

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета энергетики и систем
управления _____ Бурковский А.В.

«25» ноября 2022 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Тепловые и гидравлические процессы в электромеханике»

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электромеханика

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2023

Автор программы

/к.т.н., доцент Писаревский Ю.В./

/к.т.н., доцент Писаревский А.Ю./

И.о. заведующего кафедрой
Электромеханических систем и электроснабжения

/к.т.н., доцент Шелякин В.П./

Руководитель ОПОП

/к.т.н., доцент Тикунов А.В./

Воронеж 2022

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Освоение теоретических и прикладных вопросов тепло- и массопереноса в электрических машинах, связанных с функционированием их систем охлаждения и формированием их термического состояния.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Приобретение студентами умения решать в комплексе проблемы нагрева и охлаждения электрических машин при их проектировании.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Тепловые и гидравлические процессы в электромеханике» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Тепловые и гидравлические процессы в электромеханике» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-1 - Способен выполнять научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы с использованием современных методов сбора и анализа данных и современных программно-аппаратных комплексов

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-1	Знать – нормативы и требования к термическим характеристикам изоляционных материалов, активных и конструктивных материалов, а также к охлаждающим средам; – тенденции и перспективы развития систем охлаждения электрических машин; – способы разработки связанных с функционированием систем охлаждения электрических машин и формированием их термического состояния
	Уметь – разрабатывать чертежи и другие конструкторские документы, обеспечивающие безусловное выполнение требований связанных с термическим состоянием электрических машин и обеспечивающих конкурентоспособность, технологичность и патентную чистоту разрабатываемых изделий; – квалифицированно использовать варианты под-

	ходы к решению поставленных задач, на основании их сравнения выбирать оптимальное решение;
	Владеть – современными методами анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования процессов тепло- и массопереноса в электрических машинах для обеспечения требуемого уровня надежности и устойчивости к внешним неблагоприятным воздействиям; – оформлением и графическим представлением результатов проделанной работы.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Тепловые и гидравлические процессы в электромеханике» составляет 10 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		5	6
Аудиторные занятия (всего)	126	36	90
В том числе:			
Лекции	36	18	18
Практические занятия (ПЗ)	54	18	36
Лабораторные работы (ЛР)	36	-	36
Самостоятельная работа	171	72	99
Курсовая работа	+		+
Часы на контроль	63	36	27
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+	+
Общая трудоемкость:			
академические часы	360	144	216
зач.ед.	10	4	6

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Общие вопросы теплообмена в электрических машинах	Требования к электрическим машинам по уровню нагрева. Общая характеристика физических процессов тепловыделения и теплопередачи. Эффективность и экономичность систем охлаждения электрических машин. Расчёт и проектирование систем охлаждения электрических машин. Достижения отечественных научных	6	4	-	20	30

		школ в создании прогрессивных систем охлаждения электрических машин.					
2	Основы теории гидравлических и аэродинамических расчетов	Основные понятия и уравнения аэродинамики и гидравлики. Охлаждающие среды. Основные понятия и уравнения гидростатики. Кинематика жидкости, основные понятия и уравнения гидродинамики. Элементы теории сопротивления жидкостей.	6	6	-	25	37
3	Вентиляторы электрических машин и вентиляционные расчеты	Устройство и принцип действия вентиляторов. Теория идеального центробежного вентилятора. Потери давления и мощности в центробежном вентиляторе. Характеристика давления центробежного вентилятора. Вентиляционные расчеты. Графическое решение уравнения равновесия. Проектирование вентиляторов.	6	8	-	27	41
4	Основы теории теплопередачи	Основные процессы передачи тепла. Поле температуры. Основной закон теплопроводности. Формулировка уравнения теплопроводности. Начальные и граничные условия для уравнения теплопроводности. Фундаментальное решение уравнения теплопроводности. Простейшие задачи теплопроводности. Основное уравнение конвективного процесса.	6	12	4	30	52
5	Тепловые расчёты электрических машин	Задачи и методы теплового расчета. Эквивалентные тепловые схемы. Тепловой расчет с помощью тепловых схем замещения. Упрощенный тепловой расчет установившегося режима работы. Классическая теория нестационарного теплового процесса. Нестационарный нагрев в стандартных режимах работы электрических машин. Общий метод расчета нестационарных. Процессов по тепловой схеме	6	12	8	30	56
6	Моделирование тепловых процессов в электрических машинах.	Моделирование стационарных тепловых полей в двухмерной и трехмерной постановке задачи. Моделирование нестационарных тепловых полей в двухмерной и трехмерной постановке задачи. Расчёт температурных полей отдельных элементов конструкции электрических машин	6	12	24	39	81
Итого			36	54	36	171	297

5.2 Перечень лабораторных работ

- Моделирование теплового поля электромагнита на постоянном токе;
- Моделирование теплового поля электромагнита на переменном токе;
- Моделирование эффективности охлаждения корпуса электрической машины;
- Моделирование температурного поля при изменении параметров окружающей среды.
- Моделирование температурного поля паза электрической машины
- Моделирование температурного поля шихтованных сердечников
- Моделирование температурного поля обмоток электрических машин
- Моделирование нестационарной теплопередачи МГД генератора на постоянных магнитах
- Моделирование нестационарной теплопередачи бесщеточного двига-

теля постоянного тока.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы в 6 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы: «Тепловой и вентиляционный расчёт электродвигателя»

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

- Определение потерь в электрическом двигателе
- Тепловой расчёт машины (с элементами моделирования температурного поля)
- Вентиляционный расчёт машины.

Курсовая работа включает в себя расчетно-пояснительную записку и иллюстративный материал.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-1	–нормативы и требования к термическим характеристикам изоляционных материалов, активных и конструктивных материалов, а также к охлаждающим средам; – тенденции и перспективы развития систем охлаждения электрических машин; – способы разработки связанных с функционированием систем охлаждения электрических машин и формированием их термического состояния	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	– разрабатывать чертежи и другие конструкторские документы, обеспечивающие безусловное выполнение требований связанных с термическим состоянием электрических машин и обеспечивающих конкурентоспособность, технологичность и патентную чистоту разрабатываемых изделий;	Решение стандартных практических задач,	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	– квалифицированно использовать варианты подходы к решению поставленных задач, на основании их сравнения выбирать оптимальное решение;			
	– современными методами анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования процессов тепло- и массопереноса в электрических машинах для обеспечения требуемого уровня надежности и устойчивости к внешним неблагоприятным воздействиям; – оформлением и графическим представлением результатов проделанной работы.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5, 6 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-1	– нормативы и требования к термическим характеристикам изоляционных материалов, активных и конструктивных материалов, а также к охлаждающим средам; – тенденции и перспективы развития систем охлаждения электрических машин; – способы разработки связанных с функционированием систем охлаждения электрических машин и формированием их термического состояния	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	– разрабатывать чертежи и другие конструкторские документы, обеспечивающие безусловное выполнение требований связанных с термическим состоянием электрических машин и обеспечивающих конкурентоспособность, технологичность и патентную чистоту разрабатываемых изделий;	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	– квалифицированно использовать варианты подходы к решению поставленных задач, на основании их сравнения выбирать оптимальное решение;					
	– современными методами анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования процессов тепло- и массопереноса в электрических машинах для обеспечения требуемого уровня надежности и устойчивости к внешним не благоприятным воздействиям; – оформлением и графическим представлением результатов проделанной работы.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Почему предельно-допустимая температура электроизоляционного материала устанавливается выше, чем температура обмотки электрической машины того же класса изоляции?

1.1. Потому, что температура электроизоляционного материала выше, чем температура обмотки электрической машины того же класса изоляции.

1.2. Потому, что электроизоляционный материал лучше охлаждается.

1.3. Потому, что обмотка пропитывается специальным компаундом.

1.4. Потому, что требуется запас надёжности по температуре из-за неоднородного теплового поля обмотки.

2. Сопротивление обмотки якоря машины постоянного тока увеличилась за счет внешнего нагревания. Как изменяться электрические потери в обмотке, если напряжение остается постоянным?

2.1. Потери увеличатся.

2.2. Потери не изменятся.

2.3. Потери уменьшатся.

2.4. Мало данных для анализа.

3. Как соотносятся величины электромагнитных нагрузок A и B_δ для электрических машин (1 и 2) имеющих различные номинальные моменты M_1 и M_2 и имеющие одинаковую температуру обмоток.

3.1. $M_1 < M_2, A_1 = A_2, B_{\delta 1} = B_{\delta 2}$.

3.2. $M_1 < M_2, A_1 < A_2, B_{\delta 1} < B_{\delta 2}$.

3.3. $M_1 > M_2, A_1 > A_2, B_{\delta 1} = B_{\delta 2}$.

$$3.4. M_1 > M_2, A_1 < A_2, B_{\delta 1} < B_{\delta 2}$$

4. Какими значениями температур регламентированы по ГОСТ классы нагревостойкости изоляционных материалов В, F, H.

4.1. 120; 140; 160.

4.2. 110; 120; 130.

4.3. 130; 155; 180.

4.4. 180; 155; 130.

5. При какой температуре окружающей среды задаются предельно – допустимые температуры для различных классов нагревостойкости изоляции.

5.1. Температура выбирается в зависимости от класса нагревостойкости изоляции.

5.2. Температура равна 0 0C.

5.3. Температура равна 0 0K.

5.4. Температура равна +40 0C.

6. Обмотка электрической машины спроектированной с классом изоляции В нагрелась во время испытаний до температуры $\vartheta = 130$ 0C. Можно ли признать машину годной к эксплуатации.

6.1. Нельзя т.к. превышение температуры больше нормы.

6.2. Можно только в комнатных условиях.

6.3. Можно т.к. допустимая температура обмотки устанавливается с запасом в 10 0C.

6.4. Данных не достаточно.

7. Как с увеличением размеров электрической машины изменяется её температура при неизменных удельных электромагнитных нагрузках.

7.1. Температура уменьшается.

7.2. Температура увеличивается.

7.3. Температура остается без изменения.

7.4. Данных недостаточно.

8. По какому критерию можно оценить эффективность системы охлаждения машины.

$$8.1. C_{\vartheta} = \frac{S}{\ell D^2 \cdot n}; 8.2. K_{\vartheta} = \frac{\Phi^2 \cdot S}{\ell}; 8.3. \eta = \frac{S \cdot \omega \Phi}{P_2}; 8.4. C_{\vartheta} = \frac{\mu_0 B^2}{2}.$$

9. Укажите сочетание параметров, входящих в число Нуссельта.

$$9.1. \frac{\omega \ell}{\nu}; 9.2. \frac{at_0}{\ell^2}; 9.3. \frac{\alpha \cdot \ell}{\lambda}; 9.4. \frac{\Delta p}{\rho \omega^2}.$$

10. Укажите сочетание параметров входящих в число Рейнольдса

$$10.1. \frac{\alpha \cdot \ell}{\lambda}; 10.2. \frac{at_0}{\ell^2}; 10.3. \frac{\Delta p}{\rho \omega^2}; 10.4. \frac{\omega \ell}{\nu}.$$

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Определить температуру поверхности цилиндрического (однородного) медного провода неограниченной длины с сечением $F = 320 \text{ мм}^2$ при протекании по нему постоянного тока $I = 1560 \text{ А}$. Коэффициент теплоотдачи $k =$

8, Температура окружающей среды, $t_{o.c} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

2. Электрическая машина с заданным классом нагревостойкости изоляции «В» работает при повышенной температуре $\theta = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ некоторое время $t_1 = 1$ год. Срок службы машины при допустимой температуре изоляции $D_9 = 10$ лет. Сколько времени еще машина может работать безаварийно, если температуру снизить до нормальной.

3. Сравнить электрические машины серии 4А и серии АИР по степени использования экономичности системы охлаждения. Номинальные данные двигателей:

Серия 4А

$P = 0,12\text{ кВт}$, $\eta = 63\%$, $\cos\varphi = 0,70$ о.е., $n = 2710$ об/мин, $m_d = 3,3$ кг,

Мощность, затрачиваемая на охлаждение $P_b = 7$ Вт

Серия АИР

$P = 0,12\text{ кВт}$, $\eta = 63\%$, $\cos\varphi = 0,75$ о.е., $n = 2720$ об/мин, $m_d = 2,5$ кг,

Мощность, затрачиваемая на охлаждение $P_b = 6,9$ Вт

Ответ пояснить.

4. Определить температуру полюсной катушки машины постоянного тока в соответствии с критериальным уравнением

$$Nu = 0,158 Re^{0.7},$$

которое справедливо в диапазоне чисел Рейнольдса $Re = 1 \cdot 10^4 \dots 2,5 \cdot 10^5$.

Если известны следующие параметры: длина катушки в направлении обдува $l = 0,25$ м; скорость движения среды $v = 5$ м/с; электрические потери в катушке, отводимые охлаждающим воздухом $P_b = 50$ Вт; теплоотдающая поверхность катушки $F_k = 0,002\text{ м}^2$; кинематическая вязкость воздуха $\nu = 16,96 \cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$ при рабочей температуре $+40^{\circ}\text{C}$.

5. Определить объем баллона в котором содержаться газ массой $m = 20$ кг под давлением $P = 2\text{ МПа}$ и при температуре $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

6. Температура пара в котле равна $t = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Найти избыточное давление в котле, принимая, что давление атмосферного воздуха $P_6 = 0,1\text{ МПа}$.

7. Вода с температурой $\theta = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ протекает в горизонтально расположенном трубопроводе переменного сечения при давлении $P_1 = 10\text{ кПа}$ и расходе $Q_1 = 2\text{ м}^3/\text{с}$. Определить при помощи фазовой диаграммы воды (рис. 1), закипит ли вода в узкой части трубопровода (рис. 2) при известных сечениях $S_1 = 1\text{ м}^2$ и $S_2 = 0,4\text{ м}^2$.

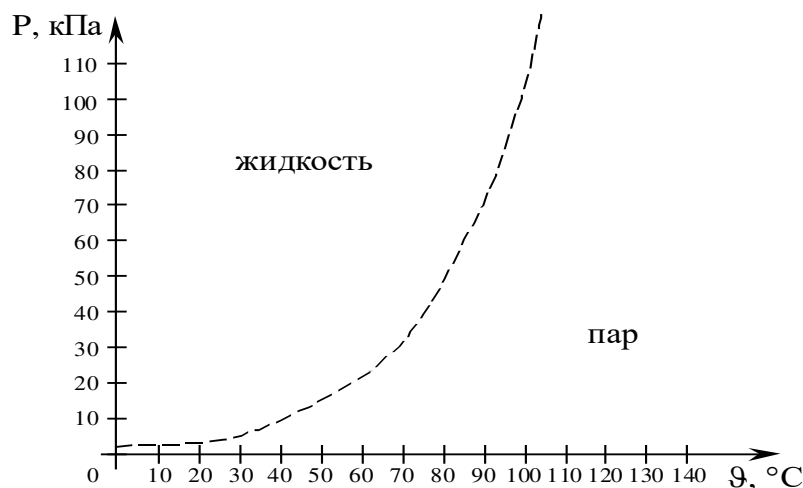


Рис. 1. Фазовая диаграмма воды

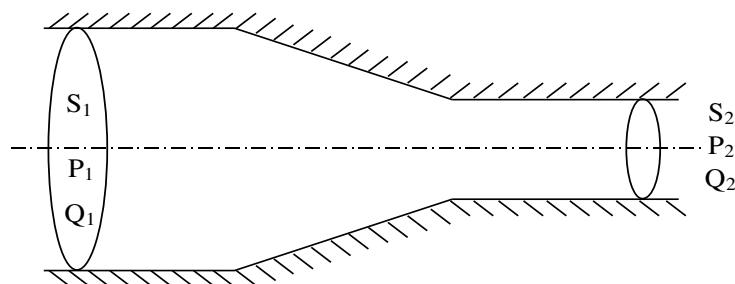


Рис. 2. Трубопровод переменного сечения

Ответ пояснить.

8. Рассчитать полное давление P_n развиваемое центробежным вентилятором и его мощность N_v , если известны частота вращения $n = 2980$ об/мин, требуемая подача $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, плотности воздуха $\rho = 1,515 \text{ кг}/\text{м}^3$ в зависимости от диаметра колеса $D_2 = 100$ мм, ширины лопасти $b_2 = 20$ мм и угла ее наклона $\beta_2 = 45^\circ$.

9. Определить по критерию быстроходности, какой тип вентилятора (центробежный или осевой) подходит наилучшим образом для обеспечения заданной подачи $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ и давления $P_n = 500 \text{ МПа}$ при частоте вращения $n = 2980$ об/мин.

10. Определить необходимые размеры центробежного вентилятора, а также давление, расход газа если известны затраты мощности. Необходимые для осуществления вентиляции следующие величины: частота вращения вентилятора, $n = 1000$ об/мин; потери, отводимые воздухом, $P_v = 1100$ Вт; внешний диаметр вентилятора, $D_2 = 20$ мм; угол наклона лопаток $\beta_2 = 45^\circ$; аэродинамическое сопротивление электрической машины $Z = 1500 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^3$.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Определить температуру плоской стенки t_1 на границе с воздухом при заданных граничных условиях 1-го и 2-го рода (рис. 3)

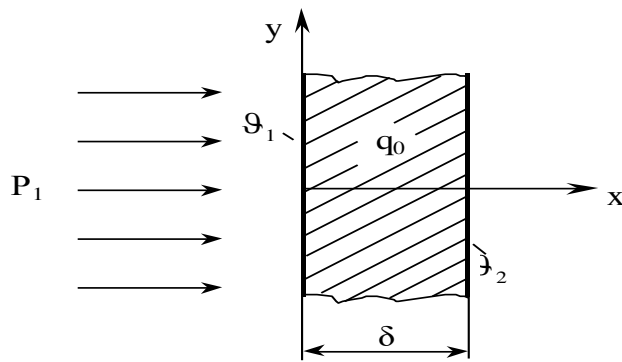


Рис. 3

если известны следующие данные: толщина стенки $\delta = 0,10$ м; теплопроводность $\lambda = 5$ Вт/м·К; Удельная мощность равномерно распределенных источников теплоты $q_0 = 1000$ Вт/м³; Внешний тепловой поток $P_1 = 100$ Вт/м² входящий через левую границу ($x = 0$); температура на правой границе стенки $\theta_2 = 10$ °С

($x = \delta$).

2. Найти температуру в средней части плоской стенки ($x = \delta/2$) и удельный тепловой поток P через границу – плоскость ($x = \delta/2$), если известны следующие параметры: толщина стенки $\delta = 0,1$ м; теплопроводность $\lambda = 5$ Вт/(м²·К); Удельная мощность внутренних источников теплоты, $q_{01} = 500$ Вт/м³; температура на границе ($x = 0$) $\theta_1 = 10$ °С; температура на границе ($x = \delta$) $\theta_2 = 5$ °С.

3. Определить температуру θ_2 плоской стенки на границе с воздухом ($x = \delta$, правая граница) если известны следующие параметры: толщина стенки $\delta = 0,1$ м; удельная мощность внутренних источников теплоты $q_0 = 1500$ Вт/м³; Теплопроводность стенки $\lambda = 30$ Вт/м·К; внешний тепловой поток входящий через левую границу ($x = 0$) $P_1 = 100$ Вт/м²; коэффициент теплоотдачи на правой границе ($x = \delta$) $\lambda = 8$ Вт/м·К; температура воздуха $\theta = 10$ °С.

4. Определить среднюю температуру кубика с внутренними источниками тепла плотностью $q = 2000$ Вт/м³. Охлаждение кубика конвективное и осуществляется по поверхностям S_x и S_y (рис. 4), если известны следующие параметры: длина ребра $a = 0,5$ м; коэффициент теплоотдачи поверхности S_x , $\alpha_x = 8$ Вт/м²К; коэффициент теплоотдачи поверхности S_y , $\alpha_y = 25$ Вт/м²К; коэффициент теплопроводности $\lambda_x = 10$ Вт/м·К; коэффициент теплопроводности $\lambda_y = 60$ Вт/м·К;

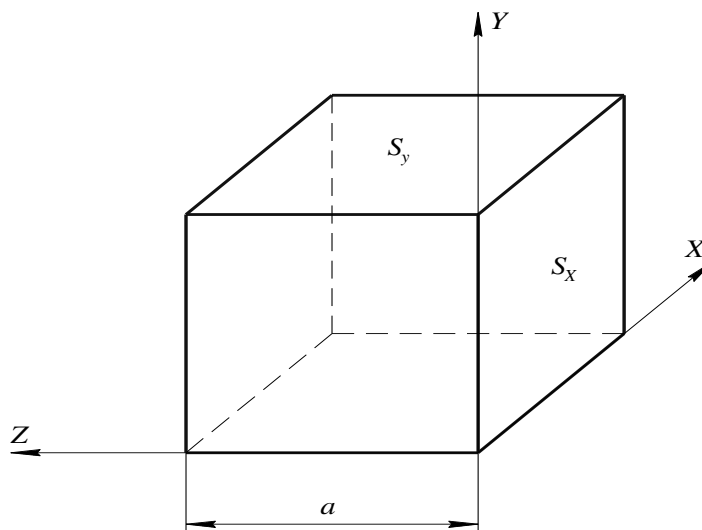


рис. 4

5. Определить температуру обмотки $\theta_{об}$ и температуру стали сердечника якоря $\theta_{я}$ по схеме замещения (рис.5), если известны следующие параметры:

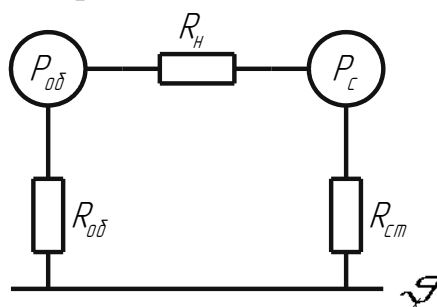


рис. 5

потери в обмотке якоря $P_{об} = 0,1$ кВт; потери в стали якоря $P_{ст} = 0,2$ кВт; температура холодного воздуха $\theta_x = 10$ °C; термическое сопротивление $R_m = 0,5$ °C/Вт

термическое сопротивление $R_{об} = 0,8$ °C/Вт; термическое сопротивление $R_{ст} = 1,0$ °C/Вт.

6. Определить допустимую полезную мощность до которой можно нагрузить двигатель рассчитанный номинальную мощность $P_2 = 0,55$ кВт в режиме S1, если эксплуатировать его в режиме S2 при следующих исходных данных: постоянная времени нагрева электродвигателя $T_n = 20$ с; постоянная времени охлаждения электродвигателя $T_{ох} = 30$ с; время работы $t = 5$ с; мощность электродвигателя $P_2 = 0,55$ кВт; КПД электродвигателя в режиме S1, 60 %. Принять потери холостого хода 5% от P_2 .

7. Определить допустимую полезную мощность до которой можно нагрузить двигатель рассмотренный в задании 6 в кратковременном режиме работы если задано время рабочего цикла $t_{ц} = 6$ мин и продолжительность включения ПВ = 15 %.

8. Определить допустимую полезную мощность до которой можно на-

грузить двигатель рассчитанный номинальную мощность $P_2 = 1,1$ кВт в режиме S1, если эксплуатировать его в режиме S2 при следующих исходных данных: постоянная времени нагрева электродвигателя $T_n = 40$ с; постоянная времени охлаждения электродвигателя $T_{ох} = 60$ с; время работы $t = 15$ с; мощность электродвигателя $P_2 = 0,55$ кВт; КПД электродвигателя в режиме S1, 80 %. Принять потери холостого хода 5% от P_2 .

9. Определить допустимую полезную мощность до которой можно нагрузить двигатель рассмотренный в задании 8 в кратковременном режиме работы если задано время рабочего цикла $t_{ц} = 10$ мин и продолжительность включения ПВ = 15 %.

10. Определить допустимую полезную мощность до которой можно нагрузить двигатель рассчитанный номинальную мощность $P_2 = 11$ кВт в режиме S1, если эксплуатировать его в режиме S2 при следующих исходных данных: постоянная времени нагрева электродвигателя $T_n = 60$ с; постоянная времени охлаждения электродвигателя $T_{ох} = 120$ с; время работы $t = 13$ с; мощность электродвигателя $P_2 = 11$ кВт; КПД электродвигателя в режиме S1, 82 %. Принять потери холостого хода 5% от P_2 .

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену

1. Каковы допустимые значения температур обмоток электрических машин с классом изоляции В, F, H?
2. Почему по ГОСТ 183-74 регламентируются не только допустимые значения температур, но и допустимые превышения температур обмоток электрических машин?
3. Сформулируйте правило Монтзингера?
4. Классификация потерь энергии в электрических машинах?
5. Как оценивается эффективность и экономичность системы охлаждения электрической машины?
6. Чем отличаются физические свойства капельной и газообразной жидкостей?
7. Каков физический смысл коэффициента вязкости и как он изменяется при изменении температуры капельных и газообразных жидкостей?
8. Дать характеристику гидравлических элементов потока жидкости.
9. Какие режимы течения жидкостей существуют и как они определяются?
10. Назовите основные причины потерь давления при движении жидкости в каналах.
11. Каков физический смысл коэффициента гидравлического трения?
12. В чем состоит сущность электрогидравлической аналогии?
13. Каков порядок составления ЭГС электрической машины и ее расчета?
14. Какие типы вентиляторов применяются для охлаждения электриче-

- ских машин и каков их принцип действия?
15. Приведите основное уравнение лопастных машин.
 16. Назовите виды потерь давления, возникающие в вентиляторе.
 17. Какая зависимость называется характеристикой давления вентилятора?
 18. В чем состоит задача вентиляционного расчета электрической машины?
 19. В чём состоит сущность электротермической аналогии?
 20. Что такое эквивалентная тепловая схема?
 21. По какому принципу формируются формулы тепловых сопротивлений элементов электрической машины?
 22. Какие режимы работы электрических машин сопровождаются нестационарными тепловыми процессами?
 23. Какой нестационарный тепловой режим называется регулярным?

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 9 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 9 до 13 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 14 до 18 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 19 до 20 баллов

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Общие вопросы теплообмена в электрических машинах	ПК-1	Тест, устный опрос, защита лабораторных работ.
2	Основы теории гидравлических и аэродинамических расчетов	ПК-1	Тест, устный опрос, защита лабораторных работ.
3	Вентиляторы электрических машин и вентиляционные расчеты	ПК-1	Тест, устный опрос, защита лабораторных работ.
4	Основы теории теплопередачи	ПК-1	Тест, устный опрос, защита лабораторных работ.
5	Тепловые расчёты электрических	ПК-1	Тест, устный опрос, за-

	машин		щита лабораторных работ, защита курсовой работы.
6	Моделирование тепловых процессов в электрических машинах.	ПК-1	Тест, устный опрос, защита лабораторных работ, защита курсовой работы.

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Фурсов, В.Б. Метод конечных элементов и программа ELCUT [Электронный ресурс] : учеб. пособие. - Воронеж : Изд-во ВГТУ, 1999. - 56 с. - 00-00.

Писаревский Ю.В. Гидравлические и тепловые расчеты электрических машин [Электронный ресурс] : Учеб. пособие. - Электрон. текстовые, граф. дан. (3,3 Мб). - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2012. - 1 файл. - 30-00.

Рабочая тетрадь по дисциплине "Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах" для студентов специальности 140601 "Электромеханика" очной и заочной форм обучения / Каф. электромеханических систем и электроснабжения; Сост.: Ю. В. Писаревский, А. Ю. Писаревский. - Воронеж : ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2009. - 30 с. - 00-00

Борисенко, А.И. Охлаждение промышленных электрических машин. - Москва : Энергоатомиздат, 1983. - 296 с. - 1-10.

Абрамов А.И. Проектирование гидрогенераторов и синхронных компенсаторов : учеб. пособие. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высш. шк., 2001. - 389 с. : ил. - ISBN 5-06-004090-9 : 420-00.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

8.2.1 Программное обеспечение

- Windows Professional 8.1 (7 и 8) Single Upgrade MVL A Each Academic
- SMath Studio;
- OpenOffice;
- Adobe Acrobat Reader
- Internet explorer;
- FEMM 4.2;
- Компас-График LT.

8.2.2 Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- Российское образование. Федеральный портал. <http://www.edu.ru/>
- Образовательный портал ВГТУ <https://education.cchgeu.ru/>

8.2.3 Информационные справочные системы

- <https://wiki.cchgeu.ru/>

8.2.4 Современные профессиональные базы данных

– Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru>

– Единая система конструкторской документации. URL: https://standartgost.ru/0/2871-edinaya_sistema_konstruktorskoy_dokumentatsii

– Национальная электронная библиотека. URL: elibrary.ru

– Electrical 4U. Разделы сайта: «Машины постоянного тока», «Трансформаторы», «Электротехника», «Справочник». Адрес ресурса: <https://www.electrical4u.com/>

– Библиотека Адрес ресурса: WWER <http://lib.wwer.ru/>

– Каталог электротехнического оборудования. URL: <https://electro.mashinform.ru;>

– Электродвигатели. <http://www.elecab.ru/dvig.shtml>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Занятия по дисциплине «Тепловые и гидравлические процессы в электромеханике» проводятся в специализированной аудитории кафедры ЭМ-СЭС, снабженной видеопроекционной системой и наглядными учебными пособиями в виде разобранных макетов электрических машин, а также инфор-

мационными плакатами по профилю.

Учебная лаборатория «Электрических машин», аудитория 135, корпус 3, ВГТУ и дисплейный класс для проведения лабораторных работ, аудитория 140, корпус 3, ВГТУ.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Тепловые и гидравлические процессы в электромеханике».

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета тепловых и гидравлических процессов в электрических машинах. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на компьютерах в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;

	- подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.