

Выводы

Построены экспериментальная и теоретическая кривые разгона электродного водонагревателя. Рассмотрен алгоритм экспериментального определения передаточной функции электродного водонагревателя по его кривой разгона. На основании проведенных расчетов получена передаточная функция электродного водонагревателя по его кривой разгона и определена точность аппроксимации, составляющая 4,84%. Таким образом, математическое описание передаточной функции проведено с точностью, достаточной для выбора регулятора в системе автоматического управления (САУ), пригодной для решения типовых инженерных задач.

Библиографический список

1. Королев В.А. Динамика процессов электродного нагрева жидкостей. – Л., 1988. – 37 с.
2. Балакирев В.С., Дудников Е.Г., Цирлин А.М. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления. – М.: Энергия, 1967. – 232 с.
3. Королев В.А. Динамика процессов электродного нагрева жидкостей. – Л., 1988. – 37 с.
4. Макаров И.М., Менский Б.М. Линейные автоматические системы. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 504 с.; ил.
5. Стефани Е.П. Основы построения АСУ ТП: учеб. пособие для вузов. – М.: Энергопромиздат, 1982. – 352 с., ил.



УДК 537.32

**В.И. Чарыков,
А.А. Евдокимов,
А.А. Митюнин**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА КАТУШКИ
НАМАГНИЧИВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СЕПАРАТОРА**

***Ключевые слова:** нагрев, охлаждение, катушка намагничивания, обмотка, изомеры теплового поля, электромагнитный сепаратор, температура, постоянная нагрева.*

Введение

Степень нагрева катушки электромагнита определяет срок службы изоляционных материалов, входящих в конструкцию, следовательно, срок службы всей катушки, а зачастую и всего устройства в целом.

Допустимая температура нагрева катушки определяется типом и качеством применяемых для ее изготовления материалов, способов обработки катушки (пропитка, компаундирование и т. п.), а также условиями ее эксплуатации.

При продолжительном воздействии высокой температуры на изоляционные материалы в них происходят необратимые физико-химические процессы, приводящие к структурным изменениям и ухудшению их физических, механических и электрических характеристик. Поэтому при оценке оптимальности выбранной конструкции, кроме оценки средней величины нагрева катушки, необходимо уметь оценить еще и температуру наиболее нагретого ее участка [1].

В основе тепловых расчетов электрических машин лежит теория теплопередачи, одной из задач которой является расчет температурных полей. Вид температурного поля определяется условиями выделения и переноса тепловой энергии.

Теплопередачей является процесс, в котором участвуют, как правило, три вида теплообмена: теплопроводность, конвекция и излучение. Теплообмен вызывается неравномерностью распределения температуры в данной системе тел, т. е. обусловлен характером ее температурного поля [2].

Температурный анализ полей играет важную роль при проектировании электромагнитных систем. Как правило, интерес представляют такие расчетные характеристики, как распределение температуры, температурный градиент, тепловой поток и его распределение по поверхности [3].

В Курганской ГСХА для очистки смазочно-охлаждающих жидкостей разработан малогабаритный электромагнитный сепаратор с естественной системой охлаждения [4]. В сепараторе выделяющаяся в активных частях теплота передается путем теплопроводности к поверхностям, далее теплота отводится с этих поверхностей в окружающее пространство конвекцией и в некоторой степени излучением [5].

Объекты и методы исследования

Объектом исследования послужила осесимметричная катушка намагничивания, имеющая форму полого цилиндра, при этом была поставлена задача – рассчитать стационарное температурное поле и проверить соответствие температуры катушки требованиям нормативной документации (рис. 1).

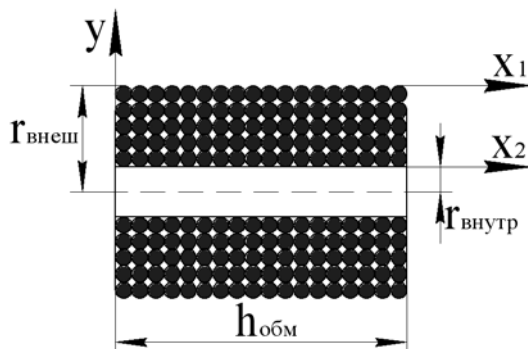


Рис. 1. Геометрические характеристики катушки намагничивания

Расчет температурного поля выполняли в программе **ELCUT**.

ELCUT – это мощный современный комплекс программ для инженерного моделирования электромагнитных, тепловых и механических задач методом конечных элементов.

Решение задачи температурных полей сводится к нескольким последовательным шагам:

1. Выбор типа решаемой задачи (электростатика, магнитостатика и т.п.).

2. Выбор класса задачи (плоская или осесимметричная). Осесимметричная задача выбирается, если моделируемый объект является телом вращения (цилиндрическая заготовка, труба, соленоид и т. п.). При этом программа, решая задачу в двумерной постановке, фактически находит решение для трехмерной задачи.

3. Создание геометрической модели (своего рода чертежа объекта).

4. Задание свойств материалов (электропроводность, магнитная проницаемость, теплопроводность и т. д.).

5. Задание нагрузок (величины токов, мощности тепловыделения и т. д.).

6. Задание граничных условий (величины потенциалов поля на границах расчетной области, значения температур на границах и т. д.).

7. Построение сетки конечных элементов.

8. Решение задачи.

9. Обработка результатов решения (построение цветовых карт, графиков изменения переменной по какому-либо контуру, расчет интегральных значений и т. п.).

Анализ стационарного температурного поля выполняли, прибегая к упрощенной модели. Упрощение основывалось на нескольких допущениях. Реальный сепаратор, состоящий из разнородных частей с разными теплотехническими свойствами, считался однородным телом с бесконечно большой теплопроводностью. Последнее свойство означает, что температура во всех точках рассматриваемого тела всегда одинакова. Температура окружающей среды за время нагрева постоянная. Теплоемкость катушки намагничивания не зависит от температуры окружающей среды.

Для измерения температуры и экспериментального определения теплового режима катушки намагничивания один термометр прикрепили с помощью изоляционной ленты к катушке, по второму следили, как изменяется температура окружающего воздуха [6].

Замеры, произведенные с интервалом 15 мин., представлены в таблице 3.

Результаты расчета и их обсуждение

Расчет выполняли при двух видах соединения катушек намагничивания: последовательном и последовательно-параллельном, при напряжении 220 В.

Для расчета были заданы следующие параметры. Размеры катушки (рис. 1): $h_{обм} = 123$ мм; $r_{внеш} = 31$ мм; $r_{внутр} = 13$ мм; сопротивление катушки намагничивания при температуре 20°C: $R_{20} = 238$ Ом; температурный коэффициент сопротивления (для меди): $\alpha = 4 \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$.

Результаты расчета

Напряжение питания катушки намагничивания U, В	Выпрямленное напряжение U, В	V _{обм} , см ³	t _р , °С	R _т , Ом	U, Вт	P, Вт	P _{об} , Вт/см ³
238 Ом							
Последовательное соединение катушек намагничивания							
220	198	306	25	242,76	49,5	10,1	0,033
Последовательно-параллельное соединение катушек намагничивания							
220	198	306	40	257,04	99	38,1	0,125

Объем обмотки:

$$V_{обм} = \pi h_{обм} \cdot (r_{внеш}^2 - r_{внутр}^2). \quad (1)$$

Сопротивление катушки намагничивания при расчетной температуре:

$$R_t = R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (t_p - 20)] \quad (2)$$

где t_р – расчетная температура, °С.

Напряжение питания одной катушки намагничивания:

$$U = \frac{U_{выпр}}{n} \quad (3)$$

где U_{выпр} – выпрямленное напряжение питания катушек намагничивания;

n – количество катушек намагничивания.

Мощность тепловыделения в одной катушке намагничивания:

$$P = \frac{U^2}{R_t} \quad (4)$$

Объемная мощность тепловыделения в одной катушке намагничивания:

$$P_{об} = \frac{P}{V_{обм}} \quad (5)$$

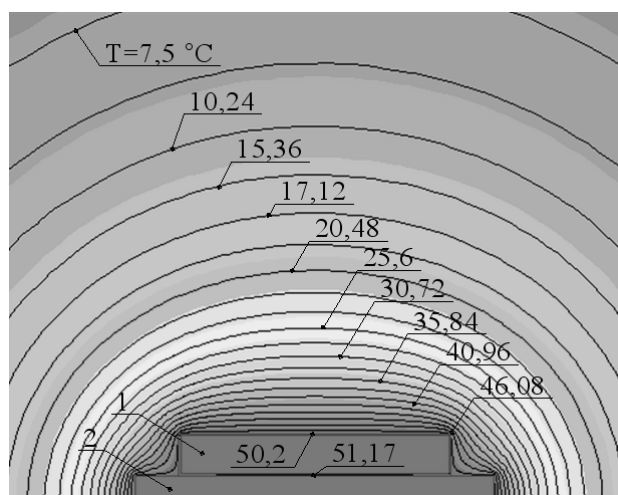


Рис. 2. Изотермы стационарного теплового поля при последовательно соединенных катушках намагничивания при напряжении 220 В и сопротивлении 238 Ом:

1 – катушка намагничивания; 2 – сердечник

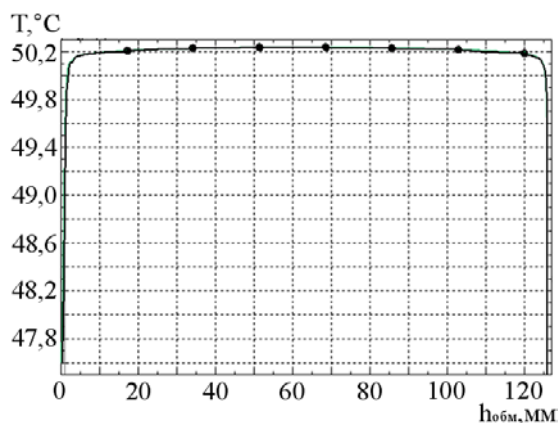


Рис. 3. Распределение температуры на внешней поверхности обмотки вдоль оси x₁ (см. рис. 1)

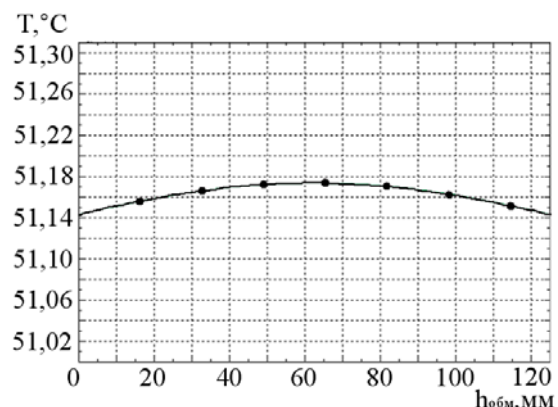


Рис. 4. Распределение температуры на внутренней поверхности обмотки вдоль оси x₂ (см. рис. 1)

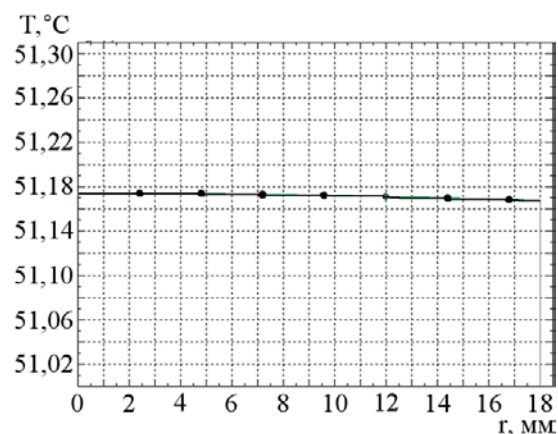


Рис. 5. Распределение температуры по радиусу по центру катушки намагничивания

Таблица 2

Максимальное значение температуры, °С

Вид соединения катушек намагничивания	Напряжение питания U, В	Выпрямленное напряжение U, В	На внешней поверхности обмотки	На внутренней поверхности обмотки	Разность температур на катушке
Последовательное	220	198	50,2	51,17	0,97
Параллельно-последовательное			72,9	75,25	2,35

Таблица 3

Экспериментальные данные теплового режима катушки намагничивания

№ п/п	Время t, ч	Последовательное соединение катушек		Последовательно-параллельное соединение катушек	
		$T_{к}, °C$	$\Delta t = T_{к} - T_{окр. ср. t}, °C$	$T_{к}, °C$	$\Delta t = T_{к} - T_{окр. ср. t}, °C$
1	0	20	0	20	0
2	0,25	23	3	28	8
3	0,5	25	5	32	12
4	0,75	28	8	36	16
5	1	30	10	39	19
6	1,25	33	13	43	23
7	1,5	36	16	47	27
8	1,75	38	18	50	30
9	2	39,5	19,5	52,5	32,5
10	2,25	41	21	56	36
11	2,5	42,5	22,5	59	39
12	2,75	44	24	61	41
13	3	45	25	63,5	43,5
14	3,25	46,5	26,5	66,5	46,5
15	3,5	48	28	68,5	48,5
16	3,75	49	29	71	51
17	4	50	30	73	53
18	4,25	50,5	30,5	73,5	53,5
19	4,5	51	31	73,75	53,75
20	4,75	51	31	74	54
21	5	51	31	74	54

На картине теплового поля показано распределение температуры нагрева обмоточного провода. Выделяющаяся теплота в обмоточном проводе передается на активные элементы электромагнитного сепаратора и в окружающую среду (рис. 2).

На графиках распределения температуры показано, как меняется температура на внешней и внутренней поверхности катушки намагничивания при продолжительном режиме работы, когда температура достигает установившегося значения, и сепаратор при этой температуре остается под нагрузкой длительное время (рис. 3, 4) [7]. Самая нагреваемая часть обмотки располагается по центру длины ($h_{обм}$). По мере удаления от центра к краям катушки температура уменьшается.

Изменение температуры по радиусу показывает изменение температуры в направлении от внутренней поверхности катушки намагничивания к внешней (рис. 5).

Результаты экспериментальных замеров катушки намагничивания представлены в таблице 3.

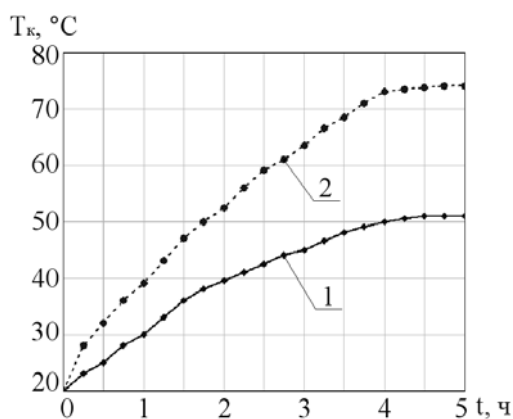


Рис. 6. Экспериментальные кривые нагрева катушки намагничивания при напряжении 220 В:
1 – при последовательном соединении катушек намагничивания;
2 – при последовательно-параллельном соединении катушек намагничивания

С увеличением температуры катушки возрастает разность температур и растет интенсивность отдачи теплоты в окружающую среду. Следовательно, в определен-

ный момент количество выделяемой и отдаваемой в окружающую среду теплоты сравнивается, и наступает стационарный режим, температура прекращает расти. На рисунке 6 показаны кривые изменения повышения температуры тела во времени. В самом начале процесса скорость нагрева катушки намагничивания большая, кривая температуры круто поднимается, затем скорость замедляется и через некоторое время рост температуры прекращается, наступает установившееся состояние.

Сравнивая приведенные данные расчета температурных полей при последовательном и последовательно-параллельном соединении катушек намагничивания, можно отметить, что для электромагнитного сепаратора оптимальным будут являться оба вида соединения катушек намагничивания с напряжением 220 В. Последовательное соединение катушек намагничивания: расчетные данные $t_{\text{внутр}} = 51,17^\circ\text{C}$, $t_{\text{внеш}} = 50,2^\circ\text{C}$, экспериментальное значение $T_k = 51^\circ\text{C}$; последовательно-параллельное соединение катушек намагничивания: расчетные данные $t_{\text{внутр}} = 75,25^\circ\text{C}$, $t_{\text{внеш}} = 72,9^\circ\text{C}$, экспериментальное значение $T_k = 74^\circ\text{C}$, что не превышает допустимую температуру нагрева, которую может выдержать изоляция при классе нагревостойкости Е с температурой нагрева катушки $Q_{\text{нагр}} = (80-85^\circ\text{C})$ [1]. Если напряжение довести до 380 В и включить катушку в работу на длительное время, то температура нагрева превысит допустимую для изоляции температуру.

Вывод

Таким образом, анализ результатов расчета стационарного температурного поля показывает, что в малогабаритном электромагнитном сепараторе катушки намагничивания соответствуют требованиям норма-

тивной документации и не требуют особых охлаждающих устройств, отведение тепловых потоков происходит путем естественного соприкосновения нагретых поверхностей обмоток катушек намагничивания с окружающей средой.

Библиографический список

1. Любчик М.А. Силовые электромагниты аппаратов и устройств автоматики постоянного тока. – М.: Энергия, 1968. – С. 41-42, 107.
2. Сипайлов Г.А., Санников Д.И., Жадан В.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах. – М.: Высш. шк., 1989. – С. 92-93.
3. Руководство пользователя ELCUT: моделирование двумерных полей методом конечных элементов. – СПб.: ПК TOP, 1989-2007. – С. 31.
4. Чарыков В.И. и др. Вопросы теории и инновационных решений при конструировании электромагнитных железоотделителей: монография. – Курган: КГУ, 2010. – С. 187-190.
5. Чарыков В.И., Евдокимов А.А., Митюнин А.А., Соколов С.А. Расчет мощности тепловыделения катушки намагничивания электромагнитного сепаратора // Вестник Курганской ГСХА. – 2012. – № 2 (2). – С. 67-70.
6. Чарыков В.И., Копытин И.И., Ушаков В.А. Электромагнитные железоотделители серии УСС: нагрев и охлаждение // Вестник Курганского государственного университета. Серия «Технические науки». – 2011. – Вып. 6. – № 1 (20). – С. 103-105.
7. Гуревич Э.И., Рыбин Ю.Л. Переходные тепловые процессы в электрических машинах. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – С. 9-11.



УДК 633.1:631.58

В.Г. Бекетов

ПОВЫШЕНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕСУСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СЕЯЛКИ-КУЛЬТИВАТОРА ТОЧНОГО ВЫСЕВА

Ключевые слова: ресурсосбережение, сеялка-культиватор точного высева, урожайность.

Введение

Мировой опыт земледелия убедительно доказывает, что применяемые ранее интенсивные технологии обработки почвы привели к существенному развитию эрозионных

процессов и ухудшению почвенного плодородия в 1,5-2,0 раза. Поэтому в настоящее время все большее распространение приобретают биологические, консервирующие и экологические системы земледелия. Постоянно растет количество земель, возделываемых по технологиям прямого посева в необработанную стерню агрегатами с раз-