi)

lambda_d1 = (t_Z1*1000*ksi)/(12*delta*k_delta);      %! дифференциальная
проводимость
fprintf('      lambda_d1 =
(t_Z1*1000*ksi)/(12*delta*k_delta)=(%2.2f*1000*%2.3f)/(12*%1.0f*%1.0f) = %2.3f\n',....
      t_Z1, ksi, delta, k_delta,      lambda_d1)
lambda_l1 = 0.34*(q/l_ct1)*(l_l1-0.64* beta*tay);      %! лобовая проводимость
fprintf('      lambda_l1 = 0.34*(q/l_ct1)*(l_l1-0.64* beta*tay) = \n')
fprintf('      = (0.34*(%2.2f/%2.3f)*(%2.2f - 0.64*%2.2f*%2.2f) = %2.3f\n',...
      q, l_ct1, l_l1,      beta, tay,      lambda_l1)
x_1 = 15.8*(f_1/100)*((W_1/100)^2)*(l_ct1/(p*q))*(lambda_p1+lambda_l1+lambda_d1) ;
fprintf('      x_1 =
15.8*(f_1/100)*((W_1/100)^2)*(l_ct1/(p*q))*(lambda_p1+lambda_l1+lambda_d1) = \n')
fprintf('      = 15.8*%2.0f/100*((%2.3f/100)^2*(%2.3f/(%1d*%1d))*(%2.3f + %2.3f +
%2.3f) = %2.3f Ом\n',...
      f_1,      W_1,      l_ct1, p, q,      lambda_p1, lambda_l1, lambda_d1, x_1)
disp '      Относительное значение x_1_oe'
x_1_oe = x_1*I_1n/U_1n ;
fprintf('      x_1_oe = x_1*I_1n/U_1n = %3.3f*%2.0f/%3.0f = %3.4f\n\n', ...
      x_1, I_1n, U_1n, x_1_oe) ;

disp ' 47. Индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора (9.177) стр. 407'
%fprintf('      По рис.9.51"а" (стр.405) для отношения b_ш2/t_Z2 = %2.3f/%2.3f = %2.3f\n', ...
%      b_sh2, t_Z2*1000,(b_sh2/(t_Z2)))
%fprintf('      значения      delta = %2.3f[мм] и отношения b_ш2/delta = %2.3f/%2.3f =
%2.3f\n', ...
%      delta, b_sh2, delta, (b_sh2/delta))
%DELTA_z = input('      определить и ввести DELTA_z =');
DELTA_z = 0; % стр. 464
fprintf('      При закрытых пазах (стр.464) DELTA_z = % 1.1f мм, тогда \n',DELTA_z)
ksi_2 = 1 + (1/5)*((pi*p)/Z_2)^2 - DELTA_z/(1-(p/Z_2)^2);
fprintf('      ksi_2 = 1 + (1/5)*((pi*p)/Z_2)^2 - DELTA_z/(1-(p/Z_2)^2) = \n')
fprintf('      = 1 + (1/5)*((pi*%1.d)/%2d)^2 - %2.1f/(1-(%2d/%2d)^2) = %2.4f\n',...
      p, Z_2, DELTA_z, p, Z_2,      ksi_2)
lambda_d2 = (t_Z2*ksi_2)/(12*delta*k_delta)*ksi_2;
fprintf('      lambda_d2 = (t_Z2*ksi_2)/(12*delta*k_delta) = ')
fprintf(' (%2.2f*%2.4f)/(12*%1.0f*%2.2f) = %2.3f\n',...
      t_Z2, ksi_2, delta, k_delta,      lambda_d2)
lambda_l2 = ((2.3*D_kl_cp*1.E-3)/(Z_2*l_ct2*(DELTA_2^2)))*...
log10((4.7*D_kl_cp)/((h_kl + 2*b_kl)));
fprintf('      lambda_l2 = ((2.3*D_kl_cp*1.E-3)/(Z_2*l_ct2*(DELTA_2^2)))*\n')
fprintf('      *log10((4.7*D_kl_cp)/((h_kl + 2*b_kl))) = \n')
fprintf('      = ((2.3*%2.2f*1.E-3)/(%2d*%2.3f*%2.3f^2))*\n',...
      D_kl_cp, Z_2, l_ct2, DELTA_2)
fprintf('      *log10((4.7*%2.2f*1.E-3)/((%2.0f + 2*%2.3f)) = %2.3f\n',...
      D_kl_cp, Z_2, l_ct2, lambda_l2)

```

```

fprintf('    По рис.9.52"а","ж"; (стр.408). рис.8.73 (стр.458)\n')
% h_1_2 = h_p2 - h_sh2 - h_sh2_ - b_1_2/2. + 0.1*b_2_2
h_0 = h_1_2 + 0.4*b_2_2;
fprintf('    h_0 = h_1_2 + 0.4*b_2_2 = %2.3f + 0.4*%2.2f = %2.2f мм\n',...
        h_1_2, b_2_2, h_0)
k_d = 1 ; % для рабочего режима
lambda_p2 = round(((h_0/(3*b_1_2))*(1-(pi*b_1_2^2)/(8*q_c))^2 ...
    + 0.66 - b_sh2/(2*b_1_2) ) * k_d + h_sh2/b_sh2 ...
    + (1.12*h_sh2_*1.E-3*1.E+6)/I_2)*100)*0.01;
fprintf('    lambda_p2 = ( (h_0/(3*b_1_2))*(1-(pi*b_1_2^2)/(8*q_c))^2 + \n')
fprintf('    + 0.66 - b_sh2/(2*b_1_2) ) + h_sh2/b_sh2 +')
fprintf('(1.12*h_sh2_*1.E-3*1.E+6)/I_2 = \n')
fprintf('    = ((%3.3f/(3*%3.3f))*(1-(pi*%3.3f^2)/(8*%3.3f))^2 +',....
        h_0, b_1_2, b_1_2, q_c)
fprintf('    + 0.66 - %3.3f/(2*%3.3f) ) + %3.3f/%3.3f + ', ....
        b_sh2, b_1_2, h_sh2, b_sh2)
fprintf('(1.12*%3.3f*1.E-3*1.E+6)/%3.3f = %3.3f \n', ...
        h_sh2, I_2, lambda_p2 )
x_2 = 7.9*f_1*l_ct1*(lambda_p2 + lambda_l2 + lambda_d2)*1E-6;
fprintf('    x_2 = 7.9*f_1*l_ст1*(lambda_p2 + lambda_l2 + lambda_d2)*1E-6 =\n')
fprintf('    = 7.9*%2d*%1.3f*(%3.3f + %3.3f + %3.3f)*1E-6 = %3.4e Ом\n', ...
        f_1, l_ct1, lambda_p2, lambda_l2, lambda_d2, x_2);
fprintf('    Приведенное x_2 к числу витков статора по (9.172) и (9.183)\n')
x_2_ = x_2*(4*m*(W_1*k_obm1)^2)/Z_2;
fprintf('    x_2_ = x_2*(4*m*(W_1*k_obm1)^2)/Z_2 =\n    =
%3.4e*(4*%1d*(%2d*%1.3f)^2)/%3.3f = %3.4f Ом\n', ...
        x_2, m, W_1, k_obm1, Z_2, x_2_);
disp '    Относительное значение x_2_'
x_2_oe = x_2_*I_1n/U_1n ;
fprintf('    x_2_oe = x_2_*I_1n/U_1n = %3.3f*%2.0f/%3.0f = %3.4f\n\n', ...
        x_2_, I_1n, U_1n, x_2_oe);

disp '    ***** Расчет потерь *****'
disp ' 48. Потери в стали (стр. 411)'
k_da = 1.6; k_dz = 1.8; p_1_50 = 2.5; gamma_c = 7.8e3;
fprintf('    Для машин <250кВт (стр.412) коэфф.: k_da = %1.1f; k_dz = %1.1f\n', k_da,
k_dz)
fprintf('    Удельные потери для стали 2013 (стр.412) p_1_50 = %1.1f Вт/кг\n', p_1_50)
fprintf('    Удельные масса стали gamma_c = %1.1f кг/м^3\n', gamma_c)
m_z1 = round(h_z1*b_z1*Z_1*l_ct1*k_c*gamma_c*1.E-3*100)*0.01 ; % округление
fprintf('    m_z1 = h_z1*b_z1*Z_1*l_ст1*k_c*gamma_c*1.E-3 = \n')
fprintf('    = %3.3f*%3.1f*%3d*%3.3f*%3.3f*%3.0f*1.E-3 = %3.2f кг\n', ...
        h_z1, b_z1, Z_1, l_ct1, k_c, gamma_c, m_z1);
h_a = 0.5*(D_a - D) - h_p/1000; % [м]! Переопределение, см. пункт 19
fprintf('    h_a = 0.5*(D_a - D) - h_p = 0.5*(%3.3f - %3.3f) - %3.3f = %3.5f м\n', ...
        D_a, D, h_p, h_a);
m_a = round(pi*(D_a - h_a)*h_a*l_ct1*k_c*gamma_c*10)*0.1 ; % округление
fprintf('    m_a = pi*(D_a - h_a)*h_a*l_ст1*k_c*gamma_c = \n')
fprintf('    = pi*(%3.3f - %3.3f)*%3.3f*%3.3f*%3.3f*%3.3f = %3.2f кг\n', ...
        D_a, h_a, h_a, l_ct1, k_c, gamma_c, m_a);

```

```

P_ct_ocn = round(
p_yd_2013*((f_1/50)^beta_ct)*(k_da*(B_a^2)*m_a+k_dz*(B_z1^2)*m_z1)*10)*0.1 ; %
округление;
fprintf('      P_ct_ocn =
p_yd_2013*((f_1/50)^beta_ct)*(k_da*(B_a^2)*m_a+k_dz*(B_z1^2)*m_z1) = \n')
fprintf('          = %1.1f*((%2d/50^%1.1f)*', p_yd_2013, f_1, beta_ct)
fprintf('(%1.1f*((%1.2f^2)*%3.2f + %1.2f*((%3.3f^2)*%3.3f = %3.1f Вт\n\n',...
k_da, B_a, m_a, k_dz, B_z1, m_z1, P_ct_ocn)

```

```

disp ' 49. Поверхностные потери в роторе по (9.194)'
fprintf('      По рис.9.53, стр.413 для b_sh/delta = %2.1f/%2.1f = %2.1f\n',
b_sh,delta,(b_sh/delta))
%////beta_o2 = input('      определить и ввести beta_o2 = ')
beta_o2 = 0.27; %/////
fprintf('      Находим и вводим beta_o2 = %1.2f\n', beta_o2) ;

```

```

disp '      По (9.190)'
B_o2 = round(beta_o2*k_delta*B_delta*1000)*0.001 ; % округление;
fprintf('      B_o2 = beta_o2*k_delta*B_delta = %3.3f*%3.3f*%3.3f = %3.3f Тл\n', ...
beta_o2, k_delta, B_delta, B_o2) ;
disp '      По (9.192)'
p_pov2 = round(0.5*k_o2*(((Z_1*n_1)/10000)^1.5)*(B_o2*t_Z1*1.E+3)^2*10)*0.1; %
округление;
fprintf('      p_pov2 = 0.5*k_o2*(((Z_1*n_1)/10000)^1.5)*(B_o2*t_Z1*1.E+3)^2\n')
fprintf('          = 0.5*%3.3f*(((%2d*%4d/10000)^1.5)*(%3.3f*%3.3f*1.E+3)^2 = %3.1f
Вт/м^2\n', ...
k_o2, Z_1, n_1, B_o2, t_Z1, p_pov2) ;
P_pov2 = round(p_pov2*(t_Z2 - b_sh2)*Z_2*l_ct2*1e-3*10)*0.1;
disp '      Поверхностные потери в роторе по (9.194)'
fprintf('      P_pov2 = p_pov2*(t_Z2 - b_sh2)*Z_2*l_ct2*1e-3 = ')
fprintf('%3.1f*(%2.1f - %2.1f)*%2d*%3.3f = %3.1f Вт\n\n', ...
p_pov2, t_Z2, b_sh2, Z_2, l_ct2, P_pov2) ;

```

```

disp ' 50. Пульсационные потери в зубцах ротора по (9.200) стр. 414'
disp '      По (9.201)'
m_z2 = Z_2*h_z2*b_z2dop*l_ct2*k_c*gamma_c*1.E-3;
fprintf('      m_z2 = Z_2*h_z2*b_z2dop*l_ct2*k_c*gamma_c*1.E-3 =\n')
fprintf('          = %2d*%2.3f*%2.3f*%2.3f*%2.3f*%4.0f*1.E-3 = %2.3f кг\n', ....
Z_2, h_z2, b_z2dop, l_ct2, k_c, gamma_c, m_z2) ;
disp '      По (9.196)'
B_pyl2 = (gamma_1*delta*B_z2)/(2*t_Z2) ; % B_pyl2 <==> B_пул2 % ! gamma - см.
п.37
fprintf('      B_pyl2 = (gamma_1*delta*B_z2)/(2*t_Z2) = (%2.2f*%1d*%2.3f)/(2*%2.1f) =
%2.3f Тл\n', ....
gamma_1, delta, B_z2, t_Z2, B_pyl2);
disp '      По (9.200)'
P_pyl2 = round(0.11*((Z_1*n_1*B_pyl2/1000)^2)*m_z2*10)*0.1; % округление;
fprintf('      P_pyl2 = 0.11*((Z_1*n_1*B_pyl2/1000)^2)*m_z2 =
0.11*((%2d*%4d*%2.3f)/(2*%2.1f) = %2.1f Вт\n\n', ....
Z_1, n_1, B_pyl2, m_z2, P_pyl2)

```

```

disp ' 51. Сумма добавочных потерь в стали по (9.202)'

```

```

P_ct_dob = P_pov2 + P_pyl2;
fprintf('    P_ст.доб = P_пов2 + P_пул2 = %2.1f + %2.1f = %3.1f Вт\n', ...,
        P_pov2, P_pyl2, P_ct_dob);
fprintf('    P_pov1 = P_pyl1 = 0. См.стр.415 \n\n')

disp ' 52. Полные потери в стали по (9.203)'
P_ct = P_ct_ocn + P_ct_dob;
fprintf('    P_ct = P_ct_ocn + P_ct_dob = %3.1f + %3.1f = %3.1f Вт\n\n', ...,
        P_ct_ocn, P_ct_dob, P_ct);

disp ' 53. Механические потери по (9.209)'
%print*, trim(ru_doswin_2(&
%' Для двигателей с внешним обдувом 0.1<D_a<0.5 (стр. 416 //208)'))
% if(2.*p==2) then
%     K_t = 1
% else
%     K_t = 1.3*(1.- D_a)
% end if
% P_mex = K_t*((n_1/10.)**2)*D_a**4
disp '    Для двигателей с радиальным обдувом 0.1<D_a<0.5 (стр. 416)'
if(D_a < 0.25)
    if(p==1) % ***** При Da>0.25 м
        K_t = 5;
    else
        K_t = 6;
    end
else
    if(p==1) %! ***** При Da<0.25 м
        K_t = 6;
    else
        K_t = 7;
    end
end
fprintf('    при Da = %2.3f коэффициент /K_t/ K_t = %2.1f\n', D_a, K_t)
P_mex = round(K_t*((n_1/1000)^2)*(10*D_a)^3*10)*0.1;
fprintf('    P_mex = K_t*((n_1/1000)^2)*(10*D_a)^3 = %3.1f*((%3.1f/1000)^2)*(10*%3.3f)^3
= %3.1f Вт\n\n', ...,
        K_t, n_1, D_a, P_mex );
%! Добавочные потери при номинальном режиме
% P_dob_n = (0.005*P_2n*1E+3)/EFI;
%! print*, ' 54. P_dob_n =', P_dob_n

disp ' 54. Холостой ход двигателя. По (9.219) (9.218), (9.217),(9.221)'
P_el1_xx = round(m*(I_my^2)*r_1*10)*0.1; % округление;
fprintf('    P_el1_xx = m*(I_my^2)*r_1 = %3.1f*%3.1f*%1.3f = %3.1f Вт\n', ...,
        m, I_my, r_1, P_el1_xx);
I_xx_a = round((P_ct + P_mex + P_el1_xx)/(m*U_1n)*10)*0.1; % округление;
fprintf('    I_xx_a = (P_ct + P_mex + P_el1_xx)/(m*U_1n) = (%3.1f + %3.1f +
%2.1f)/(%1d*%3.0f) = %3.1f A\n', ...,
        P_ct, P_mex, P_el1_xx, m, U_1n, I_xx_a);
I_xx = round(sqrt(I_xx_a^2 + I_my^2)*10)*0.1; % округление;

```

```

fprintf('    I_xx = sqrt(I_xx_a^2 + I_my^2) = sqrt(%3.1f^2 + %3.1f^2) = %3.1f A\n', I_xx_a,
I_my, I_xx);
    cosFi_xx = round(I_xx_a/I_xx*1000)*0.001; % округление;
fprintf('    cosFi_xx = I_xx_a/I_xx = %3.3f/%3.3f = %3.3f \n\n', I_xx_a, I_xx, cosFi_xx );

disp ' ***** Расчет рабочих характеристик *****'
disp ' 55. Параметры по (9.184),(9.185) стр.410. По(9.223) (9.226) (9.227) стр.419'
    r_12 = round(P_ct_ocn/(m*I_my^2)*1000)*0.001; % округление;
fprintf('    r_12 = P_ct_ocn/(m*I_my^2)= %3.3f/(%3.3f*%3.3f^2) = %3.3f Ом\n', P_ct_ocn,
m, I_my, r_12);
    x_12 = round((U_1n/I_my - x_1)*100)*0.01; % округление;
fprintf('    x_12 = U_1n/I_my - x_1 = %3.3f/%3.3f - %3.3f^2 = %3.2f Ом\n', U_1n, I_my, x_1,
x_12);
    I_0a = round((P_ct_ocn + P_el1_xx)/(m*U_1n)*100)*0.01 ; % округление;
fprintf('    I_0a = (P_ct_ocn + P_el1_xx)/(m*U_1n) = (%3.3f+%3.3f)/(%1d*%3.0f) = %3.2f
A\n',...
        P_ct_ocn, I_my, m, U_1n, I_0a);
    lambda_c_1 = atand((r_1*x_12 - r_12*x_1)/(r_12*(r_1 + r_12) + x_12*(x_1 + x_12))); % в
градусах
fprintf('    lambda_c_1 = atand((r_1*x_12-r_12*x_1)/(r_12*(r_1+r_12)+x_12*(x_1+x_12))) =
\n')
fprintf('    = atand((%3.3f*%3.3f-
%3.3f*%3.3f)/(%3.3f*(%3.3f+%3.3f)+%3.3f*(%3.3f+%3.3f))) = %3.3f гр.\n',...
        r_1, x_12, r_12, x_1, r_12, r_1, r_12, x_12, x_1, x_12, lambda_c_1);
    c_1 = round((1 + x_1/x_12)*100)*0.01; % округление;
fprintf('    c_1 = 1 + x_1/x_12 = 1 + %3.3f/%3.3f = %3.3f\n', x_1, x_12, c_1);
    a_ = round(c_1^2*100)*0.01; % округление;
    b_ = 0;
fprintf('    a_ = c_1^2 = %3.3f^2 = %3.2f;    b_ = 0\n', c_1, a_);
%Ниже a<=>a_px. Индекс _px -"рабочие харакетистики" введен, т.к. "a" используется
% для обозначения (//) ветвей обмотки статора
    a_px = round(c_1*r_1*100)*0.01; % округление;
fprintf('    a_px = c_1*r_1 = %3.3f*%3.3f = %3.2f Ом\n', c_1,r_1, a_px );
    b = round(c_1*(x_1 + c_1*x_2_)*100)*0.01; % округление;
fprintf('    b = c_1*(x_1 + c_1*x_2_) = %3.3f*(%3.3f + %3.3f*%3.3f) = %3.3f Ом\n', c_1, x_1,
c_1, x_2_, b);
disp ' Потери не изменяющиеся при изменении скольжения'
    P_ct_mex = (P_ct + P_mex)*1e-3 ; % в [кВт]
fprintf('    P_ct_mex = P_ct + P_mex = %3.1f + %3.1f = %3.1f кВт\n\n', P_ct, P_mex,
P_ct_mex);

%disp ' 56. Рассчитываем рабочие характеристики'
%disp ''
% ВНИМАНИ. Номинальные данные должны быть в последнем столбце (колонке)
I_0p = I_my ;
s = [0.00075 0.0025 0.005 0.01 0.015 0.02 0.01761]; %5
    R_temp = a_*r_2_/s ;
    R = a_px + a_*r_2_/s ;
    X = b + b_*r_2_/s ;
    Z = sqrt( R.^2 + X.^2 ) ;
    I_2__ = U_1n./Z ;
    cosFi2_ = R./Z ;

```

```

sinFi2_ = X./Z ;
I_1a = I_0a + I_2_.*cosFi2_ ;
I_1p = I_0p + I_2_.*sinFi2_ ;
I_1 = sqrt(I_1a.^2 + I_1p.^2);
I_2_ = c_1.*I_2_ ;
P_1 = 3*U_1n.*I_1a*1e-3 ;
P_el1 = 3*(I_1.^2)*r_1*1e-3 ;
P_el2 = 3*(I_2_.^2)*r_2*1e-3;
P_dob = 0.005*P_1 ; %P_dob_n*(I_1./I_1n).^2;
P_sum = P_ct_mex + P_el1 + P_el2 + P_dob;
P_2 = P_1 - P_sum;
EFI = 1 - P_sum./P_1;
cosFi = I_1a./I_1;

```

disp ' 56. Рабочие характеристики асинхронного двигателя '

```

fprintf('    P_2n = %2.0f кВт; U_1n = %2.0f В; 2p = %1.0f; I_0a = %2.3f А;\n',...
        P_2n, U_1n, 2*p, I_0a);
fprintf('    I_op = I_my = %2.3f А; P_ct + P_mex = %1.3f Вт; \n',...
        I_my, P_ct+P_mex );
fprintf('    r_1 = %1.3f Ом; r_2_ = %1.3f Ом; c_1 = %1.3f; \n',...
        r_1, r_2_, c_1 );
fprintf('    a_ = %2.3f; a = %1.3f; b_ = %1.4f; b = %1.4f.\n \n',...
        a_, a_px, b_, b);

```

% Для вывод в Command Window и печати из него в помощью MATLAB.

% Возможно, графики печатаются вместе с текстом (уточнить)

```

%fprintf('    Скольжение s      [-] '); fprintf(' %7.4f ', s ); fprintf('\n ');
%fprintf('1. a_*r_2_/s      [Ом]'); fprintf(' %7.4f ', R_temp ); fprintf('\n ');
%fprintf('2. R = a + a_*r_2_/s      [Ом]'); fprintf(' %7.4f ', R ); fprintf('\n ');
%fprintf('3. X = b + b_*r_2_/s      [Ом]'); fprintf(' %7.4f ', X ); fprintf('\n ');
%fprintf('4. Z = sqrt( R^2 + X^2)      [Ом]'); fprintf(' %7.4f ', Z ); fprintf('\n ');
%fprintf('5. I_2_ = U_1n/Z      [А] '); fprintf(' %7.4f ', I_2_ ); fprintf('\n ');
%fprintf('6. cosFi2_ = R/Z      [-] '); fprintf(' %7.4f ', cosFi2_); fprintf('\n ');
%fprintf('7. sinFi2_ = X/Z      [-] '); fprintf(' %7.4f ', sinFi2_); fprintf('\n ');
%fprintf('8. I_1a=I_0a+I_2_.*cosFi2_      [А] '); fprintf(' %7.4f ', I_1a ); fprintf('\n ');
%fprintf('9. I_1p=I_0p+I_2_.*sinFi2_      [А] '); fprintf(' %7.4f ', I_1p ); fprintf('\n ');
%fprintf('10. I_1=sqrt(I_1a^2+I_1p^2)      [А] '); fprintf(' %7.4f ', I_1 ); fprintf('\n ');
%fprintf('11. I_2_ = c_1*I_2_      [А] '); fprintf(' %7.4f ', I_2_ ); fprintf('\n ');
%fprintf('12. P_1 = 3*U_1n*I_1a      [кВт]'); fprintf(' %7.4f ', P_1 ); fprintf('\n ');
%fprintf('13. P_el1 = 3*(I_1^2)*r_1      [кВт]'); fprintf(' %7.4f ', P_el1 ); fprintf('\n ');
%fprintf('14. P_el2 = 3*(I_2_^2)*r_2_      [кВт]'); fprintf(' %7.4f ', P_el2 ); fprintf('\n ');
%fprintf('15. P_dob = 0.005*P_1      [кВт]'); fprintf(' %7.4f ', P_dob ); fprintf('\n ');
%fprintf('16.P_sum=P_ct_mex+P_e1+P_e2+P_d [кВт]'); fprintf(' %7.4f ', P_sum ); fprintf('\n ');
%fprintf('17. P_2 = P_1 - P_sum      [кВт]'); fprintf(' %7.4f ', P_2 ); fprintf('\n ');
%fprintf('18. efi /КПД/ = 1 - P_sum/P_1      [-] '); fprintf(' %7.4f ', EFI ); fprintf('\n ');
%fprintf('19. cosFi = I_1a/I_1      [-] '); fprintf(' %7.4f ', cosFi ); fprintf('\n ');

```

% Для переноса текста из Command Window в Word через "карман"

% Графики из МАТЛАБа копируются в карман Edit==> Copy Figure и вставляются в Word ==> Ctrl+V

```

fprintf(' Расчетная формула      \tПазм.\t      Скольжение s      \n ');
fprintf('      \t - \t'); fprintf(' %7.4f \t', s ); fprintf('\b\n ');

```

```

fprintf('1. a_*r_2_/s      \t Ом \t'); fprintf(' %7.4f \t', R_temp ); fprintf('\b\n ');
fprintf('2. R = a + a_*r_2_/s      \t Ом \t'); fprintf(' %7.4f \t', R ); fprintf('\b\n ');
fprintf('3. X = b + b_*r_2_/s      \t Ом \t'); fprintf(' %7.4f \t', X ); fprintf('\b\n ');
fprintf('4. Z = sqrt( R.^2 + X.^2)      \t Ом \t'); fprintf(' %7.4f \t', Z ); fprintf('\b\n ');
fprintf('5. I_2__ = U_1n/Z      \t А \t'); fprintf(' %7.4f \t', I_2__ ); fprintf('\b\n ');
fprintf('6. cosFi2_ = R/Z      \t - \t'); fprintf(' %7.4f \t', cosFi2_); fprintf('\b\n ');
fprintf('7. sinFi2_ = X/Z      \t - \t'); fprintf(' %7.4f \t', sinFi2_); fprintf('\b\n ');
fprintf('8. I_1a=I_0a+I_2__*cosFi2_      \t А \t'); fprintf(' %7.4f \t', I_1a ); fprintf('\b\n ');
fprintf('9. I_1p=I_0p+I_2__*sinFi2_      \t А \t'); fprintf(' %7.4f \t', I_1p ); fprintf('\b\n ');
fprintf('10. I_1=sqrt(I_1a.^2+I_1p.^2)      \t А \t'); fprintf(' %7.4f \t', I_1 ); fprintf('\b\n ');
fprintf('11. I_2_ = c_1*I_2__      \t А \t'); fprintf(' %7.4f \t', I_2_ ); fprintf('\b\n ');
fprintf('12. P_1 = 3*U_1n*I_1a      \t кВт \t'); fprintf(' %7.4f \t', P_1 ); fprintf('\b\n ');
fprintf('13. P_el1 = 3*(I_1.^2)*r_1      \t кВт \t'); fprintf(' %7.4f \t', P_el1 ); fprintf('\b\n ');
fprintf('14. P_el2 = 3*(I_2_.^2)*r_2_      \t кВт \t'); fprintf(' %7.4f \t', P_el2 ); fprintf('\b\n ');
fprintf('15. P_dob = 0.005*P_1      \t кВт \t'); fprintf(' %7.4f \t', P_dob ); fprintf('\b\n ');
fprintf('16. P_sum=P_ct_mex+P_e1+P_e2+P_d\t кВт \t'); fprintf(' %7.4f \t', P_sum );
fprintf('\b\n ');
fprintf('17. P_2 = P_1 - P_sum      \t кВт \t'); fprintf(' %7.4f \t', P_2 ); fprintf('\b\n ');
fprintf('18. efi /КПД/ = 1 - P_sum/P_1      \t - \t'); fprintf(' %7.4f \t', efi ); fprintf('\b\n ');
fprintf('19. cosFi = I_1a/I_1      \t - \t'); fprintf(' %7.4f \t', cosFi ); fprintf('\b\n ');

```

% Округленные номинальные данные для использования в дальнейших расчетах

n_m = size(s); % Вычисляем размерность массива. n_m(1) - строки, n_m(2) - столбцы

% В последнем столбце - номинальные данные

I_1n = round(I_1(n_m(2))*10)*0.1 ; % округление;

I_2n = round(I_2_(n_m(2))*10)*0.1 ; % округление; Приведенный номинальный ток ротора

I_2n = round(I_2_(n_m(2))*v_i*10)*0.1 ; % Номинальный ток ротора

s_n = round(s(n_m(2))*10000)*0.0001 ; % округление; номинальное скольжение

P_dob_n = P_dob(n_m(2)); % номинальные добавочные потери для п.69

P_1_n = P_1(n_m(2));

P_el1_n = P_el1(n_m(2));

P_el2_n = P_el2(n_m(2));

P_sum_n = P_sum(n_m(2));

% Повторный расчет рабочих характеристик с меньшим шагом скольжения для вывода графиков

s = 0.00075:0.0001:0.02;

R_temp = a_*r_2_/s ;

R = a_px + a_*r_2_/s ;

X = b + b_*r_2_/s ;

Z = sqrt(R.^2 + X.^2);

I_2__ = U_1n./Z ;

cosFi2_ = R./Z ;

sinFi2_ = X./Z ;

I_1a = I_0a + I_2__.*cosFi2_ ;

I_1p = I_0p + I_2__.*sinFi2_ ;

I_1 = sqrt(I_1a.^2 + I_1p.^2);

I_2_ = c_1.*I_2__ ;

P_1 = 3*U_1n.*I_1a*1e-3 ;

P_el1 = 3*(I_1.^2)*r_1*1e-3 ;

P_el2 = 3*(I_2_.^2)*r_2_*1e-3;

```

P_dob = 0.005*P_1 ; %P_dob_n*(I_1./I_1n).^2;
P_sum = P_ct_mex + P_el1 + P_el2 + P_dob;
P_2 = P_1 - P_sum;
EFI = 1 - P_sum./P_1;
cosFi = I_1a./I_1;

figure
plot(P_2,cosFi,P_2,EFI, P_2,s*50,P_2,I_1/100, [37, 37], [0, 0.95], 'k--')
%plot([37, 37], [0, 37])
grid on
% На графике можно выделить легенду (Л. кнопка) и переместить в удобное
% место (например, для печати или просмотра)
legend('cosFi',' efi /КПД/', 's*0.02', 'I_1*100 A',4)
ylabel(' cosFi, efi /КПД/, s*0.02, I_1*100 A ')
xlabel(' P_2, kW')
title(' Рабочие характеристики АД 4А180S2 (37 kW)')
% grid minor

disp ''
disp ' ***** Расчет пусковых характеристик *****'
disp ' а) Расчет токов с учетом влияния изменения параметров под влиянием'
disp ' эффекта вытеснения тока (без учета влияния насыщения от полей рассеяния)'
% вывод номинальных данных и параметров для табл.3,
disp ' 57. Активное сопротивление обмотки ротора с учетом вытеснения тока. '
disp ' Подробный расчет для s = 1'
s_1 = 1 ; % Скольжение = 1 (при пуске)
fprintf(' [ v_расч = 115 гр.С; po_115=10e-6/20,5 Ом*м; b_c/b_п = 1, ; f_1 = 50 гц]\n')
h_c = h_p2-(h_sh2 + h_sh2_);
fprintf(' По рис.9.73(с.458) h_c = h_p2-(h_sh2 + h_sh2_) = %3.1f - (%3.3f + %3.3f) = %3.3f мм\n', ...
h_p2, h_sh2, h_sh2_, h_c)
Ksi = 63.61*h_c*sqrt(s_1)*1.E-3; % s = 1 ***** 2*pi*h_c*sqrt(b_c*f_1*1e-
7/(b_p*po115)) =
fprintf(' Ksi = 63.61*h_c*sqrt(s)*1.E-3 = 63.61*%3.3f*sqrt(1)*1.E-3 = %3.3f \n', h_c, Ksi)
fprintf(' По рис.9.57 (с.428) для Ksi = %3.3f\n', Ksi)
%////////// Fi = input(' находим Fi = ');
Fi = 0.9; %//////////
fprintf(' находим и вводим Fi = %3.3f\n', Fi)
disp ' По 9.246')
h_r = h_c/(1 + Fi);
fprintf(' h_r = h_c/(1 + Fi) = %3.3f/(1 + %3.3f) = %3.3f мм\n', h_c, Fi, h_r)
fprintf(' По 9.253 при [b_1/2 < h_r < (h_1 + b_1/2)]==> [%3.1f/2 < %3.1f < (%3.1f + %3.1f/2)]\n',...
b_1_2, h_r, h_1_2, b_1_2)
b_r = round((b_1_2 - ((b_1_2 - b_2_2)/h_1_2)*(h_r - b_1_2/2))*10)*0.1 ;
fprintf(' b_r = b_1 - ((b_1 - b_2)/h_1)*(h_r - b_1/2)=\n')
fprintf(' = %3.1f - ((%3.1f - %3.1f)/%3.1f)*(%3.1f - %3.1f/2) = %3.1f мм\n',...,
b_1_2, b_1_2, b_2_2, h_1_2, h_r, b_1_2, b_r)
q_r = round(((pi*b_1_2^2)/8 + ((b_1_2 + b_r)/2)*(h_r - b_1_2/2))*10)*0.1;
%round(I_2_(n_m(2))*10)*0.1
fprintf(' q_r = (pi*b_1_2^2)/8 + ((b_1_2 + b_r)/2)*(h_r - b_1_2/2) =\n')
fprintf(' = (pi*%3.1f^2)/8 + ((%3.1f + %3.1f)/2)*(%3.1f - %3.1f/2); = %3.1f мм^2\n',...,

```

```

        b_1_2, b_1_2, b_r, h_r, b_1_2, q_r )
    k_r = round((q_c/q_r)*10)*0.1;
fprintf('      k_r = q_c/q_r = %3.1f/%3.1f = %3.1f  (q_c по п.33)\n', q_c, q_r, k_r)
    K_R = 1 + round((r_c/r_2)*(k_r - 1)*100)*0.01;
fprintf('      K_R = 1 + (r_c/r_2)*(k_r - 1) = 1 + (%3.3e/%3.3e)*(%1.2f - 1) = %3.2f\n',...
        r_c, r_2, k_r, K_R)
fprintf('      Приведенное сопротивление с учетом влияния эффекта вытеснения тока\n')
    r_2ksi_ = round(K_R*r_2_*1000)*0.001; % (r_c/r_2)*(k_r - 1);
fprintf('      r_2ksi_ = K_R*r_2_ = %3.3f*%3.3f = %3.3f Ом\n\n',...
        K_R, r_2_, r_2ksi_)

disp ' 58. Индуктивное сопротивление обмотки ротора по табл. 6-23 и рис. 6-40а.'
% Для определения кратности пускового тока в зависимости от скольжения
% (K_пуск=I_2_oe= I_1_oe= f(s)) кривую аппроксимируем полиномом 5-ой степени
% Зависимость I_2_oe = I_1_oe= f(s) см. на рис.9.75 стр.473.
% См. файл: Аппроксимация I_1_oe=f(s).doc. Полином рассчитываем с помощью WORD
% Внимание. У Копылова И.П. не учитывается изменение тока при изменении
скольжения
    K_пуск = 9.8683*s_1^5 - 44.476*s_1^4 + 77.78*s_1^3 - 66.735*s_1^2 + 29.198*s_1 +
0.3421;
fprintf('      По рис.9.58 (стр. 428) для Ksi = %3.3f \n', Ksi)
%////////// k_d = input(' находим Fi_ = k_d = ')
    k_d = 0.75 ; %//////////
% См. стр.408, второй абзац по поводу
% (h_ш/b_ш) + 1.12*h_ш_*1E+3/(K_пуск*I_2n). ВНИМАНИЕ! Этой части нет в примере
расчета.
% h_0 = h_1_2, b_ш = b_sh2
    dlt_lambda_p2ksi = round((((h_1_2/(3*b_1_2))*(1 - (pi*b_1_2^2)/(8*q_c)))^2 ...
        + 0.66 - b_sh2/(2*b_1_2)) + (h_sh2/b_sh2)...
        + 1.12*h_sh2_*1E+3/(K_пуск * I_2n))*(1-k_d)*100)*0.01;
fprintf('      dlt_lambda_p2ksi = (((h_1_2/(3*b_1_2))*(1 - (pi*b_1_2^2)/(8*q_c)))^2 + \n')
fprintf('      + 0.66 - b_sh2/(2*b_1_2)) + (h_sh2/b_sh2) +')
fprintf('      1.12*h_sh2_*1E+3/(K_пуск * I_2n))*(1-k_d) = \n')
fprintf('      = (((%3.1f/(3*%3.1f))*(1 - (pi*%3.1f^2)/(8*%3.1f)))^2 + \n', ...
        h_1_2, b_1_2, b_1_2, q_c )
fprintf('      + 0.66 - %3.1f/(2*%3.1f)) + (%3.1f/%3.1f)+',...
        b_sh2, b_1_2, h_sh2, b_sh2 )
fprintf('      1.12*%3.1f*1E+3/(%3.3f*%3.1f))*(1 - %3.2f) = %3.3f \n',...
        h_sh2_, K_пуск, I_2n, k_d, dlt_lambda_p2ksi)
    lambda_p2ksi = lambda_p2 - dlt_lambda_p2ksi ;
disp '      По п.47 расчета'
fprintf('      lambda_p2ksi = lambda_p2 - dlt_lambda_p2ksi = %3.2f - %3.2f = %3.2f \n',...
        lambda_p2, dlt_lambda_p2ksi, lambda_p2ksi)
    K_x = (lambda_p2ksi + lambda_l2 + lambda_d2)/(lambda_p2 + lambda_l2 + lambda_d2) ;
fprintf('      K_x = (lambda_p2ksi + lambda_l2 + lambda_d2)/(lambda_p2 + lambda_l2 +
lambda_d2) = \n')
fprintf('      = (%3.3f + %3.3f + %3.3f)/( %3.3f + %3.3f + %3.3f) = %3.3f \n',...
        lambda_p2ksi, lambda_l2, lambda_d2, lambda_p2, lambda_l2, lambda_d2, K_x)
disp '      По (9.261) и п.47 расчета'
    x_2ksi_ = round(x_2_*K_x*100)*0.01; % округление
fprintf('      x_2ksi_ = x_2_*K_x = %3.3f*%3.2f = %3.2f Ом\n\n', x_2_, K_x, x_2ksi_);

```

```

disp ' 59. Пусковые параметры по (9.277) и (9.278)')
x_12p = round(k_my*x_12*100)*0.01;
fprintf('    x_12p = k_my*x_12 = %3.3f*%3.2f = %3.2f Ом\n', k_my, x_12, x_12p);
c_1p = 1 + x_1/x_12p;
fprintf('    c_1p = 1 + x_1/x_12p = 1 + %3.3f/%3.3f = %3.3f\n\n', x_1, x_12p, c_1p)

disp ' 60. Расчет токов с учетом влияния эффекта вытеснения тока: по (9.280) для s=1,
здесь /p-п/'
R_p = r_1 + c_1p*r_2ksi_/s_1;
fprintf('    R_p = r_1 + c_1p*r_2ksi_/s_1 = %3.3f + %3.3f*%3.3f/1 = %3.3f Ом\n',
r_1, c_1p, r_2ksi_, R_p)
X_p = x_1 + c_1p*x_2ksi_;
fprintf('    X_p = x_1 + c_1p*X_2ksi_ = %3.3f + %3.3f*%3.3f = %3.3f Ом\n',
x_1, c_1p, x_2ksi_, X_p)
disp '    по (9.281)'
I_2p_ = round(U_1n/sqrt(R_p^2 + X_p^2)*10)*0.1 ;
fprintf('    I_2p_ = U_1n/sqrt(R_p^2 + X_p^2) = %3.0f/(%3.3f^2 + %3.3f^2) = %3.1f A\n',
U_1n, R_p, X_p, I_2p_)
disp '    по (9.283)'
I_1p = I_2p_ * sqrt(R_p^2 + (X_p + x_12p)^2)/(c_1p*x_12p) ;
fprintf('    I_1p = I_2p_ * sqrt(R_p^2 + (X_p + x_12p)^2)/(c_1p*x_12p) = \n')
fprintf('    = %3.0f*sqrt(%3.3f^2 + (%3.3f + %3.3f)^2)/(%3.3f*%3.3f) = %3.3f A\n\n', ...
I_2p_, R_p, X_p, x_12p, c_1p, x_12p, I_1p )

% Построение таблицы 9.37 стр. 468
s = [1 0.8 0.5 0.2 0.0177 0.123];
Ksi = 63.61*h_c.*sqrt(s)*1.E-3 ;
% Определение значений Fi по кривой Fi=f(Ksi), которая
% аппроксимирована сплайнами (см. рис.9.57, стр.428 и функцию spline_Fi_Ksi)
% Нет необходимости вводить данные вручную для каждого значения скольжения

% ВНИМАНИЕ! При повторном проходе (без удаления переменных в Workspace)
% Fi_Ksi остается массивом размерностью Fi_Ksi[18], что приводит к ошибке в
% строке 1617 при деление на s[6]. В силу этого необходимо удалить из Workspace
% Fi_Ksi[18] командой "clear Fi_Ksi;" и создать вновь, но уже размерностью Fi_Ksi[6]
clear Fi_Ksi;
Fi_Ksi(1) = spline_Fi_Ksi(Ksi(1)) ;
Fi_Ksi(2) = spline_Fi_Ksi(Ksi(2)) ;
Fi_Ksi(3) = spline_Fi_Ksi(Ksi(3)) ;
Fi_Ksi(4) = spline_Fi_Ksi(Ksi(4)) ;
Fi_Ksi(5) = spline_Fi_Ksi(Ksi(5)) ;
Fi_Ksi(6) = spline_Fi_Ksi(Ksi(6)) ;

h_r = h_c./(1 + Fi_Ksi);
b_r = round((b_1_2 - ((b_1_2 - b_2_2)/h_1_2)*(h_r - b_1_2/2))*10)*0.1 ;
q_r = round(((pi*b_1_2^2)/8 + ((b_1_2 + b_r)/2).*(h_r - b_1_2/2))*10)*0.1;
k_r = round((q_c/q_r)*10)*0.1;
K_R = 1 + round((r_c/r_2)*(k_r - 1)*100)*0.01;
r_2ksi_ = round(K_R*r_2_ *1000)*0.001; % (r_c/r_2)*(k_r - 1);
K_pyck = 9.8683*s_1^5 - 44.476*s_1^4 + 77.78*s_1^3 - 66.735*s_1^2 + 29.198*s_1 +
0.3421;

```

```

% Определение значений Fi_ по кривой Fi_=f(Ksi), которая аппроксимирована сплайнами
% (см. рис.9.58, стр.428 и функцию spline_Fi__ksi).
% После этого находим k_d = Fi_ .
    k_d(1) = spline_Fi__ksi(Ksi(1)) ;
    k_d(2) = spline_Fi__ksi(Ksi(2)) ;
    k_d(3) = spline_Fi__ksi(Ksi(3)) ;
    k_d(4) = spline_Fi__ksi(Ksi(4)) ;
    k_d(5) = spline_Fi__ksi(Ksi(5)) ;
    k_d(6) = spline_Fi__ksi(Ksi(6)) ;

% См. стр.408, второй абзац по поводу
% (h_ш/b_ш) + 1.12*h_ш_*1E+3/(K_пуск*I_2n). ВНИМАНИЕ! Этой части нет в примере
расчета.
% h_0 = h_1_2, b_ш = b_sh2
dlt_lambda_p2ksi = round((((h_1_2/(3*b_1_2))*(1 - (pi*b_1_2^2)/(8*q_c)))^2 ...
    + 0.66 - b_sh2/(2*b_1_2)) + (h_sh2/b_sh2)...
    + 1.12*h_sh2_*1E+3/(K_пуск * I_2n)).*(1-k_d)*100)*0.01 ;
lambda_p2ksi = lambda_p2 - dlt_lambda_p2ksi ;
K_x = (lambda_p2ksi + lambda_l2 + lambda_d2)/(lambda_p2 + lambda_l2 + lambda_d2) ;
x_2ksi_ = round(x_2_*K_x*100)*0.01 ;% округление
x_12p = round(k_my*x_12*100)*0.01 ;
c_1p = 1 + x_1/x_12p ;
R_p = r_1 + c_1p*r_2ksi_/s ;
X_p = x_1 + c_1p*x_2ksi_ ;
I_2p_ = round(U_1n./sqrt(R_p.^2 + X_p.^2)*10)*0.1 ;
I_1p = round( I_2p_.* sqrt(R_p.^2 + (X_p + x_12p).^2)./(c_1p*x_12p)*10)*0.1 ;

disp ' Расчет токов асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в пусковом
режиме'
disp ' с учетом влияния эффекта вытеснения тока'
fprintf(' P_2n = %2.0f кВт; U_1n = %2.0f В; 2p = %1.0f, I_1n = %2.1f А; I_2n_ = %3.1f
А;\n ',...
    P_2n, U_1n, 2*p, I_1n, I_2n_);
fprintf(' x_1 = %1.3f Ом; x_2_ = %1.3f Ом; r_1 = %1.3f; r_2_ = %1.3f; \n ',...
    x_1, x_2_, r_1, r_2_ );
fprintf(' x_12p = %2.3f Ом; c_1p = %1.3f Ом; s_n = %1.4f Ом \n\n ',...
    x_12p, c_1p, s_n);

% Для вывод в Command Window и печати из него в помощью MATLAB.
% Возможно, графики печатаются вместе с текстом (уточнить)
%fprintf(' Скольжение s [-] '); fprintf(' %7.4f ', s ); fprintf('\n ');
%fprintf('1. Ksi = 63.61*h_c*sqrt(s) [-] '); fprintf(' %7.4f ', Ksi ); fprintf('\n ');
%fprintf('2. Fi(Ksi) [-] '); fprintf(' %7.4f ', Fi_Ksi ); fprintf('\n ');
%fprintf('3. h_r = h_c/(1 + Fi) [мм]'); fprintf(' %7.4f ', h_r ); fprintf('\n ');
%fprintf('4. k_r = q_c/q_r [-] '); fprintf(' %7.4f ', k_r ); fprintf('\n ');
%fprintf('5. K_R = 1+(r_c/r_2)*(k_r-1) [-] '); fprintf(' %7.4f ', K_R ); fprintf('\n ');
%fprintf('6. r_2ksi_ = K_R*r_2_ [Ом]'); fprintf(' %7.4f ', r_2ksi_ ); fprintf('\n ');
%fprintf('7. k_d = Fi_(Ksi) [-] '); fprintf(' %7.4f ', k_d ); fprintf('\n ');
%fprintf('8. l_p2ksi=l_p2-dlt_l_p2ksi [-] '); fprintf(' %7.4f ', lambda_p2ksi); fprintf('\n ');
%fprintf('9. K_x = Sum(l_2ksi)/Sum( l_2) [-] '); fprintf(' %7.4f ', K_x ); fprintf('\n ');
%fprintf('10. x_2ksi_ = x_2_*K_x [Ом]'); fprintf(' %7.4f ', x_2ksi_ ); fprintf('\n ');
%fprintf('11. R_p = r_1 + c_1p*r_2ksi_/s [Ом]'); fprintf(' %7.4f ', R_p ); fprintf('\n ');
%fprintf('12. X_p = x_1 + c_1p*x_2ksi_ [Ом]'); fprintf(' %7.4f ', X_p ); fprintf('\n ');

```

```
%fprintf('13. I_2p=U_1/sqrt(R_p^2+X_p^2) [A] '); fprintf(' %7.1f ', I_2p_ ); fprintf('\n ');
%fprintf('14. I_1p=I_2p_* sqrt(R_p^2+ '); fprintf('\n ');
%fprintf(' +(X_p+x_12p)^2)/(c_1p*x_12p)[A] '); fprintf(' %7.1f ', I_1p ); fprintf('\n \n');
```

% Для переноса текста из Command Window в Word через "карман"

% Графики из MATLABa копируются в карман Edit==> Copy Figure и вставляются в Word
==> Ctrl+V

```
fprintf(' Расчетная формула \tПазм.\t Скольжение s \n ');
fprintf(' \t - \t'); fprintf(' %7.4f \t', s ); fprintf('\b\n ');
fprintf('1. Ksi = 63.61*h_c*sqrt(s) \t - \t'); fprintf(' %7.4f \t', Ksi ); fprintf('\b\n ');
fprintf('2. Fi(Ksi) \t - \t'); fprintf(' %7.4f \t', Fi_Ksi ); fprintf('\b\n ');
fprintf('3. h_r = h_c/(1 + Fi) \t мм\t'); fprintf(' %7.4f \t', h_r ); fprintf('\b\n ');
fprintf('4. k_r = q_c/q_r \t - \t'); fprintf(' %7.4f \t', k_r ); fprintf('\b\n ');
fprintf('5. K_R = 1+(r_c/r_2)*(k_r-1) \t - \t'); fprintf(' %7.4f \t', K_R ); fprintf('\b\n ');
fprintf('6. r_2ksi_ = K_R*r_2_ \t Ом\t'); fprintf(' %7.4f \t', r_2ksi_ ); fprintf('\b\n ');
fprintf('7. k_d = Fi_(Ksi) \t - \t'); fprintf(' %7.4f \t', k_d ); fprintf('\b\n ');
fprintf('8. l_p2ksi=l_p2-dlt_l_p2ksi \t - \t'); fprintf(' %7.4f \t', lambda_p2ksi); fprintf('\b\n ');
fprintf('9. K_x = Sum(l_2ksi)/Sum( l_2) \t - \t'); fprintf(' %7.4f \t', K_x ); fprintf('\b\n ');
fprintf('10. x_2ksi_ = x_2_*K_x \t Ом\t'); fprintf(' %7.4f \t', x_2ksi_ ); fprintf('\b\n ');
fprintf('11. R_p = r_1 + c_1p*r_2ksi_/s \t Ом\t'); fprintf(' %7.4f \t', R_p ); fprintf('\b\n ');
fprintf('12. X_p = x_1 + c_1p*x_2ksi_ \t Ом\t'); fprintf(' %7.4f \t', X_p ); fprintf('\b\n ');
fprintf('13. I_2p=U_1/sqrt(R_p^2+X_p^2) \t A \t'); fprintf(' %7.1f \t', I_2p_ ); fprintf('\b\n ');
fprintf('14. I_1p=I_2p_*sqrt(R_p^2+(X_p+x_12p)^2)/(c_1p*x_12p) \t A \t');
fprintf(' %7.1f \t', I_1p ); fprintf('\b\n \n');
```

%disp ' . Расчет токов с учетом влияния эффекта вытеснения тока: по (9.280) для s=1'

disp ' б) Расчет пусковых характеристик с учетом влияния вытеснения тока и '

disp ' насыщения от полей рассеяния'

disp ' 61. Индуктивные сопротивления обмоток. Подробный расчет проводим для s=1'

disp ' Принимаем /k_нас/ k_нас = 1.25 по (9.263) стр.432'

% В качестве примера рассматриваем первую точку, т.е. точку при скольжении s=1.

k_нас_s_1 = 1.154 ; % 1.154 ; % При скольжении s = 1

F_p_cp_s_1 = 0.7*I_1p(1)*k_нас_s_1*u_p*(k_beta_ + k_y*k_obm1*Z_1/Z_2)/a ;

```
fprintf(' F_p_cp = 0.7*I_1p(1)*k_нас*u_p*(k_beta_ + k_y*k_obm1*Z_1/Z_2)/a = \n')
```

```
fprintf(' = 0.7*%3.1f*%1.3f*%2.0f*(%1.3f + %1.3f*%1.3f*%2.0f/%2.0f)/%1.0f = %3.3f A \n ',...
```

I_1p(1), k_нас_s_1, u_p, k_beta_, k_y, k_obm1, Z_1, Z_2, a, F_p_cp_s_1)

disp ' по (9.265) '

C_N_s_1 = 0.64+2.5*sqrt(delta/((t_Z1*1E+3)+t_Z2)) ;

```
fprintf(' C_N = 0.64+2.5*sqrt(delta/((t_Z1*1E+3)+t_Z2)) = \n')
```

```
fprintf(' = 0.64+2.5*sqrt(%1.1f/((%1.3f*1E+3)+%1.3f)) = %1.3f \n',...
```

delta, t_Z1, t_Z2, C_N_s_1)

disp ' по (9.264) '

B_F_delta_s_1 = F_p_cp_s_1*1E-6/(1.6*delta*1E-3*C_N_s_1);

```
fprintf(' B_F_delta = F_p_cp*1E-6/(1.6*delta*1E-3*C_N = \n')
```

```
fprintf(' = %4.3f*1E-6/(1.6*%1.1f*1E-3*%1.3f)) = %1.3f Тл \n',...
```

F_p_cp_s_1, delta, C_N_s_1, B_F_delta_s_1)

```
fprintf(' По рис.9.61 (стр.432) для B_F_delta = %2.3f Тл \n', B_F_delta_s_1 )
```

```

%///// k_delta = input(' находим k_delta = ');
% k_delta_s_1 = 0.75 %/////
k_delta_s_1 = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta_s_1) ;% сплайн

disp '      Коэфф. магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки'
disp '      статора с учетом влияния насыщения по (9.264): '
c_e1_s_1 = (t_Z1*1E+3 - b_sh)*(1 - k_delta_s_1) ; % c_e1 <=> c_e1 - эквивалентно
fprintf('      c_e1 = (t_Z1*1E+3 - b_sh)*(1 - k_delta) = ');
fprintf(' (%1.3f*1E-6 - %1.3f*1)/(1 - %1.3f*1) = %1.3f\n',...
        t_Z1, b_sh, k_delta_s_1, c_e1_s_1)
%！** h_k - рис.9.62(стр.433), рис.9.29(стр.361), рис. 9.50 (стр. 402)
% значение см. п 46.
d_lambda_p1nac_s_1 = ((h_sh + 0.58*h_k)/ b_sh)*(c_e1_s_1/(c_e1_s_1 + 1.5*b_sh));
fprintf('      d_lambda_p1nac = ((h_sh + 0.58*h_k)/ b_sh)*(c_e1/(c_e1 + 1.5*b_sh) = \n')
fprintf('      = (%1.1f + 0.58*%1.1f)/ %1.1f)*(%1.3f/(%1.3f + 1.5*%1.1f) = %2.3f\n',...
        h_sh, h_k, b_sh, c_e1_s_1, c_e1_s_1, b_sh, d_lambda_p1nac_s_1 )
lambda_p1nac_s_1 = lambda_p1 - d_lambda_p1nac_s_1;
fprintf('      lambda_p1nac = lambda_p1 - d_lambda_p1nac = ')
fprintf('%1.3f - %1.3f = %1.3f\n', lambda_p1, d_lambda_p1nac_s_1, lambda_p1nac_s_1)
disp '      Коэфф. магнитной проводимости дифференциального рассеяния '
disp '      обмотки статора с учетом влияния насыщения (9.274)'
lambda_d1nac_s_1 = lambda_d1*k_delta_s_1;
fprintf('      lambda_d1nac = lambda_d1*k_delta = ')
fprintf('%1.3f*%1.3f = %1.3f\n', lambda_d1, k_delta_s_1, lambda_d1nac_s_1)
disp '      Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора с учетом '
disp '      влияния насыщения по (9.275)'
x_1nac_s_1 = x_1*(lambda_p1nac_s_1 + lambda_d1nac_s_1 + lambda_l1)/...
            (lambda_p1+lambda_d1+lambda_l1) ;
fprintf('      x_1nac = x_1*(lambda_p1nac + lambda_d1nac + lambda_l1) = \n')
fprintf('      = %1.3f*(%1.3f+%1.3f+%1.3f)/(%1.3f+%1.3f+%1.3f) = %2.3f Ом\n',...
        x_1, lambda_p1nac_s_1, lambda_d1nac_s_1, lambda_l1, lambda_p1, lambda_d1, lambda_l1,
        x_1nac_s_1)

disp '      Коэфф. магнитной проводимости пазового рассеяния'
disp '      обмотки ротора с учетом влияния насыщения и вытеснения тока по (9.270):'
c_e2_s_1 = (t_Z2 - b_sh2)*(1 - k_delta_s_1);
fprintf('      c_e2 = (t_Z2 - b_sh2)*(1 - k_delta) = ')
fprintf(' (%2.1f - %2.1f)*(1 - %1.3f) = %2.3f\n',...
        t_Z2, b_sh2, k_delta_s_1, c_e2_s_1 )
h_sh2nac = h_sh2 + h_sh2_ ; % h_sh2 <=> h_sh2nac, т.к. h_sh2 уже используется
d_lambda_p2nac_s_1 = (h_sh2nac/b_sh2)*c_e2_s_1/(b_sh2 + c_e2_s_1);
fprintf('      d_lambda_p2nac = (h_sh2nac/b_sh2)*c_e2/(b_sh2 + c_e2) = \n')
fprintf('      = (%2.1f/%2.1f)*(%1.2f/(%2.1f + %1.2f)) = %2.3f\n',...
        h_sh2nac, b_sh2, c_e2_s_1, b_sh2, c_e2_s_1, d_lambda_p2nac_s_1)
fprintf('      (для закрытых пазов ротора h_sh2 = h_sh + h_sh_ = %1.1f + %1.1f = %1.1f мм)\n',...
        h_sh2, h_sh2_, h_sh2nac )
lambda_p2ksi_nac_s_1 = lambda_p2ksi(1) - d_lambda_p2nac_s_1;
fprintf('      lambda_p2ksi_nac = lambda_p2ksi(1) - d_lambda_p2nac; = \n')
fprintf('      = %2.3f - %2.3f = %2.3f\n',...
        lambda_p2ksi(1), d_lambda_p2nac_s_1, lambda_p2ksi_nac_s_1)
disp '      Коэфф. магнитной проводимости дифференциального рассеяния'

```

```

disp ' обмотки ротора с учетом влияния насыщения (9.274)'
lambda_d2nac_s_1 = lambda_d2*k_delta_s_1;
fprintf(' lambda_d2nac = lambda_d2*k_delta = ')
fprintf('%1.3f*%1.3f = %1.3f\n', lambda_d2, k_delta_s_1, lambda_d2nac_s_1)

disp ' Приведенное индуктивное сопротивления фазы обмотки ротора '
disp ' с учетом влияния насыщения и эффекта вытеснения тока по (9.276) '
x_2ksi_nac_s_1 = x_2*(lambda_p2ksi_nac_s_1 + lambda_d2nac_s_1 +
lambda_l2)/(lambda_p2+lambda_l2+lambda_d2);
fprintf(' x_2ksi_nac = x_2 *SUM(lambda_2ksi_nac)/SUM(lambda_2) = \n')
fprintf(' =%1.3f*(%1.3f+%1.3f+%1.3f)/(%1.3f+%1.3f+%1.3f) = %2.3f Ом\n ',...
x_2_, lambda_p2ksi_nac_s_1, lambda_d2nac_s_1, lambda_l2, lambda_p2, lambda_d2,
lambda_l2, x_2ksi_nac_s_1)
disp ' Сопротивление взаимной индукции обмоток в пусковом режиме'
%! *** F_ch = F_ц - магнитное напряжени на пару полюсов п.41

disp ' по (9.278)'
x_12пuck = x_12*F_ch/F_delta;
c_1pnac_s_1 = 1 + x_1nac_s_1/x_12пuck;
fprintf(' c_1pnac = 1 + x_1nac/x_12пuck = 1 + %2.3f/%2.3f = %2.3f\n ', x_1nac_s_1,
x_12пuck, c_1pnac_s_1)
fprintf(' здесь по (9.277)/ch-ц/ x_12пuck = x_12*F_ch/F_delta = %2.2f* %4.1f/%4.1f =
%2.3f Ом\n\n',...
x_12, F_ch, F_delta, x_12пuck)

disp ' 62. Расчет токов и моментов:'
disp ' по (9.280)'
R_p_nac_s_1 = r_1 + c_1pnac_s_1*r_2ksi(1)/s_1;
fprintf(' R_p_nac = r_1 + c_1pnac*r_2ksi(1)/s = %2.3f + %2.3f*%2.3f/%1.0f = %2.3f
Ом\n',...
r_1, c_1pnac_s_1, r_2ksi(1), s_1, R_p_nac_s_1)
X_p_nac_s_1 = x_1nac_s_1 + c_1pnac_s_1*x_2ksi_nac_s_1 ;
fprintf(' X_p_nac = x_1nac + c_1pnac*x_2ksi_nac = %2.3f + %2.3f*%2.3f = %2.3f Ом\n',...
x_1nac_s_1, c_1pnac_s_1, x_2ksi_nac_s_1, X_p_nac_s_1 )
%! I_2_ = I_2nac_, для удобства сравнения токов
disp ' по (9.281)'
I_2nac__s_1 = round(U_1n/sqrt(R_p_nac_s_1^2 + X_p_nac_s_1^2)*10)*0.1 ;
%округление
fprintf(' I_2nac_ = U_1n/sqrt(R_p_nac^2 + X_p_nac^2) = %3.0f/sqrt(%2.3f^2 + %2.3f^2) =
%2.1f A\n',...
U_1n, R_p_nac_s_1, X_p_nac_s_1, I_2nac__s_1)
disp ' по (9.283)' %round(x_2_*K_x*100)*0.01 %округление
I_1nac_s_1 = round(I_2nac__s_1*sqrt(R_p_nac_s_1^2 + (X_p_nac_s_1 +
x_12пuck)^2)/(c_1pnac_s_1*x_12пuck)*10)*0.1 ; %округление
fprintf(' I_1nac = I_2nac_*sqrt(R_p_nac^2 + (X_p_nac +
x_12пuck)^2)/(c_1pnac*x_12пuck) = \n')
fprintf(' = %2.3f/sqrt(%2.3f^2 + ( %2.3f + %2.3f )^2)/(%2.3f*%2.3f) = %4.1f A\n',...
I_2nac__s_1, R_p_nac_s_1, X_p_nac_s_1, x_12пuck, c_1pnac_s_1, x_12пuck,
I_1nac_s_1 )
disp ' Кратность пускового тока с учетом влияния насыщения и эффекта вытеснения
тока'

```

```

I_пущ_ое = round(I_1nac_s_1/I_1n *100)*0.01 ;%округление;  %! Относительные
значения
fprintf('    I_пущ_ое = I_1nac/I_1n = %3.1f/%3.1f = %2.2f\n ', I_1nac_s_1, I_1n, I_пущ_ое)
disp '    Кратность пускового момента с учетом влияния насыщения и эффекта вытеснения
тока'
M_пущ_ое_s_1 = round(((I_2nac__s_1/I_2n_)^2)*K_R(1)*s_n/s_1*100)*0.01
;%округление
fprintf('    M_пущ_ое = ((I_2nac_/I_2n_)^2)*K_R*s_n/s =' )
fprintf('((%2.1f/%2.1f)^2*%2.3f*%2.3f/%1.0f = %2.2f\n ', ...
        I_2nac__s_1, I_2n_, K_R(1), s_n, s_1, M_пущ_ое_s_1)
disp '    Полученный в расчете коэф. насыщения'
k_has_s_1 = I_1nac_s_1/I_1p(1);
fprintf('    k_has_ = I_1nac/I_1p = %3.1f/%3.1f = %2.3f\n ', I_1nac_s_1, I_1p(1), k_has_s_1)
% disp '    Полученный в расчете коэф. насыщения')

% *****
% Построение таблицы 9.38 стр. 470
% s = [1 0.8 0.5 0.2 0.0177 0.14];
% Предварительно задаем значения коэф. насыщения для каждого скольжения (6 точек.
Последняя точка - s_kp)
k_nac = [1.154 1.138 1.121 1.075 1.000 1.049 ];

        % 1.154 1.138 1.121 1.075 1.000 1.049
F_p_cp = 0.7.*I_1p.*k_nac*u_p*(k_beta_+ k_y*k_obm1*Z_1/Z_2)./a ;
C_N = 0.64 + 2.5*sqrt(delta/((t_Z1*1E+3)+t_Z2)) ;
B_F_delta = F_p_cp.*1E-6/(1.6*delta*1E-3*C_N);
%fprintf('    По рис.9.61 (стр.432) для B_F_delta = %2.3f Тл \n', B_F_delta )
%///// k_delta = input(' находим k_delta = ');
% k_delta = 0.75 %/////
k_delta(1) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(1)); % сплайн
k_delta(2) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(2));
k_delta(3) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(3));
k_delta(4) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(4));
k_delta(5) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(5));
k_delta(6) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(6));
%disp '    Коэфф. магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки'
%disp '    статора с учетом влияния насыщения по (9.264): '
c_e1 = (t_Z1*1E+3 - b_sh)*(1 - k_delta); % c_э1 <=> c_e1 - эквивалентно
d_lambda_p1nac = ((h_sh + 0.58*h_k)/ b_sh).*(c_e1./(c_e1 + 1.5*b_sh));
lambda_p1nac = lambda_p1 - d_lambda_p1nac;
lambda_d1nac = lambda_d1*k_delta;
x_1nac = x_1*(lambda_p1nac + lambda_d1nac + lambda_l1)/...
        (lambda_p1+lambda_d1+lambda_l1) ;
%disp '    Коэфф. магнитной проводимости пазового рассеяния'
%disp '    обмотки ротора с учетом влияния насыщения и вытеснения тока по (9.270):'
c_e2 = (t_Z2 - b_sh2)*(1 - k_delta);
h_sh2nac = h_sh2 + h_sh2_ ; % h_ш2 <=> h_sh2nac, т.к, h_sh2 уже используется
d_lambda_p2nac = (h_sh2nac/b_sh2).*c_e2./(b_sh2 + c_e2);
lambda_p2ksi_nac = lambda_p2ksi - d_lambda_p2nac;
lambda_d2nac = lambda_d2*k_delta;
%disp '    Приведенное индуктивное сопротивления фазы обмотки ротора '
%disp '    с учетом влияния насыщения и эффекта вытеснения тока по (9.276) '

```

```

x_2ksi_nac = x_2*(lambda_p2ksi_nac + lambda_d2nac +
lambda_l2)/(lambda_p2+lambda_l2+lambda_d2);
x_12pyck = x_12*F_ch./F_delta;
c_1pnac = 1 + x_1nac./x_12pyck;
R_p_nac = r_1 + c_1pnac.*r_2ksi_/s;
X_p_nac = x_1nac + c_1pnac.*x_2ksi_nac ;
I_2nac_ = U_1n./sqrt(R_p_nac.^2 + X_p_nac.^2);
I_1nac_ = I_2nac_.*sqrt(R_p_nac.^2 + (X_p_nac + x_12pyck).^2)./(c_1pnac.*x_12pyck);
%округление
I_pyck_oe = I_1nac./I_1n ; %! Относительные значения
M_pyck_oe = ((I_2nac_./I_2n_).^2).*K_R*s_n./s;
%disp '    Полученный в расчете коэф. насыщения'
k_nac_ = I_1nac./I_1p ;

disp ' Расчет пусковых характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым
роторм '
disp ' с учетом влияния эффекта вытеснения тока и насыщения от полей рассеяния'
fprintf(' P_2n = %2.0f кВт; U_1n = %2.0f В; 2p = %1.0f, I_1n = %2.1f А; I_2n_ = %3.1f
А;\n ',...
P_2n, U_1n, 2*p, I_1n, I_2n_);
fprintf(' x_1 = %1.3f Ом; x_2_ = %1.3f Ом; r_1 = %1.3f Ом; r_2_ = %1.3f Ом; \n ',
x_1,x_2_,r_1,r_2_);
fprintf(' x_12p = %2.3f Ом /п-п/; C_N = %1.3f ; s_n = %1.4f \n \n', x_12p, C_N, s_n);
%fprintf(' Принятые после расчета значения коэф. насыщения k_nac_ = \n');
%fprintf(' %7.3f ', k_nac); fprintf('\n \n');
%fprintf(' \n \n')

% Для вывод в Command Window и печати из него в помощью MATLAB.
% Возможно, графики печатаются вместе с текстом (уточнить)
%fprintf(' Скольжение s [-] '); fprintf(' %7.4f ', s ); fprintf('\n ');
%fprintf('1. k_nac [-] '); fprintf(' %7.3f ', k_nac ); fprintf('\n ');
%fprintf('2. F_p_cp = 0.7*I_1p*k_nac*u_p* '); fprintf('\n ');
%fprintf(' (k_beta_ + k_y*k_obm1*Z_1/Z_2)/a [А] '); fprintf(' %7.1f ', F_p_cp );
fprintf('\n ');
%fprintf('3. B_F_delta = F_p_cp/(1.6*delta*C_N)[Тл]'); fprintf(' %7.3f ', B_F_delta );
fprintf('\n ');
%fprintf('4. k_delta = f(B_F_delta) [-] '); fprintf(' %7.3f ', k_delta ); fprintf('\n ');
%fprintf('5. c_e1 = (t_Z1 - b_sh)*(1 - k_delta)[мм]'); fprintf(' %7.3f ', c_e1 ); fprintf('\n ');
%fprintf('6. lambda_p1nac = lambda_p1 - '); fprintf('\n ');
%fprintf(' - d_lambda_p1nac [-]'); fprintf(' %7.3f ', lambda_p1nac); fprintf('\n ');
%fprintf('7. lambda_d1nac = lambda_d1*k_delta [-]'); fprintf(' %7.3f ', lambda_d1nac);
fprintf('\n ');
%fprintf('8. x_1nac = x_1*'); fprintf('\n ');
%fprintf(' *SUM(lambda_1nac)/SUM(lambda_1) [Ом]'); fprintf(' %7.3f ', lambda_p2ksi);
fprintf('\n ');
%fprintf('9. c_1p = 1 + x_1nac/x_12p [-] '); fprintf(' %7.3f ', c_1pnac ); fprintf('\n ');
%fprintf('10. c_e2=(t_Z2-b_sh2)*(1-k_delta) [мм]'); fprintf(' %7.3f ', c_e2 ); fprintf('\n
');
%fprintf('11. lambda_p2ksi_nac=lambda_p2ksi-'); fprintf('\n ');
%fprintf(' -d_lambda_p2nac [-] '); fprintf(' %7.3f ',lambda_p2ksi_nac); fprintf('\n ');
%fprintf('12. lambda_d2nac=lambda_d2*k_delta [-] '); fprintf(' %7.3f ', lambda_d2nac );
fprintf('\n ');

```

```

%fprintf('13. x_2ksi_nac = x_2_* '); fprintf('\n ');
%fprintf('*SUM(lambda_2ksinac)/SUM(lambda_2) [Om]'); fprintf(' %7.3f ', x_2ksi_nac );
fprintf('\n ');
%fprintf('14. R_p_nac=r_1+c_1pnac*r_2ksi_/s [Om]'); fprintf(' %7.3f ', R_p_nac );
fprintf('\n ');
%fprintf('15. X_p_nac=x_1nac+c_1pnac*x_2ksi_nac[Om]'); fprintf(' %7.3f ', X_p_nac );
fprintf('\n ');
%fprintf('16. I_2nac_=U_1n/'); fprintf('\n ');
%fprintf(' /sqrt(R_p_nac^2+X_p_v^2) [A] '); fprintf(' %7.1f ', I_2nac_ ); fprintf('\n ');
%fprintf('17. I_1nac=I_2nac_*sqrt(R_p_nac^2 + '); fprintf('\n ');
%fprintf('+(X_p_nac + x_12p)^2)/(c_1pnac*x_12p [A] '); fprintf(' %7.1f ', I_1nac );
fprintf('\n ');
%fprintf('18. k_nac_ = I_1nac/I_1p [-] '); fprintf(' %7.3f ', k_nac_ ); fprintf('\n ');
%fprintf('19. I_1_oe = I_1nac/I_1n [-] '); fprintf(' %7.3f ', I_pyck_oe ); fprintf('\n ');
%fprintf('20. M_oe=((I_2nac_/I_2n_)^2)* '); fprintf('\n ');
% fprintf(' *K_R*s_n/s [-] '); fprintf(' %7.3f ', M_pyck_oe ); fprintf('\n \n');

```

% Для переноса текста из Command Window в Word через "карман"

% Графики из MATLABa копируются в карман Edit==> Copy Figure и вставляются в Word
==> Ctrl+V

```

fprintf(' Расчетная формула \tПазм.\t Скольжение s \n ');
fprintf(' \t-\t '); fprintf(' %7.4f \t', s ); fprintf('\b\n ');
fprintf('1. k_nac \t-\t '); fprintf(' %7.3f \t', k_nac ); fprintf('\b\n ');
fprintf('2. F_p_cp = 0.7*I_1p*k_nac*u_p*(k_beta_+ k_y*k_obm1*Z_1/Z_2)/a \tA\t ');
fprintf(' %7.1f \t', F_p_cp ); fprintf('\b\n ');
fprintf('3. B_F_delta = F_p_cp/(1.6*delta*C_N) \tTn\t '); fprintf(' %7.3f \t', B_F_delta );
fprintf('\b\n ');
fprintf('4. k_delta = f(B_F_delta) \t-\t '); fprintf(' %7.3f \t', k_delta ); fprintf('\b\n ');
fprintf('5. c_e1 = (t_Z1 - b_sh)*(1 - k_delta) \tm\t '); fprintf(' %7.3f \t', c_e1 ); fprintf('\b\n ');
fprintf('6. lambda_p1nac = lambda_p1 - d_lambda_p1nac \t-\t ');
fprintf(' %7.3f \t', lambda_p1nac); fprintf('\b\n ');
fprintf('7. lambda_d1nac = lambda_d1*k_delta \t-\t '); fprintf(' %7.3f \t', lambda_d1nac);
fprintf('\b\n ');
fprintf('8. x_1nac = x_1*SUM(lambda_1nac)/SUM(lambda_1)\tOm\t ');
fprintf(' %7.3f \t', lambda_p2ksi); fprintf('\b\n ');
fprintf('9. c_1p = 1 + x_1nac/x_12p \t-\t '); fprintf(' %7.3f \t', c_1pnac ); fprintf('\b\n ');
fprintf('10. c_e2=(t_Z2-b_sh2)*(1-k_delta) \tm\t '); fprintf(' %7.3f \t', c_e2 );
fprintf('\b\n ');
fprintf('11. lambda_p2ksi_nac=lambda_p2ksi-d_lambda_p2nac \t-\t '); fprintf(' %7.3f \t', lambda_p2ksi_nac); fprintf('\b\n ');
fprintf('12. lambda_d2nac=lambda_d2*k_delta \t-\t '); fprintf(' %7.3f \t', lambda_d2nac );
fprintf('\b\n ');
fprintf('13. x_2ksi_nac = x_2_*SUM(lambda_2ksinac)/SUM(lambda_2) \tOm\t ');
fprintf(' %7.3f \t', x_2ksi_nac ); fprintf('\b\n ');
fprintf('14. R_p_nac=r_1+c_1pnac*r_2ksi_/s \tOm\t '); fprintf(' %7.3f \t', R_p_nac );
fprintf('\b\n ');
fprintf('15. X_p_nac=x_1v+c_1pnac*x_2ksi_nac\tOm\t '); fprintf(' %7.3f \t', X_p_nac );
fprintf('\b\n ');
fprintf('16. I_2nac_=U_1n/sqrt(R_p_nac^2+X_p_nac^2) \tA\t ');
fprintf(' %7.1f \t', I_2nac_ ); fprintf('\b\n ');
fprintf('17. I_1nac=I_2nac_*sqrt(R_p_nac^2 + (X_p_nac + x_12p)^2)/(c_1pnac*x_12p \tA\t ');

```

```

fprintf(' %7.1f \t', I_1nac ); fprintf('\b\n ');
fprintf('18. k_nac_ = I_1nac/I_1p \t\t '); fprintf(' %7.3f \t', k_nac_ ); fprintf('\b\n ');
fprintf('19. I_1_oe = I_1nac/I_1n \t\t '); fprintf(' %7.3f \t', I_pyck_oe); fprintf('\b\n ');
fprintf('20. M_oe=((I_2nac_/I_2n_)^2)*K_R*s_n/s \t\t ');
fprintf(' %7.3f \t', M_pyck_oe ); fprintf('\b\n \n');

```

% Повторный расчет пусковых характеристик с меньшим шагом скольжения для вывода графиков
 % задаем скольжение и коэф. насыщения. После первого прохода переносим из
 % k_nac_ (штрих) значения коэф. насыщения в матрицу k_nac, т.е. из конца в
 % начало. И добиваемся минимального расхождения между значениями в начале и
 % в конце расчета.

```

s = [1 0.9 0.8 0.7 0.6 0.5 0.4 0.3 0.2 0.15 0.14 0.13 0.123 0.12
0.1 0.075 0.05 0.001];
k_nac = [1.1535 1.1457 1.1373 1.1454 1.1336 1.1193 1.1211 1.1004 1.0747
1.0643 1.0585 1.0531 1.0489 1.0474 1.0345 1.0188 1.0064 0.9937];

```

```

% 1.154 1.138 1.121 1.075 1.000 1.049

```

```

Ksi = 63.61*h_c.*sqrt(s)*1.E-3 ;

```

% Определение значений Fi по кривой Fi=f(Ksi), которая

% аппроксимирована сплайнами (см. рис.9.57, стр.428 и функцию spline_Fi_Ksi)

% Нет необходимости вводить данные вручную для каждого значения скольжения

```

Fi_Ksi(1) = spline_Fi_Ksi(Ksi(1)) ;
Fi_Ksi(2) = spline_Fi_Ksi(Ksi(2)) ;
Fi_Ksi(3) = spline_Fi_Ksi(Ksi(3)) ;
Fi_Ksi(4) = spline_Fi_Ksi(Ksi(4)) ;
Fi_Ksi(5) = spline_Fi_Ksi(Ksi(5)) ;
Fi_Ksi(6) = spline_Fi_Ksi(Ksi(6)) ;
Fi_Ksi(7) = spline_Fi_Ksi(Ksi(7)) ;
Fi_Ksi(8) = spline_Fi_Ksi(Ksi(8)) ;
Fi_Ksi(9) = spline_Fi_Ksi(Ksi(9)) ;
Fi_Ksi(10) = spline_Fi_Ksi(Ksi(10)) ;
Fi_Ksi(11) = spline_Fi_Ksi(Ksi(11)) ;
Fi_Ksi(12) = spline_Fi_Ksi(Ksi(12)) ;
Fi_Ksi(13) = spline_Fi_Ksi(Ksi(13)) ;
Fi_Ksi(14) = spline_Fi_Ksi(Ksi(14)) ;
Fi_Ksi(15) = spline_Fi_Ksi(Ksi(15)) ;
Fi_Ksi(16) = spline_Fi_Ksi(Ksi(16)) ;
Fi_Ksi(17) = spline_Fi_Ksi(Ksi(17)) ;
Fi_Ksi(18) = spline_Fi_Ksi(Ksi(18)) ;

```

```

h_r = h_c./(1 + Fi_Ksi);

```

```

b_r = round((b_1_2 - ((b_1_2 - b_2_2)/h_1_2)*(h_r - b_1_2/2))*10)*0.1 ;

```

```

q_r = round(((pi*b_1_2^2)/8 + ((b_1_2 + b_r)/2).*(h_r - b_1_2/2))*10)*0.1;

```

```

k_r = round((q_c./q_r)*10)*0.1;

```

```

K_R = 1 + round((r_c/r_2)*(k_r - 1)*100)*0.01;

```

```

r_2ksi_ = round(K_R*r_2_*1000)*0.001; % (r_c/r_2)*(k_r - 1);

```

```

K_pyck = 9.8683*s_1^5 - 44.476*s_1^4 + 77.78*s_1^3 - 66.735*s_1^2 + 29.198*s_1 +
0.3421;

```

% Определение значений Fi_ по кривой Fi_=f(Ksi), которая аппроксимирована сплайнами

```

% (см. рис.9.58, стр.428 и функцию spline_Fi__ksi).
% После этого находим k_d = Fi_ .
k_d(1) = spline_Fi__ksi(Ksi(1)) ;
k_d(2) = spline_Fi__ksi(Ksi(2)) ;
k_d(3) = spline_Fi__ksi(Ksi(3)) ;
k_d(4) = spline_Fi__ksi(Ksi(4)) ;
k_d(5) = spline_Fi__ksi(Ksi(5)) ;
k_d(6) = spline_Fi__ksi(Ksi(6)) ;
k_d(7) = spline_Fi__ksi(Ksi(7)) ;
k_d(8) = spline_Fi__ksi(Ksi(8)) ;
k_d(9) = spline_Fi__ksi(Ksi(9)) ;
k_d(10) = spline_Fi__ksi(Ksi(10)) ;
k_d(11) = spline_Fi__ksi(Ksi(11)) ;
k_d(12) = spline_Fi__ksi(Ksi(12)) ;
k_d(13) = spline_Fi__ksi(Ksi(13)) ;
k_d(14) = spline_Fi__ksi(Ksi(14)) ;
k_d(15) = spline_Fi__ksi(Ksi(15)) ;
k_d(16) = spline_Fi__ksi(Ksi(16)) ;
k_d(17) = spline_Fi__ksi(Ksi(17)) ;
k_d(18) = spline_Fi__ksi(Ksi(18)) ;

% См. стр.408, второй абзац по поводу
% (h_ш/b_ш) + 1.12*h_ш_*1E+3/(K_пуск*I_2n). ВНИМАНИЕ! Этой части нет в примере
расчета.
% h_0 = h_1_2, b_ш = b_sh2
dlt_lambda_p2ksi = round((((h_1_2/(3*b_1_2))*(1 - (pi*b_1_2^2)/(8*q_c)))^2 ...
    + 0.66 - b_sh2/(2*b_1_2)) + (h_sh2/b_sh2)...
    + 1.12*h_sh2_*1E+3/(K_пуск * I_2n)).*(1-k_d)*100)*0.01 ;
lambda_p2ksi = lambda_p2 - dlt_lambda_p2ksi ;
K_x = (lambda_p2ksi + lambda_l2 + lambda_d2)/(lambda_p2 + lambda_l2 + lambda_d2) ;
x_2ksi_ = round(x_2*K_x*100)*0.01 ; % округление
x_12p = round(k_my*x_12*100)*0.01 ;
c_1p = 1 + x_1/x_12p ;
R_p = r_1 + c_1p*r_2ksi_./s ;
X_p = x_1 + c_1p*x_2ksi_ ;
I_2p_ = round(U_1n./sqrt(R_p.^2 + X_p.^2)*10)*0.1 ;
I_1p = round( I_2p_.* sqrt(R_p.^2 + (X_p + x_12p).^2)./(c_1p*x_12p)*10)*0.1 ;

F_p_cp = 0.7*I_1p.*k_nac*u_p*(k_beta_ + k_y*k_obm1*Z_1/Z_2)./a ;
C_N = 0.64 + 2.5*sqrt(delta/((t_Z1*1E+3)+t_Z2)) ;
B_F_delta = F_p_cp.*1E-6/(1.6*delta*1E-3*C_N);
%fprintf(' По рис.9.61 (стр.432) для B_F_delta = %2.3f Тл \n', B_F_delta )
%///// k_delta = input(' находим k_delta = ');
% k_delta = 0.75 %/////
k_delta(1) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(1)); % сплайн
k_delta(2) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(2));
k_delta(3) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(3));
k_delta(4) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(4));
k_delta(5) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(5));
k_delta(6) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(6));
k_delta(7) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(7));
k_delta(8) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(8));

```

```

k_delta(9) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(9));
k_delta(10) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(10));
k_delta(11) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(11));
k_delta(12) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(12));
k_delta(13) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(13));
k_delta(14) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(14));
k_delta(15) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(15));
k_delta(16) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(16));
k_delta(17) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(17));
k_delta(18) = spline_k_dlt_B_F_dlt(B_F_delta(18));

%disp '      Коэфф. магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки'
%disp '      статора с учетом влияния насыщения по (9.264): '
c_e1 = (t_Z1*1E+3 - b_sh)*(1 - k_delta); % c_э1 <=> c_e1 - эквивалентно
d_lambda_p1nac = ((h_sh + 0.58*h_k)/ b_sh).*(c_e1./(c_e1 + 1.5*b_sh));
lambda_p1nac = lambda_p1 - d_lambda_p1nac;
lambda_d1nac = lambda_d1*k_delta;
x_1nac = x_1*(lambda_p1nac + lambda_d1nac + lambda_l1)/...
        (lambda_p1+lambda_d1+lambda_l1) ;
%disp '      Коэфф. магнитной проводимости пазового рассеяния'
%disp '      обмотки ротора с учетом влияния насыщения и вытеснения тока по (9.270):'
c_e2 = (t_Z2 - b_sh2)*(1 - k_delta);
h_sh2nac = h_sh2 + h_sh2_ ; % h_ш2 <=> h_sh2nac, т.к. h_sh2 уже используется
d_lambda_p2nac = (h_sh2nac/b_sh2).*(c_e2./(b_sh2 + c_e2));
lambda_p2ksi_nac = lambda_p2ksi - d_lambda_p2nac;
lambda_d2nac = lambda_d2*k_delta;
%disp '      Приведенное индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора '
%disp '      с учетом влияния насыщения и эффекта вытеснения тока по (9.276) '
x_2ksi_nac = x_2*(lambda_p2ksi_nac + lambda_d2nac +
lambda_l2)/(lambda_p2+lambda_l2+lambda_d2);
x_12pyck = x_12*F_ch./F_delta;
c_1pnac = 1 + x_1nac./x_12pyck;
R_p_nac = r_1 + c_1pnac.*r_2ksi_/s;
X_p_nac = x_1nac + c_1pnac.*x_2ksi_nac ;
I_2nac_ = U_1n./sqrt(R_p_nac.^2 + X_p_nac.^2);
I_1nac = I_2nac_.*sqrt(R_p_nac.^2 + (X_p_nac + x_12pyck).^2)./(c_1pnac.*x_12pyck) ;
I_pyck_oe = I_1nac./I_1n ; %! Относительные значения
M_pyck_oe = ((I_2nac_/I_2n).^2).*K_R*s_n./s;
%disp '      Полученный в расчете коэф. насыщения'
k_nac_ = I_1nac./I_1p;

% Построение пусковых характеристик
figure
plot(s,M_pyck_oe, s,I_pyck_oe, [0.123, 0.123], [0, 3], 'k--')
grid on
% На графике можно выделить легенду (Л. кнопка) и переместить в удобное
% место (например, для печати или просмотра)
legend('M','I_1', 4)
ylabel(' M, I_1, oe ')
xlabel(' s')
title(' Пусковые характеристики АД 4A180S2 (37 kW)')

```

```

disp ' 63. Критическое скольжение определяем путем изменения скольжения и анализа
момента. '
fprintf('   После нескольких итераций находим максимальный момент M_max_oe = %1.5f
и\n', M_руск_oe(13))
fprintf('   соответствующее критическое скольжение s_kp = %1.4f.\n\n', s(13))
% При изменении размерности скольжения необходимо изменять и номер элемента
массива, т.е. 13.

```

```

disp '   ***** Тепловой расчет *****'

```

```

disp ' 64. Превышение температуры внутренней поверхности сердечника статора'

```

```

disp '   над температурой воздуха внутри двигателя по (9.315), стр.449 /э-ел,п-р,Ну-ню/.'

```

```

K=0.84; % табл.9.35 (стр.450)

```

```

alfa_1 = 188; k_po = 1.07;

```

```

P_el1 = round(3*(I_1n^2)*r_1*10)*0.1 ; % электрические потери в статоре

```

```

P_el_p1_ = round( k_ro*P_el1*2*l_ct1/l_cp1*10)*0.1 ;

```

```

dlt_Hy_pob1 = round( K*(P_el_p1_ + P_ct_очн)/(pi*D*l_ct1*alfa_1)*10)*0.1 ;

```

```

fprintf('   dlt_Hy_pob1 = K*(P_el_p1_ + P_ct_очн)/(pi*D*l_ct1*alfa_1) = \n')

```

```

fprintf('   = %3.3f*%4.1f*2*%3.1f/(pi*%3.3f*%3.3f*%3.1f) = %3.1f гр.С\n',...

```

```

K, P_el_p1_, P_ct_очн, D, l_ct1, alfa_1, dlt_Hy_pob1);

```

```

fprintf('   [По табл. 9.35 (стр.450) K = %1.3f; \n', K); % Это значение задано в строке
2028

```

```

fprintf('   по (9.313) P_el_p1_ = k_ro*P_el1*2*l_ct1/l_cp1 = %1.3f*%4.1f*2*%1.3f/%1.3f =
%3.1f Вт,\n',...

```

```

k_ro, P_el1, l_ct1, l_cp1, P_el_p1_ );

```

```

fprintf('   где из таблицы раб. характеристик для s = s_n% = 1.4f', s_n);fprintf(' находим
P_e1 = %3.2f Вт;\n', P_el1 )

```

```

fprintf('   по рис.9.68,а alfa_1 = %3.1f Вт/м^2; k_po = %1.3f (стр.449)].\n\n ', alfa_1, k_po);
% см. строку 2029

```

```

disp ' 65. Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки статора по (9.316)'

```

```

disp '   где /П_п1-P_п1, P_э.п1_-P_el_p1_, экв-екб/'

```

```

P_p1 = 2*h_p + b_1 + b_2;

```

```

lambda_екб_ = 1.4; % штрих (')

```

```

dlt_Hy_из_p1 = (P_el_p1_/(Z_1*P_p1*l_ct1))*...

```

```

(b_из/lambda_екб_ + (b_1 + b_2)/(16*lambda_екб_));

```

```

fprintf(' dlt_Hy_из_p1=(P_el_p1_/(Z_1*P_p1*l_ct1))*'

```

```

fprintf(' (b_из/lambda_екб_+(b_1 + b_2)/(16*lambda_екб_))=\n ')

```

```

fprintf('   = (%3.1f/( %3.1f*%3.1f*%3.1f))*',...

```

```

P_el_p1_, Z_1, P_p1, l_ct1)

```

```

fprintf('(%3.1f/%3.1f + (%3.1f+%3.1f)/(16*%3.1f)) = %3.2f гр.С;\n',...

```

```

b_из, lambda_екб_, b_1, b_2, lambda_екб_, dlt_Hy_из_p1)

```

```

fprintf('   [по (9.317) P_p1 = 2*h_p + b_1 + b_2 = 2*%3.1f + %3.1f + %3.1f = %3.1f ;\n',...
2*h_p, b_1, b_2, P_p1)

```

```

disp '   для изоляции класса нагревостойкости "F" lambda_екб = 0.16 Вт/(м*гр.С),'

```

```

fprintf('   по рис.9.69 для d_el/d_из = %3.2f/%3.2f = %3.2f ', d_el, d_из, d_el/d_из)

```

```

fprintf(' находим lambda_екб_ = %3.2f Вт/(м^2*гр.С)];\n\n', lambda_екб_)

```

```

disp ' 66. Перепад температуры по толщине изоляции лобовых частей по (9.319)'

```

```

disp '   по (9.317) /П_л1-P_л1, l_л1-l_л1, экв-екб/'

```

```

P_л1 = P_p1 ;

```

```

b_iz_l1 = 0.05 ; % как в примере расчета стр.473 п.66
P_el_l1_ = k_ro*P_el1*2*l_l1/l_cp1;
dlt_Hy_iz_l1 = (P_el_l1_/(2*Z_1*P_l1*l_l1))*...
    (b_iz_l1/lambda_ekb + h_p/(12*lambda_ekb_));
fprintf('    dlt_Hy_iz_l1 = (P_el_l1_/(2*Z_1*P_l1*l_l1))*')
fprintf('(b_iz_l1/lambda_ekb + h_p/(12*lambda_ekb_)) =\n')
fprintf('        = (%3.1f/(2*%2.0f*%3.1f*%3.1f))*',...
        P_el_l1_,Z_1,P_l1,l_l1)
fprintf(' (%3.1f/%3.1f + %3.1f/(12*%3.1f) = %3.2f гр./C \n',...
        b_iz_l1, lambda_ekb, h_p, lambda_ekb_, dlt_Hy_iz_l1)
disp '    [по (9.314)'
fprintf('    P_el_l1_ = k_ro*P_el1*2*l_l1/l_cp1; = %3.2f*%3.2f1*2*%3.2f/%3.2f = %3.2f
Bт\n',...
        k_ro, P_el1, l_l1, l_cp1, P_el_l1_)
fprintf('    P_l1 = P_p1 = %3.1f м ; b_iz_l1max = %3.2f мм]\n\n', P_l1, b_iz_l1)

disp ' 67. Превышение температуры наружной поверхности лобовых частей'
disp '    над температурой воздуха внутри машины по (9.320) /выл-vyl/ '
dlt_Hy_pob_l1 = (K*P_el_l1_)/(2*pi*D*l_vyl*alfa_1);
fprintf('    dlt_Hy_pob_l1 = (K*P_el_l1_)/(2*pi*D*l_vyl*alfa_1) = \n ')
fprintf('        = (%3.2f*%3.2f)/(2*pi*%3.2f*%3.2f*%3.2f = %3.2f гр.C\n\n',...
        K,P_el_l1_,D,l_vyl,alfa_1, dlt_Hy_pob_l1)

disp ' 68. Среднее превышение температуры обмотки статора над '
disp '    температурой воздуха внутри машины /пов-pob/'
dlt_Hy_1_ = ((dlt_Hy_pob1 + dlt_Hy_iz_p1)*2*l_ct1 + ...
    (dlt_Hy_iz_l1 + dlt_Hy_pob_l1)*2*l_l1)/l_cp1;

fprintf('    dlt_Hy_1_ = ((dlt_Hy_pob1 + dlt_Hy_iz_p1)*2*l_ct1 + \n')
fprintf('        + (dlt_Hy_iz_l1 + dlt_Hy_pob_l1)*2*l_l1)/l_cp1 = \n')
fprintf('        = ((%3.2f + %3.2f)*2*%3.2f + (%3.2f + %3.2f)*2*%3.2f)/%3.2f = %3.2f
гр.C\n\n',...,
        dlt_Hy_pob1, dlt_Hy_iz_p1, l_ct1, dlt_Hy_iz_l1, dlt_Hy_pob_l1, l_l1, l_cp1,
dlt_Hy_1_)

disp ' 69. Превышение температуры воздуха внутри машины над'
disp '    температурой окружающей среды по (9.322) /кор-kor/'
P_el2 = 3*(I_2n^2)*r_2_;
P_sum = P_ct_mex + P_el1_n + P_el2_n + P_dob_n ;% см. п.54
Sum_P_ = P_sum*1000 +(k_ro-1)*(P_el1 + P_el2);
Sum_P_b_ = Sum_P_ - (1 - K)*(P_el_p1_ + P_ct_ocr) - 0.9*P_mex;
% Для h по рис.9.70 (стр.453) находим П_p и вводим его значение
PP_p = 0.36 ;
% Для D_a по рис.9.68 (стр.451) находим алфа_b и вводим
alfa_b = 185;
S_kor = (pi*D_a + 8*PP_p)*(l_ct1 + 2*l_vyl);
dlt_Hy_b = Sum_P_b_/(S_kor*alfa_b) ;
fprintf('    dlt_Hy_b = Sum_P_b_/(S_kor*alfa_b) = ')
fprintf('%3.2f /( %3.2f*%3.2f) = %3.2f гр.C\n',...
        Sum_P_b_, S_kor, alfa_b, dlt_Hy_b);
disp '    [по (9.326)'
fprintf('    Sum_P_b_ = Sum_P_ - (1 - K)*(P_el_p1_ + P_ct_ocr) - 0.9*P_mex = \n')

```

```

fprintf('          = %3.2f - (1 - %3.2f)*(%3.2f + %3.2f) - 0.9*%3.2f = %3.2f Вт\n',...
        Sum_P_, K, P_el_p1_, P_ct_ocn, P_mex, Sum_P_b_)
disp '      где по (9.324)'
fprintf('      Sum_P_ = P_sum*1000 +(k_ro-1)*(P_el1 + P_el2) = \n')
fprintf('      = %3.2f + (%3.2f - 1)*(%3.2f + %3.2f) = %3.2f Вт;\n',...
        P_sum, k_ro, P_el1, P_el2, Sum_P_)
fprintf('      P_sum = %3.2f Вт из рабочих характеристик для s = s_n; \n',P_sum_n)
fprintf('      по (9.327) S_kor = (pi*D_a + 8*PP_p)*(l_ct1 + 2*l_vyl) = \n')
fprintf('      = (pi*%3.2f + 8*%3.2f p)(%3.2f + 2*%3.2f) = %3.2f м^2, \n',...
        D_a, PP_p, l_ct1, l_vyl, S_kor)
% См. строки 2138 и 2140 данной программы где введены значения П_p и alfa_b
fprintf('      по рис.9.70 (стр.453) для h = %3.2f мм находим П_p = %3.2f м;\n', h, PP_p)
fprintf('      по рис.9.68а, IP23 (стр.451) для D_a = %1.3f мм находим alfa_b = %3.2f
Вт/(м^2*С)].\n\n', D_a, alfa_b)

disp ' 70. Среднее превышение температуры обмотки статора над '
disp '      температурой окружающей среды по (9.328)'
dlt_Hy_1 = dlt_Hy_1_ + dlt_Hy_b;
fprintf('      dlt_Hy_1 = dlt_Hy_1_ + dlt_Hy_b = %3.2f + %3.2f = %3.2f гр.С\n\n',...
        dlt_Hy_1_, dlt_Hy_b, dlt_Hy_1)

disp ' 71. Проверка условий охлаждения. '
disp '      Требуемый для охлаждения расход воздуха по (9.338, IP23)'
dlt_Teta_ = 2* dlt_Hy_b;
Q_b = Sum_P_b_/(1100* dlt_Teta_);
fprintf('      Q_b = Sum_P_b_/(1100* dlt_Teta_) = %3.2f/(1100*%3.2f) = %3.2f м^3*с\n',...
        Sum_P_b_, dlt_Teta_, Q_b)
fprintf('      где приближенно dlt_Teta_ = 2*dlt_Hy_b = 2*%3.2f = %3.2f гр.С\n',...
        dlt_Hy_b, dlt_Teta_)

disp '      Расход воздуха, который может быть получен при данных размерах двигателя, '
disp '      оценивается по эмпирической формуле (9.339)'
n_k = 0; % число и
b_k = 0; % ширина радиальных вентиляционных каналов
m_ = 2.5; % для 2р=2 (стр.455)
n_nom = n_1*(1-s_n); % номинальная частота вращения ротора
Q_b_ = m_*(n_k*b_k + 0.1)*n_nom*D_a^2/100;
fprintf('      Q_b_ = m_*(n_k*b_k + 0.1)*n*D_a^2/100 = \n')
fprintf('      = %3.2f*(%1.0f*%1.0f + 0.1)*%4.0f*%1.3f^2/100 = %3.2f м^3*с\n',...
        m_, n_k, b_k, n_nom, D_a, Q_b_)
fprintf('      где n_k = %1.0f число и b_k = %1.0f м ширина радиальных вентиляционных
каналов;\n', n_k, b_k);
fprintf('      m_ = %3.2f для 2р = 2 (стр.455)\n', m_)

disp '      Нагрев частей двигателя находится в допустимых пределах.'
disp '      Вентилятор обеспечивает необходимый расход воздуха.'
disp '      Вывод: спроектированный двигатель отвечает поставленным в техническом '
disp '      задании требованиям.'

```

Список литературы

1. Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов / под ред. И.П. Копылова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2017 — 767 с.
2. Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов / под ред. И.П. Копылова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Высшая школа, 2005 — 767 с.
3. <http://matlab.exponenta.ru/>
4. <https://www.gnu.org/software/octave/>
5. <https://www.scilab.org/>
6. <http://elmech.mpei.ac.ru/books/edu/AD-4A/Index.html>

ДЖЕНДУБАЕВ Абрек-Заур Рауфович

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Методические рекомендации к выполнению курсового проекта
для обучающихся направления подготовки 13.03.02
Электроэнергетика и электротехника, профиль
«Электроснабжение»

Печатается в редакции автора

Корректор Темирлиева Р.М.
Редактор Темирлиева Р.М.

Сдано в набор 13.01.2017 г.
Формат 60х84/16
Бумага офсетная.
Печать офсетная.
Усл. печ. л. 3,2
Заказ № 3734
Тираж 100 экз.

Оригинал-макет подготовлен в Библиотечно-издательском
центре СевКавГГТА
369000, г. Черкесск, ул. Ставропольская, 36