Российский научно-исследовательский институт
проблем мелиорации

С. М. Васильев, В. И. Коржов, И. В. Коржов

СРЕДСТВА И МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ НА МЕЛИОРАТИВНЫХ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

Учебник для аспирантов по направлениям
35.06.01 «Сельское хозяйство»,
08.06.01 «Техника и технологии строительства»

Новочеркасск
РосНИИПМ
2019

УДК 626/627:681.12
ББК 30.10
В191

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В. И. Ольгаренко – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры «Мелиорации земель» Новочеркасского инженерно-мелиоративного института им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ;

С. А. Тарасьянц – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Водоснабжение и использование водных ресурсов» Новочеркасского инженерно-мелиоративного института им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ.

Васильев С. М.

В191 Средства и методики измерений на мелиоративных и водохозяйственных системах: учебник для аспирантов по направлениям 35.06.01 «Сельское хозяйство», 08.06.01 «Техника и технологии строительства» / С. М. Васильев, В. И. Коржов, И. В. Коржов. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2019. – 254 с.

ISBN 978-5-9909633-7-5

Определены цели, задачи и требования к измерениям на мелиоративных и водохозяйственных системах и объектах. Приведены характеристики, принципы действия и конструкции используемых на них средств и методик измерений. Даны рекомендации по их применению.

Ключевые слова: мелиоративные и водохозяйственные системы, измерения, требования, методики измерений, средства измерений, устройство, характеристики, применение.

Учебник предназначен для подготовки аспирантов по направлениям 35.06.01 «Сельское хозяйство», 08.06.01 «Техника и технологии строительства».

Может быть полезен аспирантам и магистрантам, обучающимся по другим направлениям подготовки, а также научно-техническим работникам в области мелиорации и водного хозяйства.

УДК 626/627:681.12
ББК 30.10
ISBN 978-5-9909633-7-5
© ФГБНУ «РосНИИПМ», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 9
1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗМЕРЕНИЙ НА МЕЛИОРАТИВНЫХ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ 11
1.1 Общие цели измерений 11
1.2 Задачи измерений на мелиоративных системах 11
1.2.1 Общие положения 11
1.2.2 Измерение и учёт количества воды 13
1.2.3 Измерение качественных показателей мелиорируемых земель 14
1.2.4 Измерение показателей режимов подземных вод 15
1.2.5 Измерение показателей солевых режимов почв 15
1.2.6 Измерение показателей водно-воздушных и гидрофизических свойств почв 16
1.2.7 Измерение качественных показателей поверхностных и подземных вод 16
1.2.8 Требования к измерению технических показателей элементов оросительных систем 17
1.3 Задачи измерений в водоснабжении и водоотведении 17
1.3.1 Общие положения 17
1.3.2 Измерение технологических параметров на водозаборных сооружениях 20
1.3.3 Измерение технологических параметров на насосных станциях 21
1.3.4 Измерение технологических параметров на станциях очистки и подготовки воды 22
1.3.5 Измерение технологических параметров на водоводах, сети и регулирующих ёмкостях 23
1.3.6 Требования к измерению технологических параметров в системах оборотного водоснабжения 23
2 ТРЕБОВАНИЯ К ИЗМЕРЕНИЯМ 25
2.1 Общие требования к измерениям в РФ 25
2.2 Требования к единицам измеряемых величин 25
2.2.1 Общие требования 25
2.2.2 Использование единиц системы СИ 25
2.2.3 Использование внесистемных единиц 27
2.2.4 Требования к наименованиям и обозначениям десятичных кратных и дольных единиц 29
2.2.5 Требования к написанию обозначений единиц измеряемых величин в текстах 31
2.2.6 Правила применения единиц величин 34
2.3 Требования к средствам измерений 34
2.3.1 Общие положения 34
2.3.2 Метрологические требования 35
2.3.3 Технические требования 36
2.3.4 Правовые требования 38

2.3.5 Требования к технической документации на средства измерений ... 39
2.4 Требования к методикам измерений ... 40
2.4.1 Общие положения ... 40
2.4.2 Требования к применению методик измерений ... 41
2.4.3 Исходные данные, используемые в методиках измерений ... 42
2.4.4 Порядок разработки методик измерений ... 42
2.4.5 Требования методик измерений к точности ... 42
2.4.6 Структура документа, регламентирующего методику измерений ... 43
2.4.7 Аттестация методик измерений ... 44
2.4.8 Порядок использования методик измерений ... 46
2.4.9 Метрологический надзор за аттестованными методиками измерений ... 46
3 УСТРОЙСТВО И ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ... 48
3.1 Структура средства измерений ... 48
3.2 Виды средств измерений ... 48
3.2.1 Меры ... 49
3.2.2 Измерительные преобразователи ... 50
3.2.3 Измерительные приборы ... 52
3.2.4 Измерительные системы ... 53
3.2.5 Измерительные установки ... 54
3.2.6 Измерительные принадлежности ... 55
3.3 Общая классификация средств измерений ... 55
3.4 Классификация средств измерений, используемых на мелиоративных и водохозяйственных системах ... 57
3.5 Метрологические характеристики средств измерений ... 58
3.5.1 Понятие метрологических характеристик ... 58
3.5.2 Погрешности средств измерений ... 58
3.5.3 Диапазон измерений средства измерений ... 61
3.5.4 Цена деления шкалы средства измерений ... 61
3.5.5 Чувствительность средства измерений ... 62
3.5.6 Порог чувствительности средства измерений ... 63
3.5.7 Вариация показаний ... 63
3.5.8 Градуировочная характеристика ... 64
3.5.9 Назначение метрологических характеристик ... 65
3.6 Классы точности средств измерений ... 66
3.6.1 Понятие класса точности средства измерений ... 66
3.6.2 Определение классов точности средств измерений ... 66
3.6.3 Обозначение классов точности средств измерений ... 68
3.7 Определение погрешностей средств измерений по их классам точности ... 69
3.8 Принцип запрета измерений на начальных участках шкал приборов ... 70
3.9 Принципы выбора средств для проведения измерений ... 71
3.10 Выбор средства измерения по его метрологическим характеристикам ... 72
3.11 Поверка и калибровка средств измерений ... 74
3.11.1 Понятие поверки и калибровки средств измерений ... 74

3.11.2 Формы подтверждения поверки и калибровки средств измерений 75
3.11.3 Виды поверок и калибровок 76
3.12 Утверждение типа средства измерений 77
4 ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЕЙ (ГЛУБИН) 79
4.1 Общая характеристика измеряемого параметра 79
4.2 Основы измерения уровней 80
4.3 Классификация средств измерения уровней 81
4.4 Визуальные средства измерения уровней 82
4.4.1 Мерные рейки 82
4.4.2 Рулетки с лотом 83
4.4.3 Уровнемерные стёкла 85
4.5 Поплавковые средства измерения уровней 88
4.5.1 Поплавковые уровнемеры 88
4.5.2 Поплавковые сигнализаторы уровня 90
4.6 Буйковые средства измерений уровней 91
4.7 Гидростатические уровнемеры 93
4.8 Акустические уровнемеры 97
4.8.1 Классификация акустических уровнемеров 97
4.8.2 Ультразвуковые локационные уровнемеры 97
4.8.3 Акустические уровнемеры поглощения 100
4.8.4 Акустические резонансные уровнемеры 101
4.8.5 Акустические сигнализаторы уровня 101
4.9 Ёмкостные электрические уровнемеры 101
4.10 Кондуктометрические средства измерения уровней 103
4.10.1 Кондуктометрические (омические) электрические уровнемеры 103
4.10.2 Кондуктометрические электрические сигнализаторы уровня 105
4.11 Индукционные электрические уровнемеры 106
4.12 Микроволновые радарные уровнемеры 107
4.13 Общие требования к измерению уровней поверхностных вод 109
5 ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДОВ И ОБЪЁМОВ 112
5.1 Общая характеристика параметра 112
5.2 Основы измерения расходов 116
5.3 Классификация средств измерения расходов и объёмов 116
5.4 Тахометрические счётчики-расходомеры 117
5.4.1 Общая характеристика 117
5.4.2 Крыльчатые тахометрические счётчики-расходомеры 117
5.4.3 Турбинные тахометрические счётчики-расходомеры 121
5.4.4 Шариковые тахометрические счётчики-расходомеры 123
5.4.5 Шестерёнчатые объёмные тахометрические счётчики-расходомеры 124
5.4.6 Поршневые объёмные тахометрические счётчики-расходомеры 126
5.5 Расходомеры переменного перепада давлений 128

5.5.1 Общая характеристика 128
5.5.2 Расходомеры с сужающими устройствами 129
5.5.3 Расходомеры с напорными устройствами 134
5.5.4 Расходомеры с напорными усилителями 135
5.5.5 Расходомеры с гидравлическим сопротивлением 135
5.6 Расходомеры постоянного перепада давлений 136
5.6.1 Общая характеристика 136
5.6.2 Поплавковые расходомеры 138
5.6.3 Поршневые расходомеры 138
5.6.4 Расходомеры-ротаметры 139
5.7 Электромагнитные расходомеры 141
5.8 Акустические (ультразвуковые) расходомеры 143
5.9 Требования к измерению расходов и объёмов воды при организации и проведении водоучёта 147
5.9.1 Общие требования 147
5.9.2 Прямые методы измерения расходов и объёмов воды для открытых русел и напорных трубопроводов 147
5.9.3 Косвенные методы измерения расходов и объёмов воды для открытых водотоков и каналов 147
5.9.4 Косвенные методы измерения потоков в закрытых трубопроводах 148
5.10 Рекомендации по выбору расходомеров-счётчиков для проведения измерений 149
6 ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЙ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ 151
6.1 Общая характеристика измеряемого параметра 151
6.2 Основы измерения давлений 153
6.3 Классификация средств измерения давлений 154
6.4 Жидкостные средства измерения давлений 156
6.4.1 Общая характеристика 156
6.4.2 Двухтрубные (U-образные) жидкостные манометры 156
6.4.3 Однотрубные (чашечные) жидкостные манометры 158
6.4.4 Поплавковые жидкостные манометры 160
6.4.5 Колокольные жидкостные манометры 161
6.5 Деформационные средства измерения давлений 162
6.5.1 Общая характеристика 162
6.5.2 Трубчато-пружинные деформационные манометры 163
6.5.3 Мембранные деформационные манометры 165
6.5.4 Сильфонные деформационные манометры 167
6.6 Электрические средства измерения давлений 169
6.6.1 Общая характеристика 169
6.6.2 Тензометрические манометры 169
6.6.3 Тепловые вакуумметры 171
6.6.4 Пьезоэлектрические манометры 172
6.6.5 Ионизационные вакуумметры 173
6.7 Грузопоршневые манометры 174

6.8 Дифференциальные манометры 176
6.8.1 Общая характеристика 176
6.8.2 Мембранные дифманометры 177
6.8.3 Дифманометры с вялой мембраной 178
6.8.4 Сильфонные дифманометры 179
6.8.5 Кольцевые дифманометры 180
6.8.6 Колокольные дифманометры 181
6.9 Электронные преобразователи давления 181
7 ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВОГРУНТОВ 184
7.1 Общая характеристика измеряемого параметра 184
7.2 Основы измерения влажности почвогрунтов 185
7.3 Классификация измерений влажности почвогрунтов 186
7.4 Термостатно-весовой метод измерения влажности почвогрунтов 187
7.5 Электрические средства измерения влажности почвогрунтов 189
7.6 Тензиометрические средства измерения влажности 189
7.7 Радиоизотопные (нейтронные) влагомеры 191
7.8 Кондуктометрические (омические) влагомеры 192
7.9 Электроёмкостные средства измерения влажности 194
7.9.1 Принцип измерения влажности почвы по её диэлектрической проницаемости 194
7.9.2 Техническая реализация способа измерения 195
7.9.3 Требования к проведению измерений 197
7.10 Способы установки датчиков в почву 198
7.10.1 Мобильный способ 198
7.10.2 Стационарный способ 199
7.11 Технологии измерения влажности в точечном объёме почвогрунта 201
7.11.1 Краткая характеристика методики измерений 201
7.11.2 Измерение при мобильном способе установки датчиков 202
7.11.3 Измерение при стационарном способе установки датчиков 202
7.11.4 Использование результатов измерений 203
7.12 Технологии измерения влажности в слое почвогрунта 204
7.12.1 Краткая характеристика методики измерений 204
7.12.2 Измерение при мобильном способе установки датчиков 204
7.12.3 Измерение при стационарном способе установки датчиков 206
7.12.4 Использование результатов измерений 208
7.13 Технологии измерения влажности в почвогрунтовом монолите 209
7.13.1 Краткая характеристика методики измерений 209
7.13.2 Измерение при мобильном способе установки датчиков 210
7.13.3 Измерение при стационарном способе установки датчиков 212
7.13.4 Использование результатов измерений 215
8 ИЗМЕРЕНИЕ АГРОМЕТЕОПАРАМЕТРОВ 218
8.1 Общая характеристика параметров 218
8.2 Измерение количества выпавших осадков 219
8.3 Измерение скорости воздуха (газов) 220
8.4 Измерение температур воздуха и почвогрунтов 221

8.4.1 Термометры расширения 221
8.4.2 Термометры сопротивления 223
8.4.3 Термоэлектрические термометры 224
8.4.4 Пирометры 224
8.5 Измерение влажности воздуха 225
8.5.1 Общая характеристика измеряемого параметра 225
8.5.2 Гигрометры 226
8.5.3 Психрометры 228
8.6 Измерение атмосферного давления 229
8.6.1 Общая характеристика измеряемого параметра 229
8.6.2 Барометры 230
8.7 Измерение параметров солнечного излучения 231
8.7.1 Общая характеристика измеряемых параметров 231
8.7.2 Средства измерения плотности потока солнечного излучения 233
8.7.3 Средства измерения альбедо 234
8.7.4 Средства измерения фотосинтетической активной радиации 234
9 ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН 236
9.1 Общая характеристика параметров 236
9.2 Измерение линейных размеров 239
9.2.1 Рулетки измерительные 239
9.2.2 Мерные колёса, курвиметры 241
9.2.3 Дальномеры 242
9.2.4 Тахеометры 244
9.3 Измерение площадей 246
9.3.1 Математический способ 247
9.3.2 Аналитический способ 247
9.3.3 Графический способ 247
9.3.4 Приборно-технический способ 247
9.3.5 Программно-компьютерный способ 249
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 250
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ОСНОВНЫХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ 251
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 253

ВВЕДЕНИЕ

Деятельность специалистов в сфере мелиорации и водного хозяйства связана с необходимостью применения профессиональных знаний и умений для проведения многих видов работ. Например, при выполнении предпроектных изысканий, проектировании, выполнении строительных работ, эксплуатации объектов и сооружений, организации работ по защите окружающей природной среды и т. п. В каждом случае, возникает потребность в решении следующих основных задач:

- определение значений величин и параметров, определяющих *природно-техническое состояние* исходного объекта мелиорации или водного хозяйства;
- определение значений величин и параметров, обеспечивающих *контроль и регулирование* технологических процессов и/или природоохранных мероприятий на объекте;
- определение значений величин параметров, обеспечивающих коммерческий и технологический *учёт* проведённых работ (произведённой продукции, оказанных услуг) и т. п.

Очевидно, что решение этих задач *невозможно* без *измерений*.

В связи с этим, целью изучения настоящего учебного курса является получение знаний и умений, связанных с проведением измерений на мелиоративных и водохозяйственных системах и объектах, грамотным использованием для этого соответствующих средств и методик. Это предполагает:

- изучение требований правовых и нормативных документов к измеряемым величинам, методикам, средствам и технологиям измерений, используемым при проведении измерений на мелиоративных и водохозяйственных системах и объектах;
- изучение методов измерений технологических параметров на мелиоративных и водохозяйственных системах и объектах;
- изучение принципов действия и конструкций средств измерений, используемых при проведении работ на мелиоративных и водохозяйственных системах и объектах;
- получение навыков выбора средств для проведения измерений на мелиоративных и водохозяйственных системах и объектах по их метрологическим и техническим характеристикам;
- получение навыков выбора технологий проведения измерений мелиоративных и водохозяйственных системах и объектах;
- получение навыков разработки и оформления проектно-эксплуатационной документации по метрологическому обеспечению мелиоративных и водохозяйственных систем и объектов.

В состав настоящего учебника входят главы, охватывающие весь перечень вопросов и задач, предусматриваемых учебным планом изучения дисциплины: цели и задачи измерений на мелиоративных и водохозяйственных системах и объектах; требования к проведению этих измерений; требования к используемым для проведения измерений средствам и методикам.

Кроме этого, отдельные главы учебника целенаправленно посвящены изучению средств и методик измерений параметров, наиболее часто контролируемых на мелиоративных и водохозяйственных системах и объектах: уровней и глубин воды, расходов и объёмов воды; давлений; водно-физических свойств почвогрунтов; агрометеопараметров, геометрических размеров.

Вместе с тем, следует отметить, что изучение дисциплины предполагает широкое использование знаний, ранее полученных при изучении других дисциплин. Поэтому в состав учебника сознательно не включены (или включены фрагментарно) сведения о методах и средствах измерений, изучаемых в составе таких дисциплин как гидрометрия, климатология, геодезия, эксплуатация и мониторинг систем и сооружений и др.

Кроме этого, следует отметить и то, что практическое использование знаний, связанных с проведением измерений немыслимо без выполнения требуемых условий их проведения. Важным является соблюдение данных условий и требований к количественным и качественным показателям контролируемых параметров и т. п. В связи с этим, в тексте учебника приведено большое количество ссылок на содержащие эти требования правовые, нормативные, справочные и другие документы.

Для более эффективного усвоения материала учебник иллюстрирован большим количеством схем, рисунков, фото, пиктограмм. Отдельно акцентировано внимание на особенности, достоинства и недостатки изучаемых средств и технологий измерений. Даны советы по применению полученных знаний на практике.

Приведенные в учебнике примеры построены на основе реальных задач, решаемых на мелиоративных и водохозяйственных системах. Это дает обучающимся возможность получить реальное представление о том, каким образом решаются задачи контроля и измерений в производственных условиях, а также о техническом оснащении современных мелиоративных и водохозяйственных систем и объектов, способах и средствах повышения эффективности их работы.

Учебник предназначен для аспирантов, обучающихся по направлениям 35.06.01 «Сельское хозяйство», 08.06.01 «Техника и технологии строительства». Может быть полезен аспирантам и магистрантам, обучающимся по другим направлениям подготовки, а также научно-техническим работникам, работающим в сфере мелиорации и водного хозяйства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведённый в данном учебнике материал является первым шагом обобщения знаний, связанных с организацией и проведением измерений на мелиоративных и водохозяйственных системах.

Вопросы, рассмотренные в учебнике, ориентированы, главным образом, на практическое использование знаний в области измерений на мелиоративных и водохозяйственных системах и объектах. Поэтому за рамками изложенного в нём материала остался целый ряд вопросов теоретического характера, а также вопросов, имеющих специализированный характер и требующих более глубокого изучения. К ним относятся, например, вопросы проведения измерений на конкретных устройствах и сооружениях, вопросы использования средств измерений в структуре систем автоматического регулирования и управления, вопросы использования измерений при решении задач мониторинга, вопросы технико-экономического обоснования выбора тех или иных средств и технологий измерений и т. п.

С учётом непрерывного развития теории и практики создания природно-технических систем, новых средств измерений и автоматизации, более совершенных систем управления и т. п., изложенные в учебнике материалы потребуют, при их последующем практическом использовании, расширения, углубления и пополнения.

Следует также отметить, что многие вопросы изучаемой дисциплины не являются статичными, раз и навсегда определёнными. Они динамично изменяются и развиваются в соответствии с условиями развития общества и научно-технического прогресса. Особенно это касается вопросов применения компьютерных средств и технологий для решения задач создания и эксплуатации мелиоративных и водохозяйственных систем и объектов, а, значит, – и используемых на них методов и средств измерений.

Для более детального изучения отдельных вопросов, изучаемых дисциплиной, а также их практического применения в работе приводится перечень основных документов, содержащих сведения и нормативные требования, связанные с проведением измерений.

Учебное издание

Васильев Сергей Михайлович
Коржов Виктор Иванович
Коржов Иван Викторович

СРЕДСТВА И МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ НА МЕЛИОРАТИВНЫХ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

Подписано в печать 28.05.2019. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 14,78. Тираж 500 экз. Заказ № 27

ФГБНУ «РосНИИПМ»
346421, Ростовская область, г. Новочеркасск,
Баклановский проспект, 190

Отпечатано с готового оригинал-макета
ИП Белоусов А. Ю.
346421, Ростовская область, г. Новочеркасск,
Баклановский проспект, 190 «Е»