

УДК 622.242(075.8)
ББК 33.132я73
Х89

Храменков В.Г.

Х89 Автоматизация управления технологическими процессами бурения нефтегазовых скважин / В.Г. Храменков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 416 с.

ISBN 978-5-4387-0082-1

В пособии приводятся основные понятия из теории автоматического регулирования; рассматриваются элементы аппаратуры и средства автоматики, буровая контрольно-измерительная аппаратура (БКИА), буровые автоматические системы. Подчеркивается теснейшая связь БКИА и автоматики с техникой и технологией бурения. Намечаются перспективы развития «классических» буровых систем и компьютеризации основного бурового процесса.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 13100 «Нефтегазовое дело» очной и заочной форм обучения.

УДК 622.242(075.8)
ББК 33.132я73

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор
генеральный директор ОАО «Тульское НИГП»

В.И. Власюк

Заместитель директора по бурению ТФ ЗАО «ССК»
М.П. Пьявко

ISBN 978-5-4387-0082-1

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2012
© Храменков В.Г., 2012
© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ.....	4
1.1. Основные понятия и определения теории автоматического регулирования. Классификация систем.....	4
1.1.1. Принципы регулирования	6
1.1.2. Классификация систем автоматического регулирования	10
1.1.3. Алгоритм регулирования	16
1.1.4. Основные требования к автоматическим системам управления ...	17
1.2. Дифференциальные уравнения систем автоматического регулирования.....	18
1.2.1. Составление и линеаризация дифференциального уравнения	18
1.2.2. Методика (порядок) составления линейных дифференциальных уравнений	21
1.2.3. Уравнения типовых звеньев систем автоматического регулирования	21
1.3. Передаточные функции линейных систем автоматического регулирования и их элементов. Структурные схемы	23
1.3.1. Преобразование Лапласа–Карсона. Передаточная функция	23
1.3.2. Структурные схемы и их преобразования.....	26
1.3.3. Переходные процессы в системах автоматического регулирования	29
1.3.4. Импульсная и переходная функции	32
1.3.5. Передаточная функция в системе регулирования по управлению и возмущению	33
1.4. Статика систем автоматического регулирования	37
1.4.1. Статические характеристики элементов и звеньев САР.....	37
1.4.2. Статические характеристики соединений звеньев.....	40
1.5. Устойчивость систем автоматического регулирования.....	47
1.5.1. Критерии устойчивости.....	50
Контрольные вопросы	55
Список литературы	56
2. ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИКИ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ	57
2.1. Функции и общие характеристики элементов автоматики и контрольно-измерительной аппаратуры	57

2.1.1. Функции элементов автоматики и контрольно-измерительной аппаратуры. Определения.....	57
2.1.2. Общие характеристики элементов автоматики и контрольно-измерительной аппаратуры	60
2.2. Общие сведения об элементах контрольно-измерительной аппаратуры	64
2.2.1. Основные сведения о средствах электрических измерений и электроизмерительных приборах	64
2.2.1.1. Основные электроизмерительные приборы, применяемые в буровой контрольно-измерительной аппаратуре	65
2.2.1.2. Электронные элементы в контрольно-измерительной аппаратуре и системах автоматики	72
2.2.1.3. Метрологические характеристики контрольно-измерительной аппаратуры.....	77
2.2.2. Общие сведения об измерениях неэлектрических величин. Измерительные преобразователи. Датчики	80
2.2.3. Основные типы датчиков буровой контрольно-измерительной аппаратуры и средств автоматики	83
2.2.3.1. Индуктивные датчики	83
2.2.3.2. Индукционные датчики	85
2.2.3.3. Магнитоупругие датчики	88
2.2.3.4. Потенциометрические преобразователи.....	89
2.2.3.5. Импульсные преобразователи	90
2.2.3.6. Тензорезисторы и тензодатчики	91
2.2.3.7. Эффект Холла и датчики на его основе.....	95
2.2.3.8. Сельсины	96
2.2.4. Вторичные приборы.....	99
2.2.4.1. Автокомпенсатор переменного тока	100
2.2.4.2. Регистрирующие приборы.....	103
2.2.5. Электромагнитные реле	104
2.2.6. Усилители	106
2.2.6.1. Релейный усилитель.....	106
2.2.6.2. Магнитный усилитель	106
2.2.6.3. Электромашинный усилитель	107

2.3. Электрические исполнительные двигатели и механизмы.....	109
2.3.1. Исполнительные электрические двигатели	110
2.3.1.1. Исполнительные электрические двигатели постоянного тока.....	110
2.3.1.2. Реверсивные исполнительные электрические двигатели переменного тока.....	111
2.3.2. Тяговые электромагниты и электромагнитные муфты	113
2.3.2.1. Тяговые электромагниты	113
2.3.2.2. Электромагнитные муфты	113
Контрольные вопросы	114
Список литературы	115
3. БУРОВАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА ПЕРВОГО И ВТОРОГО КЛАССА	117
3.1. Буровой технологический комплекс (БТК)	117
3.2. Классификация буровой контрольно-измерительной аппаратуры, условия эксплуатации и требования к аппаратуре.....	120
3.2.1. Классификация БКИА по функционально-технологическому признаку	121
3.2.2. Классификация БКИА по способам измерения и контроля	122
3.2.3. Классификация БКИА по способу отображения информации.....	123
3.2.4. Классификация БКИА по виду унифицированного сигнала датчика	123
3.2.5. Классификация скважинной аппаратуры	124
3.2.6. Условия эксплуатации и требования к БКИА	124
3.3. Аппаратура для контроля параметров процесса бурения.....	126
3.3.1. Измерители веса снаряда и осевой нагрузки	126
3.3.1.1. Гидравлический индикатор веса ГИВ-6	127
3.3.1.2. Гидравлический индикатор веса ГИВ6-М2.....	136
3.3.1.3. Гидравлический измеритель веса ГИВ-1Э.....	145
3.3.1.4. Магнитоупругий компенсационный измеритель нагрузки МКН-1.....	148
3.3.2. Измерители давления бурового раствора	151
3.3.2.1. Классификация и принцип работы измерителей давления	151
3.3.2.2. Буровой манометр МБГ-1.....	153
3.3.2.3. Магнитоупругий измеритель давления МИД.....	154

3.3.3. Измерители расхода бурового раствора	156
3.3.3.1. Классификация способов и средств измерения расхода жидкости	156
3.3.3.2. Точки съема сигнала для расходомеров бурового раствора.....	162
3.3.3.3. Расходомер РГР-100.....	163
3.3.3.4. Расход бурового раствора на выходе из скважины	164
3.3.4. Измерение частоты оборотов породоразрушающего инструмента	164
3.3.5. Измерители крутящего момента	166
3.4. Аппаратура контроля эффективности бурения скважин.....	168
3.4.1. Измерители механической скорости бурения.....	168
3.4.1.1. Точки съема сигнала для измерителей механической скорости бурения	168
3.4.1.2. Регистратор механической скорости бурения РСБ-ТПУ	169
3.4.2. Определители рейсовой скорости бурения.....	172
3.5. Аппаратура для проведения исследований в скважинах	173
3.5.1. Аппаратура для замера дебита при откачках воды из скважин	173
3.5.1.1. Комплексная аппаратура СДУ-ТПУ	173
3.5.2. Аппаратура для контроля статики и динамики подземных вод.....	176
3.5.2.1. Классификация и общая схема скважинных уровнемеров	176
3.5.2.2. Уровнемер УНВ-ТПУ	179
3.6. Неразрушающий контроль бурового оборудования и инструмента	181
3.6.1. Классификация основных методов неразрушающего контроля	181
3.6.2. Аппаратура для контроля технического состояния бурильных труб.....	181
3.6.2.1. Дефектоскоп бурильных труб ДБТ	182
3.6.2.2. Толщиномер Т-1	184
3.6.2.3. Ультразвуковой толщиномер «Кварц-15».....	185
3.6.2.4. Детектор износа бурильных труб ДИТ.....	186
Контрольные вопросы	187
Список литературы	188
4. БУРОВЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ	190
4.1. Общие понятия о буровых автоматических системах	190
4.2. Об автоматизации подачи бурового инструмента	192
4.3. Построение структурных схем буровых автоматических регуляторов	195

4.4. Регулируемый привод буровых установок и буровых автоматических регуляторов	202
4.4.1. Регулирование частоты оборотов вала асинхронных электрических двигателей	202
4.4.1.1. Каскадные схемы соединения асинхронных электродвигателей	204
4.4.2. Регулирование частоты оборотов вала электрического двигателя постоянного тока	206
4.4.2.1. Привод постоянного тока	208
4.5. Автоматические регуляторы подачи долота при бурении скважин на нефть и газ	209
4.5.1. Электромашинные БАР с исполнительным электродвигателем постоянного и переменного тока	210
4.6. Система верхнего привода	219
4.6.1. Преимущества СВП	220
4.6.2. Основные механизмы СВП	221
4.6.3. Система СВП грузоподъемностью 320 и 500 т	222
4.6.4. Зарубежные системы верхнего привода	225
4.7. Автоматизация и механизация спуско-подъемных операций (СПО)	229
4.8. Автоматический долив скважины при СПО	233
4.9. Комплекс «КИБР»	234
Контрольные вопросы	237
Список литературы	237
5. КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СООРУЖЕНИИ СКВАЖИН	238
5.1. Задачи геолого-технологических исследований. Структура службы партии	240
5.2. Станции, системы, комплексы средств наземного контроля и управления процессом бурения скважин	258
5.2.1. Пульт бурильщика. Выносной технологический модуль коммутации и сбора информации на буровой	258
5.2.2. Комплекс средств наземного контроля и управления процессом бурения КУБ-01	260
5.2.2.1. Устройство и работа комплекса КУБ-01	264
5.2.2.2. Описание и работа составных частей комплекса КУБ-01	265

5.2.3. Комплекс средств наземного контроля и управления процессом бурения нефтяных и газовых скважин типа СКУБ-М1	285
5.2.4. Информационно-измерительная система контроля и управления процессом бурения скважин «ЛЕУЗА-1»	307
5.2.5. Станция контроля процесса бурения «ЛЕУЗА-2»	315
5.2.6. Станция геолого-технологических исследований и контроля процесса бурения скважины «ГЕОТЕСТ-5»	320
5.2.6.1. Краткое описание датчиков	322
5.2.6.2. Технология проведения ГТИ в горизонтальных скважинах	328
5.2.7. Аппаратно-программный комплекс сбора, обработки и анализа данных о процессе строительства скважин «ГЕОТЕК»	332
5.2.7.1. Возможности комплекса «ГЕОТЕК»	332
5.2.7.2. Датчики технологических параметров бурения	333
5.2.8. Система «СГТ-микро»	340
5.2.8.1. Технические характеристики системы «СГТ-микро»	340
5.2.8.2. Датчики системы «СГТ-микро»	342
5.2.8.3. Дополнительные устройства	347
5.2.9. Автоматизированная система управления процессом бурения ЗОЯ 1.1	349
5.2.10. Станция контроля параметров бурения «АМТ 100»	352
5.2.10.1. Состав станции «АМТ 100»	352
5.2.10.2. Комплект датчиков станции «АМТ-100»	353
5.2.10.3. Рабочее место бурильщика	354
5.2.10.4. Рабочее место бурового мастера	356
5.2.10.5. Контроль параметров	357
5.2.10.6. Оптимизация и безаварийность процесса бурения	357
5.2.10.7. Печать отчетных документов	358
5.2.11. Информационно-измерительный комплекс геолого-технологического контроля бурения и исследования скважин «АМТ 121»	358
5.2.11.1. Специальное прикладное программное обеспечение	359
5.2.11.2. Экспериментальные задачи	366
5.2.11.3. Визуализация и документирование информации	368

5.2.12. Станция геолого-технологического контроля бурения и газового каротажа «МЕГА-АМТ»	369
5.2.12.1. Технологические датчики станции «МЕГА-АМТ»	374
5.2.12.2. Аппаратурно-программный комплекс информационного обмена нижнего уровня	377
5.2.13. Система удаленного мониторинга скважин «RT-LEUZA»	377
5.2.14. Информационная система «Удаленный мониторинг бурения»	378
5.2.15. Зарубежные станции	382
Контрольные вопросы	384
6. ТЕЛЕСИСТЕМЫ СКВАЖИННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	385
6.1. Задачи скважинных измерений телесистемами	385
6.2. Каналы связи забой–устье	387
6.2.1. Проводной канал связи	387
6.2.2. Телесистемы с гидравлическим каналом связи	390
6.2.3. Акустический канал связи	394
6.2.5. Комбинированный канал связи	397
6.3. Базовая схема стандартной телесистемы СГК	399
6.4. Система забойная инклинометрическая ЗИС-4	400
6.5. Система забойная инклинометрическая СИБ-1М	402
Контрольные вопросы	407
Заключение	408