

УДК 658.512.4.011.56(075.8)

ББК 30.61-5-05я73

X89

**Храменков В.Г.**

X89 Автоматизация производственных процессов: учебник / В.Г. Храменков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 343 с.

ISBN 978-5-98298-826-3

В учебнике приводятся основные понятия из теории автоматического регулирования; даются необходимые сведения для более глубокого понимания работы буровых автоматических систем; рассматриваются элементы аппаратуры и средства автоматики, буровая контрольно-измерительная аппаратура (БКИА), буровые автоматические системы, вопросы контроля и автоматизации процессов при проведении горно-разведочных подземных выработок. Подчеркивается теснейшая связь БКИА и автоматики с техникой и технологией бурения, знание которых может позволить грамотно изучать, эксплуатировать и создавать аппаратуру и автоматические устройства. Намечаются перспективы развития «классических» буровых систем и компьютеризации основного бурового процесса.

Предназначен для студентов, обучающихся по специальности 130203 «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых».

УДК 658.512.4.011.56(075.8)

ББК 30.61-5-058я73

*Рецензенты*

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

*В.И. Власюк*

Доктор технических наук, профессор  
заведующий кафедрой технологии и техники разведки  
Сибирского федерального университета

*В.П. Рожков*

ISBN 978-5-98298-826-3

© ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2011

© Храменков В.Г., 2011

© Оформление. Издательство Томского  
политехнического университета, 2011

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ .....	5
1.1. Основные понятия и определения теории автоматического регулирования. Классификация систем .....	5
1.1.1. Принципы регулирования .....	7
1.1.2. Классификация систем автоматического регулирования .....	11
1.1.3. Алгоритм регулирования .....	17
1.1.4. Основные требования к автоматическим системам управления .....	18
1.2. Дифференциальные уравнения систем автоматического регулирования.....	19
1.2.1. Составление и линеаризация дифференциального уравнения .....	19
1.2.2. Методика (порядок) составления линейных дифференциальных уравнений .....	22
1.2.3. Уравнения типовых звеньев систем автоматического регулирования .....	22
1.3. Передаточные функции линейных систем автоматического регулирования и их элементов. Структурные схемы.....	24
1.3.1. Преобразование Лапласа–Карсона. Передаточная функция .....	24
1.3.2. Структурные схемы и их преобразования.....	27
1.3.3. Переходные процессы в системах автоматического регулирования.....	31
1.3.4. Импульсная и переходная функции .....	33
1.3.5. Передаточная функция в системе регулирования по управлению и возмущению .....	35
1.4. Статика систем автоматического регулирования .....	38
1.4.1. Статические характеристики элементов и звеньев САУ .....	39
1.4.2. Статические характеристики соединений звеньев.....	42
1.5. Устойчивость систем автоматического регулирования .....	49
1.5.1. Критерии устойчивости.....	51
Контрольные вопросы .....	57
Список литературы .....	57
2. ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИКИ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ .....	58
2.1. Функции и общие характеристики элементов автоматики и контрольно-измерительной аппаратуры .....	58
2.1.1. Функции элементов автоматики и контрольно-измерительной аппаратуры. Определения .....	58
2.1.2. Общие характеристики элементов автоматики и контрольно-измерительной аппаратуры .....	61
2.2. Общие сведения об элементах контрольно-измерительной аппаратуры .....	65
2.2.1. Основные сведения о средствах электрических измерений и электроизмерительных приборах .....	65

2.2.1.1. Основные электроизмерительные приборы, применяемые в буровой контрольно-измерительной аппаратуре.....	66
2.2.1.2. Электронные элементы в контрольно-измерительной аппаратуре и системах автоматики .....	73
2.2.1.3. Метрологические характеристики контрольно-измерительной аппаратуры .....	78
2.2.2. Общие сведения об измерениях неэлектрических величин. Измерительные преобразователи. Датчики .....	81
2.2.3. Основные типы датчиков буровой контрольно-измерительной аппаратуры и средств автоматики .....	84
2.2.3.1. Индуктивные датчики .....	84
2.2.3.2. Индукционные датчики.....	87
2.2.3.3. Магнитоупругие датчики .....	89
2.2.3.4. Потенциометрические преобразователи .....	90
2.2.3.5. Импульсные преобразователи .....	91
2.2.3.6. Сельсины .....	92
2.2.4. Вторичные приборы .....	95
2.2.4.1. Автокомпенсатор переменного тока .....	96
2.2.4.2. Регистрирующие приборы .....	99
2.2.5. Электромагнитные реле.....	100
2.2.6. Усилители .....	101
2.2.6.1. Релейный усилитель.....	101
2.2.6.2. Магнитный усилитель .....	101
2.2.6.3. Электромашинный усилитель .....	103
2.3. Электрические исполнительные двигатели и механизмы.....	105
2.3.1. Исполнительные электрические двигатели .....	106
2.3.1.1. Исполнительные электрические двигатели постоянного тока.....	106
2.3.1.2. Реверсивные исполнительные электрические двигатели переменного тока .....	107
2.3.2. Тяговые электромагниты и электромагнитные муфты.....	109
2.3.2.1. Тяговые электромагниты.....	109
2.3.2.2. Электромагнитные муфты.....	109
Контрольные вопросы.....	110
Список литературы .....	111
3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ В БУРЕНИИ СКВАЖИН .....	113
3.1. Буровой технологический комплекс.....	113
3.2. Классификация буровой контрольно-измерительной аппаратуры. Условия эксплуатации и требования к аппаратуре.....	118
3.2.1. Классификация БКИА по функционально-технологическому признаку .....	119

3.2.2. Классификация БКИА по способам измерения и контроля .....	121
3.2.3. Классификация БКИА по способу отображения информации.....	121
3.2.4. Классификация БКИА по виду унифицированного сигнала датчика .....	122
3.2.5. Классификация БКИА по специальному назначению.....	122
3.2.6. Классификация скважинной аппаратуры .....	123
3.2.7. Условия эксплуатации и требования к БКИА.....	124
3.3. Аппаратура для контроля параметров процесса бурения .....	125
3.3.1. Измерители веса снаряда и осевой нагрузки .....	125
3.3.1.1. Точки съёма сигнала для измерителей веса снаряда и осевой нагрузки .....	126
3.3.1.2. Гидравлический индикатор веса ГИВ-6 .....	129
3.3.1.3. Магнитоупругий компенсационный измеритель нагрузки МКН-1 .....	137
3.3.1.4. Магнитоупругий измеритель нагрузки МКН-2 .....	142
3.3.2. Измерители давления промывочной жидкости .....	145
3.3.2.1. Классификация измерителей давления .....	146
3.3.2.2. Магнитоупругий измеритель давления МИД .....	148
3.3.3. Измерители расхода промывочной жидкости.....	149
3.3.3.1. Классификация способов и средств измерения расхода жидкости .....	149
3.3.3.2. Классификация расходомеров по месту съёма сигнала.....	156
3.3.3.3. Электромагнитные расходомеры ЭМР .....	158
3.3.3.4. Расходомер промывочной жидкости с поворотной лопастью РПЛ-1 .....	159
3.3.3.5. Расходомер-сигнализатор промывочной жидкости РС-ТПУ .....	160
3.3.4. Измерение частоты оборотов породоразрушающего инструмента.....	163
3.3.5. Измерители частоты ударов при гидроударном бурении .....	165
3.3.6. Измерители и ограничители крутящего момента. Ваттметры.....	166
3.3.6.1. Классификация измерителей крутящего момента по месту съёма сигнала и принципы построения измерителей .....	166
3.3.6.2. Измеритель и автоматический ограничитель крутящего момента ОМ40.....	168
3.3.6.3. Самопишущий ваттметр Н-348 .....	176
3.4. Аппаратура для контроля эффективности бурения скважин .....	178
3.4.1. Измерители механической скорости бурения.....	178
3.4.1.1. Точки съёма сигнала для измерителей механической скорости бурения .....	179
3.4.1.2. Измеритель скорости проходки ИСП .....	181
3.4.1.3. Измеритель механической скорости бурения ИСБ.....	183
3.4.1.4. Регистратор механической скорости бурения РСБ-ТПУ .....	185
3.4.1.5. Регистратор механической скорости бурения РСГ-ТПУ .....	186

3.4.1.6. Сигнализатор встречи угольных пластов С-ТПУ .....	189
3.4.1.7. Сигнализатор встречи угольных пластов С2-ТПУ .....	192
3.4.2. Определители рейсовой скорости бурения.....	193
3.4.2.1. Программы для определения рейсовой скорости бурения.....	195
3.5. Комплексная аппаратура для контроля технологических и технико-экономических показателей процесса бурения .....	200
3.5.1. Аппаратура ПКМ.....	200
3.5.2. Комплексная аппаратура КУРС.....	211
3.5.2.1. Аппаратура КУРС-411 .....	214
3.6. Методика обработки диаграмм записи параметров технологического процесса бурения .....	216
3.7. Аппаратура для проведения исследований в скважинах .....	224
3.7.1. Аппаратура для замера дебита при откачках воды из скважин .....	225
3.7.1.1. Расходомеры (дебитомеры) переменного уровня .....	225
3.7.1.2. Тахометрический дебитомер ТД-ТПУ .....	226
3.7.1.3. Комплексная аппаратура КПВ-4 .....	226
3.7.1.4. Комплексная аппаратура СДУ-ТПУ.....	227
3.7.2. Аппаратура для контроля статики и динамики подземных вод.....	230
3.7.2.1. Скважинные уровнемеры .....	230
3.7.2.2. Скважинные расходомеры .....	237
3.8. Неразрушающий контроль бурового оборудования и инструмента .....	241
3.8.1. Классификация основных методов неразрушающего контроля .....	242
3.8.2. Аппаратура для контроля технического состояния бурильных труб.....	242
3.8.2.1. Дефектоскопы и толщиномеры бурильных труб .....	242
3.8.2.2. Передвижные дефектоскопические станции .....	248
Контрольные вопросы.....	251
Список литературы .....	253
4. БУРОВЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.....	255
4.1. Общие понятия о буровых автоматических системах.....	256
4.2. Об автоматизации подачи бурового инструмента .....	259
4.3. Построение структурных схем буровых автоматических регуляторов .....	261
4.4. Регулируемый привод буровых установок и буровых автоматических регуляторов .....	270
4.4.1. Регулирование частоты оборотов вала асинхронных электрических двигателей .....	271
4.4.1.1. Каскадные схемы соединения асинхронных электродвигателей.....	273
4.4.2. Регулирование частоты оборотов вала электрического двигателя постоянного тока.....	274
4.4.2.1. Привод постоянного тока.....	276

4.5. Автоматические регуляторы подачи инструмента в бурении геологоразведочных скважин .....	279
4.5.1. Буровые регуляторы БР-1 и АРП-1 .....	279
4.5.2. Автоматические регуляторы подачи инструмента АРП-3 И АРП-4.....	286
4.5.3. Автоматический стабилизатор осевой нагрузки Р.Х. Гафиятуллина .....	287
4.5.4. Система автоматического поиска оптимальных параметров режима бурения (экстремальный регулятор Е.А. Козловского) .....	289
4.5.5. Электромашинный автоматический регулятор с исполнительным электродвигателем переменного тока .....	291
4.5.6. О компьютеризации процесса бурения геологоразведочных скважин .....	295
4.5.6.1. Система автоматизированной оптимизации управления процессом бурения САОПБ-1 .....	297
4.5.6.2. Устройство управления процессом бурения «Карат-2» .....	298
4.5.6.3. Автоматизированная система управления технологическим процессом бурения АСУТП-Б .....	299
4.5.6.4. Система контроля и управления бурением «АЛМАЗ».....	301
Контрольные вопросы .....	302
Список литературы .....	303
5. КОНТРОЛЬ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК.....	304
5.1. Водоотливные установки и вопросы контроля и автоматизации водоотлива .....	304
5.1.1. Способы водоотлива и водоотливные установки .....	305
5.1.2. Электрооборудование, контроль и автоматизация водоотливных установок .....	311
5.2. Подъемные установки, вопросы контроля и автоматизации подъема .....	313
5.2.1. Передвижные и стационарные проходческие подъемные установки .....	314
5.2.2. Электрическое оборудование подъема .....	320
5.2.3. Аппаратура контроля и защиты .....	323
5.3. Вентиляционные установки, вопросы контроля и автоматизации их работы.....	326
5.4. Компрессорные установки, вопросы контроля и автоматизации их работы.....	328
Контрольные вопросы.....	330
Список литературы .....	331
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	332
Условные обозначения .....	335