

УДК 66.045.5.003.13  
ББК 35.115

**Авторы: К. Х. Гильфанов, Ф. М. Давлетшин, Д. Р. Гилязов,  
Р. Н. Гайнуллин**

Повышение эффективности охлаждения воды, модернизация и исследование градирен как объекта управления : монография / К. Х. Гильфанов [и др.]; М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2016. – 220 с.

ISBN 978-5-7882-2013-0

Рассмотрена разработанная авторами математическая модель процесса испарительного охлаждения воды в блоке оросителей с трубчатыми элементами градирни с принудительной тягой. Предложена методика расчёта геометрических параметров ВРС промышленных градирен. Представлены примеры модернизации находящихся в эксплуатации промышленных градирен, а также схемы управления и структуры АСУТП для вентиляторных градирен.

Предназначена для широкого круга специалистов и научных работников, занимающихся вопросами теории и практики охлаждения воды в системах оборотного водоснабжения промышленных установок, управления этими процессами, а также преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

Подготовлена на кафедре автоматизированных систем сбора и обработки информации.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Казанского национального исследовательского технологического университета

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. КГЭУ *А. Г. Лантев*  
д-р техн. наук, проф. КНИТУ им. А. Н. Туполева  
*И. А. Попов*

ISBN 978-5-7882 2013-0

© Гильфанов К. Х., Давлетшин Ф. М.,  
Гилязов Д. Р., Гайнуллин Р. Н., 2016  
© Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ .....</b>	<b>8</b>
1.1. Обзор схем с применением промышленных градирен и аппаратурного оформления процесса охлаждения оборотной воды....	8
1.2. Методы расчета градирен.....	13
1.2.1. Тепловой расчёт (тепломассообмен между водой и воздухом)...	13
1.2.2. Гидравлические расчеты водораспределительных систем.....	27
1.3. Модернизация градирен.....	32
1.4. Выводы и постановка задачи исследования.....	36
<b>2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ В ГРАДИРНЕ.....</b>	<b>38</b>
2.1. Постановка задачи.....	38
2.2. Основные уравнения, описывающие аэромеханические, тепловые и массообменные процессы в трубчатых элементах оросителей..	39
2.3. Законы переноса импульса, тепла и массы.....	52
2.3.1. Уравнения турбулентного обмена пограничного слоя.....	53
2.3.2. Аппроксимация касательных напряжений, тепловых и массовых потоков в пограничном слое.....	55
2.3.3. Характеристики пограничного слоя на границе вязкого подслоя.....	57
2.3.4. Профили плотности, скорости, энтальпии и концентрации.....	58
2.3.5. Интегральные характеристики пограничного слоя.....	60
2.4. Трение, тепло- и массообмен в оросителях промышленных градирен.....	61
2.4.1. Подobie полей скорости, энтальпии и концентрации.....	61
2.4.2. Процессы переноса импульса, тепла и массы при течении паровоздушной смеси на начальном участке цилиндрического канала..	62
2.4.2.1. Трение и теплообмен в условиях отсутствия массообмена....	62
2.4.2.2. Трение и теплообмен при наличии поперечного потока вещества.....	64
2.4.2.3. Определение поля скоростей в воздухораспределительной камере градирни.....	67
2.4.2.4. Тепло- и массообмен в турбулентном пограничном слое на начальном участке цилиндрического канала.....	69

<b>3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГРАДИРЕН</b> .....	80
3.1. Задачи экспериментального исследования.....	80
3.2. Экспериментальная установка для исследования характеристик оросителей промышленных градирен.....	80
3.3. Оценка погрешности при экспериментальном исследовании оросителей промышленных градирен.....	88
3.4. Экспериментальная установка для исследования характеристик водоразбрызгивающих сопел промышленных градирен.....	92
<b>4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ГРАДИР- НЯХ</b> .....	109
4.1. Принципы оптимального проектирования водоподающих и водораспределительных систем промышленных градирен.....	109
4.2. Методика расчёта геометрических параметров водораспределительной системы промышленных градирен.....	116
4.2.1. Теоретическое распределение ВС в градирнях круглого поперечного сечения.....	116
4.2.2. Теоретическое распределение ВС в градирнях прямоугольного поперечного сечения.....	122
4.3. Влияние взаимного расположения водоразбрызгивающих сопел на площади ВРС на поля плотности орошения.....	125
4.4. Некоторые результаты разработки и внедрения систем подачи и распределения воды в промышленных градирнях.....	128
<b>5. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОБО- РОТНЫМ ВОДОСНАБЖЕНИЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ</b> .....	144
5.1. Цели АСУ ТП и автоматизированные функции.....	150
5.2. Функциональная структура АСУ ТП оборотного водоснабжения.....	151
5.3. Разделение автоматизированных функций на действия, выполняемые техническими средствами и человеком.....	159
5.4. Организация информационного обеспечения.....	166
5.5. Организация сбора и передачи информации.....	169
5.6. Организация внутримашинной информационной базы.....	171
5.7. Пример проекта автоматизации вентиляторной градирни.....	174
<b>6. МОДЕРНИЗАЦИЯ ГРАДИРЕН</b> .....	186
<b>ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ</b> .....	209
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	210
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ</b> .....	216