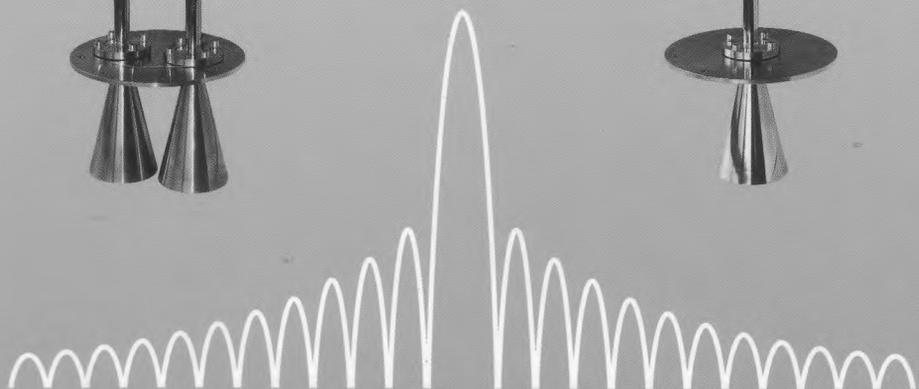




**ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ
РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ
УРОВНЕМЕРЫ С ЧАСТОТНОЙ
МОДУЛЯЦИЕЙ. ПРАКТИКА
ПРОМЫШЛЕННОГО
ПРИМЕНЕНИЯ**



**ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ
РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ
УРОВНЕМЕРЫ С ЧАСТОТНОЙ
МОДУЛЯЦИЕЙ.
ПРАКТИКА ПРОМЫШЛЕННОГО
ПРИМЕНЕНИЯ**

**ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ
Б.А. АТАЯНЦА**

**Рязань
2017**

УДК 621.396

ББК 32.95

О 83

Авторы: Б.А. Атаянц, И.В. Баранов, В.А. Болонин, М.Э. Боровков, В.В. Губанов, В.С. Гусев, В.М. Давыдочкин, В.В. Езерский, Ю.В. Мазалов, Д.Я. Нагорный, В.С. Паршин, В.А. Пронин.

Под общей редакцией Б.А. Атаянца

О 83 Отечественные радиолокационные уровнемеры с частотной модуляцией. Практика промышленного применения. Монография. – Рязань: ГУП РО «Рязанская областная типография», 2017. – 360 с.: ил.

ISBN 978-5-91255-241-0

Приведены краткие теоретические сведения о прецизионном измерении уровня. Рассмотрена работа уровнемеров на фоне комплекса мешающих факторов. Содержатся классификация уровнемеров, краткие исторические сведения о развитии радиолокационной уровнеметрии в России и на ООО предприятие «КОНТАКТ-1». Обсуждаются структурные схемы семейства уровнемеров «БАРС». Рассматриваются принципы построения СВЧ-модулей и антенно-волноводных систем. Приведены структурные схемы электронных модулей уровнемеров и особенности конструкции. Изложены основы оценки и подтверждения метрологических характеристик. Обсуждаются основы промышленной эксплуатации радиолокационных уровнемеров. Рассматривается оборудование, обеспечивающее использование уровнемеров для автоматизации производства и примеры конкретных автоматизированных систем управления различными производственными процессами.

УДК 621.396

ББК 32.95

Подписано в печать 10.02.17

Формат 60x90/16. Печ. л. 22,5. Бумага офсетная

Печать офсетная. Тираж 500 экз. Заказ № 527

Издано и отпечатано в ГУП РО «Рязанская областная типография»

390023, г. Рязань, ул. Новая, 69/12

ISBN 978-5-91255-241-0

© Авторы, текст, 2017

© ООО предприятие «КОНТАКТ-1», 2017

© ГУП РО «Рязанская областная типография», 2017

БИБЛИОТЕКА
Научно-техническое
отделение ЗНБ ЮФУ
(г. Таганрог)

1544435

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1. МЕТОД РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ	14
1.1. Введение	14
1.2. Требования к радиолокационному измерителю уровня	15
1.3. Основные сведения о распространении и отражении радиоволн	16
1.4. Теоретические основы измерения расстояния с помощью частотно-модулированного сигнала	26
1.4.1. Метод радиолокационного измерения расстояния	26
1.4.2. Основы работы частотного дальномера	28
1.4.3. Классический счётный метод измерения разностной частоты	32
1.4.4. Модификация счётного метода измерения расстояния	34
1.4.5. Измерение разностной частоты в спектральной области	41
1.4.6. Методическая погрешность измерения расстояния при оценке разностной частоты по максимуму спектральной плотности амплитуды	45
1.4.7. Снижение влияния шума	48
1.5. Заключение	50
1.6. Литература к главе 1	51
2. УЧЁТ ВЛИЯНИЯ МЕШАЮЩИХ ФАКТОРОВ	53
2.1. Введение	53
2.2. Параметры, учитываемые при измерениях в резервуарах	53
2.3. Влияние электрофизических свойств контролируемых продуктов и конструктивных особенностей резервуаров на результаты измерений	55
2.4. Алгоритмы снижения влияния помех на результаты измерения расстояния	68
2.4.1. Слабая помеха	68
2.4.2. Сильная помеха	69
2.4.3. Отражение от дна резервуара	71
2.5. Методы снижения влияния нелинейности МХ	72

2.5.1. Компенсация нелинейности МХ	72
2.5.2. Учёт нелинейности МХ	74
2.5.3. Цифровой синтез частоты	75
2.6. Особенности проведения измерений в волноводе	75
2.6.1. Влияние дисперсии на свойства СРЧ и величину погрешности измерения	76
2.6.2. Возможные методы снижения влияния дисперсии в волноводе	79
2.7. Заключение	83
2.8. Литература к главе 2	83
3. РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ УРОВНЕМЕРЫ	
СЕРИИ БАРС 300	86
3.1. Введение	86
3.2. Классификация радиолокационных уровнемеров по назначению и структуре построения	86
3.3. История создания и выпуска радиолокационных уровнемеров на предприятии «КОНТАКТ-1»	88
3.4. Приборы первого поколения БАРС 302 и БАРС 311	92
3.5. Приборы второго поколения БАРС 321И, БАРС 322И	97
3.6. Приборы третьего поколения БАРС 331(332)И, БАРС 322(332)МИ	103
3.7. Прибор четвертого поколения БАРС 341И	111
3.8. Приборы пятого поколения БАРС 351И, БАРС 352И	119
3.9. Заключение	125
3.10. Литература к главе 3	126
4. СВЧ БЛОКИ И МОДУЛИ УРОВНЕМЕРОВ	128
4.1. Введение	128
4.2. Приёмно-передающие СВЧ модули	128
4.2.1. ППМ для приборов первого поколения	129
4.2.2. ППМ для приборов второго поколения	131
4.2.3. ППМ для приборов третьего поколения	132
4.2.4. ППМ для приборов четвёртого поколения	133
4.2.5. ППМ для приборов пятого поколения	134
4.2.6. Приемники отраженного сигнала и смесители	138
4.2.7. Технические характеристики ППМ	140
4.2.8. Особенности функциональных узлов и конструкции ППМ	142

4.3. Антенно-волноводные системы	143
4.3.1. Типы антенно-волноводных систем	143
4.3.2. Формирование диаграммы направленности апертурной антенны	147
4.3.3. Параметры антенн	149
4.3.4. Антенны, применяемые в уровнемерах БАРС	155
4.3.5. Уровеньмеры с направляющей системой в виде трубы-волновода	156
4.4. Заключение	159
4.5. Литература к главе 4	160
5. ЭЛЕКТРОННЫЕ БЛОКИ УРОВНЕМЕРОВ «БАРС»	161
5.1. Введение	161
5.2. Формирователи закона качания частоты. Модуляторы	161
5.2.1. Вводные замечания	161
5.2.2. Простой аналоговый модулятор	162
5.2.3. Модулятор с внесением предискажений	164
5.2.4. Цифро-аналоговый модулятор	166
5.2.5. Требования к частотной модуляции в прецизионных измерителях уровня	167
5.2.6. Синтезатор частоты на основе контура фазовой автоподстройки частоты	170
5.2.7. Гибридный синтезатор частоты	171
5.3. Усилители с регулируемым усилением	173
5.3.1. Необходимость регулировки усиления	173
5.3.2. Аналоговые устройства АРУ	174
5.3.3. Аналого-цифровые схемы АРУ	175
5.4. Модули обработки сигналов и вычислители уровня	177
5.4.1. Назначение модулей обработки	177
5.4.2. Схема фильтрации СРЧ	178
5.4.3. Схемы выделения особых точек СРЧ	182
5.4.4. Алгоритмы использования особых точек	184
5.4.5. Модуль обработки уровнемеров БАРС 322МИ и БАРС 332МИ	187
5.4.6. Модули обработки уровнемеров четвёртого и пятого поколений	188
5.4.7. Вычислитель уровня	188
5.5. Коммуникационные модули	189
5.6. Заключение	193
5.7. Литература к главе 5	194

6. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ УРОВНЕМЕРОВ	196
6.1. Введение	196
6.2. Особенности современных моделей радиолокационных уровнемеров серии БАРС 300	197
6.3. Обеспечение взрывозащиты	209
6.4. Защита электронных модулей	215
6.5. Требования к приборам, применяемым на атомных электростанциях	216
6.6. Обеспечение защиты от неблагоприятных факторов	217
6.7. Заключение	220
7. ОЦЕНКА И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОЛОКАЦИОННЫХ УРОВНЕМЕРОВ	222
7.1. Введение	222
7.2. Метрологические характеристики	223
7.3. Установка для поверки радиолокационных уровнемеров УП-01	224
7.4. Радиолокационные отражатели для прецизионных измерений	227
7.5. Калибровка радиолокационных уровнемеров	233
7.5.1. Калибровка уровнемеров с антеннами	234
7.5.2. Калибровка волноводных вариантов уровнемеров	237
7.6. Поверка уровнемеров	238
7.6.1. Поверка на предприятии с использованием поверочной установки	239
7.6.2. Поверка с использованием вставки калиброванной высоты	241
7.6.3. Поверка с использованием специального отражателя	243
7.6.4. Поверка с использованием стены помещения	245
7.6.5. Поверка волноводных вариантов уровнемеров	245
7.7. Выводы	246
7.8. Литература к главе 7	246
8. ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ УРОВНЕМЕРОВ	248
8.1. Введение	248
8.2. Обеспечение требований безопасной эксплуатации	248

8.3. Особенности измерения уровня жидких и сыпучих продуктов	249
8.4. Требования по монтажу, установке и ориентации уровнемеров	256
8.5. Особенности применения уровнемеров при наличии мешающих отражений	272
8.6. Настройка уровнемеров на резервуаре по условиям эксплуатации	274
8.6.1. Прибор БАРС 322(332)МИ	274
8.6.2. Прибор БАРС 341И.ХХ	278
8.6.3. Прибор БАРС 351(352)И	282
8.7. Пусконаладочные работы и профилактическое обслуживание	285
8.8. Разрешительная и сертификационная документация	289
8.9. Заключение	291

9. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УРОВНЕМЕРОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

9.1. Введение	293
9.2. Вторичное оборудование	294
9.2.1. Универсальный вторичный преобразователь УВП-02	294
9.2.2. Блок контроля и управления БУК-01	298
9.3. Программа для поверки и настройки приборов «БАРС»	304
9.4. АСУ контроля уровня «ПАРК ХРАНЕНИЯ»	309
9.5. АСУ «ЗАГРУЗКА-ВЫГРУЗКА АККУМУЛИРУЮЩИХ БУНКЕРОВ»	319
9.6. АСУ «ПНЕНВМОТРАНСПОРТ»	330
9.7. Заключение	334

ПРИЛОЖЕНИЯ

<i>Приложение А.</i> Поверка радиолокационных уровнемеров	336
<i>Приложение Б.</i> Сертификаты	345
<i>Приложение В.</i> Сокращения	352
<i>Приложение Г.</i> Список обозначений	355