

УДК 621.318.38  
ББК 31.2  
А72

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор кафедры физики  
ФГБОУ ВПО АЧГАА  
*Н. В. Ксенз;*

доктор технических наук, профессор кафедры  
«Электроснабжение и эксплуатация электрооборудования»  
ФГБОУ ВПО СтГАУ  
*В. Я. Хорольский;*

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры  
«Теоретические основы электротехники»  
ФГБОУ ВПО СтГАУ  
*А. Ф. Шаталов*

**Антонов, С. Н.**

А72      Аппараты магнитной обработки воды. Проектирование, моделирование и исследование : монография / С. Н. Антонов, А. И. Адошев, И. К. Шарипов, В. Н. Шемякин. – Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2014. – 220 с.

ISBN 978-5-9596-0969-6

В монографии изложены положения по проектированию, моделированию и исследованию аппаратов магнитной обработки воды. Рассмотрены способы водоподготовки в котельных, конструкции аппаратов. Приведены методы расчета магнитных полей. Представлена оптимизация конструктивных параметров аппарата с моделированием в программном комплексе ElCut. Проведены исследования эффективности обработки аппаратом магнитной обработки воды.

Для инженерно-технических работников, магистров агроинженерных специальностей.

УДК 621.318.38  
ББК 31.2

ISBN 978-5-9596-0969-6

© ФГБОУ ВПО Ставропольский государственный аграрный университет, 2014

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>3</b>
<b>1 ВОДОПОДГОТОВКА В КОТЕЛЬНЫХ.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Способы водоподготовки в котельных.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Процесс воздействия магнитного поля на воду.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3 Технологические схемы водоподготовки.....</b>	<b>13</b>
<b>1.4 Аппараты магнитной обработки воды.....</b>	<b>18</b>
1.4.1 Аппараты магнитной обработки воды с постоянными магнитами.....	19
1.4.2 Аппараты магнитной обработки воды с электромагнитами.....	31
1.4.3 Анализ перспектив проектирования аппаратов магнитной обработки воды.....	42
<b>2 МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ   АППАРАТА МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ.....</b>	<b>45</b>
<b>2.1 Теория электромагнитного поля.....</b>	<b>45</b>
2.1.1 Электромагнитное поле как форма существования материи.....	45
2.1.2 Основные характеристики электромагнитного поля.....	46
2.1.3 Электромагнитные параметры и классификация сред.....	51
2.1.4 Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной формах.....	53
2.1.5 Уравнения Максвелла в комплексной форме.....	59
2.1.6 Классификация сред по проводимости.....	61
2.1.7 Классификация электромагнитных полей.....	62
<b>2.2 Цепной метод.....</b>	<b>64</b>
2.2.1 Основные допущения, принимаемые при расчете магнитных цепей.....	64
2.2.2 Расчет неразветвленных магнитных цепей.....	65
2.2.3 Расчет разветвленных магнитных цепей.....	69
<b>2.3 Метод конечных разностей.....</b>	<b>72</b>
2.3.1 Релаксационный метод.....	79
2.3.2 Итерационный метод.....	81
2.3.3 Граничные условия для градиента.....	83
2.3.4 Границы, совпадающие с узлами сетки.....	83
2.3.5 Границы, не совпадающие с узлами сетки.....	88
<b>2.4 Метод конечных элементов.....</b>	<b>92</b>
<b>2.5 Метод интегральных уравнений.....</b>	<b>94</b>
<b>3 РАЗРАБОТКА, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ   ПАРАМЕТРОВ АМОВ.....</b>	<b>95</b>
<b>3.1 Однокатушечный АМОВ.....</b>	<b>95</b>
<b>3.2 Двухкатушечный АМОВ.....</b>	<b>97</b>

<b>3.3 Использование программного комплекса ELCUT</b>	
<b>при расчете магнитных систем</b> .....	100
3.3.1 Общие сведения.....	100
3.3.2 Создание геометрического объекта .....	106
3.3.3 Задание свойств объекта и решение задачи .....	112
3.3.4 Анализ полученных данных .....	118
<b>3.4 Оптимизационные исследования магнитной системы</b>	
<b>однокатушечного АМОВ</b> .....	134
<b>3.4 Оптимизационные исследования магнитной системы</b>	
<b>двухкатушечного АМОВ</b> .....	140
<b>4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АМОВ</b> .....	144
<b>4.1 Способы и методы определения эффективности</b>	
<b>магнитной обработки воды</b> .....	144
4.1.1 Методы контроля основанные на косвенных показателях .....	144
4.1.2 Методы контроля основанные на учете количества	
выделившейся твердой фазы .....	149
<b>4.2 Исследование влияния АМОВ</b>	
<b>на процесс накипеобразования</b> .....	155
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А – Провода марок ПЭВ-1 и ПЭВ-2</b> .....	161
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Провод марки ПСД</b> .....	163
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В – Провода марок МГВ, МГВЭ,</b>	
<b>МГВСЛ, МГВСЛЭ</b> .....	165
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Провода прямоугольного сечения</b> .....	166
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Д – Результаты расчета однокатушечного</b>	
<b>АМОВ</b> .....	168
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Е – Результаты расчета двухкатушечного</b>	
<b>АМОВ</b> .....	173
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Ж – Результаты экспериментальных</b>	
<b>исследований однокатушечного АМОВ</b> .....	178
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ З – Результаты экспериментальных</b>	
<b>исследований двухкатушечного АМОВ</b> .....	192
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	206