Модернизация управления орошением - методика MASSCOTE

ПУБЛИКАЦИИ
ФАО
ПО
ИРРИГАЦИИ И
ДРЕНАЖУ

63

Картирование системы и услуг для различных методов эксплуатации канала

Даниэль Рено,
ФАО, Отдел развития земельных и водных ресурсов

Тьерри Факон,
Региональный офис ФАО по странам Азии и Тихого океана,
Управление земельными и водными ресурсами

Робина Вахадж,
консультант ФАО

ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ
Рим, 2007г.

Использованные определения и предоставленные материалы не выражают мнение ФАО ООН в отношении статуса рассматриваемой страны, территории, города или площади под чьей-либо юрисдикцией, или в отношении их границ.

ISBN 978-92-5-105716-2

Все права защищены. Воспроизведение или распространение материалов этого информационного продукта в образовательных или прочих некоммерческих целях разрешены без предварительного письменного разрешения владельца прав при условии полного указания источника. Воспроизведение материалов данного информационного продукта для продажи или прочих коммерческих целей запрещено без письменного разрешения владельца прав.
Заявки на такое разрешение направляются:
Начальнику Подразделения политики и поддержки издательской деятельности Издательского отдела по адресу:
Publishing Policy and Support Branch, Information Division, FAO,
Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy
или по эл.почте: copyright@fao.org

Содержание

Содержание 3
Перечень рисунков 7
Перечень боксов 9
Перечень фотографий 10
Перечень таблиц 12
Выражение признательности 14
Предисловие 15
Перечень сокращений и обозначений 17
Краткое изложение 19

ГЛАВА 1 20

ВВЕДЕНИЕ 20
Цель 20

Необходимость улучшить технические характеристики
И обратить внимание на сложность современной эксплуатации каналов 22
Отделение эксплуатации от технического обслуживания 23
Неправильное представление об эксплуатации канала 23
Овладение мастерством управления каналом 23
Управление, ориентированное на предоставление услуг 25

ГЛАВА 2 28

MASSCOTE 28
Методология разработки плана модернизации управления орошением 28
Пошаговый план 29
Стадии метода MASSCOTE 31
Важные особенности MASSCOTE 39
MASSCOTE, ПЭО и эталонный анализ (BENCHMARKING) 39

ГЛАВА 3 41

Работа канала – цели и организация 41
Цели эксплуатации 42
Функции сооружений на канале 43
Основные типы систем каналов: с затворами и без затворов 47
Определение контролируемой водной переменной 48
Тип контроля: по верхнему и нижнему бьефу 48
Виды управления 49
Сооружения систем с затворами 50
организация эксплуатации ирригационных сооружений 52
Одно сооружение: водоотвод 53
Один регулятор 54
Операции на уровне системы 56
От распределения воды к плану эксплуатации 57
Варианты запланированных/прогнозируемых операций 59
Процедура управления с фиксированной частотой при установившейся
практике эксплуатации 61
Эксплуатация в аварийных ситуациях 62
Мониторинг и оценка 62
Наполнение каналов в начале ирригационного сезона 62
Закрытие канала в конце сезона 62
Наполнение каналов после короткого прерывания в течение сезона 63
Деление на единицы управления/эксплуатации 63

ГЛАВА 4 66

Оценка ПЭО 66

Основные элементы диагностики и оценки 66
Оценка ирригационных проектов - методы, средства и процедуры 68
Процедура экспресс оценки 69
Оценка физических объектов инфраструктуры 71
Оценка управления проектами 72
Оценка управления водными ресурсами 72
Развитие потенциала для диагностики и оценки 74
Пример применения пэо 75

ГЛАВА 5 80
Картирование характеристик оросительной системы 80

Основные элементы, характеризующие пропускную способность и функциональность системы 80
Оценка пропускной способности системы 84
Пропускная способность водотока 84
Пропускная способность и продолжительность добегания стока 84
Затопление 85
Пропускная способность водозаборного сооружения 87

Деление потока при пропорциональном распределении 89
Регулирование уровня воды 90

Аккумулирующая способность 90
Измерение параметров потока в канале 91
Минимизация потерь воды 94
Приспособление к фильтрации/ подпитка подземных вод 95
Технические средства для повторного использования вод 96
Борьба с наносами 96
Безопасность 96
Транспорт и дороги 97
Средства связи 98

ГЛАВА 6 99
Картирование режима работы ирригационных систем - чувствительность 99

Поведение системы при нарушении режима 99
Анализ чувствительности 100
Чувствительность водзаборного сооружения 101
Чувствительность регулятора 107
Точность при оценке чувствительности 111
Использование показателей чувствительности 111
Чувствительность гидроузла или гидравлическая гибкость 112
Чувствительность участков 114
Картирование чувствительности ирригационных сооружений 116

ГЛАВА 7 119

Картирование нарушений функционирования 119
Работа канала во избежание нарушения устойчивости 119
Как нестабильность возрастает вниз по течению 119

Проблемы неточности, неопределенности и нестабильности 120
Неизбежный характер колебаний стока 120
Эксплуатация при запланированных изменениях и непредвиденных нарушениях 122

Там, где невозможно избежать ошибок 122
Другие источники нарушений 123
Пропорциональные системы 124

Измерение колебаний стока 124
Согласованная увязка чувствительности и колебаний стока 124
Картирование и управление колебаниями стока 126

ГЛАВА 8 129

Водохозяйственные сети и водоучет 129
Картирование водохозяйственных сетей 129
Водоучет для управления водными ресурсами 130
Оконтуривание физических объектов в пределах зоны обслуживания 131
Установка временных границ 132
Составляющие водного баланса 132
Доверительный интервал 136
Высокая неопределенность невязки баланса 137
Риск двойного учета 138
Использование водного баланса на уровне управления 138
Улучшение процесса водоучета 141
Качество воды 141

ГЛАВА 9 143

Картирование эксплуатационных расходов в зависимости от предлагаемых услуг 143
Картирование характеристик затрат и результатов 143
Проблемы при картировании эксплуатационных расходов 145
Анализ тарифов 146

Зависимость между платой за услуги и предоставлением услуг
по данным различных пэо в азии 147
Анализ бюджета органов управления 149
Общий анализ затрат на уэто 151
Услуги по подаче подземных вод 152
Анализ затрат по вариантам для повышения эффективности затрат
и улучшения обслуживания 153

ГЛАВА 10 156

Картирование услуг для пользователей 156
Особенности управления, ориентированного на обслуживание 156

Предоставление услуг фермерам 159
Учет неточности 160
Оказание услуг по видам оросительной системы 163

Многоцелевое использование воды 165
Картирование спроса на услуги 168
В контексте управления водными ресурсами 170
Картирование видения схемы 172

ГЛАВА 11 174

Построение карт административных подразделений 174
Подход/модель управления 174
Территориальная дифференциация услуг и управления 175
Обоснование разделения: группировка и дробление 177
Критерии разделения 178
Разделение по критерию типологии ирригационной системы 179
Группирование на магистральной системе и разделение по местным организациям 180
Дилемма между компактностью и принадлежностью каналов 180
Процесс деления 181
Пример деления на административные подразделения: smis, непал 182

ГЛАВА 12 184

Картирование потребности в эксплуатации 184
Три фактора потребности в эксплуатации 184
Служба доставки воды, эксплуатационные качества и контроль за стоком 185
Сфера потребности в обслуживании 187
Область нарушений 188
Область чувствительности 189
Качественный подход к картированию потребности в эксплуатации канала 190
Количественное представление требований к эксплуатации канала 190
Управление колебаниями стока 192
Картирование потребности в эксплуатации: пример 193

ГЛАВА 13 198

Совершенствование работы подразделений 198
Другой цикл masscote для каждой единицы управления 198
Виды усовершенствований 199
Цели усовершенствований 199
Методы усовершенствования 200
Совершенствование управления водой 202
Совершенствование контроля воды 202
Повышение рентабельности 203
Совместное использование поверхностных и подземных вод 203
Интегрированное управление водой 203

ГЛАВА 14 204

Объединение вариантов управления, ориентированного на обслуживание 204
Укрупнение обоснования подразделений на верхнем уровне 205
Достижение компромисса между затратами и обслуживанием 205
Договора на обслуживание 206

ГЛАВА 15 208

Переход к плану модернизации, мониторингу и оценке 208
План модернизации 208
Мониторинг и оценка 209

Список литературы 211

Приложение 1 213
Приложение 2 225
Приложение 3 243

Перечень рисунков

Рис.1 MASSCOTE: картирование систем и услуг для эксплуатации канала.....21
Рис. 2 Сложность различных стратегий контроля на стадиях проектирования сооружения и эксплуатации.....25
Рис. 3 Метод управления, ориентированный на обслуживание 27
Рис. 4 Стадии метода MASSCOTE 31
Рис. 5 Встроенный характер ПЭО и MASSCOTE 39
Рис. 6. Схема принципов регулирования по верхнему и нижнему бьефам 48
Рис. 7 Открытие водоотвода регулирует забираемый расход.....52
Рис. 8 Затвор регулятора регулирует уровень воды в верхнем бъефе 52
Рис. 9. От спроса на воду к плану водораспределения до плана эксплуатации 58
Рис.10. Схема канала в виде набора водоемов 58
Рис.11. Нисходящее распространение волны по каналу.....59
Рис.12. Иллюстрация восходящей процедуры эксплуатации по блокам 60
Рис.13. Варианты эксплуатации.....61
Рис.14. Схема канала, оборудованного сбросами 65
Рис 15 Концептуальная основа Процедуры экспресс оценки 71
Рис 16. Функции услуг водоподачи на уровне бассейна и массива.....73
Рис 17 Схема-карта проекта SMIS, Непал 76
Рис.18 Распространение по убывающей изменения расхода вдоль канала 85
Рис.19 Оценка длительности добегания стока и скорости изменений вдоль Левобережного Гатапрабахского канала (ЛБГК) по ряду наблюдений за расходом.....85
Рис 20 Условия пропуска потока поверху и понизу на ирригационном сооружении 89
Рис.21 Зависимость Q=f(H) для сооружений с пропуском расхода понизу и поверху 92
Рис.22 Ззапас над горизонтом в канале.....97
Рис 23 Анализ вход-выход 101
Рис 24 Вход и выход для водозаборных сооружений.....102
Рис.25 Режим работы водоотвода как функция колебания глубины воды 102
Рис 26 Чувствительность водоотводящего сооружения как функция напора потока (поверху регулятора и понизу) 107
Рис 27 Вход и выход для поперечного регулятора 107
Рис 28. Изменение расхода в магистральном канале и изменение уровня воды 107
Рис 29 Чувствительность смешанного поперечного регулятора в зависимости от уровня воды и высоты гребня.....111
Рис 30 Чувствительность поперечных регуляторов в SMIS, Непал 111
Рис 31 Гидравлическая гибкость вдоль магистрального канала SMIS, Непал Indicator - показатель.....114
Рис 32 Распространение колебаний при различных гибкостях.....115
Рис 33 Показатель работы канала, регулирование и чувствительность.....115
Рис 34 Пропорциональность вдоль магистрального канала у основных точек распределения, SMIS, Непал.....118
Рис 35 Моделирование изменений расхода вдоль магистрального канала SMIS у основных распределительных точек 118
Рис 36 Пропорциональность вдоль канала второго порядка Рамгани, SMIS 118
Рис 37 Среднее отклонение расхода каждые два часа по ЛГК, Хариф 2006 г. 120
Рис 38 Гидрограф в различных местах ЛГК, Хариф 2006 г. (июль-октябрь).....120
Рис 39 Анализ поглощения колебаний по двум системам каналов.....125
Рис 40. Колебания уровня воды на ПР 4, Джумка Майнор, сезон дождей.....127
Рис 41. Изменение уровня воды на ПР 4, Джумка Майнор, в зимний период 127
Рис.42 Подход к системе водоучета и физический масштаб, на котором можно применять водоучет 131
Рис.43 Водные потоки, которые необходимо учитывать в сельском хозяйстве.....133
Рис.44 Эталонная ET, эвапотранспирация культуры при стандартных (ET_c) и нестандартных ($ET_{c\ adj}$) условиях (см. публикацию ФАО 56 – рисунок на русском).....134

Рис.45. Пример использования гидромоделирования для имитации подземных потоков (справа) после калибровки по уровням подземных вод (слева), Тараскон, Франция 136
Рис.46 Невязка баланса для бокового притока подземных вод на общую подкомандную площадь ЛГК 137
Рис.47 Водный баланс проекта Киринди Ойя в Шри-Ланке 140
Рис 48 Номинальная кривая стоимости услуг (затраты-результаты) 144
Рис 49 Пример оплаты за различные услуги в ирригационных службах Марокко (Аит Кади 2002г.) 148
Рис 50 Плата за ирригационные услуги в зависимости от услуг по подаче воды в различных ирригационных проектах 148
Рис 51 Разбивка бюджета для Су-Чианьской водохозяйственной компании , Вьетнам Источник: Дэвидсон, Мэлано и Джордж, 2004г. 150
Рис 52 Оценка различных затрат / услуг, оросительная система Сансари Моранг (SMIS). Непал 152
Рис 53 Аспекты оказания услуг: распределение, составление графиков и поставки 160
Рис 54 Иллюстрация совместимости допустимого отклонения/погрешности при водоподаче 161
Рис 55 Гибкость против сложности эксплуатации для различных режимов работы и планировок систем 164
Рис 56 Пример разнообразных услуг по подаче воды с равномерным требованием для системы, специализирующейся на рисе, Шри-Ланка 171
Рис 57 Карта с указанием трех видов спроса на услуги по подаче поверхностных вод, вытекающих в результате загрязнение мышьяком ирригационной системы Нарьяни, Непал 172
Рис.58. Варианты разделения: одна организация, обслуживающая многочисленные группы и работающая на базе ИУВР 177
Рис.59 Варианты разделения: организация при магистральной системе, обслуживающая организации второго уровня, включающие несколько групп. 177
Рис.60 Пример совмещенной группировки магистрального канала в одно подразделение и разделения на 11 местных организаций управления, ЛБК. 181
Рис.61 Административные подразделения Водохозяйственного управления территории Гохтки в Синдхе, Пакистан 181
Рис.62 Структура управления SMIS Магистральный канал Чатра = главная организация ЦККВП 182
Рис.63 Предлагаемое деление SMIS на семь подразделений второго уровня 183
Рис 64 Подводящее сооружение как связующее звено между обслуживанием и управлением 186
Рис 65 Соответствие требованиям и эффективность, их связь с допустимыми отклонениями 187
Рис 66 Функциональная связь между уязвимостью, чувствительностью и характеристиками обслуживания 191
Рис 67 Функциональная связь между уязвимостью, колебаниями стока и режимами эксплуатации 193
Рис 68 Применение метода потребностей для картирования эксплуатации канала на рисовой системе в Шри Ланке 193
Рис 69 Частота регулировки затворов на поперечных шлюзах-регуляторах, в среднем за 6 сезонов, RBMC, KOISP 195
Рис 70 Частота регулировки водоотводов-водовыпусков, средняя за 6 сезонов, на RBMC, KOISP 195
Рис 71 Сезонное стандартное отклонение уровня воды в верхнем бъефе водоотводов-водовыпусков, максимум, минимум и среднее за 6 сезонов, RBMC, KOISP 196
Рис 72 Изменение расхода в RBMC, KOISP, и коэффициент вариации 196
Рис.73 Схема подразделения в пределах ПЗ 198
Рис 74 Проверка последовательности управления водой, услуг для подразделений и эксплуатации магистральной системы (включая дренаж) 205
Рис 75 Процесс по достижению компромисса в обслуживании 206
Рис 76 Этапы работы с каналами на пути к модернизации 208

Перечень боксов

бокс 1 26
бокс 2 87
бокс 3 100
бокс 4 103
бокс 5 169

Перечень фотографий

Фото 1 Пропорциональный фиксированный вододелитель, вид с верхнего бъефа, SMIS, Непал 45
Фото 2 Поперечные регуляторы со скользящими плоскими затворами, SMIS, Непал 45
Фото 3 Сооружение со скользящими плоскими затворами (водосброс), SMIS, Непал. 46
Фото 4 Фиксированный боковой водослив с поперечным отражателем, Махараштра, Индия 46
Фото 5 Наблюдательная станция с дистанционным терминалом, Марокко. 47
Фото 6 Автоматический затвор для регулирования по верхнему бьефу (затвор типа AMIL) 50
Фото 7 Регулируемое водозаборное сооружение (водовыпуск). 51
Фото 9 Шлюз- регулятор, оборудованный центральными сегментными затворами и боковыми водосливами, Махавели Б, Шри-Ланка 55
Фото 10 Настройка степени открытия сегментного затвора на шлюзе- регуляторе, Пакистан 56
Фото 11 Неправильно работающий шлюз- регулятор на магистральном канале в провинции Синдх, Пакистан – сегментные затворы полностью блокируются в открытом состоянии, поскольку они не могут закрыться из-за проблем при проектировании. 81
Фото 12 Неправильно функционирующий шлюз- регулятор (отсутствие ходового винта)на канале второго порядка, SMIS, Непал. 82
Фото 13 Оборудованное затвором сооружение, которое крайне сложно эксплуатировать – требуется два оператора, чтобы произвести настройку затвора - Синдх, Пакистан 83
Фото 14 Пропускная способность выходит далеко за пределы, Тадла, Марокко 83
Фото 15 Уменьшение пропускной способности канала из-за отложения наносов, Фулели, Пакистан 85
Фото 16 Водовыпуск в условиях подтопления со стороны нижнего бьефа 86
Фото 17 Водовыпуск в условиях свободного движения потока в нижнем бьефе 88
Фото 18 Нарушение работы пропорционального вододелителя (Непал) с различными условиями в нижнем бьефе: свободное движение воды (главная ветка слева) и движение воды в условиях подпора (маленькая ветка справа). Функциональная способность этого сооружения про порционально делить сток находится под угрозой. 90
Фото 19 Возможность считывания показаний на рейке: нефункциональный измерительный прибор далеко от берегов канала и не дающий возможности считывания показаний, Синд, Пакистан. 93
Фото 20 Возможность проведения измерения: затопленный подводящий канал без критической секции дает неточные измерения на ЛГК, штат Карнатака в Индии. 93
Фото 21 Диспетчер, использующий старую систему связи на канале Нара, Синдх (Пакистан) 97
Фото 22 Пример высокочувствительного поперечного регулятора – напор около 2 м, следовательно, показатель чувствительности равен 4. 109
Фото 23 Смешанный поперечный регулятор с центральными затворами под водой и боковыми водосливами, Таиланд.

Функционирование регулятора является
неправильным – вода должна переливаться поверх гребня. 110
Фото 24 Сток, наблюдающийся в однодамбовом канале
во время сезона дождей, KOISP, Шри-Ланка. 121
Фото 25 Хвостовой водосброс на канале, оснащенном
водоотводами (успокоителями), Тадла, Марокко. 123
Фото 26 Нерегулируемый водовыпуск непосредственно
из магистрального канала в качестве источника
колебаний стока, Синд, Пакистан. 124
Фото 27 Подача близко залегающих подземных вод
на рисовые поля, Непал, ...153
Фото 28 Голова канала второго порядка, оснащенная
измерительным устройством (водомером) с очень
низкой точностью (Непал). 161
Фото 29 Рыболовство в водохранилище, Шри-Ланка 166
Фото 30 Хозяйственно-бытовое использование воды,
подпитка естественных водотоков через сеть
поверхностных каналов (Гхатапрабха, Индия). 167
Фото 31 Сооружение боковых водосливов на регуляторах,
оснащенных затворами 203

Перечень таблиц

Таблица 1 Структура MASSCOTE 30
Таблица 2 Субэлементы – критерии и варианты 36
Таблица 3 Типы эксплуатации, цели и задачи 44
Таблица 4 Пример таблицы по эксплуатации сооружения 54
Таблица 5 Пример правил для настраиваемого регулятора 55
Таблица 6 Примеры внутренних и внешних индикаторов 68
Таблица 7 Внутренние индикаторы: отклонения от ПЭО в SMIS 78
Таблица 8 Критерии, связанные с возможностью и функциональностью системы 81
Таблица 9 Типология сооружений для контроля воды и регулирования расхода по гидравлическим характеристикам в оросительных системах 88
Таблица 10 Потери на фильтрацию для различных типов почвогрунтов 95
Таблица 11 Относительное изменение расхода водозабора при различных значениях чувствительности и колебаниях уровней воды 103
Таблица 12 Чувствительность при транспортировке воды – цифры и показатели 105
Таблица 13 Обзор показателей чувствительности водовыпускных регуляторов 106
Таблица 14 Изменение уровня воды при различных значениях чувствительности и колебаниях расхода 108
Таблица 15 Обзор показателей чувствительности регулятора 110
Таблица 16 Колебания расхода в водовыпускных регуляторах вдоль магистрального канала при изменении уровня воды на 0.1 м 112
Таблица 17 Эксплуатационные правила по допустимым отклонениям и частоте регулирования в зависимости от чувствительности поперечного регулятора на магистральном канале оросительной системы SMIS в Непале 112
Таблица 18 Пример требуемой информации, оросительная система SMIS, Непал 117
Таблица 19 Колебания стока - обзор значимых характеристик для эксплуатации и возможных ответных реакций 126
Таблица 20. Зарегистрированная точность контроля по МКЧ и сопутствующие колебания расхода 128
Таблица 21 Территориальные границы различных зон 131
Таблица 22 Соразмерность УЭТО предоставляемым услугам, предварительная оценка 146
Таблица 23. Источники информации и данных о соотношении средств – результатов 146
Таблица 24 Плата за ирригационные услуги по сельхозкультурам, Махараштра, Индия, 2004-05 гг. 147
Таблица 25 Разбивка годового бюджета. канал Сант-Жюльен. Франция. 2004г. 150
Таблица 26 Разбивка эксплуатационных затрат по уровням инфраструктуры в ирригационной системе Сансари Моранг (SMIS) в Непале 151
Таблица 27 Требования на энергию при водоподаче из подземных источников, Гхатапрабхский ирригационный проект в Индии 153
Таблица 28 Оценка затрат на эксплуатацию и повышение качества услуг в Нарьянской ирригационной системе в Непале 155
Таблица 29 Потоки услуг 157
Таблица 30 Определения методов составления графиков по подаче воды 162
Таблица 31 Пример целей и допустимых отклонений по услугам водоподачи для фермеров 163
Таблица 32.Типы целей и услуг для различных видов водопользования 168
Таблица 33 Предполагаемая модель управления, применяемая в MASSCOTE, для крупной ирригационной системы 176
Таблица 34 Ирригационные подсистемы, определенные в KOISP, и предлагаемые стратегии эксплуатации (Шри-Ланка) 179
Таблица 35 Уровни управления на ЛБК 180
Таблица 36 Существующая организационная структура SMIS 182
Таблица 37 Суммирование основных показателей для оценки потребности в эксплуатации канала 190

Таблица 38 Примеры чувствительности, допустимых изменений и точности регулирования 192
Таблица 39 Распределение ресурсов и трудозатрат в RBMC и KOISP, Шри Ланка 194
Таблица 40 Классификация уровней требований к эксплуатации в KOISP, Шри Ланка 197
Таблица 41 Проблемы мощностей и предлагаемые варианты по магистральному каналу ЛГК 201
Таблица А1.1 Стандартный диапазон скорости в оросительных каналах 217
Таблица А1.2 Значения коэффициента расхода К (n), взятые из литературы 217
Таблица А1.3 Типы ирригационных сооружений 220
Таблица А2.1 Условия потока и контрольные точки, которые рассматриваются в расчетах....227
Таблица А2.3 Классификация чувствительности для водовыпуска 229
Таблица А2.4 Сводная таблица показателей чувствительности 242
Таблица А3.1 Информация по плавному показателю I-1....249
Таблица А3.2 Обзор рабочих листов, которые будут составляться как часть ПЭО....251
Таблица А3.3 Солеустойчивость всходов различных культур 255
Таблица А3.4 Коэффициенты испарителя (*Kp*) класса А для различных случаев установки прибора и окружающих условий, а также различных уровней средней относительной влажности (Rh) и скорости ветра 257
Таблица А3.6 Определение эталонных технических показателей: показатели водного баланса 269

Выражение признательности

Методология MASSCOTE явилась результатом слияния нескольких направлений работы. Наиболее важные из них включают:

- плодотворные работы по модернизации орошения, начиная с 90-х, которые выполнялись ФАО, Международным институтом управления водными ресурсами (IWMI), Тренинговым и научно-исследовательским центром по ирригации (ITRC), Всемирным банком и Международной программой по технологиям и исследованиям в области ирригации и дренажа (IPTRID);
- многочисленные Процедуры экспресс-оценок (ПЭО), выполненные ФАО с 2000 года в Азии для оценки работы оросительных систем и выявления ограничений и возможностей для улучшения этих систем;
- исследование, проведенное совместно с Департаментом ирригации Непала в Тераи, где методология MASSCOTE тестировалась на двух ирригационных проектах;
- исследования, проведенные совместно с персоналом Карнатака Ниравари Нигам Лимитед (KNNL) в Карнатаке (Индия), где методология MASSCOTE была уточнена и доработана.

Авторы хотят выразить свою благодарность всем лицам и организациям, которые внесли вклад в развитие подхода MASSCOTE.

В разработке этого подхода и данного документа также сыграли большую роль Б.Фриман (B.Freeman), консультант ФАО, который также выполнил техническое редактирование документа, и Г. ван Халсема (G. van Halsema), инженер отдела ФАО по освоению и управлению водными ресурсами (NRLW), который оказывал помощь и предоставлял свои замечания на разных стадиях подготовки документа.

Авторы также выражают благодарность консультанту П.Ваалевийну (P.Waalewijn) и Д.Хермансу (L.Hermans) из NRLW за их вклад на начальных стадиях разработки документа.

В 2005 году была создана комиссия по технической оценке для обеспечения контроля качества технического содержания, а также тщательного обоснования методологии. Комиссия состояла из следующих экспертов в области управления и модернизации орошения: проф. П.Анкум (P.Ankum) из Голландии, Ч. Барт (C.Burt) из ITRC, США, М.Бартон (M.Burton) из Великобритании, секретарь Международной Комиссии по ирригации и дренажу М.Гопалакришнан (M.Gopalakrishnan) из Индии, И.Макин (I.Makin) из Азиатского банка развития, Э.Плюскеллек (H.Plusquellec) и Х.Тюррал (H.Turral) из IWMI. Нам бы хотелось выразить глубокую благодарность этим экспертам за их поддержку и ценные замечания.

Поскольку управляющие ирригационных систем представляют целевую аудиторию этого документа, для обеспечения его доступности для понимания были также организованы неформальные консультации с теми, кто отвечает за орошение. Особая благодарность тем из них, кто внес вклад в тестирование MASSCOTE, его внедрение на поле, и кто участвовал в рассмотрении документа: Г.Годалиядда (G.Godaliyadda) из Шри-Ланки, Э.Рулан (H.Roullin) из Франции, С.Сиджапати (S.Sijapati) из Непала, М.Г.Шивакумар (M.G.Shivakumar), К.Г.Махеш (K.G.Mahesh), М.К.Саджан (M.K.Sajjan) из KNNL из Индии и координатор национальной программы (ФАО) П.С.Рао (P.S.Rao) из Индии.

Особую благодарность авторы выражают Л.Чоку (L.Chalk) из NRLW за форматирование документа, Ж.Плюммер (J.Plummer) за редактирование окончательного документа и С.Морини (S.Morini) за иллюстрирование прилагаемых CD-ROM.

Предисловие

Методология MASSCOTE разработана в помощь техническим специалистам, руководителям и профессионалам в области ирригации, занимающимся трудной задачей модернизации и переоснащения управления системами оросительных каналов от средних и до крупных.

В то время как большинство специалистов по ирригации, политиков, финансирующих организаций и специалистов-практиков осознают настоятельную необходимость коренных изменений в управлении орошением, немногие знают, как это сделать на практике. Несмотря на заслуживающие внимания обязательства, основанные на предпринимаемых усилиях и возможностях, многие проекты по модернизации провалились, а институциональные реформы в орошении не дали ожидаемых результатов из-за невнимания к деталям. В Азии, касающаяся более 30 оросительных систем программа ФАО по региональной модернизации орошения, в качестве главной причины печальных результатов указывает на недостаточное внимание к эксплуатации каналов.

Орошение остается сегодня и останется в будущем средством борьбы за продуктовую безопасность в сельских районах. Однако, существенный прогресс в направлении к более продуктивному сельскому хозяйству и более состоятельным сельскохозяйственным системам до сих пор находится в процессе разработки. В то же время, наблюдается все большая сосредоточенность на комплексном использовании воды в целях улучшения условий существования, на необходимости охраны окружающей среды для устойчивого развития и на использовании водных ресурсов. В условиях увеличения водного дефицита и обострения конкуренции за доступные водные ресурсы между различными секторами экономики ожидается, что орошаемое сельское хозяйство должно производить «больше с меньшими затратами» на основе как воды, так и финансирования, высвобождая, таким образом, ресурсы (воду и деньги) для других целей.

Несмотря на увеличивающиеся сложности и меняющуюся ситуацию с орошением, подготовка инженеров-ирригаторов все еще находится на том же традиционном уровне – их готовят только для проектирования и строительства каналов, но не для управления оросительными системами. Существует лишь очень небольшое количество учебных центров и университетов (и это главным образом в развитых странах), обучение в которых ориентировано на обслуживание управления орошением и на современные способы эксплуатации каналов. Обычно предполагается, что специалисты по орошению самостоятельно изучают вопросы, связанные с тем, как справляться с проблемами по усовершенствованию эксплуатационных характеристик, по многоцелевому использованию воды, по экологическим требованиям, по низким закупочным ценам на сельхозпродукцию, по общему использованию и т.д. В основном, в условиях, когда управление становится все более сложным, они остаются недостаточно подготовленными и с ограниченными возможностями.

Модернизация орошения часто понимается неправильно и ассоциируется исключительно с высокими технологиями или дорогостоящей автоматизацией. Однако, по существу, современное управление орошением направлено на удовлетворение потребностей сегодняшних пользователей при использовании наилучшим образом доступных ресурсов и технологий, а также на предвидение будущих недостатков схемы. Как перевести это в практические эффективные технические решения остается серьезным вопросом. Как говорят, «чем дальше в лес, тем больше дров» (или «Дьявол – в деталях»), но парадокс заключается в том, что многих не привлекает «выколачивать дьявола». Чем больше споров в мире по поводу воды, тем меньше руководителей,

вооруженных знанием практических решений и средств, чтобы реагировать на сложные условия и потребности.

Методика MASSCOTE является попыткой преодолеть этот парадокс и помочь руководителям обратить серьезное внимание на современные проблемы, недостатки и вызовы. Отправным моментом является эксплуатация каналов, но сферой – модернизация, а целью – содействие управлению, ориентированному на обслуживание, направленное на эффективность использования финансовых средств, воды и окружающей среды.

Методология использует многие программы по модернизации, в которых ФАО участвовала в последние годы, в основном через программы обучения (курсы обучения ПЭО и MASSCOTE). За последнее десятилетие ФАО подготовила более 500 инженеров в Азии. Поэтому с определенностью можно сказать, что представленная здесь методика в значительной степени разработана в тесном сотрудничестве с руководителями в области орошения, которые вероятно будут основными пользователями этого продукта.

MASSCOTE пытается стимулировать критическое отношение инженеров к диагностированию и оценке затруднений, ограничений и возможностей, и к разработке последовательной стратегии по модернизации. Методология разрабатывалась поэтапно с целью упростить сложности, трансформируя их в несложные и простые элементы. Они затем использовались в рекурсивном процессе, ведущем постепенно к внедрению нового управления и усовершенствований в эксплуатации каналов для того, чтобы содействовать движению в направлении более эффективного управления водой и усовершенствованного водораспределения.

Английское слово mascot означает объект, личность или животное, приносящее удачу, главным образом, его хранили как символ организации, такой как спортивная команда, и оно происходит от французского слова *mascotte*. Авторы надеются, что для достижения успеха в деле модернизации орошения посредством управления, ориентированного на обслуживание, необходима хорошая организация, хорошая команда, а также немного удачи – вот почему необходим MASSCOTE.

Эта публикация дополнена двумя компакт-дисками, содержащими обучающий материал и техническую документацию по ключевым темам управления водой и орошением, включая отдельные версии MASSCOTE на арабском, китайском и французском языках.

Перечень сокращений и обозначений

НМУ	Ниже максимального уровня (в канале)
ПЗ	Подкомандная зона
ДИ	Доверительный интервал
МКЧ	Магистральный канал Чатра
МЭК	Методика эксплуатации канала
ПР	Поперечный регулятор
КВ	Коэффициент вариации
РХВ	Расходящийся водослив
DOI	Министерство ирригации
ET	Эвапотранспирация
ETc	Эвапотранспирация культуры
ETo	Эталонная эвапотранспирация
F	Число Фруда
F	Гидравлическая упругость
ФЧ	Фиксированная частота
НГВ	Номинальная глубина воды в канале
МНУ	Максимальный нормальный уровень воды в канале
g	Ускорение силы тяжести
ЛГК	Левобережный Гатапрабхский канал
H	Напор
h	Уровень воды
IPTRID	Международная программа по технологиям и исследованиям в области ирригации и дренажа
ITRC	Тренинговый и научно-исследовательский центр по ирригации (Калифорнийский политехнический университет)
IWMI	Международный институт управления водными ресурсами
ИУВР	Интегрированное управление водными ресурсами
Kc	Коэффициент культуры
KOISP	Проект оросительной системы Киринди Ойя
Ks	Коэффициент водного стресса
LBO	Левый берег старый
ВШП	Водослив с широким порогом
M&O	Мониторинг и оценка
MASSCOTE	Картирование системы и услуг для различных методов эксплуатации канала
УЭТО	Управление, эксплуатация и техническое обслуживание
NIS	Ирригационная система Нарьяни
Э&ТО	Эксплуатация и техническое обслуживание
ОСУ	Оценка стоимости сельхозугодий с участием пользователей
ПВЗ	Эксплуатация пропорциональная времени задержки

Q	Расход
q	Расход отводящего канала
ПЭО	Процесс экспресс-оценки
RBMC	Правобережный магистральный канал
RBN	Правый берег новый
S	Показатель чувствительности
ПВХ	Последовательно-восходящая эксплуатация
SCADA	Диспетчерский контроль и сбор данных
SMIS	Оросительная система Сансари Моранг
ПЭ	Параллельная эксплуатация
СО	Структура обслуживания
УОО	Управление, ориентированное на обслуживание
ЭВЗ	Эксплуатация с учетом времени задержки
V	Скорость
ПВР	План водораспределения
АВП	Ассоциация водопользователей
КВП	Комитет водопользователей
ККВП	Координационная комиссия водопользователей
ЦККВП	Центральная координационная комиссия водопользователей
ГВП	Группа водопользователей

Краткое изложение

Функционирование многих оросительных распределительных систем (каналов) неудовлетворительно с точки зрения: (1) управления водными ресурсами; (2) обслуживания орошаемого земледелия; и (3) экономической эффективности управления инфраструктурой.

В последние годы совместные подходы и переход к реформам по управлению поддерживаются как часть решения рентабельного и устойчивого технического обслуживания орошения. Громадные системы, находящиеся под управлением ведомства, частично или полностью перешли под управление различного рода структур. Однако, результаты остаются неутешительными. Общие выводы таковы: (1) новые руководящие органы не справляются с задачей; и (2) эти органы получили в наследство полуразрушенные системы и нехватку финансовых средств.

Эта публикация ФАО по ирригации и дренажу представляет шаг за шагом методологию для связанных с водой инженеров-профессионалов, руководителей и практиков, вовлеченных в модернизацию средне- и крупномасштабных систем оросительных каналов, исходя из перспективы усовершенствования технических характеристик общего водообеспечения для разнообразных заинтересованных сторон. Несмотря на то, что акцент делается на эксплуатацию каналов, сфера деятельности затрагивает модернизацию управления. Методика включает в себя ряд этапов по диагностированию технических характеристик и картированию путей продвижения в направлении совершенствования обслуживания пользователей и экономически эффективных приёмов эксплуатации канала.

Эта публикация представляет собой всеобъемлющую методологию анализа модернизации эксплуатации канала, которая базируется на Картировании системы и услуг для различных методов эксплуатации канала (MASSCOTE). Перед подробным описанием последовательности этапов в методике MASSCOTE, в книге обсуждаются основные элементы эксплуатации и устройства канала. Эти этапы объединены в две основные группы: (i) основополагающая информация; и (ii) видение водных услуг и план по модернизации эксплуатации канала.

Часть, касающаяся основополагающей информации, сконцентрирована на: процедуре экспресс-оценки (ПЭО); функциональных возможностях и режиме работы (чувствительности) системы; помехах; гидрографической сети и водном балансе и затратах на эксплуатацию системы.

Часть, касающаяся видения водных услуг и плана модернизации, сконцентрирована на: услугах пользователям; модернизации управления; и вариантах по развитию модернизации. Результатом анализа является общее представление будущего управления оросительной системой и план постепенной модернизации управления орошением и эксплуатацией канала.

Глава 1

Введение

Цель

Эта публикация шаг за шагом представляет методологию для связанных с водой инженеров-профессионалов, руководителей и практиков, вовлеченных в модернизацию средне и крупно масштабных систем оросительных каналов, исходя из перспективы усовершенствования технических характеристик общего водообеспечения для разнообразных заинтересованных сторон. Небольшие оросительные системы и/или системы, используемые для орошения фермерами, в этой публикации не рассматриваются.

В этой работе, поскольку фокус направлен на эксплуатацию канала, затрагивается область модернизации управления.

Значительная часть орошаемых земель в мире, площадь которых составляет 250 миллионов га, обслуживается системами поверхностных каналов. В большинстве случаев качество их работы можно охарактеризовать в интервале от низкого до среднего. Существует насущная необходимость улучшения в:

- управлении водными ресурсами;
- обслуживании орошаемого земледелия;
- экономической эффективности управления инфраструктурой.

Управление системой оросительных каналов с целью достижения эффективности, справедливости и устойчивости – трудная задача. Подходы с широким участием общественности и переход к реформам по управлению широко поддерживаются как часть решения при переходе к экономически эффективному и устойчивому обслуживанию ирригации. В последние годы крупные системы, находящиеся под управлением ведомства, частично или полностью перешли под управление различного рода структур, которые борются за усовершенствование обслуживания пользователей. Несмотря на то, что было усвоено много важных уроков, результаты были обычно ниже ожиданий. Общий диагноз таков: (i) ориентированные на фермеров новые органы управления недостаточно подготовлены/обучены/оснащены, или просто неопытны; и (ii) эти органы унаследовали пришедшие в упадок системы и вынуждены работать в условиях жестких финансовых ограничений.

Представленная в этой публикации методология является попыткой помочь тем, кто столкнулся с аналогичной ситуацией, привлечь заинтересованные лица и улучшить планирование модернизации с целью обеспечения более совершенного обслуживания

при наиболее приемлемых затратах. Она названа методикой MASSCOTE, что является аббревиатурой, используемой в Картировании системы и услуг по технике эксплуатации каналов (Рисунок1). Термин «картирование» используется в двух значениях: (i) площадное обследование, и (ii) планирование.

В главе 2 приводится комплексная методология для анализа модернизации эксплуатации ка налов, основанная на: Картировании системы и услуг по технике эксплуатации каналов (MASSCOTE). В главе 3 обсуждаются основные компоненты эксплуатации канала и связанные с ней организационные особенности. В последующих главах затем описываются более подробно различные этапы методики MASSCOTE, которые объединены в две основные группы:

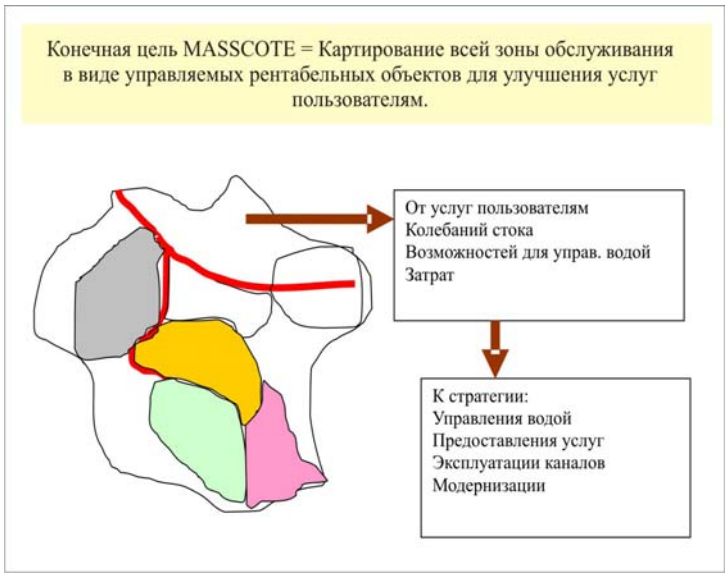


Рис.1 MASSCOTE: картирование систем и услуг для эксплуатации канала

➢ Основополагающая информация:

- Процедура экспресс-оценки (ПЭО): Знакомство со средствами диагностики процесса и оценки работы для повышения знаний об ограничениях и возможностях, которые необходимо учитывать при управлении системой.
- Технические характеристики системы и характер изменения поведения системы (чувствительность): Эта информация является решающей для эксплуатации. Основное внимание сосредоточено на гидравлических аспектах эксплуатации канала (пропускная способность и способность реагировать) и на некоторых физических и организационных параметрах.
- Помехи и нарушения режимов, которые, вероятно, встречаются в системе оросительных каналов.
- Гидрографическая сеть и водный баланс, которые оказывают значительное влияние на управление водой в подкомандной каналу зоне (ПЗ).
- Стоимость эксплуатации системы.

➢ Видение водообеспечения и план модернизации эксплуатации канала:

- Услуги для пользователей: Это основная цель управления системой, а эксплуатация канала является первоочередным элементом в определении услуг, предоставляемых конечным пользователям. Управление, ориентированное на обслуживание (УОО), - ключ к современному управлению; это не обязательно подразумевает высокий уровень обслуживания, но наиболее точно отвечает требованиям пользователя. Четкое видение водообеспечения должно быть отправной точкой при выполнении последующих шагов.

- Модернизация управления: она включает в себя реорганизацию схемы управления и определение пространственных единиц управления (разбиение на единицы управления) с целью увеличения профессионализма в управлении и его экономической эффективности.
- Варианты по совершенствованию модернизации: эта часть публикации касается развития методологии, которая может быть использована для разработки последовательной стратегии по совершенствованию эксплуатации канала и цикла осуществления проекта, в который необходимо постепенно вовлекать менеджеров и пользователей. В ней рассматривается: анализ требований, предъявляемых на различном уровне к эксплуатации канала, план совершенствования эксплуатации канала, и проект по объединению усовершенствований.
- Окончательное видение управления оросительной системой в будущем и план постепенной модернизации управления орошением и эксплуатацией канала.

НЕОБХОДИМОСТЬ УЛУЧШИТЬ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОБРАТИТЬ ВНИМАНИЕ НА СЛОЖНОСТЬ СОВРЕМЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАНАЛОВ

Как уже сказано выше, большинство оросительных систем работает намного ниже своих потенциальных возможностей и необходимы срочные усовершенствования управления водными ресурсами, орошаемым земледелием и фондами. В последние десятилетия двадцатого столетия акцент делался на результативность функционирования оросительных систем и институциональные реформы. Это привело к передаче значительного количества оросительных систем и подсистем под управление ассоциациям водопользователей (АВП) и другим организациям, ориентированным на фермеров.

Тем не менее, эти новые организации по управлению, созданные в рамках реформ управления орошением, часто получали в наследство неработоспособную инфраструктуру и очень ограниченные финансовые ресурсы. Вдобавок, они зачастую были слабо подготовлены и не имели достаточного опыта по эксплуатации и управлению такими сложными системами. К тому же, в предыдущих реформах эксплуатации каналов уделялось недостаточное внимание.

В то время как документация по концепциям и эталонному анализу технических характеристик орошения существует в изобилии, лишь немногие руководства по методике эксплуатации канала и способам усовершенствования водоподачи дошли до операторов. Поэтому как государственные органы, так и вновь созданные организации по управлению водой (например, АВП) зачастую плохо оснащены, чтобы иметь дело со сложной проблемой водоподачи на орошение для пользователей. Кроме того, они зачастую недостаточно подготовлены и не имеют надлежащих полномочий, а многие не знают с чего начать и что к чему. Согласно многим исследованиям, выполненным группой по развитию и управлению водой отдела ФАО по земельным и водным ресурсам (NRLW), нестандартная эксплуатация канала является главной причиной слабой работы оросительных систем. Это открытие заставляет пересмотреть эксплуатацию канала и разработать основные методы, которые позволят управляющим органам и всем имеющим к этому отношение профессионалам попытаться найти решение этой сложной задачи.

ОТДЕЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОТ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

В 1976 году Тэйлор и Викхэм заявили: «Отделение эксплуатации от технического обслуживания: несмотря на то, что определенная связь между эксплуатацией и техническим обслуживанием важна для выравнивания функционирования каждого из них, … разграничение между ними необходимо сделать». Это утверждение и сегодня остаётся актуальным. Однако, в большинстве случаев, между эксплуатацией и техническим обслуживанием (Э&ТО) сделано неадекватное разграничение, с позиций либо бюджета, либо ответственности.

Несмотря на то, что они совершенно разные по сути, эксплуатация и техобслуживание тесно связаны с управлением орошением. Несмотря на то, что оба относятся к физической инфраструктуре, эксплуатация основательно отличается от техобслуживания. Эксплуатация связана с регулировкой установок сооружений, в то время как техобслуживание - это поддержка пропускной способности сооружений. Поэтому важно не смешивать эксплуатацию с техобслуживанием. Тем не менее, обнаружение и диагностика тенденций или изменений гидравлических параметров канала (в результате заиления, зарастания, уплотнения и т.д.) является существенной частью эксплуатации. Результатом надлежащей диагностики должны быть: (i) эксплуатационная стратегия смягчения (т.е. как справляться с временными изменениями); и (ii) требования по поддержанию гидравлики каналов и сооружений/технических условий для восстановления гидравлических и эксплуатационных характеристик.

НЕПРАВИЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАНАЛА

Обычно, неправильно представление о том, эксплуатация канала – хорошо понимаемая и широко известная технология и, кроме того, что ее хорошо преподают в технической школе и правильно усваивают на практике. Более того, у многих существует ошибочное представление о том, что плохие оросительные характеристики связаны не с инженерным, а с социально-экономическим аспектом. В то же время, большинство обследований, выполненных ФАО, показывает, что эксплуатацией канала недостаточно хорошо управляют и очень часто источником порочного круга плохого представления услуг является плохая собираемость платы за услуги, приводящая к плохому техобслуживанию, и в результате – к разрушению оросительной инфраструктуры и предусмотренных служб.

Существует также неправильное понимание того, что гидравлика и методы управления оросительной сетью очень сложные и всегда требуют привлечения к работе экспертов высокого уровня, оснащения компьютерами и комплексной информационной системой для достижения приемлемого уровня эксплуатационных характеристик.

Истина находится где-то посредине. В этой публикации не говорится о том, что эксплуатация канала не является сложной и что только высоко квалифицированные специалисты могут овладеть ею. В ней даются разъяснения концепций и делаются понятнее сложные моменты с тем, чтобы дать возможность обеспечить наилучшее обслуживание пользователей.

ОВЛАДЕНИЕ МАСТЕРСТВОМ УПРАВЛЕНИЯ КАНАЛОМ

Основной тенденцией, начиная с 70-х годов, является увеличение сложности управления орошением и эксплуатацией каналов, главным образом по трём причинам:

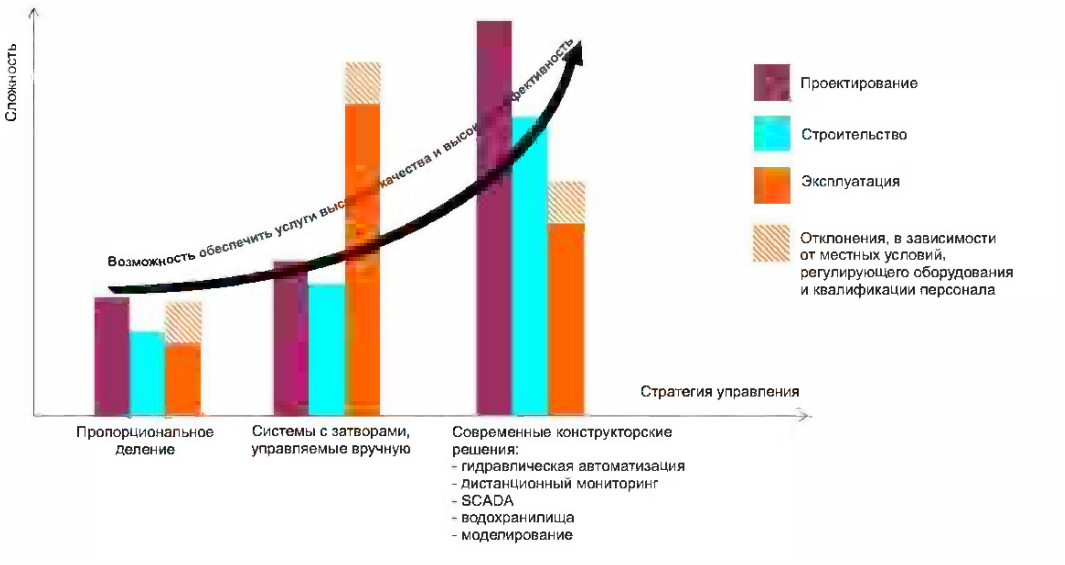
- Обслуживание пользователей – многоотраслевое. Улучшение характеристик орошаемого земледелия требует большей гибкости в поставке воды при современных методах орошаемого земледелия, таких как капельное орошение. Ирригаторы все более и более сталкиваются с пространственно разнообразным и динамичным требованием к обслуживанию.
- Управление водой – более требовательно. Увеличивающаяся конкуренция в водной сфере требует, чтобы управление водой было более эффективным и рациональным. Сложности подталкивают к развитию в направлении интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР).
- Экономически эффективное управление. Со временем, правительствам становится все труднее финансировать управление орошением. Время, когда прямые и непрямые затраты, покрываемые государственными организациями, в действительности не являлись подотчетной собственностью, в прошлом. Инвестиции в оросительную инфраструктуру со стороны государства или пользователей-групп-собственников должны быть экономически стабильными, и в данный момент крайне важно рентабельное управление.

Сложность эксплуатации оросительной системы определяется ее природными характеристиками (топографией, источником воды, размерами хозяйства и т.п.) и предполагаемым набором услуг. Для распределительной системы, доставляющей воду по открытым каналам, которая находится в центре внимания технического метода MASSCOTE, «единица» эксплуатации состоит из нескольких сооружений и определяется на основе пропорционального деления (так называемое «структурированные системы»), но при этом предоставляемые услуги конечному пользователю являются минимальными, недостаточно гибкими и не дифференцированными. Шлюзы-регуляторы, управляемые вручную, более требовательны с точки зрения эксплуатации, зато обеспечивают больший набор услуг (рисунок 2). Один из путей для сокращения управления вручную при доставке воды – автоматизация, которая достигается с помощью либо простого, либо очень сложного оборудования, и либо может усложнить эксплуатацию, либо нет.

Эксплуатация открытой оросительной системы является сложной задачей, требующей огромного числа одновременных или строго последовательных и согласованных действий на всей сети каналов. Она очень трудоемкая (штат, координация, транспорт, связь, средства и т.д.).

Виды работ, необходимые для эксплуатации оросительной системы, часто определяются (и должны определяться) в соответствии с местными техническими и социально-экономическими условиями. К примеру, в странах с высокой оплатой труда и где большая часть затрат на орошение покрывается пользователями, многие системы каналов, изначально эксплуатируемые вручную, постепенно до определенной степени стали автоматизированными.

Автоматизированные и самостоятельно работающие сооружения без или с минимальным вмешательством человека должны базироваться на сложных конструкторских решениях. Тем не менее, в результате сооружение может быть несложным в эксплуатации. К примеру, для работы водослива-регулятора с широким порогом не требуется никаких компьютеров.



Источник: Plusquellec (2002)

Рис. 2 Сложность различных стратегий контроля на стадиях проектирования сооружения и эксплуатации

В большинстве стран преобладает трудоемкая эксплуатация каналов вручную, однако, она может быть усовершенствована и может быть рациональной и экономически эффективной.

Таким образом, выбор руководителей лежит где-то между «очень дорогой высокой технологией» и «никакими изменениями вообще», но проведение модернизации на приемлемом уровне является необходимым. Модернизация – это длительный процесс, требующий пошагового осуществления, который должен исходить из потребностей и ресурсов пользователей. На самом деле, ФАО (1997 г.) дала определение модернизации как: «процесс обновления технического и управленческого аспектов оросительных систем (в противоположность обыкновенному восстановлению) с целью улучшения эксплуатации ресурсов (трудовых, водных, экономических, экологических) и оказания услуг по водообеспечению хозяйств».

Появляется все больше свидетельств того, что сбои в управлении конкретным каналом и в ориентированном на предоставление услуг управлении (УОУ) на практике являются основной причиной неудач, финансируемых донорами программ по модернизации, передачи функций управления и других реформ в ирригационном секторе.

Вывод таков, что технические аспекты, и, в особенности, специфические навыки, требуемые для эффективной эксплуатации канала, являются необходимым условием для успешного и рентабельного управления орошением.

УПРАВЛЕНИЕ, ОРИЕНТИРОВАННОЕ НА ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ УСЛУГ

Первоочередная цель эксплуатации системы канала - транспортировка и доставка оросительной воды пользователям в соответствии с согласованным уровнем услуг, которые хорошо приспособлены к требованиям по использованию воды и потребностям сельскохозяйственных культур.

БОКС 1

Определение управления, ориентированного на предоставление услуг

В бизнесе управление, ориентированное на предоставление услуг (УОО), - это оперативное руководство доставкой в рамках структуры обслуживания (СО). Основная цель УОО – обеспечить возможности дифференцированного оказания услуг в период эксплуатации, используя рабочие цели для управления режимом работы системы.
При помощи УОО можно следить и контролировать доставку от поставщика к обслуживаемому потребителю.
(Это можно также рассматривать как слежение и контроль за обслуживанием потребителя большим количеством поставщиков). Решение, найденное при помощи УОО, должно обеспечивать предоставление любой услуги при использовании любой технологии без необходимости изменения свода законов, особого размещения или специального развития условий. УОО – это скорее всего оперативное решение, нежели решение по развитию или размещению

Такому подходу отвечает концепция УОО (Бокс 1), которая заменяет предыдущие более жесткие и «сверху-вниз» принципы анализа. Управление, ориентированное на предоставление услуг, может быть смоделировано при взаимодействии организация-пользователь (или поставщик-получатель), как показано на рисунке 3. Попросту говоря, организация и пользователь первым делом договариваются о деталях обслуживания водой (где, когда, как, сколько стоит и т.д.). Организация предоставляет услуги пользователю, который за это платит организации. В основном считается, что эффективность системы, отвечающей требованиям пользователя, зависит от ее эксплуатационной гибкости. В идеальном случае, пользователи должны быть способны выбирать и менять уровень услуг, соответствующий их требованию, а поставщик услуг должен быть способен контролировать поставку воды каждому пользователю и, при необходимости, прекращать обслуживание в случае отсутствия оплаты. Это означает, что ключевым элементом концепции обслуживания является информационная связь между поставщиком услуг и получателями, а также между самими получателями. Информация необходима для того, чтобы:

- прогнозировать услуги, которые могут быть затребованы;
- оценить потребности в услугах;
- корректировать потребности в реальном времени в течение сезона;
- приспосабливать действующее обслуживание к потребностям;
- оценивать и оплачивать предоставленные услуги.

Что касается обслуживания, которое должно быть оплачено, существует 3 основных потока, которые рассматриваются в подходе УОО: (i) вода; (ii) информация; и (iii) финансы.

В то время как эксплуатация канала сосредоточена на потоке воды, было бы ошибкой не рассматривать два других потока при разработке новых и/или усовершенствованных стратегий эксплуатации канала.

Для обслуживания оросительной водой требуется также информация, поступающая от поставщика услуг и пользователя. Необходима заблаговременная информация для того, чтобы согласовать вид услуг, а затем уже, во время планирования поставки воды, договориться на регулярной основе. Все это в большой степени зависит от вида услуг. Там, где предоставление услуг бесплатное, информация, необходимая для поставки воды – минимальна, или же не нужна вообще. При типе обслуживания по требованию, информация должна поступать постоянно в обоих направлениях. Заявка от пользователя поступает в организацию, затем поставщик ее обрабатывает, и ответ возвращается к пользователю.

Рис.3 Метод управления, ориентированный на обслуживание

Аналогичным образом поставщик услуг запрашивает оплату у пользователя. Таким образом, это должно измеряться или оцениваться достоверным и прозрачным способом. Информация об услугах должна использоваться и проверяться совместно обеими сторонами во избежание конфликта. Эта публикация сконцентрирована в основном на потоках воды и информации. Другой том из серии по модернизации орошения планируется посвятить финансовым потокам (плате за воду и возмещению издержек).

Глава 2

MASSCOTE

МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ПЛАНА МОДЕРНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ОРОШЕНИЕМ

MASSCOTE – это поиск решения для улучшения управления орошением и эксплуатации и более совершенного обслуживания пользователей.

Эксплуатация канала лежит в сердцевине подхода MASSCOTE по двум основным причинам:

- На стадии оценки: Критичная оценка состояния канала и направления его работы дает существенную, физически подтвержденную основу для того, чтобы знать, что произойдет с точки зрения организации управления и обслуживания пользователей.

- При разработке плана модернизации, эксплуатация канала является наиважнейшей, поскольку цели вмешательства – достичь оговоренного и/или усовершенствовать обслуживание. Множество реформ в орошении показало, насколько трудной является эксплуатация канала, если пренебречь ею на уровне проектирования.

Пользователи являются самым важным звеном в этом, основанном на УОО, подходе. Целью подхода, при помощи которого разработаны различные этапы MASSCOTE, является поиск решений по обслуживанию и эксплуатации, выбор которых остается за пользователями.

Поэтому, справедливо говорить о том, что эксплуатация канала является центральной задачей MASSCOTE, в то время как его конечная цель - модернизация управления и пользователи, как главные действующие лица.

Говоря о современном управлении орошением, давать наперед определение всегда рискованно, поскольку тогда нет возможности охвата всех аспектов проблемы, того, что неправильно истолковано, или быстро становится устаревшим или в некотором смысле не соответствует определению. Тем не менее, в этой публикации предлагается следующее:

Современное управление орошением – это УОО с рентабельным институциональным и техническим устройством, чтобы управлять схемой использования водных ресурсов и эксплуатировать систему для оказания услуг по договоренности. Эксплуатация канала – это сложный набор задач, в который входит много важных действий, которые должны быть выполнены последовательно и своевременно для правильного управления орошением. Среди многочисленных аспектов необходимо рассмотреть следующие:

- Обслуживание пользователей;
- Стоимость и ресурсы, предназначенные для Э&ТО;
- Контроль за техническими показателями и их оценка (M&O);
- Ограничения на распределение по времени и по объему водных ресурсов;
- Физические ограничения и возможности, касающиеся топографии, географии, климата, и т.д.

Не существует универсального единственного ответа на вопрос о том, как учесть все элементы в плане по улучшению эксплуатации канала, чтобы она была эффективной и устойчивой. Тем не менее, новый подход MASSCOTE разработан на основе обширного опыта выполнения программ по модернизации ирригации в Азии между 1998 и 2006 годами.

ПОШАГОВЫЙ ПЛАН

Целью MASSCOTE является организация и разработка программ по модернизации пошаговым методом:

- картирование различных параметров системы;
- разграничение институционально и пространственно на легко подающиеся управлению субэлементы;
- определение стратегии услуг и эксплуатации для каждого элемента.

Первые шаги, представленные в Таблице 1 и на Рисунке 4, должны быть выполнены для ПЗ в целом. Цель – определить однотипные управляемые элементы, для которых могут быть спроектированы и выполнены определенные варианты эксплуатации канала.

Таблица 1
Структура MASSCOTE

Картирование	Фаза А – Основополагающая информация
1. Начальная экспресс-диагностика технических характеристик (ПЭО) и их оценка	Основная цель ПЭО - дать возможность квалифицированному персоналу систематически и быстро определять ключевые показатели системы для установления и назначения приоритетов модернизации. Вторая цель – начать мобилизацию энергии действующих лиц (руководителей и пользователей) на модернизацию. Третья цель – организовать базовую оценку в отношении успеха, который можно измерить.
2. Производительность и чувствительность системы	Оценка физической мощности оросительных сооружений, способных выполнять функции доставки, контроля, измерений и т.д. Оценка чувствительности оросительных сооружений (отводящих каналов и шлюзов - регуляторов на канале), идентификация специфических мест. Картирование чувствительности системы.
3. Помехи	Анализ помех: причины, амплитуда, частота и варианты для их устранения.
4. Сеть и водный баланс	Этот шаг состоит из оценки иерархической структуры и основных особенностей оросительных и дренажных сетей, на основе чего можно определить водный баланс на уровне системы и подсистемы. Картирование возможностей и ограничений, связанных с поверхностными и грунтовыми водами.
5. Затраты на эксплуатацию и управление Э&ТО	Картирование затрат, связанных с текущими способами эксплуатации и услугами, детализирование различных элементов затрат; анализ затрат по вариантам для различного уровня обслуживания для текущих способов и для усовершенствованных методов.

Картирование канала	Фаза Б – Видение УОО и модернизации эксплуатации
6. Обслуживание пользователей.	Картирование и экономический анализ потенциального набора услуг, которые будут предоставлены пользователям. Картирование оросительной схемы.
7. Элементы управления.	Оросительная система и зона обслуживания должна быть разделена на субэлементы (подсистемы и/или элементарные площади обслуживания), которые должны быть единообразными и/или отделены друг от друга четкими границами.
8. Требования к эксплуатации.	Оценка ресурсов, возможностей и требований для улучшения эксплуатации канала. Пространственный анализ всей зоны обслуживания с предварительной идентификацией элементов подсистемы (управление, обслуживание, Э&ТО, и т.д.).
9. Варианты улучшения эксплуатации канала /элементов	Идентификация вариантов усовершенствования (обслуживание и экономическая возможность осуществления) по каждому управляемому элементу для: (i) управления водой, (ii) водного контроля, и (iii) эксплуатации канала.
10. Комбинация вариантов УОО	Комбинация предпочтительных вариантов на уровне системы и проверка функциональной связи. Объединение и проектирование целостной информационной системы управления для поддержки эксплуатации.
11. Общее видение, план модернизации и М&О	Общее видение оросительной схемы. Завершение стратегии по модернизации и постепенное развитие мощности. Отбор/выбор/принятие решения/стадийность вариантов улучшения. План по Э&ТО затрат и результаты проекта.

СТАДИИ МЕТОДА MASSCOTE

ШАГ 1: Картирование технических характеристик: Экспресс-метод (ПЭО)

Первоначальная экспресс-оценка – важный первый шаг методики MASSCOTE. ПЭО состоит из последовательного набора процедур для диагностирования узких мест в работе оросительной системы.

Внутренние показатели ПЭО оценивают количественно внутренние процессы, то есть входы (используемые ресурсы) и выходы (услуги пользователям нижнего течения) проекта орошения. Внутренние показатели связаны с эксплуатационными процедурами, управлением и институциональной постановкой, техническими средствами системы, обслуживанием водоподачи, и т.д. Они дают всестороннее понимание процессов, которые влияют на поставку воды и на общий результат работы системы. Таким образом, они дают понимание того, что могло/должно быть сделано, чтобы улучшить водоснабжение и общий результат работы (внешние показатели).

Рис.4 Стадии метода MASSCOTE

Внешние показатели ПЭО дают возможность сравнить входные и выходные параметры оросительной системы с тем, чтобы представить результат работы в целом. Эти показатели – выраженная в различной форме эффективность, например, эффективность использования воды, урожай сельскохозяйственных культур и бюджет. Они не дают каких-либо подробных ответов на вопрос о том, какие внутренние процессы приводят к таким результатам, и что должно быть сделано, чтобы улучшить технические характеристики. Однако они могут использоваться для сравнения результатов различных проектов по орошению на национальном или международном уровне. После расчета таких внешних показателей, они могут использоваться как эталон для контроля влияния модернизации на улучшение общего результата работы.

Шаг 2: Картирование производительности и чувствительности системы.

Картирование производительности и чувствительности системы связано с особенностями физической инфраструктуры, включая функционирование сооружений во время транспортировки воды, контроль за уровнем воды или стоком, производство измерений и надёжность. Ирригационные сооружения предназначены для выполнения специфической функции. От того, как они запроектированы, установлены, откалиброваны и как обслуживаются, зависят их специфические эксплуатационные качества - в зависимости от ситуации некоторые проекты лучше, чем другие - а реальное состояние может меняться со временем вследствие различных явлений, типа эрозии, заиления и коррозии.

Важно иметь обоснованную оценку существующего состояния системы при выполнении основных функций. В особенности важно определить любые слабые места, помехи и/или области со специфическими дефектами. Картографическая оценка пропускной способности инфраструктуры необходима для сравнения с проектной, но более важно обеспечить совместимость всей системы с разрабатываемым планом эксплуатации.

Необходимо обратить внимание на любые конструктивные недостатки и их исследование включить как часть планируемого процесса модернизации. Модернизация не может считаться успешной без рассмотрения воздействий пришедшей в упадок или недееспособной инфраструктуры. На этой стадии проводится картирование физических характеристик системы, и в особенности определяется чувствительность оросительных сооружений (отводящих каналов и шлюзов-регуляторов на канале). Картирование чувствительности в ключевых пунктах является решающим моментом в управлении возможными помехами- колебаниями стока (Главы 6 и 7).

Основная идея состоит в определении расположения чувствительных отводящих каналов и регуляторов, и подсистем, распространяющих помехи, и поглощающих их. Таким образом, с позиций картирования:

- картирование сооружений: чувствительных регуляторов и отводящих канналов;
- картирование подсистем: осредненные характеристики по каждой подсистеме – чувствительность в отношении контроля над стоком и уровнем воды.
- Эта стадия обусловливает последующие эксплуатационные требования и варианты управления, связанные с чувствительностью сооружений/подсистем;
- чувствительные сооружения должны чаще проверяться и обслуживаться;
- чувствительные сооружения могут использоваться для обнаружения отклонений (часть управления информацией);

- чувствительные подсистемы могут направлять помехи в подобласти, которые менее уязвимы в отношении дефицита или избытка воды.

Шаг 3: Картирование колебаний

Колебания водных переменных (уровень и расход) в открытой сети – норма, а не исключение. Несмотря на то, что целью эксплуатации канала является его устойчивое состояние, на практике оно встречается крайне редко. Поэтому, вызванные сооружениями, расположенными выше по течению, колебания - постоянная особенность оросительных каналов, являющаяся следствием запланированных или непредвиденных изменений притока/оттока в ключевых пунктах.

Таким образом, если колебания стока неизбежны, то единственный вариант для руководителей – достоверные сведения об их происхождении, и умение обнаруживать их и управлять ими. Управление каналом также связано с проблемой неопределенности и неустойчивости.

Виды колебаний, которые должны картироваться:

- положительные колебания:

- характер (приток-отток – внутренний),
- величина (колебание уровня воды – относительное изменение расхода),
- частота;

- отрицательные колебания:

- характер (приток-отток – внутренний),
- величина (колебание уровня воды – относительное изменение расхода),
- частота.

Варианты управления при положительных колебаниях:

- совместное использование избытка, пропорционально поделенное между пользователями;
- отвод и аккумуляция избытка в водохранилище.

Варианты управления при отрицательных колебаниях:

- компенсация из водохранилищ;
- проверка для безотлагательной корректировки;

- снижение поступления в некоторые отводящие каналы с последующей компенсацией (менее чувствительные/уязвимые зоны, пункты водоподачи с аккумулирующей сток способностью, с альтернативными источниками воды).

Шаг 4: Картирование гидрографических сетей и водного баланса

На этой стадии идея состоит в том, чтобы картировать гидрографическую сеть поверхностных вод, включая оросительную и дренажную сеть, а также любые естественные русла, если они взаимодействуют или могут взаимодействовать в будущем с системой каналов и/или с водохранилищами. Цель – знать, где и когда происходит приток и отток из зоны обслуживания относительно нормы стока, объема и распределения во времени. Такое картирование включает все предохраняющие от нежелательных последствий сооружения, построенные для отвода избыточной воды в дренажную сеть.

Менеджеры должны иметь точные сведения обо всех направлениях движения воды (поверхностных и грунтовых вод) – откуда они поступают и куда текут, и в каком объеме. Знание водного баланса системы является важным не только для достижения высокой эффективности, но также и для того, чтобы попытаться найти решение таких экологических проблем, как подтопление и увеличение минерализации воды. Водный баланс является также хорошим инструментом управления для прозрачности водораспределения внутри и между подзонами системы.

Шаг 5: Картирование затрат на Э&ТО

На этом этапе проводится картирование затрат на текущие Э&ТО. Сюда также включена обязательная детализация элементов в отношении затрат и разработка вариантов по затратам для различных уровней обслуживания при текущих и при усовершенствованных технологиях.

Для того чтобы наладить обслуживание, которое бы удовлетворяло Пользователей, руководителям необходимо мобилизовать целый ряд различных ресурсов/затрат: воду, штат, энергию, помещения под офис, связь и транспорт. Все это определяет величину затрат. Этот этап нацелен на разъяснение вопросов, связанных с затратами и стоимостью эксплуатации, как части общей управленческой деятельности и как основополагающих компонентов процесса модернизации.

Исследование затрат и стоимости важно для:

- определения уровней обслуживания, в особенности при анализе вариантов для различных видов услуг и связанных с ними затрат;

- калькуляции цен на воду для пользователей с тем, чтобы предложить набор процедур по оплате, в которой учитывается реальная стоимость оказания услуг;

- улучшения работы и экономической эффективности, посредством исследования технических вариантов максимального увеличения эффективности эксплуатации (лучшее распределение существующих ресурсов, автоматизация, и т.п.).

Шаг 6: Картирование обслуживания пользователей

После выполнения предыдущих этапов может быть предложено предварительное видение будущей схемы, из которой можно определить исходные характеристики услуг по водопоставке в ПЗ:

- Сколько видов услуг представляется, и как они распределены по площади?
- Как услуги развиваются со временем в течение года?
- Каково обслуживание сельскохозяйственных культур по сезонам?
- Какова гибкость в определении услуг относительно ограничений по ресурсам?
- Каковы особенности распределения, режима и доставки воды, которые определяют обслуживание в целом?

Оценка различных услуг, предоставляемых пользователям, и связанных с ними затрат – это то, что необходимо картировать на этом этапе. Картирование услуг необходимо для дальнейшего анализа возможностей модернизации и экономического анализа, которые выполняются на следующих стадиях. Эта специифическая тренировка в картировании услуг приводит де-факто к навыкам видения предварительной схемы организации орошения, которая, прежде чем переходить к выполнению следующих этапов, должна быть представлена в деталях.

Шаг 7: Картирование элементов управления - субэлементный подход

Крупные зоны обслуживания систем оросительных каналов, как правило, подразделяются на более мелкие управляемые элементы, называемые трассами, блоками или подсистемами. Раньше (и особенно на новых системах) эти управляемые элементы часто формировались на базе иерархической структуры сети каналов (первого порядка, второго порядка, третьего порядка и т.д.). В настоящее время, в связи с растущей сложностью в управлении и эксплуатации, необходимыми для обеспечения высокого уровня обслуживания, такое деление не имеет того значения, которое было изначально во время строительства систем. Существуют более подходящие эксплуатационные критерии, на которых должны быть основаны субэлементы (Таблица 2), к примеру:

- управление с участием общественности;
- пространственная вариация водоснабжения;
- совместимость с управлением водой;
- многоцелевое использование воды пользователями;
- условия дренирования.

Таблица 2
Субэлементы – критерии и варианты

	Варианты
Критерии для деления на элементы	Организационный институциональный: элементы должны соответствовать институциональному делению зоны обслуживания пользователей (фермерские группы, ассоциации пользователей, и т.д.). Однородность условий для искомого уровня обслуживания. Заметные ограничения в отношении доступных водных ресурсов - как поверхностных, так и подземных гидрографических сетей. Условия дренирования, которые физически делят зону обслуживания на части с возвратными и безвозвратными водными ресурсами. Экономическая эффективность (при слишком большом количестве элементов может оказаться невыполнимой). Масштаб и ориентация права собственности.
Особые пункты, представляющие интерес при разделении	Высоко чувствительные регуляторы, которые фиксируют изменения водного баланса в верхнем бьефе (даже незначительные изменения) – хорошие пункты для проверки баланса в нижнем бьефе. Пункты надежного измерения. Хорошо управляемые пункты. Пункты основного физического разделения стока. Возможность аккумулирования, позволяющая сгладить колебания расходов воды и возобновить сток воды для подблоков системы в нижнем течении.

Субэлементы эксплуатации/управления должны определять зону, для которой согласован и обеспечен определенный уровень обслуживания, и для которой водный баланс должен контролироваться как для отдельной единицы. Должен быть найден реальный компромисс между физической / гидравлической системой и институциональными/ административными возможностями в каждом субэлементе.

Субэлементы должны базироваться на множестве составляющих. Однако, необходимо избегать слишком большого количества элементов, принимая во внимание базовую стоимость, связанную с управлением отдельными единицами управления.

Шаг 8: Картирование спроса на эксплуатацию

На этой стадии выполняется оценка ресурсов, возможности и потребности в улучшении эксплуатации канала. Для этого необходимо выполнение пространственного анализа всей зоны обслуживания, с предварительной идентификацией элементов подсистемы (управление, обслуживание, Э&ТО, и т.д.).

Оценку требований, предъявляемых к эксплуатации канала, необходимо провести параллельно и в сочетании с определением пользователями и заинтересованными лицами необходимых им услуг. Однако требования к эксплуатации канала не должны определяться только запросами на обслуживание. Система представляет собой возможности и ограничения, которые очерчивают границы для возможных режимов эксплуатации. Короче говоря, требования к эксплуатации будут зависеть от трех направлений: (i) обслуживание определит цели; (ii) колебания определят ограничения в работе системы; и (iii) чувствительность определит, как быстро система реагирует на изменения и сама продуцирует изменения.

Объяснение прямое: чем выше чувствительность, колебания и спрос на обслуживание, тем выше спрос на эксплуатацию канала. Это может быть выражено в виде связи: спрос на эксплуатацию = обслуживание × колебания × чувствиительность.

Шаг 9: Картирование вариантов улучшения эксплуатации канала / элементов

На этой стадии определяются варианты улучшения эксплуатации канала. Улучшения должны выполняться, исходя из определенных целей, а именно:

- улучшение водоснабжения клиентов сельского хозяйства;
- оптимизация затрат на эксплуатацию;
- максимизация смежного использования воды;
- интегрирование комплексного использования воды (ИУВР).

Необходимо разработать варианты модернизации для каждого субэлемента, исходя из: (i) управления водой; (ii) водоучёта; и (iii) эксплуатации канала (обслуживание и экономическая эффективность).

Улучшения должны быть продуманы внутри одного или комбинации следующих вариантов:

- распределение существующих ресурсов и затрат по более рентабельному и отзывчивому на модернизацию пути;
- оптимизация организационных и эксплуатационных режимов;
- изменение стратегии эксплуатации;
- инвестирование в усовершенствованные технические приемы и инфраструктуру.

Что касается управления водой, то целью улучшений является увеличение продуктивности и/или водосбережение путём: (i) сведения к минимуму потерь; (ii) максимально возможного увеличения урожая; и (iii) перерегулирования запаса.

В отношении контроля, улучшения касаются управления гидравлическими параметрами. Это влечет за собой последовательность действий: (i) точная настройка гидростатического напора в сооружениях канала по отношению друг к другу; (ii) проектирование гидравлики канала (секции) таким образом, чтобы он работал в запланированном режиме; и (iii) выбор такого варианта, который бы сводил к минимуму оперативное вмешательство/регулирование в определенный период.

Шаг 10. Интегрирование вариантов управления, ориентированных на обслуживание

Варианты усовершенствования для субэлементов согласовываются с затратами по каждому варианту. Затем они группируются для всей подкомандной зоны в соответствии с вариантом усовершенствования на уровне канала первого порядка. В стратегию по модернизации включаются цели и предлагаемые достижения/улучшения.

Шаг 11: Общее видение, план модернизации и M&O

Выполнение предыдущих этапов с определенными повторяющимися ЦИКлами – это процесс, при помощи которого постепенно подготавливается и сводится воедино видение схемы организации орошения в будущем.

Это видение затем перерастает в план по реализации видения на практике. Модернизация должна осуществляться для того, чтобы ожидаемые результаты и потенциальные достижения были реально осуществимы на практике. Решение о реализации вариантов принимается при широком участии пользователей. Прежде чем начать процесс модернизации, должны быть выбраны решения, которые являются самыми легкими и наиболее рентабельными для выполнения.

Контроль и оценка усовершенствованных режимов эксплуатации необходимы для гарантии того, что достигнутые результаты поддерживаются, и для того, чтобы создать основу для сравнения ситуации до и после усовершенствований.

ВАЖНЫЕ ОСОБЕННОСТИ MASSCOTE

Необходимо помнить о четырех важных особенностях MASSCOTE. Первая – включение ПЭО и MASSCOTE в проект по модернизации (Рисунок 5). Вторая особенность связана с разными временными рамками вмешательств:

- ПЭО = неделя;
- MASSCOTE = месяц;
- проект по модернизации = год.

Третья особенность касается циклического характера MASSCOTE. Под этим подразумевается повторение процедуры, пока не будет достигнута стадия объединения анализа и проекта – несколько раундов MASSCOTE на данных уровнях перед объединением на верхнем уровне и возвращение на более низкий уровень.

Четвертая особенность состоит в том, что главный отправной точкой методологии MASSCOTE для диагностики и для планирования усовершенствований является эксплуатация канала. Однако, конечная цель использования MASSCOTE - модернизация управления. Эксплуатация канала является критической отправной точкой потому, что: (i) это - деятельность, которая материализует решения по управлению; и (ii) это там, где текущая работа по управлению санкционирована и выражена в явном виде (ее признаки). Полевое обследование системы каналов - наиболее эффективный и надежный способ выявления проблем управления. MASSCOTE – поэтапная методология, которая применяется, начиная со стадии эксплуатации канала до вариантов управления (институциональное деление, организация, и УОО).

Рис. 5 Встроенный характер ПЭО и MASSCOTE

MASSCOTE, ПЭО и эталонный анализ (BENCHMARKING)

Метод MASSCOTE необходимо рассматривать в контексте других средств для управления орошением и для модернизации, и методологий, разработанных в прошлые десятилетия, в особенности, ПЭО и эталонного анализа.

Эти методологии разработаны в том же трехмерном пространстве: воздействие (внешние показатели), процесс (внутренние показатели) и решение (вариант усовершенствования). Сфокусированы они могут быть на разном и некоторые подходы являются более содержательными.

Эталонный анализ позволяет контролировать и проверять работу по управлению путем сравнения с другими похожими системами независимо от их расположения или после проведения некоторых усовершенствований методик и процедур. Это важный компонент разработки проекта по модернизации.

Подход MASSCOTE придает больший вес эталонному анализу и ПЭО, сосредоточиваясь на разработке решений, которые являются следствием тщательной диагностики воздействий и процессов, для выполнения которой используются два других инструмента. Поэтому логично, что первым шагом в методологии MASSCOTE является ПЭО.

Глава 3

Работа канала – цели и организация

В этой главе описывается работа каналов через обзор: (i) основных видов ирригационных систем в открытых руслах, (ii) обычных режимов эксплуатации и техники регулирования, (iii) как следует организовывать и координировать работу на уровне системы. В ней рассматривается техника работы по графику и вне графика и предлагаются различные варианты. В главе также затронут вопрос важности определения правильного разбиения обслуживаемой зоны для более эффективной работы. Поэтому, читатели, которые уже знакомы с этими понятиями, могут напрямую переходить к главе 4.

Работа оросительного канала зависит от различных факторов, связанных с типом:

- систем (с затворами или без них),
- контроля (главным образом, контроль по верхнему бьефу и контроль по нижнему бьефу),
- управления (ручное, механизированное и автоматическое),
- услуг, предоставляемых пользователям (водооборот, упорядоченная подача, свободный доступ и т.д.).

Эксплуатация ирригационной системы состоит из выполнения определенного набора действий на регулирующих и измерительных сооружениях сети ирригационной инфраструктуры с целью:

- транспортировки, подачи и мониторинга воды для обеспечения заранее определенных оросительных услуг конечным пользователям/клиентам соответственно графику и согласованному вододелению;
- обеспечения эффективного управления водой в пределах общей подвешенной зоны;
- поддержания инфраструктуры/оборудования.

Таким образом, эксплуатация не ограничивается только физическим вмешательством на основных сооружениях. Она также включает:

- сбор информации от пользователей по заявкам на воду и оплате за воду;
- регулярные наблюдения за состоянием системы;

- процедуры принятия решений с участием пользователей;
- мониторинг и оценку (M&O) эффективности выполнения.

ЦЕЛИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Цели эксплуатации канала многообразны:

- Эксплуатация по графику для запланированных изменений установок согласно обновленным планам вододеления. Действия на этом уровне нацелены на обеспечение целевых услуг по водоподаче. Этот режим работы также называется эксплуатацией, основанной на планировании (USBR. 1995).
- Текущая эксплуатация для стабилизации помех путем внесения изменений в уставки регулирующих сооружений по водоснабжению и водоподаче. Причиной данных помех могут быть незаконные/непредусмотренные вмешательства или сложности в прогнозировании природных причин (наводнений, ветров, осадков и повышенных возвратных стоков). Действия на этом уровне предпринимаются для реагирования на незапланированные изменения с общей целью поддержания качества услуг, а также обеспечения безопасности системы. Этот режим также называется реагирующей эксплуатацией.
- Эксплуатация в аварийных условиях. Когда неожиданный избыток воды в системе создает риск повреждений, необходимо активизировать аварийные водосбросные сооружения (там, где они не работают автоматически).
- Мониторинг и оценка (M&O) процесса в регулярные интервалы времени необходимы для принятия обоснованных решений операторами и важны для оценки предоставления услуг пользователям. Поэтому M&O имеет дело с состоянием сооружений системы (сравнение намеченного с фактическим) и расходами в ключевых точках, а также услугами, которые предоставляются пользователям. Действия нацелены на частый мониторинг внутренних физических переменных (уровни воды, расходы, уставки затворов) и услуг (подача воды промежуточным и/или конечным пользователям).

В таблице 3 приводится подробная информация по типу эксплуатации, сопутствующих целях и задачах работ.

В категории эксплуатации по графику можно выделить разные виды вмешательств:

- возобновление подачи оросительной воды (заполнение каналов в начале сезона или между циклами водооборота);
- регулярные изменения водораспределения;
- осушение в конце сезона (перекрытие воды в канале).

Для каждого типа эксплуатации канала необходимо установить определенную процедуру (или набор процедур) как часть плана операций.

На практике каждая категория операций направлена на достижение определенной цели. Например, целевая услуга пользователям определяет план водораспределения (ПВР), который в своей основе устанавливает расход в каждой ключевой точке системы как функцию времени (к примеру, разветвления магистрального канала и регуляторы-водовыпуски на территории обслуживания). Другими словами, для выполнения ПВР разрабатывается план эксплуатации.

ФУНКЦИИ СООРУЖЕНИЙ НА КАНАЛЕ

Эксплуатация – это комплекс действий на ирригационных сооружениях для выполнения определенных функций. Сеть гидросооружений представляет собой комплекс взаимосвязанных сооружений, каждое из которых выполняет одну или несколько определенных функций. Сооружения сети выполняют следующие функции:

- аккумулирование стока,
- транспортировку,
- забор воды,
- распределение,
- контроль,
- измерение,
- безопасность,
- передачу информации.

Функция аккумулирования стока

Функция аккумулирования стока состоит из хранения избытка воды в заданной точке во времени и пространстве (сброс и попуски в реках или каналах) с целью его подачи в более подходящие время и место, согласно требованиям пользователей. Время задержки между аккумулированием стока и его распределением может иметь разные временные шаги – от нескольких часов (ночь/день) до нескольких лет для водохранилищ, которые обеспечивают многолетнее регулирование.

Функция аккумулирования стока часто выполняется водохранилищем поверхностного стока, находящимся за перекрывающей русло плотиной. Различают накопительные водохранилища, расположенные выше по течению от зоны обслуживания, и линейные или промежуточные регулирующие водохранилища. Надлежащее использование функции аккумулирования стока вытекает из согласованных попусков воды из водохранилища относительно пропускной способности системы каналов.

И наконец, сегодня функция аккумулирования стока не может игнорироваться в связи с жизненной важностью и большой уязвимостью подземных вод. Водоносные слои

иногда представляют важное и удобное хранилище, но могут быть в равной степени ограничены в восполнении. Сегодня защита и управление подземными водоносными слоями (контроль водозаборов и подпитка грунтовых вод) является критической частью проблем, с которыми сталкиваются управляющие водными ресурсами.

Таблица 3
Типы эксплуатации, цели и задачи

Тип эксплуатации	Объекты	Цель	Возможные задачи
Плановая эксплуатация	Целевое обслуживание в точках водовыдела	Обслуживание пользователей	Производить требуемые услуги. Обеспечить высокий уровень рабочих характеристик и КПД
Текущая эксплуатация (внеплановая)	Внеплановые изменения в притоке/оттоке	Обслуживание пользователей	Управлять возможными колебаниями стока и поддерживать услуги пользователям на хорошем уровне.
		Управление водой	Использовать преимущество избытка воды и компенсировать дефицит воды.
Эксплуатация в аварийных ситуациях	Внезапные изменения в системе, создающие высокий риск	Безопасность	Обеспечить безопасность канала в любых обстоятельствах.
Мониторинг и оценка	Состояние ключевых переменных (расход, уровень воды, уставки сооружений)	Обслуживание пользователей	Проводить мониторинг, оценку и улучшать рабочие характеристики и КПД.
		Управление водой - решения по эксплуатации	Принятие решений для лучшего управления водой.

Функция транспортировки

В большинстве ирригационных систем транспортировка осуществляется через открытые русла. Тем не менее, имеются также подземные сети напорных трубопроводов и подземные самотечные сети (как в традиционных системах отбора подземных вод в предгорьях, таких как Хетаррас на севере Африки). Природные системы (реки) также используются для транспортировки воды между местом аккумулирования стока и местом, где происходит ее забор для распределения через ирригационную сеть.

Функция забора воды

Это функция, с помощью которой оросительная вода забирается для транспортировки на территорию, где она будет использована (массив или субмассив орошения). Водозаборные сооружения устраиваются либо на реках, либо на крупных транспортирующих каналах. Там, где отвод воды производится через плотину, она обычно называется водозаборным сооружением. Сооружение на реках часто называют

«водоподъемной плотиной», но она обычно имеют очень ограниченную функцию аккумуляции стока; ее основная функция состоит в повышении естественного уровня воды, с тем, чтобы самотеком подать воду в водозаборный канал.

Функция распределения

Распределение состоит из подачи требуемого расхода в ключевые точки сети (головы каналов второго, третьего и четвертого порядков). Эта функция обычно реализуется через регулирующие сооружения, которые забирают зарегулированный расход с одного уровня канала на следующий более низкий уровень.

Фото 1 Пропорциональный фиксированный вододелитель, вид с верхнего бъефа, SMIS, Непал

Функция разделения (пропорциональная)

В пропорциональных ирригационных системах сток в ключевых точках делится пропорционально, чтобы можно было распределить предварительно установленную долю располагаемых водных ресурсов в нижележащие ветки канала (фото 1).

Функция контроля

Чтобы обеспечить хорошую работу транспортирующей и распределительной сети, необходимо контролировать некоторые промежуточные переменные. Например, в напорной сети в разных точках контролируется давление. В случае открытого сооружения, в каналах контролируется глубина воды, особенно рядом с водоотводами. Сооружения для контроля также называются регуляторами, поперечными регуляторами (фото 2), регуляторами уровня и шлюзами-регуляторами.

Фото 2 Поперечные регуляторы со скользящими плоскими затворами, SMIS, Непал

Функция безопасности

Инфраструктура в системе каналов разветвляется по мере прохождения вниз по течению и транспортирующая способность отдельных сооружений снижается. Ввиду неустановившегося характера потока, необходимо обеспечить безопасное отведение избыточных вод. В системе контроля по уровню верхнего бьефа подобная нагрузка может превысить пропускную способность транспортирующих сооружений. Тогда это служит поводом для осуществления в некоторых критических точках отведения всего дополнительного расхода, с тем, чтобы предотвратить нанесение какого-либо вреда каналу и территориям, через которые он проходит (риск прорыва воды из канала и опасность затопления прилегающих территорий).

Функция безопасности может быть выполнена с помощью сооружений со скользящими плоскими затворами (водосбросы) как показано на фото 3 или через автоматические сооружения, состоящие из поперечного отражателя (фото 4), который ограничивает сток на водосливе, и бокового водослива, который срабатывает избыточный объем, когда поток ударяется об отражатель. В случае автоматических сооружений нет необходимости принимать какие-либо решения или выполнять какие-либо операции, в то время как это необходимо для сооружения с затворами, которое может ограничивать действенность безопасности.

Фото 3 Сооружение со скользящими плоскими затворами (водосброс), SMIS, Непал.

Функция измерения

Управление системой каналов подразумевает регулярное принятие решений, связанных с опознанным состоянием системы. Поэтому необходимо иметь информацию о состоянии системы, чтобы организовать надлежащий ответ. Таким образом, для менеджера важен мониторинг в ключевых точках системы посредством правильно спроектированных и размещенных измерительных сооружений (фото 5). Эти сооружения должны точно измерять соответствующие параметры, которые важны для управления (расход, глубина воды и т.д.).

Фото 4 Фиксированный боковой водослив с поперечным отражателем, Махараштра, Индия

Функция передачи информации

Эта функция обеспечивает то, что собранная на местах информация доступна для центров принятия решений в реальном времени или близком к нему режиме. Данная функция все больше выполняется с помощью устройств беспроводной связи. Система диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) – это система, которую часто используют для сбора и передачи информации и контроля на ирригационной системе.

Фото 5 Наблюдательная станция с дистанционным терминалом, Марокко.

Функция управления информацией

Хотя и не являясь частью физической системы каналов, формирование, обработка, отображение и архивирование являются основными функциями управления информацией.

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СИСТЕМ КАНАЛОВ: С ЗАТВОРАМИ И БЕЗ ЗАТВОРОВ

Ирригационные системы состоят из многочисленных участков – транспортирующих потоки воды – и гидроузлов, которые являются точками деления или забора воды. Гидроузел (также называемый точкой разветвления) – это отдельная точка, где:

- поток в канале делится на два или более потоков, согласно предварительно установленной модели или определенному, контролируемому заданию-плану;
- изменение/отклонение от плана также распределяется между разными подчиненными каналами.

Таким образом, гидроузел определяется с индивидуальными планами на водозабор каждого из отводов, но также и со способом, которым распределяются отклонения от запланированного. Гидроузел может быть пропорциональным, уходить в большую или меньшую сторону от пропорции.

Есть две основные категории гидроузлов: с затворами или без, и это соответствует двум основным типам систем: с затворами и без затворов. Последние зачастую основываются на заданном пропорциональном делении притока и обычно называются пропорциональной системой. Системы с затворами оснащаются регулируемыми затворами, которые используются для регулирования стока от нулевой до максимальной величины.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ВОДНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

Эксплуатация состоит из манипулирования затворами и сооружениями с тем, чтобы выполнить согласованную услугу и обеспечить ее пользователям. Есть разные схемы контроля работы канала, в зависимости от нескольких особенностей, которые приведены вкратце в этой главе. Один из важнейших аспектов состоит в определении контролируемой переменной.

Контроль расхода является наиболее общей процедурой контроля, посредством которой подача через основные водоприемники регулируются, чтобы соответствовать требованиям на расход вдоль инфраструктуры, или подача воды регулируется, чтобы соответствовать чистой обеспеченности (приток минус потери). Этот метод «контроля расхода» происходит вместе с контролем глубины воды в канале для обеспечения стабильного напора на водовыпусках.

Другие системы проектируются и работают для контроля объема на отводах из канала. Этот метод требует наличия аккумулирования воды, либо аккумулирующей емкости в самом канале, либо в промежуточных водохранилищах. Имеющееся накопление зависит от вариаций глубины воды в системе. Поэтому расход через водовыпуск должен быть в некоторой степени независимым от уровня воды выше по течению, т.е. водовыпускные сооружения (сооружения, подающие воду по этой аналогии) должны иметь низкую чувствительность к изменениям уровня воды в канале более высокого порядка.

ТИП КОНТРОЛЯ: ПО ВЕРХНЕМУ И НИЖНЕМУ БЬЕФУ

Большинство самотечных ирригационных систем основываются на регулировании уровня воды в верхнем бьефе (рис.6). По этой технике шлюзы-регуляторы в каннале должны регулироваться по времени, чтобы поддерживать уровень воды непосредственно в верхнем бьефе вследствие колебаний, которые появляются в результате изменений в головных сооружениях, с учетом задержки во времени для переброски воды и изменений в стоке, забираемом верхними каналами или водовыпусками, или поступающем в канал. Задача состоит в поддержании уровня воды выше по течению от каждого шлюза-регулятора, чтобы контролировать кривую подпора в верхнем бьефе. Кривая подпора определяет напор в водоотводах в верхнем бьефе.

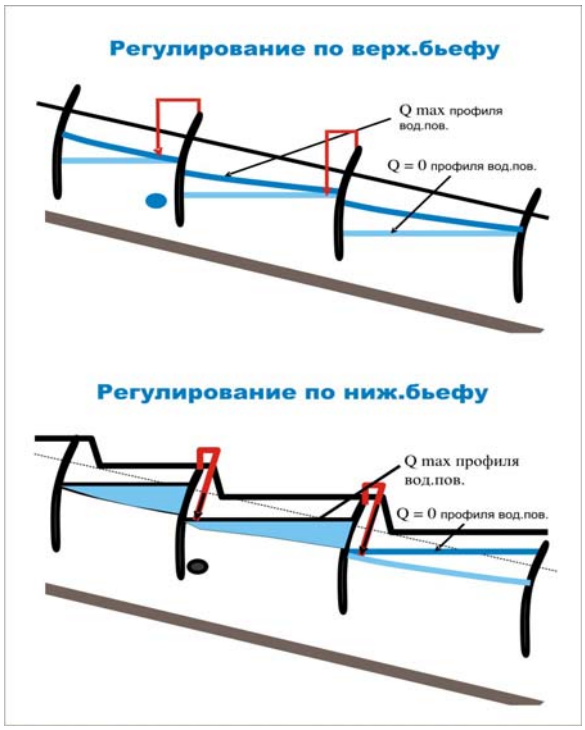


Рис.6. Схема принципов регулирования по верхнему и нижнему бьефам

Альтернативный метод, т.е. регулирование по нижнему бьефу, привлекло внимание инженеров и ирригаторов в основном из-за потенциального преимущества автоматического реагирования на меняющиеся требования от пользователей ниже по течению. Однако этот метод является дорогостоящим, поскольку обычно требует горизонтальных дамб канала и сооружений автоматизированного регулирования.

ВИДЫ УПРАВЛЕНИЯ

Системы, управляемые вручную

Для системы с затворами, управляемой вручную, персонал должен манипулировать каждым водовыпуском и регулятором, когда запланировано изменение в режиме стока или оно возникает в результате внеплановых помех. Эту задачу необходимо выполнять минимум один раз в день. Сложность в эксплуатации подобных систем заключается в наличии многочисленных сооружений, которые надлежит регулировать при изменении режима стока. Это большое число сооружений подразумевает мобилизацию большого объема ресурсов (трудовых и/или транспортных) для регулирования и мониторинга заданной настройки управления. Чем больше плотность и чувствительность сооружений, тем выше сложность задачи управления, вытекающая из условий нестационарного стока.

Системы без затворов легче эксплуатировать с позиции операторов системы, так как они не требуют многочисленных и частых вмешательств в регулярную работу. В известных системах, первоначально разработанных в Индии, Пакистане и Непале (Shanan, 1992), которые называют «структурированными системами», подача воды организуется вокруг попусков постоянного расхода с разной частотой. Распределение пропорциональное ниже пункта структуры и сооружения навсегда закреплены на стадии строительства (т.е. нет регулируемых частей). Нерегулируемая секция структурированных систем ограничена каналами второго/младшего порядка, а магистральные/распределительные каналы полностью регулируются. Экономия ресурсов при управлении сооружениями может быть огромной. Подобные системы были разработаны, главным образом, для дефицитного орошения и защиты от голода с целью обеспечения в среднем одной трети требований на воду для всей подвешенной зоны. На момент их строительства они были современными в том смысле, что они отвечали насущным потребностям и соответствовали ресурсам того времени. Сегодня с ростом требований на расширение ассортимента сельхозкультур и ускоренным ростом интенсивности земледелия они зачастую больше не могут обеспечить спрос Пользователей на воду.

Автоматические/полуавтоматические системы с затворами

Автоматизированные системы оснащены сооружениями, которые регулируют уровни воды в каналах во всём диапазоне расходов. Эти сооружения могут быть устройствами регулирования либо по верхнему, либо по нижнему бьефу.

Регулирование уровня воды достигается механическими перемещениями скользящих плоских, сегментных и клапанных затворов.

Автоматизированные системы различаются по способам эксплуатации затворов. Вообще говоря, имеются: (i) электроприводные системы с затворами, (ii) затворы, приводимые в движение гидравлическими силами без внешнего источника энергии или вмешательства со стороны человека.

Во многих странах Средиземноморского региона некоторые модернизированные системы оборудованы гидроприводными затворами. В Соединенных Штатах Америки затворы чаще оснащены электроприводами с локальным устройством программного управления, контролирующим уровень воды.

К гидроприводным затворам относятся AMIL (фото 6), AVIS/AVIO (Goussard, 1987), DACL (Clemmens and Replogle, 1987) и затворы Данедина (Burt and Plusquellec, 1990). Колебания в уровне воды могут все еще возникать в местах, удаленных от контрольного регулятора. Таким образом, гидроприводные автоматические шлюзы-регуляторы часто ассоциируются с распределителями постоянного расхода, такими как успокоители-забральные стенки (Burt and Plusquellec, 1990), для усиления общих эксплуатационных характеристик.

Фиксированные системы без затворов

Некоторые шлюзы-регуляторы могут обеспечивать хорошее регулирование уровня воды без затворов. Они используют простой водослив с широким порогом (ВШП), который сводит к минимуму колебания уровня воды в верхнем бьефе, вызванные изменениями расхода, до такой степени, что это колебание становится допустимым для близлежащих водоотводов.

Фото 6 Автоматический затвор для регулирования по верхнему бьефу (затвор типа AMIL)

Одной из категорий ВШП является широко известный расходящийся водослив (РХВ). В этих системах уровень воды выше сооружений ВШП регулируется при изменении стока в канале. Поэтому колебания расхода через близлежащий водовыпуск сводятся к минимуму путем выбора водовыпускных сооружений с низкой чувствительностью.

Обыкновенные трубы на дне между каналом старшего порядка и подчиненным каналом также являются простыми водовыпускными сооружениями без затворов, чья работа зависит от напора.

СООРУЖЕНИЯ СИСТЕМ С ЗАТВОРАМИ

Водовыпуски и регуляторы

Наиболее распространенными сооружениями в системах с затворами являются: (i) водовыпуски (водоотводящие сооружения) для регулирования забора воды в

заданной точке (фото 7, рис.7); и (ii) регуляторы (сооружения, контролирующие уровень воды) для минимизации колебаний уровня воды в заданной точке (рис.8).

Если водовыпуск нечувствителен к колебаниям глубины воды в канале старшего порядка, то нет необходимости устанавливать шлюз-регулятор. Это относится к некоторым специальным сооружениям, таким как успокоители-забральные стенки, а также к некоторым водовыпускам с донным водопропускным отверстием, когда они обеспечены достаточным напором (*H*), скажем 1 м или больше (означая тем самым, что они «низко чувствительные»).

Там, где водовыпуски чувствительны к колебаниям уровня воды, зачастую необходимо регулировать уровень в этом узле путем установки регулирующего сооружения.

Регулирование ирригационных сооружений

Характеристиками регулирования ирригационных сооружений являются: (i) свобода и точность, которые могут быть достигнуты при регулировании сооружения; (ii) усилия, требуемые для манипуляции и контроля; (iii) гидравлическая стабильность, исходя из чувствительности сооружения. Эти характеристики ведут к определению критериев эксплуатации.

Фото 7 Регулируемое водозаборное сооружение (водовыпуск).

Свобода регулирования и точность контроля могут быть проанализированы через классификацию сооружений, предложенную Хорстом (1983):

- Фиксированные: регулирование невозможно, например, водосливы, водопропускные отверстия и разделители.
- Открытые/закрытые: обычно затворы для каналов младшего порядка, либо полностью открытые, либо закрытые.
- Последовательного регулирования: регулирование по этапам, модулям или шандорами (фото 8).
- Постепенного регулирования: регулируемые водопропускные отверстия и подвижные водосливы.
- Автоматические: гидравлически регулируемые затворы.

Для фиксированных сооружений, свобода регулирования равна нулю, так как выход устанавливается непосредственно текущим расходом (входом) и точность не имеет смысла. Для открытых/закрытых сооружений свобода и точность не важны. Для последовательного регулирования свобода и точность ограничены числом дискретных шагов при регулировании между нулевой и полной пропускной способностью. Для постепенно регулируемых сооружений степень свободы, по сути, высокая в том смысле, что обычно возможно выбирать любую настройку между нулем и максимальной величиной. Точность будет зависеть от дискретности механического регулирования. Для гидроприводных автоматических сооружений (самодействующих) условия потока являются руководящими факторами. Вообще, эти сооружения не могут регулироваться при их стандартном использовании и поэтому степень свободы нулевая. Тем не менее, цель эксплуатации заключается в поддержании постоянного расхода на выходе, и точность определяется диапазоном изменений выхода в результате изменений входа.

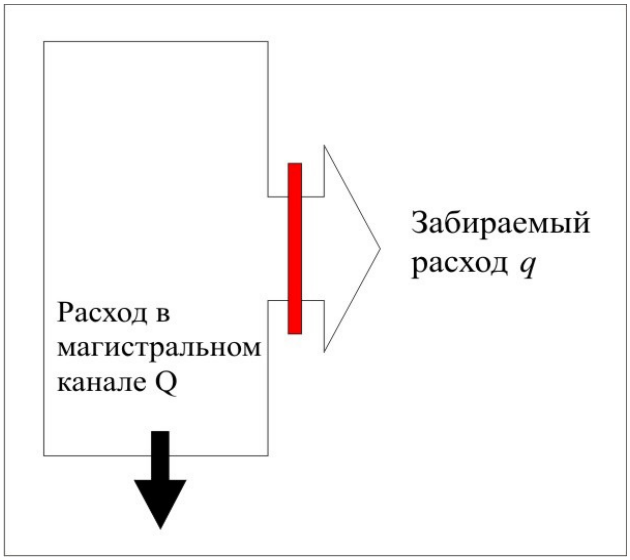


Рис. 7 Открытие водоотвода регулирует забираемый расход

И, наконец, для всех видов сооружений необходимо делать различие между ручными, гидроприводными и моторизованными регулирующими сооружениями.

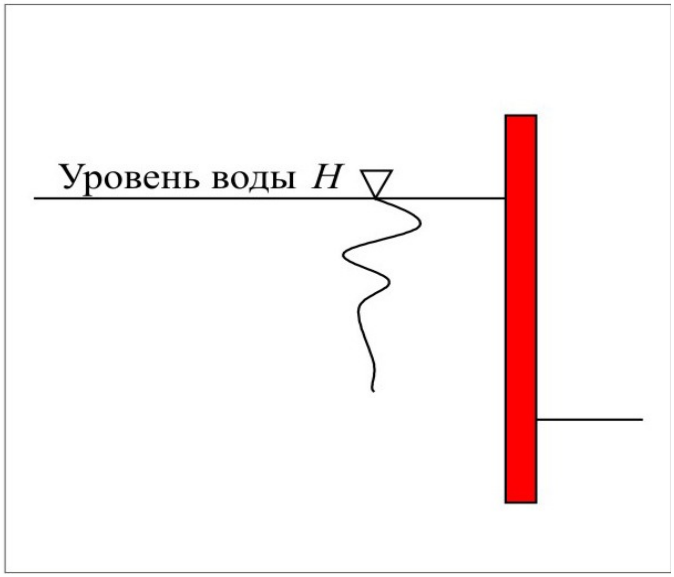


Рис. 8 Затвор регулятора регулирует уровень воды в верхнем бъефе

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИРРИГАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Есть два критических момента в организации эксплуатации канала:

- определение технических условий эксплуатации для каждого сооружения (рассматриваемого как независимое);

- определение последовательности вмешательств: план эксплуатации для планового изменения и для текущих вмешательств.

Эксплуатация сооружения подразумевает цикл различных действий: (i) решение произвести операцию по управлению сооружением; (ii) задачи управления; (iii) вмешательство в сооружение; (iv) мониторинг сооружения, который может затем опять инициировать решение произвести операцию по управлению и т.д. Специальной функцией сооружения может быть контроль водозабора, регулирование заданного уровня воды, измерение ключевых переменных или запись информации. Для выполнения этих разных задач используются различные типы сооружений. Для каждого типа сооружения менеджеры могут определять четкие цели, которые должны быть достигнуты, и устанавливать четкие наборы инструкций для операторов, как действовать.

Фото.8 Пошаговый регулятор расхода, Шри-Ланка.

ОДНО СООРУЖЕНИЕ: ВОДООТВОД

Эксплуатация точки выдела (водовыпуска) означает достижение ограниченного во времени изменения расхода в этой точке. Если это водовыдел одного конечного пользователя, он может быть открыт и закрыт, с или без возможности регулирования расхода. Если это промежуточный узел, обслуживающий большую группу Пользователей, он может предусматривать регулирование для изменения стока.

Эксплуатация точки выдела включает набор физических вмешательств:

- ✓ манипулирование сооружением: открытие и закрытие затвора;
- ✓ регулирование под заданный расход: установка степени открытия затвора;
- ✓ проверка и реагирование.

Для каждого водовыпускного сооружения следует давать четкие инструкции по эксплуатации, как показано, например, в таблице 4.

Таблица 4 Пример таблицы по эксплуатации сооружения

Сооружение X	Инструкции
Функция:	Водозабор
Целевое значение:	От 0 до max 100 л/с
Допустимое отклонение:	+/-10%
Частота проверки:	Два раза в день
Задачи проверки:	Замерять уровень воды на водомерном устройстве водослива ниже по течению
Задачи принятия решений:	Централизованное и/или локальное
Задачи вмешательств:	Открытие и закрытие по плану эксплуатации путем настройки степени открытия затворов после проверки

Эксплуатация вручную подразумевает, что оператор должен находиться у сооружения, чтобы манипулировать затвором (открывать и закрывать) согласно плану водораспределения, а также, чтобы выполнять текущую эксплуатацию. Таким образом, «эксплуатация» мобилизует различные виды ресурсов: персонал, транспорт, связь, способности и инструкции.

Учитывая большое число сооружений в системе каналов, физическая эксплуатация одного единственного сооружения должна рассматриваться в контексте:

- Принятия решений на уровне управления. Необходимо принимать решения по конкретным графикам и заданиям согласно планам вододеления и водному балансу всех притоков и оттоков (потери в каналах, организационные потери).
- Инфраструктурной сети, где должны учитываться взаимодействие между сооружениями, задержки во времени между действием и последствиями, чтобы минимизировать требования на вмешательства (или, иначе говоря, максимизировать их эффективность).
- Увязка ресурсов, выделенных/имеющихся в наличии для эксплуатации системы. Эксплуатацию одного сооружения просто выполнять там, где средств достаточно, например, персонал может быть использован на каждом соружении или группе близлежащих сооружений. Однако трудности возникают, когда в пределах подвешенной зоны расположено много сооружений. Это требует хорошо структурированной организации для координации и оптимизации операций с одновременной минимизацией затрат на эксплуатацию и техобслуживание.

ОДИН РЕГУЛЯТОР

В системах регулирования по верхнему бьефу задача заключается в управлении глубиной воды выше от регуляторов в пределах определенного отклонения (допустимое отклонение) вокруг заданного значения. Это значение обычно задается для того, чтобы в водовыпуски можно было надлежащим образом подавать воду под влиянием регулятора.

Шлюзы-регуляторы могут быть зафиксированными (ВШП), автоматическими (затвор типа AMIL) или настраиваемыми, состоящими из одного или нескольких

затворов. За некоторыми исключениями на современных системах, шлюзы-регуляторы зачастую оснащены затвором с донным водопропускным отверстием (скользящие плоские или сегментные затворы).

Значительные улучшения были получены для шлюзов-регуляторов с донным водопропускным отверстием, при оборудовании их двойными боковыми водосливами (фото 9). В этом случае задача эксплуатации состоит в поддержании поверхности воды, немного перекрывающей уровень перелива боковых водосливов. Задание уровня ниже гребня обеспечивает худшее управление, поскольку нет эксплуатационного эффекта от перелива через водосливы.

Затворы настраиваемых регуляторов должны эксплуатироваться по определенным правилам (реагирование на замеренное отклонение в глубине воды, на темп изменений и т.д.), чтобы обеспечивать хороший контроль над уровнем воды без чрезмерных колебаний водного профиля по длине канала (таблица 5). В системах, эксплуатируемых вручную, должны быть также выработаны специальные правила, хотя и более простые.

Фото 9 Шлюз- регулятор, оборудованный центральными сегментными затворами и боковыми водосливами, Махавели Б, Шри-Ланка

Эксплуатация регулятора состоит, главным образом, из двух элементов: назначение времени (когда управлять) и режим настройки (как настраивать).

При ручном управлении для текущих операций распространено, что поправки, вносимые оператором в уставку затвора, пропорциональны наблюденному отклонению уровня воды от заданного значения, соответствующего номинальной глубине воды в канале (НГВ).

Таблица 5 Пример правил для настраиваемого регулятора

Сооружение	Регулятор (i)
Функция:	Регулирование уровня воды
Требуемое значение:	Конкретный уровень воды
Допустимое отклонение:	Плюс или минус X см вокруг требуемого значения
Частота проверки:	Определяется
Задачи проверки:	Отклонение от требуемого значения
Задачи принятия решений:	В соответствии с предварительно определенными изменениями
Задачи вмешательств:	Настройка затворов регулятора по определенным правилам (настройка и изменения)

При описании процедуры эксплуатации необходимо отличать следующее: (i) запланированные изменения в расходе или управление, основанное на планировании (которое требует непосредственной настройки уставок затвора регулятора, чтобы обеспечить ожидаемый расход в этой точке после того, как профиль водной поверхности стабилизируется); (ii) текущая эксплуатация или реагирующая эксплуатация.

Операции для аварийных ситуаций и M&O совершенно отличаются по своему характеру и здесь не рассматриваются. При часто эксплуатируемой системе (зачастую автоматизированной) нет необходимости делать различие между запланированной и текущей эксплуатацией; каждый шлюз-регулятор эксплуатируется согласно замеренным с помощью датчиков изменениям. При эксплуатации вручную (фото 10) важно проводить различие между запланированными и внеплановыми операциями.

Фото 10 Настройка степени открытия сегментного затвора на шлюзе- регуляторе, Пакистан

ОПЕРАЦИИ НА УРОВНЕ СИСТЕМЫ

В крупных системах каналов сооружения тесно взаимодействуют друг с другом. Операции не являются просто суммой независимых действий. Скорее всего, они должны быть согласованным набором действий, нацеленных на доведение до максимума услуг для пользователей и сведение к минимуму потерь.

При средних и крупных системах операции на каналах не выполняются одним человеком или одной группой, а разделены на многочисленные эксплуатационные единицы. Эти подразделения определяются несколькими способами:

- деление на ясно очерченные обособленные водохозяйственные единицы;
- административные районы/сектора;
- группы крупных сооружений канала, которые могут управляться одним оператором.

Ясно очерченные обособленные водохозяйственные единицы предназначены для обеспечения независимого управления водой и эксплуатации каналов в определенной зоне. Для последних двух из перечня эксплуатационных единиц управление и эксплуатация больше зависят от того, что происходит выше по течению.

План вододеления – передача и планирование

До выполнения запланированной водоподачи на недельной/суточной основе, должно быть выполнено планирование на основе анализа спроса, возможно исходящее непосредственно от пользователей (заявки на воду) и некоторой агрегации, чтобы обеспечить баланс водообеспеченности. План эксплуатации также необходим, чтобы обеспечить надлежащее выделение средств (транспорт, персонал, связь и т.д.) и гидравлическую плавность запланированного изменения (например, учитывая задержку во времени вдоль инфраструктуры).

Планирование подачи и стоков в основных точках и узлах

Планирование подачи и стоков требует плана эксплуатации (согласованной последовательности вмешательств на сооружениях).

Типичной мотивацией для запланированных настроек сооружений шлюза- регулятора вдоль канала является возникновение изменения в шаблоне водораспределения (например, каждую неделю или две недели). К примеру, это происходит, когда меняется очередность водоподачи, подразумевая увеличение стока в некоторых точках и уменьшение или прекращение подачи воды в других точках (водооборот). Весь баланс стока воды должен быть переведен из одной очереди в другую. Это подразумевает многочисленные изменения на сооружениях контроля и водоподачи. Подобные изменения необходимо организовывать согласованно и эффективно.

ОТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ К ПЛАНУ ЭКСПЛУАТАЦИИ

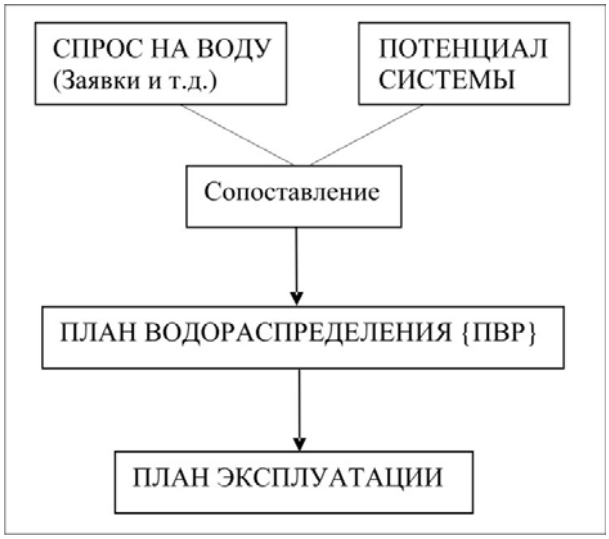
Имеется много способов эксплуатации системы, в зависимости от ограничений и возможностей в управлении водой, используемых методов, физических условий системы и т.д. Однако все системы с затворами, регулируемые по верхнему бьефу, следуют одинаковым основным шагам от сопоставления спроса с пропускной способностью до плана эксплуатации через план водораспределения (ПВР) как показано на рис.9.

ПВР является первым шагом в разработке плана эксплуатации канала. Он строится с учётом согласования требований пользователей с ограничениями в располагаемых водных ресурсах, а также с учётом пропускной способности инфраструктуры по транспортировке и распределению воды:

- Сбор заявок на воду от пользователей и анализ спроса на услуги по водоподаче.
- ПВР (на день, на неделю или дольше (подекадно или помесячно)): распределение потоков и объемов воды во времени и пространстве в пределах зоны обслуживания и по системе каналов, с учетом ограничений по водности и физических ограничений в транспортировке.

План эксплуатации нацелен на вы полнение ПВР с одновременным учетом трех важных особенностей:

- планирование водоподачи в точки выдела согласно ПВР;
- необходимость справляться с ошибками и неопределенностями;
- приспособление к незапланированным изменениям.



В результате, план эксплуатация должен иметь согласованную, в масштабе всей системы процедуру/организацию/последовательность, чтобы: (i) осуществлять плановые изменения; (ii) работать с неопределенностями; (iii) иметь локальные инструкции, которые помогут справиться с внеплановыми изменениями.

Рис.9.
От спроса на воду к плану водораспределения до плана эксплуатации

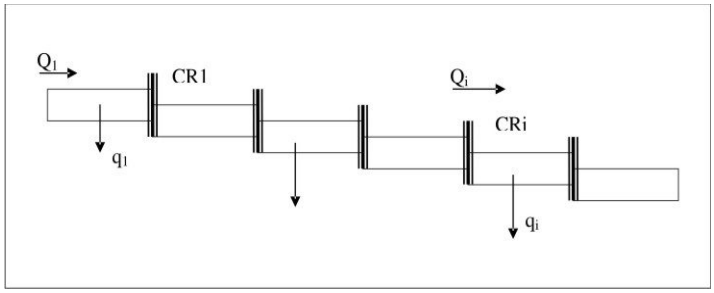


Рис.10.
Схема канала в виде набора водоемов

На рисунке 10 показан план канала в виде набора бассейнов. Используя его в качестве примера можно поставить следующие вопросы:

- Как организовать порядок работы на шлюзах-регуляторах, чтобы обеспечить изменение водозабора на участке “i”, например, при открытии водовыпуска на новый расход от 0 до q_i в заданное время t_i?
- Когда операторы должны изменять основной расход в головных сооружениях?
- Какова последовательность операций на шлюзах-регуляторах между головными сооружениями и участком “i”, которая должна выполняться, чтобы ввести в действие новую модель вододеления?

Несколько вариантов последовательности операций рассматриваются ниже.

ВАРИАНТЫ ЗАПЛАНИРОВАННЫХ/ПРОГНОЗИРУЕМЫХ ОПЕРАЦИЙ

Для простого шлюза-регулятора на канале литература указывает несколько процедур для запланированных или прогнозируемых операций (USBR, 1995). Основными из них являются:

- последовательная нисходящая, которая включает: управление шлюзом-регулятором с учетом времени задержки (ЭВЗ) или любые вариации ЭВЗ, например, пропорциональная времени задержки (ПВЗ);
- последовательная восходящая (ПВХ);
- эксплуатация шлюза-регулятора в параллельном режиме (ПЭ).

Последовательная нисходящая ЭВЗ (эксплуатация с учетом времени задержки)

Последовательная нисходящая эксплуатация регулятора особенно совместима с операциями, выполняемыми вручную, так как оператор может настраивать затворы последовательно при движении вниз по каналу.

Последовательная ЭВЗ требует, чтобы операторы затворов настраивали уставки затворов по мере того, как фронт проходящей волны приходит к шлюзу-регулятору в ответ на операции выше по течению. При таком методе упреждение прохождения волны потока нулевое. Для изменений в водозаборе нужно ждать завершения прохождения волны.

Время распространения изменений может быть относительно долгим в каналах. Нередко, чтобы стать ощутимым в нижней части сети, изменение в водоподаче в канал относительно большой протяженности занимает более 24 часов. Чтобы оперировать сооружениями и вовремя обеспечивать спрос на воду, менеджерам важно знать, как волны распространяются в системе (рис.11).

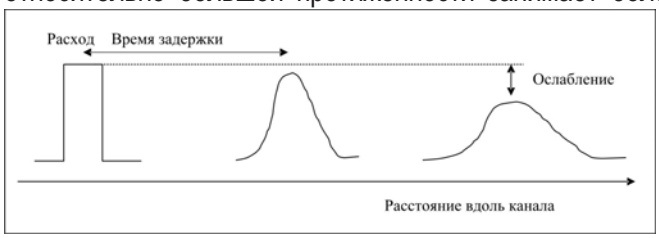


Рис.11. Нисходящее распространение волны по каналу

Время перемещения волны от главного водоема в любую точку вдоль инфраструктуры может быть оценено из прошлого опыта или с помощью меняющейся модели. Детальные знания о длительности распространения волны вдоль системы каналов могут быть переведены в стратегию управления сооружениями и, в частности, при установленных правилах управления они позволяют избежать увеличения возмущений (колебаний) потока вдоль канала.

Сложность применения этого метода возникает тогда, когда время задержки составляет более 12 часов, что имеет место в случае средних и крупных систем. Это означает, что где-нибудь операции приходится выполнять ночью – что может быть иногда сложным с социальной точки зрения.

Когда время добегания до хвостовой части превышает сутки, этот метод создает большие задержки в реализации изменений в водоподаче, что может или не может быть

совместимым с графиком водоподачи. Там, где эти задержки неприемлемы, менеджеры должны работать с упреждением водоподач, заранее производя изменения стока, требуемые для хвостовой части.

Восходящая процедура эксплуатации по блокам

Восходящая эксплуатация состоит из выполнения настроек затворов, начиная с хвостовой части системы. На практике каждый оператор затвора отвечает за эксплуатацию нескольких шлюзов-регуляторов (обозначенных здесь как один блок). Поэтому операторы начинают настройку одновременно на шлюзах-регуляторах в самой нижней части блока, индивидуально настраивая их. После установки требуемого положения затвора операторы переходят к следующему регулятору выше по течению (рис.12). В основном, задержка между операциями на последовательно расположенных шлюзах-регуляторах составляет около 60 минут. В заключение, настраивается регулятор главного водозабора, и изменение в подаче передается по системе. При восходящей эксплуатации упреждение волны максимальное.

Эксплуатация в параллельном режиме

Эксплуатация в параллельном режиме (ПЭ) требует, чтобы все сооружения настраивались одновременно. Это позволяет быстро учредить новый устойчивый режим потока вдоль канала. При работе регуляторы порождают как положительные, так и отрицательные волны в прилегающих участках. Эти волны гасят друг друга в точке поворота водоема и устанавливают новый устойчивый профиль. Это возможно только когда на каждом сооружении есть оператор. На практике операторы должны перемещаться от одного регулятора к следующему. Упреждение проходящей волны в этом варианте –промежуточное между вариантами эксплуатации с учетом добегания и восходящей.

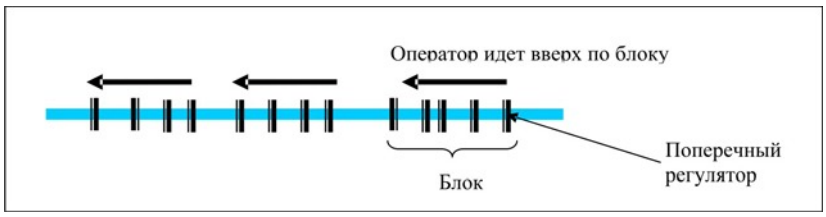


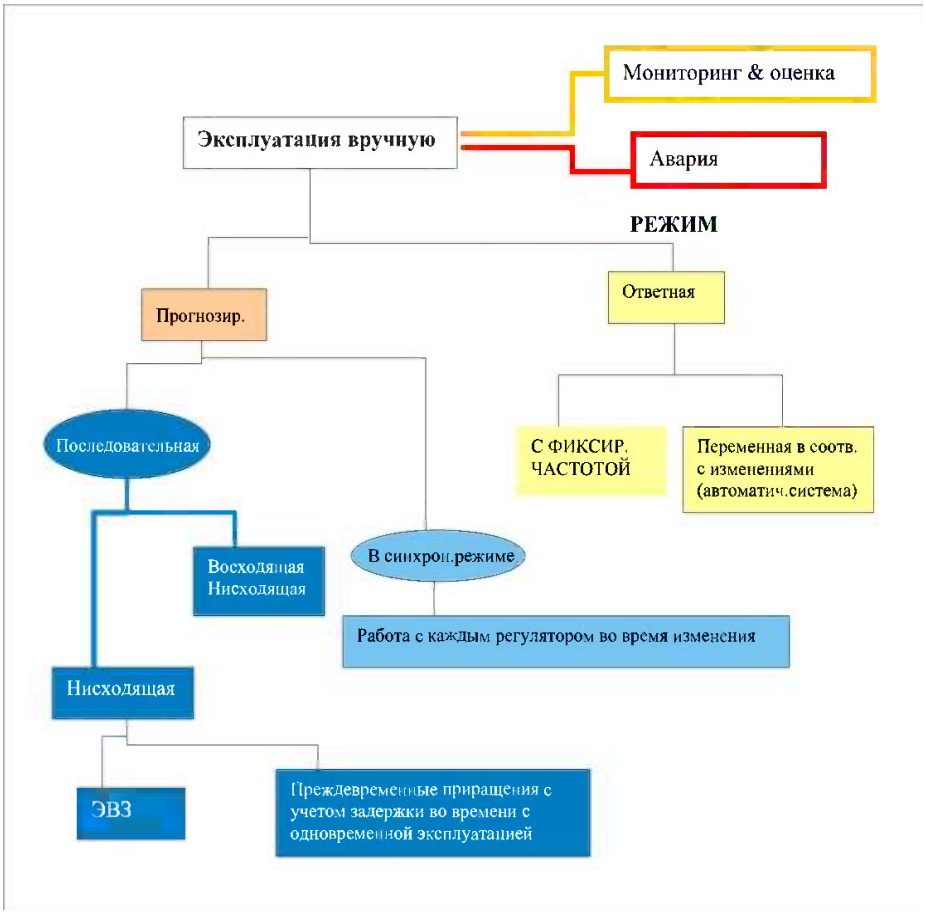
Рис.12. Иллюстрация восходящей процедуры эксплуатации по блокам

Преждевременные приращения с учетом задержки во времени с одновременной эксплуатацией

Когда изменение водоподачи должно происходить в одно и то же время недели на канале относительно большой протяженности, процедура ЭВЗ не может применяться так, как она была описана выше. Задержка во времени должна учитываться заранее. Возрастающие преждевременные изменения от головной подачи могут установить систему в правильное состояние с надлежащими расходами ко времени изменения. Например, повышение на 10 м^3 делается на 12 часов раньше в головной подаче, если время задержки для достижения точки этого отдельного увеличения подачи составляет около 12 часов. Когда возрастающие изменения притока (волны) проходят через канал, регуляторы в верхнем течении работают в текущем режиме.

Другие методы

Операции, пропорциональные задержке во времени (ПВЗ), обусловленной длительностью добегания фронта потока являются компромиссом между ЭВЗ и ПЭ. Затворы управляются в определенной пропорции (между 0 и 1) соответственно длительности добегания. Степень упреждения переменная. Реализация эксплуатации ПВЗ



РРис.13. Варианты эксплуатации

требует, чтобы операторы имели приблизительные оценки длительности добегания в обычных условиях. Ее можно получить экспериментальным путем, наблюдая Распространение изменения потока по каналу. Впоследствии, эти оценки могут быть использованы для определения приблизительных величин для ПВЗ на каждом шлюзе-регуляторе канала.

На рисунке 13 обобщены все варианты эксплуатации.

ПРОЦЕДУРА УПРАВЛЕНИЯ С ФИКСИРОВАННОЙ ЧАСТОТОЙ ПРИ УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИКЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Стандартные операции управления выполняются только на шлюзах-регуляторах, и они происходят с фиксированной частотой (ФЧ). Например, в Шри-Ланке частота повторения этих операций обычно два раза в день: первая – в промежуток между 7 и 9 часами утра, а другая – в промежуток между 4 и 6 часами дня. Эта модель управления соответствует номинальному 12-часовому периоду в эксплуатации шлюзов-

регуляторов. Обмены операционной информацией между операторами затворов и менеджером системы ограничиваются одним разом в день, обычно утром.

При процедуре ФЧ для реакции на внеплановые изменения стока не определяются специальные операции. Текущие настройки с периодичностью в 12 часов считаются достаточной реакцией в данном случае. Например, в обычном, стандартном режиме эксплуатации – с запланированным значением, установленным на максимальном нормальном уровне воды (МНУ) – не делаются попытки управлять положительными изменениями стока, путем сохранения дополнительных объемов стока либо на участке канала, либо в линейных водохранилищах. В данном случае основной задачей управления является минимизация воздействия изменений стока на текущую подачу воды и рассеивание паводкового стока без повреждения сооружений канала.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Цель эксплуатации в аварийных ситуациях – предотвратить серьезные повреждения в системе канала, вызванные непредвиденными паводками, авариями на сооружениях и т.д. Она выполняется путем сооружения обводных русл или аккумулирования излишков воды в естественных водотоках и водосборных бассейнах.

МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА

Мониторинг и оценка требуются, чтобы обеспечить принятие разумных решений в отношении эксплуатации, и необходимых для оценки фактических услуг, предоставляемых пользователям. Поэтому М&О ориентированы на состояние сооружений системы и потоки, а также услуги для пользователей. Здесь действия затрагивают мониторинг внутренних физических переменных (уровни воды, расходы и уставки затворов) и услуг (подача воды промежуточным и/или конечным пользователям).

Анализ работы является неотъемлемой частью управления. Он необходим для надлежащего планирования и отслеживания фактических достижений в эксплуатации. Эксплуатационные показатели должны рассматриваться с трех позиций: (i) обслуживание пользователей; (ii) эффективность управления ресурсами; (iii) затраты на управление инфраструктурой.

Эксплуатация имеет свои собственные, очень специфичные информационные требования (сбор, передача и обработка) и, таким образом, в планы информационного обеспечения эксплуатации должны входить специальные «оперативные информационно-управляющие системы».

НАПОЛНЕНИЕ КАНАЛОВ В НАЧАЛЕ ИРРИГАЦИОННОГО СЕЗОНА

В начале сезона, когда начинается эксплуатация сооружений канала, системы должна быть очищена и весь накопленный мусор должен быть удален. Это особенно важно в системах, расположенных в городских зонах. Необходимо выполнить некоторую предварительную очистку, чтобы удалить большую часть отложений. Однако этого часто недостаточно, и когда каналы заполняются водой, вероятно, что будет много плавающего мусора во фронте волны. В случае, если ничего не предпринимается для удаления плавающего мусора в ключевых пунктах, система подвергается риску образования некоторых заторов и разливов.

Требования к этому типу эксплуатации зависят от продолжительности периода отсутствия стока – чем дольше этот период, тем больше потребность в ресурсах и действиях в преддверии сезона.

ЗАКРЫТИЕ КАНАЛА В КОНЦЕ СЕЗОНА

Закрытие канала должно всегда быть постепенным. При слишком быстром падении уровня воды в земляном русле вероятен размыв берегов. В литературе приводятся некоторые максимальные рекомендуемые снижения скорости потока в канале (USBR, 1995).

НАПОЛНЕНИЕ КАНАЛОВ ПОСЛЕ КОРОТКОГО ПРЕРЫВАНИЯ В ТЕЧЕНИЕ СЕЗОНА

Наполнение канала после короткого прерывания, вызванного краткосрочным событием, например выпадением атмосферных осадков, должно выполняться с осторожностью, поскольку спрос на воду может быть неопределенным. Необходимо тщательно следить за водоподачей на фоне любых изменений спроса, чтобы не сбрасывать излишние объемы воды. Имеется также риск, что обильные и распространенные на большей части территории осадки будут способствовать более однородным (или близким к однородным) уровням почвенной влажности в зоне обслуживания, и породят новую форму спроса со всеми заявками, поступающими одновременно, а не поочередно как раньше.

ДЕЛЕНИЕ НА ЕДИНИЦЫ УПРАВЛЕНИЯ/ЭКСПЛУАТАЦИИ

Средние и крупные системы каналов часто организуются для эксплуатации через деление на единицы управления/эксплуатации. В некоторых случаях эти единицы могут быть определены по административным границам или, исходя из других практических соображений, таких как способности одного оператора справляться с определенным числом сооружений на канале при имеющихся средствах связи и транспорта.

Хотя наилучшим выбором всегда является деление на ясно очерченные независимые единицы управления водой, условия не всегда позволяют это выполнить. Чётко очерченный эксплуатационный участок может быть определен как участок, где расход может контролироваться (колебания компенсируются). Независимая (только до определенной степени) единица является подкомандной зоной, для которой приток контролируется (до некоторой степени) и не полностью зависит от эксплуатации выше по течению. Простой способ разделения ирригационной системы на более малые единицы заключается в наличии одного управления, контролирующего магистральный канал, а каналы второго и третьего порядка (отдельные каналы или группы каналов, в зависимости от протяженности этих каналов и/или других условий) могут образовывать отдельные единицы.

Учитывая взаимосвязанность систем каналов, полная независимость эксплуатации редко достигается (только в случае подкомандной каналу зоны с одним водохранилищем). Тем не менее, чаще можно наблюдать относительную независимость, приносящую определенные выгоды в смысле управления.

На практике имеются три случая, когда приток в зону обслуживания может контролироваться:

- если есть большое водохранилище;
- если работает водообильная система с непрерывными сбросами с тем, чтобы опорожнять излишки;
- если легко доступны альтернативные водные ресурсы для сглаживания колебаний стока, порождаемых операциями управления выше по течению.

Использование промежуточного водохранилища

Промежуточное водохранилище в пределах системы каналов является главным активом для управления. Оно дает возможность возобновлять управление системой с контролируемым и измеряемым расходом, который может соответствовать спросу в нижнем течении.

Имеются разные виды водохранилищ:

- линейное водохранилище на магистральном канале;
- автономные водохранилища, но связанные напрямую с тем же каналом.

Водохранилища могут быть полезными не только для управления всей веткой, на которой они установлены, но также для других веток каналов выше водохранилища.

Альтернативные источники воды

Там, где легко доступен альтернативный источник воды, некоторые из колебаний в стоке магистрального канала могут быть компенсированы через дополнительную водоподачу. Это дополнительное водоснабжение может быть различного происхождения:

- дополнительные естественные поверхностные водотоки, которые могут быть использованы;
- повторное использование дренажных вод;
- подземные воды.

Управление сбросами

Управление сбросами является одним из элементов эксплуатации в ирригационных системах, регулируемых по верхнему бьефу. В частности, эта техника адаптирована к системам, работающим в естественном режиме реки, когда и где наличие расхода в реке не является главным ограничением. Она состоит из отведения излишней воды и организации системы каналов в виде единиц управления, отделенных сбросами (рис.14). Каждая единица работает с излишком воды и оператор в каждой единице отвечает за управление верхним водосбросом для подгонки под спрос (например, открытие водосброса, когда спрос в пределах единицы снижается).

Расход сброса (Q_{spill1}) регулируется регулярно, чтобы уравновешивать стоки в расположенной ниже единице (Q_{spill1}= Q_{MC1} – Q_1 - Q_{MC1}). Когда возникает изменение в этом балансе, оператор будет соответственно регулировать сброс. Эта система позволяет подстраиваться в любое время к спросу в нижнем течении и может рассматриваться как вид управления с регулированием по нижнему бьефу.

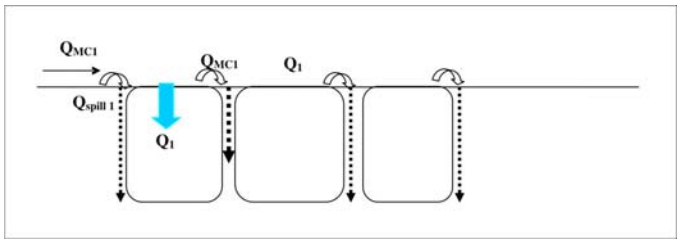


Рис.14. Схема канала, оборудованного сбросами

Глава 4

Оценка ПЭО

Точная оценка текущей рабочей ситуации часто является наиболее важным этапом в процессе модернизации. Она дает хорошее представление о сдерживающих факторах и проблемных зонах в системе. Хотя показатели работы системы можно оценить по-разному, ФАО рекомендует использовать ПЭО, которая была разработана ФАО, а также Тренинговым и научно-исследовательским центром по ирригации (ITRC) из Калифорнийского политехнического государственного университета для того, чтобы дать возможность руководителям приступить к начальной стадии модернизации вместе с лидерами групп водопользователей.

ПЭО представляет собой систематический набор процедур для оценки узких мест, а также производительности и уровня обслуживания в рамках оросительной системы. Она дает квалифицированному персоналу четкую картину того, где условия должны быть улучшены, а также оказывает помощь в определении приоритетности этапов по модернизации. Кроме того, она также дает исходные индикаторы, которые могут использоваться в качестве критериев для сравнения положительных сдвигов в работе системы после того, как осуществлены планы по модернизации. В Приложении 3 содержится подробная информация по ПЭО и как ее проводить.

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДИАГНОСТИКИ И ОЦЕНКИ

Оценка или экспертный анализ эксплуатационных характеристик проекта служит фундаментальной основой для разработки стратегий и планов по модернизации. Таким образом, если она не выполнена должным образом, то весь процесс модернизации, вероятно, будет неудачным и не принесет желаемых результатов. Оценка работы ирригационной системы должна помочь в определении краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных мероприятий, необходимых для усовершенствования эксплуатационных характеристик.

Анализ или экспертная оценка должны быть:

- систематическими: проводиться с использованием четких, пошаговых процедур, хорошо спланированных и точно выполняемых;
- объективными: если выполняются различными специалистами, результаты не должны отличаться;
- своевременными и эффективными с точки зрения затрат (не занимать слишком много времени, и не быть слишком дорогими);
- основанными на минимуме данных, необходимых для всесторонней оценки.

Она должна охватывать:

- все аспекты, которые могут повлиять на фактическое обслуживание в области водоснабжения, в том числе физическую инфраструктуру, практику управления водными ресурсами, роль и обязанности ведущих АВП, бюджеты и их техническое обслуживание;
- все уровни системы.

Процесс соответствующей диагностики или анализа должен быть основан на сочетании:

- полевых исследований для оценки физического состояния системы и производственных процессов;
- бесед с операторами, менеджерами и пользователями для оценки аспектов управления;
- анализа данных для оценки водного баланса, показателей уровня обслуживания и физических характеристик.

Систематическая оценка текущей ситуации должна иметь возможность ответить на следующие вопросы:

- Какой уровень оказания услуг по водоподаче свободно обеспечивает система в настоящее время?
- Какие средства технического обеспечения (инфраструктура) и программного обеспечения (операционные процедуры, организационная структура и т.д.) влияют на этот уровень оказания услуг?
- Какие конкретные недостатки в работе системы, управлении, ресурсах и инфраструктуре / техническом обеспечении?
- Какие простые усовершенствования в различных компонентах могли бы внести существенные изменения в оказание услуг пользователям?
- Какие долгосрочные меры могут быть приняты, чтобы значительно улучшить услуги по водоподаче?

Обычно при оценке оросительных систем часто рассматривают общую картину и учитывают исходные ресурсы (воду, трудовые ресурсы, общие затраты и т.д.) и результаты работы системы (урожайность, возмещение издержек производства и т.д.). Хотя общая картина и имеет важное значение, она не дает понимания о том, какие части или какие компоненты системы должны быть усовершенствованы или изменены в целях улучшения обслуживания экономически выгодным способом. Поэтому, точная диагностика должна обеспечивать понимание внутренних процессов также как результатов работ. Иными словами, она должна интегрировать внутренние и внешние индикаторы.

Внутренние индикаторы

Внутренние индикаторы количественно оценивают внутренние процессы (затраты [используемые ресурсы], и результаты [услуги для пользователей нижнего течения]) ирригационных проектов. Внутренние индикаторы связаны с технологическими процессами, управлением и организационной структурой, техническим обеспечением системы, оказанием услуг по обеспечению водой и т.д. (табл. 6). Эти индикаторы необходимы для того, чтобы иметь полное представление о процессах, которые влияют на услуги по водоподаче и общую работу системы. Таким образом, они дают возможность понять, что может или должно быть сделано в целях улучшения услуг по обеспечению водой и всеобъемлющих эксплуатационных характеристик (внешние показатели).

Таблица 6 Примеры внутренних и внешних индикаторов

Внутренние индикаторы	Внешние индикаторы
Величины расхода	Продуктивность подкомандной зоны
Надежность	КПД орошения поля
Гибкость	Удельная продуктивность земли (долл.США/га)
Справедливость	Удельная продуктивность воды (долл.США/м^3)

Внешние индикаторы

Внешние индикаторы сравнивают затраты и результаты работы ирригационной системы для того, чтобы охарактеризовать всеобъемлющие эксплуатационные характеристики. Эти индикаторы проявляются в различных формах эффективности, например, продуктивности водопользования, урожайности и бюджете. Они не предусматривают каких-либо подробностей о том, какие внутренние процессы приведут к этим результатам и что должно быть сделано в целях повышения эффективности. Тем не менее, они могут использоваться для сравнения эффективности различных ирригационных проектов, как на национальном, так и на международном уровне. После того, как эти внешние индикаторы рассчитываются, они могут быть использованы в качестве ориентира для оценки воздействия модернизации на повышение общей эффективности.

ОЦЕНКА ИРРИГАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ - МЕТОДЫ, СРЕДСТВА И ПРОЦЕДУРЫ

Обычно, в методиках, которыми пользуются исследователи и эксперты для оценки системы, используются анкеты, сбор и подробный анализ данных, оценки стоимости сельхозугодий с участием пользователей (ОСУ) и детальные обзоры. Однако использование этих инструментов зависит от перспективы, с учетом которой выполняется диагностический анализ. Например, исследователи часто делают выбор в пользу сбора данных и детального анализа, который требует много времени и других ресурсов. ПЭО при диагностике часто учитывает местные знания и перспективу на будущее в отношении эксплуатационных качеств оросительной системы.

Традиционно диагностические процедуры сосредоточены только на одном или двух компонентах, например, справедливости в водоснабжении или организационной реформе, и охватывают лишь часть этой системы, например, один канал 1-го порядка. Эти, связанные целевыми ограничениями диагностические исследования, как правило, основываются на сборе большого количества полевых данных и, таким образом, являются трудоемкими и дорогостоящими. Сбор данных возможен для долгосрочных

исследовательских проектов. Однако для оценки и диагностики проектов в целях их модернизации часто необходимо оценить ситуацию быстро с любыми данными, которые имеются в распоряжении. Изученный опыт показывает, что там, где данные не всегда легко доступны в проекте, как правило, нереально ожидать от персонала проекта, что они будут собирать их.

Подход ФАО к оценке оросительной системы

Опыт показал (ФАО, 1999г.), что быстрое и целенаправленное изучение ирригационных проектов может дать достаточно точное и прагматичное описание существующего состояния ирригационной системы, а также процессов и технического обеспечения/инфраструктуры, что, в свою очередь, привело к настоящему состоянию. Именно на этом основании, ФАО совместно с ITRC и Всемирным банком разработали методику/инструмент под названием ПЭО с четко определенными процедурами для быстрой оценки эффективности работы ирригационных систем.

ПЭО предусматривает определение основных мероприятий, которые могут быть быстро приняты для того, чтобы улучшить оказание услуг по подаче воды (особенно если диагностика осуществляется в сотрудничестве с местными водохозяйственными управлениями). Она также помогает в определении долгосрочных действий и шагов, которые должны быть осуществлены в плане модернизации.

Несмотря на то, что ирригационные системы могут анализироваться и оцениваться с использованием любого или комбинации выше упомянутых методов, ФАО рекомендует использование ПЭО, из-за ее экспресс-характера, систематических процедур, а также комплексного подхода, поскольку она охватывает различные компоненты (физический, управленческий и институциональный) оросительной системы. В следующих разделах описывается концепция ПЭО, наряду с тем, что в Приложении 3 детализируются ее процедуры.

ПРОЦЕДУРА ЭКСПРЕСС ОЦЕНКИ

ПЭО (процедура экспресс оценки) была первоначально в середине 1990-х годов разработана ITRC для финансируемых Всемирным банком научно-исследовательских программ по оценке воздействия на эффективность внедрения современного контроля и практики управления в области орошения (ФАО, 1999г.). С момента своего введения, ПЭО успешно используется ФАО, Всемирным банком и другими специалистами в области ирригации для оценки проектов в Азии, Латинской Америке и Северной Африке.

Концептуальная основа ПЭО (рис. 15) для анализа эффективности ирригационных систем основана на понимании того, что оросительные системы работают в соответствии с набором физических и институциональных ограничений, а также с определенной ресурсной базой. Системы анализируются как ряд управленческих уровней, каждый уровень обеспечивает услуги по водоподаче посредством процессов внутреннего управления и контроля системы на следующем, более низком уровне, от основного объема водоподачи на магистральные каналы вплоть до отдельного фермерского хозяйства или поля. Служба качественной доставки на границу водораздела между уровнями управления может оцениваться с точки зрения ее компонентов (справедливости, гибкости и надежности) и точности контроля и измерений, а также это зависит от ряда факторов, связанных с проектированием стационарного производственного оборудования и управлением. С определенным уровнем услуг, предоставляемых фермерскому хозяйству, и в условиях экономических и агрономических ограничений, управление фермерским хозяйством может добиться

определенных результатов (урожайности, интенсивности орошения, эффективности водопользования и т.д.).

Симптомы низкой производительности системы и институциональные ограничения проявляются в качестве социального хаоса (воровства воды и вандализма), плохого технического обслуживания инфраструктуры, недостаточного возмещения затрат и слабых АВП.

Основные цели ПЭО состоят в следующем:

- оценке текущей деятельности и представлении ключевых показателей;
- анализе операций по эксплуатации и техническому обслуживанию;
- определении узких мест и ограничений в системе;
- определении вариантов для улучшения эксплуатационных характеристик.

ПЭО может быть в целом завершена в течение двух недель без полевых работ и работы в офисе, если некоторые данные предоставлены заблаговременно менеджерами системы. В целях проведения ПЭО разработан набор электронных таблиц в формате Excel (Приложение 3). Эти электронные таблицы предусматривают оценочные блоки с целым рядом вопросов, связанных с физическими объектами, управлением и водными системами ирригационного проекта, на которые эксперт-оценщик должен ответить. На основе ввода данных и информации автоматически вычисляется комплекс внутренних и внешних индикаторов.

ПЭО также была использована в качестве основы для сравнительного анализа показателей. Международная программа по технологиям и исследованиям в области ирригации и дренажа (IPTRID) определяет сравнительный анализ показателей, как систематический процесс для достижения постоянного улучшения в ирригационном секторе через сопоставления с уместными и выполнимыми внутренними или внешними целями, нормами и стандартами (IPTRID, 2001г.). Общая цель сравнительного анализа показателей заключается в улучшении рабочих характеристик системы в рамках массива орошения путем сопоставления ее с желаемыми целями и своими собственными миссией и задачами. Процесс сравнительного анализа показателей представляет собой непрерывную серию измерений, анализа и изменений для повышения эффективности работы массивов. Таким образом, ПЭО становится инструментом для регулярного мониторинга и оценки (M&O) ирригационных проектов.

ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Физическая инфраструктура или технические средства (водохранилища, каналы, водозаборные и распределительные сооружения и т.д.) ирригационной системы представляют собой основные физические средства водохозяйственного управления или поставщика водных услуг. Поддержание инфраструктуры-/технических средств в надлежащем виде и эксплуатация их соответствующим образом является единственным способом достижения целей водоснабжения, при условии, что планируемые задания по водоподаче являются реальными (с учетом обеспеченности водными ресурсами и возможностей системы). Основными вопросами для изучения при проведении оценки физических характеристик системы являются:

Рис 15 Концептуальная основа Процедуры экспресс оценки

- основные средства: водопроводящие, водозаборные, регулирующие и другие сооружения на 1 км;
- пропускная способность: каналов и других сооружений;
- уровень эксплуатации и технического обслуживания;
- простота эксплуатации водозаборных сооружений;
- точность водоизмерительных устройств;
- дренажная инфраструктура;
- инфраструктура для обмена информацией.

ОЦЕНКА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

Механизмы управления, процедуры, средства поощрения и т.д. любой ирригационной системы играют важную роль в её управляемости. Направления, по которым принимаются решения, происходит обмен информацией и осуществляется воздействие, является не только способом управления системой, но и способом информирования пользователей о том, насколько функционирование системы отвечает их потребностям.

Часто производственные операции, и соответственно, оказание услуг по водоподаче, могут быть значительно улучшены без особо больших денежных вложений путем улучшения эксплуатационных процедур, в том числе, например, путем умелой эксплуатации регулирующих сооружений. Тем не менее, это часто требует развития потенциала и соответствующей целевой подготовки управленческого персонала и операторов.

В целях выявления улучшений в управлении проекта, необходимо оценить следующие вопросы (как минимум):

- эксплуатацию:
  - принципы вододеления и водораспределения;
  - правила и процедуры эксплуатации;
  - заявленные режимы и процедуры в сравнении с фактическими;
  - методы, с помощью которых манипулируют и эксплуатируют сооружения - каким образом справляются с изменениями;
  - связь;
  - навыки и ресурсы персонала на всех уровнях.
- бюджет:
  - какой реалистичный бюджет необходим для функционирования системы с целью достижения поставленных задач;
  - возмещение издержек производства – будет ли система самоокупаема и иметь возможность инвестировать по мере необходимости средства в усовершенствования;
- институциональные:
  - удовлетворение требований пользователя;
  - участие пользователя в процессе принятия решений - АВП.

ОЦЕНКА УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

Услуги водоподачи

Ирригационные системы формируются из гидравлических слоев, где каждый слой или уровень обеспечивает обслуживание следующего, более низкого уровня (водоподача → магистральный канал → канал второго порядка → канал третьего

порядка → пользователь). Следовательно, необходимо оценить услуги по подаче воды на всех уровнях (рис. 16).

На каждом уровне в целом и для водопользователей в частности, очень важно получить необходимый объем воды в нужное время, таким образом, достаточность, своевременность и надежность имеют ключевое значение. Однако справедливость водораспределения также является важной задачей для менеджеров. Таким образом, показатели достаточности, надежности и справедливости нередко используются для оценки услуг по водоподаче. Другими важными показателями, в частности, для модернизации, являются гибкость (частота, интенсивность и продолжительность) и измерение объемов. Фермеры могут строить стратегию и планировать возделывание сельхозкультур и ирригационные мероприятия лучше там, где они могут выбрать или, по крайней мере, предсказать частоту, интенсивность и продолжительность водоподачи. Таким образом, ПЭО рассчитывает следующие показатели для оценки услуг по водоподаче на каждом уровне оросительной системы:

Рис 16. Функции услуг водоподачи на уровне бассейна и массива

- надежность;
- справедливость;
- гибкость;
- измерение объемов.

Как уже упоминалось выше, ирригационные системы часто находятся в условиях интенсивной эксплуатации, т.е. под усиливающимся давлением в целях обеспечения водой для целей использования помимо орошения. В таких случаях также

оценить необходимо уровень оказания услуг, требуемых для этих других видов пользования.

Водный баланс

Водный баланс обеспечивает учет всех притоков и оттоков в рамках определенных границ, а также информацию о различных КПД использования воды (например, КПД транспортировки воды и КПД орошения). Таким образом, он обеспечивает оптимальную оценку существующих ограничений и возможностей для совершенствования. Он помогает заложить основу для определения уровня оказания услуг по водоподаче, который должен быть достигнут, а также для разработки соответствующих стратегий распределения. ПЭО включает в себя водный баланс на уровне системы/проекта для оперативной оценки внешних индикаторов и определения потенциала водосбережения. Однако для регулярного мониторинга и принятия решений по управлению водными ресурсами требуется более детальный водный баланс (Глава 8).

РАЗВИТИЕ ПОТЕНЦИАЛА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ОЦЕНКИ

Менеджеры, инженеры и национальные эксперты, как правило, не оснащены оборудованием для систематической оценки эффективности ирригационных проектов и оценки улучшений в результате модернизации. В связи с этим, на начальном этапе для оценки проектов привлекаются международные эксперты. Тем не менее, существует опасность того, что после того, как проект был осуществлен и международные эксперты уехали, все может вернуться к сценарию “сохранения существующих тенденций” и объект может вернуться к своему обычному циклу работы без каких-либо услуг по мониторингу и оценке (M&O). Кроме того, изменение менталитета водохозяйственных организаций от управления, ориентированного на ресурс, к УОО требует значительных инвестиций в наращивание потенциала руководителей, инженеров, национальных экспертов и водопользователей.

Даже документально подтвержденные процедуры ПЭО требуют надлежащей подготовки опытных профессионалов в области водных ресурсов. Опыт показывает, что для успешного применения ПЭО требуется:

- предварительная подготовка и полевой опыт в области ирригации и дренажа;
- специальная подготовка в области методов ПЭО;
- последующее содействие обученных национальных экспертов в проведении полевых оценочных работ.

Без вложения средств в наращивание потенциала, проекты по модернизации не дадут желаемых результатов. Существует необходимость повышения потенциала персонала в области орошения для того, чтобы дать им возможность критически оценить свою собственную систему и иметь возможность объективно оценить условия, а также предложить и осуществить меры по улучшению после консультации с пользователями. Таким образом, крайне важно иметь программы по развитию потенциала на проектном и на национальном уровне с целью содействия принятию эффективных стратегий по модернизации ирригации в поддержку развития сельского хозяйства, роста продуктивности использования воды и ИУВР. Любая программа по модернизации, которая осуществляться без взаимосвязанных программ по развитию

потенциала, может не привести к реальным улучшениям, но может привести к значительным тратам денежных средств впустую.

ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ ПЭО

Описание

Ирригационная система Сансари Моранг (SMIS) является самой крупной ирригационной системой в Непале. Она расположена в юго-восточной части Тераи, продолжении равнины Гангетик (Gangetic). На рисунке 17 показана план-карта проекта SMIS. Общая покомандная площадь превышает 100 тыс.га, с орошаемой площадью около 64 тыс.га. SMIS обслуживается магистральным каналом Чатра (МКЧ), который простирается на 53 км от левого берега реки Коши, в основном, в направлении с запада на восток, с максимальной пропускной способностью 60 м^3/с. Ряд распределительных каналов второго, суб-второго и третьего порядков проходят в южном направлении около 20 км от индийской границы.

Эта система первоначально была разработана для дополнительного орошения рисовых полей в летнее время в сезон муссонов (хариф), основываясь на 80-процентной обеспеченности атмосферных осадков. Таким образом, функциональные возможности этой системы сами по себе не являются достаточными, чтобы полностью удовлетворить водопотребление сельскохозяйственной культуры на всей подкомандной площади. Подобно крупным ирригационным проектам в Индии, SMIS был призван обеспечить защиту от засухи и водоподачу на орошение как можно большему числу фермеров. Тем не менее, спрос на оросительную воду на круглогодичной основе неуклонно повышается. После строительства этой системы в середине 1970-х годов, фермеры начали использовать систему для озимых сельхозкультур в сезон раби (ноябрь-март). Позже, в сезон с апреля по июль в систему по частям были введены яровые сельхозкультуры.

Основное физическое препятствие, определённое руководителями проекта заключается в том, что течение реки Коши зимой и весной может обеспечивать расход только 15-20 м^3/с (снижаясь до 5 м^3/с). В условиях низких расходов с существующей стратегией управления и инфраструктурой, очень сложно обеспечить поставку оросительной воды справедливо к различным областям данного объекта. Исторически сложилось так, что пользователи концевых участков в наибольшей степени страдают от нехватки воды, при этом многие совсем не получают оросительную воду из каналов системы. Как следствие, особенно в направлении хвостовых участков этой системы, растет совместное использование подземных вод и откачка дренажных вод низконапорными насосами. Также отсутствует координация между фермерами и инженерами объекта, что подтверждается насаждением богарных сельхозкультур на прилегающих к каналам землях, в то время как весенний рис может находиться в конце водотоков.

Основные сельскохозяйственные культуры, которые выращиваются в ПЗ, включают: рис-падди в летний период; пшеницу, бобовые (чечевицу, сою, другие местные сорта), масличные культуры (горчицу, льняное семя), а также овощи (цветную и белокочанную капусту, баклажаны, лук, помидоры и т. д.) в зимний период; джут, маш, фасоль, кукурузу, овощи и рис весной. В среднем одно домашнее хозяйство владеет землей 0.5-1 га, что значительно меньше того, что первоначально намечалось и рассчитывалось проектом. Среднегодовое количество осадков составляет 1840 мм, большинство из которых выпадает в период между маем и сентябрем.

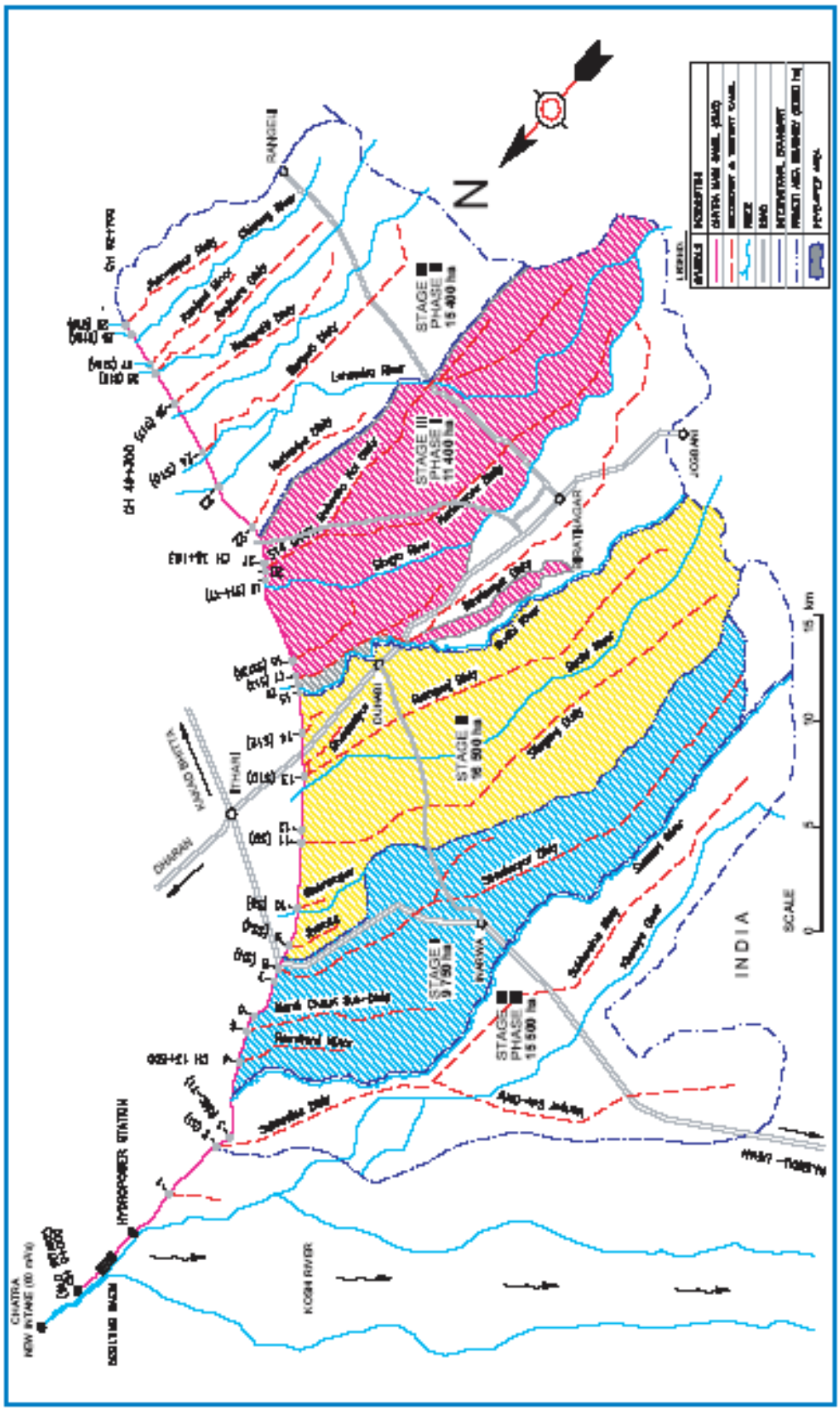


Рис 17 Схема-карта проекта SMIS, Непал

После завершения первоначального проекта, состоящего из обслуживания блоков вплоть до 200 гектаров в середине 1970-х годов, SMIS определил три этапа реализации инициатив по развитию подкомандной зоны и строительной деятельности (Этап I, II и III - описаны ниже). Фаза 1 этапа III как раз была завершена на момент ПЭО. Фазы 2 и 3 третьего этапа планируется провести в рамках проекта в районах, которые сейчас называются “неосвоенными”. Около 60 % (40 тыс.га) от общей подкомандной площади уже было восстановлено благодаря сооружению необлицованных каналов нижнего уровня водотока в рамках этапов I, II и III. Основным нововведением на Этапе II и III было введение пропорционального делителя потока на уровне канала третьего порядка и ниже.

Шаг 1. ПЭО

Цель

Основная цель первой экспресс-диагностики заключалась в том, чтобы получить первоначальное понимание о том, какие и где проблемы есть, какова их приоритетность, и т.д. Вторая цель заключалась в том, чтобы начать мобилизацию энергии сторон-участников (менеджеров и пользователей) для модернизации. Третья заключалась в том, чтобы произвести первичную оценку, относительно которой будут проводить сравнение. ПЭО проводилась в мае 2003 года (ФАО, 2006г.). Следующие разделы взяты из итогового отчета.

SMIS получил существенную техническую и финансовую помощь со стороны различных донорских агентств для восстановления инфраструктуры и институционального развития. Это - необлицованная, управляемая вручную система каналов. Система характеризуется:

- сезонной изменчивостью водоподачи, которая может быть сокращена на 50-70 % зимой и весной (15-60 м^3/с);
- отсутствием точного контроля за расходом в каналах второго и третьего порядка, связанного с сильными колебаниями уровня воды в МКЧ;
- графиками севооборота, которые не соблюдаются;
- институционально слабыми АВП, ответственными за эксплуатацию и техническое обслуживание существенной части объекта, но которые имеют лишь минимальные бюджеты;
- жестокой несправедливостью (проблемы концевых участков);
- низкой собираемостью платы за обслуживание оросительной системы, которая установлена намного ниже фактических затрат;
- поэтапным осуществлением восстановительных работ, которые привели к смешению различных стратегий учета водных ресурсов и технических средств (с одной стороны, полное оборудование затворами, с другой – пропорциональное разделение стока).

Диагностическая оценка ПЭО была выполнена в различных частях SMIS за два с половиной дня интенсивных полевых работ. Результаты ПЭО определяют количественно эффективность SMIS с точки зрения качества оказания услуг по водоподаче в системе на каждом уровне канала (табл. 7). Внутренние индикаторы свидетельствовали

о том, что лишь незначительные улучшения были сделаны в отношении современного развития подкомандной зоны (стадия III - этап 1). Тем не менее, они явно продемонстрировали, что проектная концепции пропорционального деления стока не обеспечивает оперативную гибкость, требуемую для удовлетворения колебаний спроса (обусловленных осадками, разнообразием сельхозкультур и т.д.). Кроме того, крупный недостаток этого проектного решения – несправедливость, которая является результатом меньшей пропускной способности в сравнении с полной проектной, либо обусловленной низкими расходами воды в магистральном канале, либо изменениями в гидравлических характеристиках различных каналов, вызванных заиливанием, ростом сорняков и т.д.

Несмотря на то, что новая система находится в эксплуатации в течение одного года, операторы уже отреагировали установкой стальных гидравлических затворов на соответственных сооружениях в целях регулирования стока в некоторых распределительных каналах третьего порядка.

Таблица 7
Внутренние индикаторы: отклонения от ПЭО в SMIS

Ирригационная система Сансари Моранг	Числовое значение
Фактическое оказание услуг по водоподаче на объекты личной собственности (например, поле или ферма)	1.1
Заданное оказание услуг по водоподаче на объекты личной собственности (например, поле или ферма)	1.8
Фактическое оказание услуг по водоподаче в самой нижней точке системы, приводимой в действие нанятым работником	0.7
Заданное оказание услуг по водоподаче в самой нижней точке системы, приводимое в действие нанятым работником	1.5
Фактическое оказание услуг по водоподаче магистральными каналами на каналы второго порядка	1.7
Заданное оказание услуг по водоподаче магистральными каналами на каналы второго порядка	2.0
Общественный “порядок” в системе каналов, управляемый нанятым работником	1.0
Магистральный канал	
Оборудование шлюза-регулятора (на магистральном канале)	1.2
Водовыпуски из магистрального канала	2.0
Регулирующие водохранилища на магистральном канале	0.0
Средства связи для магистрального канала	1.3
Общие условия для магистрального канала	1.6
Эксплуатация магистрального канала	2.4
Каналы второго порядка	
Оборудование шлюза-регулятора (на каналах второго порядка)	1.5
Водовыпуски из каналов второго порядка	1.7
Регулирующие ёмкости на каналах второго порядка	0.0
Средства связи для каналов второго порядка	1.1
Общие условия для каналов второго порядка	1.6
Эксплуатация каналов второго порядка	2.1
Каналы третьего порядка	
Оборудование шлюза-регулятора (на каналах третьего порядка)	1.7
Водовыпуски от каналов третьего порядка	0.7
Регулирующие ёмкости на каналах третьего порядка	0.0
Средства связи для каналов третьего порядка	0.9
Общие условия для каналов третьего порядка	1.4
Эксплуатация каналов третьего порядка	1.8

Примечание:
максимально возможное значение = 4.0; минимально возможное значение =0.0

Ключевые моменты из ПЭО, осуществляемые на SMIS

Поэтапное осуществление строительной деятельности и институционального развития на разных стадиях SMIS привело к сравнительно более качественному обслуживанию в некоторых частях проекта. Тем не менее, это также косвенно привело к тому, что недостаточное внимание уделяется общим вопросам, например, как вода регулируется в магистральном канале. Один урок из ПЭО на SMIS заключается в том, что крайне важно гарантировать, чтобы технические/инженерные данные были точными до того, как ожидаешь каких-либо успехов в совместных, с вовлечением пользователей схемах управления.

Существующая в настоящее время эксплуатация МКЧ приводит к жестокой несправедливости на “неосвоенных” площадях проекта. Проектирование шлюзов- регуляторов на магистральном канале (с ручным управлением, вертикальными стальными затворами без каких-либо боковых водосливов) делает трудным поддержание постоянных уровней воды выше по течению, что усугубляется эксплуатацией водовыпусков каналов второго порядка.

Оказание услуг по подаче воды относительно плохое на всех уровнях SMIS и еще больше ухудшается на уровне распределительного канала третьего порядка, который является границей водораздела, где группы водопользователей (ГВП) принимают на себя эксплуатацию и техническое обслуживание от сотрудников Министерства ирригации (DOI).

Отчасти причина недостаточного качества услуг связана с гидравлическими характеристиками шлюзов-регуляторов (затворы донного типа с ручным управлением) в распределительных каналах второго и суб-второго порядка. Кроме того, в условиях меженного стока (с низким расходом воды), что регулярно происходит в зимне-весенний период, структурное проектирование (пропорциональное деление потока) в системе распределительных каналов третьего порядка на Стадии III - Этапа 1, несовместимо с предоставлением услуг хорошего качества.

Было лишь незначительное улучшение в сфере услуг, предоставляемых каннаалами третьего порядка (стадия III - этапа 1), даже, несмотря на существенные инвестиции, вложенные в профессиональную подготовку фермеров и содействие использованию пропорциональных делителей потока. В будущем при планировании следующих этапов стадии III должны учитывать ограничения, связанные со структурным проектированием в условиях меженного стока (с низким расходом).

Большая часть устройств для измерения расхода воды в этом проекте являются относительно неточными, и текущая мониторинговая деятельность не была интегрирована в план эффективной эксплуатации. Например, операторы в некоторых районах записывают измерения для шлюзов-регуляторов, хотя они должны заниматься только поддержанием постоянного уровня воды.

Глава 5

Картирование характеристик оросительной системы

В этой главе основное внимание уделяется характеристикам системы оросительных каналов, которые имеют важное значение с эксплуатационной точки зрения: гидравлические свойства, например, пропускная способность, контроль за уровнем воды (регулятор), водозабор (отводы) и возможности распределения (пропорциональные делители), а также аккумулирующая способность. Также рассматриваются функции некоторых специфических устройств, в том числе, перепадные сооружения, сифоны и водосбросы. Параметры потока и гидравлические принципы для ирригационных каналов и сооружений кратко рассмотрены в Приложении 1.

Для эффективной эксплуатации любой оросительной системы, менеджеры должны знать функциональные возможности сооружений в рамках своих ПЗ. Таким образом, функциональные возможности системы должны оцениваться (или подвергаться переоценке) соответствующим образом на каждом основном сооружении, с учетом основных функций (аккумулирование, транспортировка, водозабор и т.д.).

ПЭО оценивает пропускную способность сооружений в системе в целом и находит первый признак того, где проблемы функционирования могут существовать. Однако управление системой требует более широкого и углубленного понимания и знания всех сооружений и их возможностей для того, чтобы сделать возможными улучшения в повседневной эксплуатации и управлении.

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ И ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ СИСТЕМЫ

Пропускная способность и функциональность системы оцениваются с точки зрения инфраструктуры в целом и для каждого физического объекта с учетом четырех основных показателей:

- функциональности: является ли инфраструктура/сооружение функциональным или нет;
- потенциала: если функционально, то, какая фактическая пропускная способность сооружения поддерживается в связи с его предназначением (можно сравнивать с проектом и/или теоретической контрольной цифрой);
- простота эксплуатации: насколько легко эксплуатировать сооружение;

- взаимодействия: оказывает ли сооружение негативное влияние на режим работы других сооружений (в особенности для гидротехнических сооружений).

В таблице 8 дан пример критериев, которые могут использоваться для оценки этих элементов, характеризующих возможности и функциональность системы.

Таблица 8
Критерии, связанные с возможностью и функциональностью системы

Критерий	Характеристика
Функциональность	да - нет
Пропускная способность	ноль - снижена - по проекту – не отвечает существующим требованиям
Простота эксплуатации	легко - сложно – затруднительно - дорогостояще
Взаимодействия	да - нет

Функциональность

Этот показатель является простым и отражает способность структуры выполнять свою предусмотренную функцию. Данная предусмотренная функция могла бы быть либо исходной, запланированной на данный момент, либо направленной на улучшение качества предоставления услуг. Идея здесь состоит в том, что возврат всего к первоначальному варианту проекта может быть и ни самым лучшим решением, и ни желательным. Следовательно, лучше оценивать функциональность структуры в соответствии с его назначением. Часто это ответ на вопрос: “да или нет?”.

Слишком большое количество неправильно функционирующих (Фото 11 и 12) или сломанных сооружений может свидетельствовать о проблеме плохого технического обслуживания, а также о бюджетных и институциональных ограничениях. Таким образом, ассигнование на содержание сооружений является крайне важным вопросом для планов модернизации.

Фото 11 Неправильно работающий шлюз- регулятор на магистральном канале в провинции Синдх, Пакистан – сегментные затворы полностью блокируются в открытом состоянии, поскольку они не могут закрыться из-за проблем при проектировании.

Фото 12 Неправильно функционирующий шлюз- регулятор (отсутствие ходового винта) на канале второго порядка, SMIS, Непал.

Пропускная способность

Пропускная способность системы должна быть проанализирована на основе изучения фактической ситуации, сравнивая её с текущими потребностями, и, помимо этого опираясь на проектные решения и фактическое исполнение их. Проблемы с пропускной способностью системы могут быть связаны со следующими аспектами:

- Потребности пользователей могут быть изменены с момента строительства. Например, в SMIS (Непал), водозабор в пределах зоны обслуживания увеличился с 45 м^3/с до 60 м^3/с, и, следовательно, транспортировка, требуемая по магистральному каналу увеличилась, создавая локальные проблемы с пропускной способностью. Желаемый, но еще не достигнутый, уровень оказания услуг может быть развит, поскольку пользователи хотели бы отойти от сельхозкультур, например риса, которым соответствует пропорциональное вододеление, к разнообразным сельхозкультурам, требующим более гибких водоподач.
- Возможно, некоторые физические вмешательства изменили, умышленно или иначе, пропускную способность сооружений в оросительной системе. Например, строительство измерительных водосливов ниже водовыпусков могло привести к снижению их пропускной способности, особенно там, где вышестоящий канал протекает при низких уровнях, что еще больше усугубляет их эксплуатационную чувствительность.
- Эрозия и/или заиление могут физически вызвать ухудшение пропускной способности там, где техническое обслуживание не было регулярным и соответствующим.
- Некоторые вмешательства (незаконные операции и вандализм), могут вызвать ухудшение физической способности сооружения пропускать через себя воду, например, отсутствуют или сломаны затворы/щиты.

Простота в эксплуатации

Простоту в эксплуатации можно охарактеризовать двумя факторами:

- доступом к объекту: сооружения, которые находятся в отдаленных или трудных для доступа районах, требуют больше времени (поездок) и денежных средств для того, чтобы настраивать или обслужить их;
- простотой в эксплуатации: некоторые сооружения физически трудно (фото 13) или невозможно эксплуатировать либо из-за просчётов при проектировании,

либо из-за отсутствия надлежащего технического обслуживания (ржавчина, недостающие части и т.д.).

ПЭО (глава 4 и приложение 3) дает хорошую оценку простоты в эксплуатации шлюзов-регуляторов и водовыпусков.

Взаимодействие

Гидравлическое взаимодействие между ирригационными сооружениями является нормальным явлением. Фактически, некоторые сооружения намеренно устанавливаются для взаимодействия с целью получения ожидаемого воздействия на потоки воды. Тем не менее, возникает проблема там, где нежелательные гидравлические нарушения в работе влияют на эксплуатационные характеристики других сооружений.

Фото 13 Оборудованное затвором сооружение, которое крайне сложно эксплуатировать – требуется два оператора, чтобы произвести настройку затвора - Синдх, Пакистан

Это нежелательное взаимодействие может происходить по нескольким причинам:

- при проектировании (неправильный тип сооружения или неправильный размер/установка);
- при отсутствии технического обслуживания (изменение положения уровня воды при пропуске максимальных расходов);
- при изменениях параметров потока;
- при строительстве новых сооружений (добавление измерительных устройств).

Фото 14 Пропускная способность выходит далеко за пределы, Тадла, Марокко

ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ

Есть три способа оценки пропускной способности оросительной системы:

- обследование канала квалифицированным экспертом (визуальная оценка);
- измерения / оценка пропускной способности;
- интервью с менеджерами и местными операторами.

Визуальная оценка, опрос менеджеров и местных операторов, а также проверка существующей документации, как правило, дают хорошее представление о пропускной способности системы. Впрочем, там, где необходимо, в выбранных точках могут быть также сделаны измерения с целью проверки и для определения правильных значений и величин.

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ВОДОТОКА

Несвоевременное техническое обслуживание и отсутствие очистки каналов от ила является самой распространенной причиной уменьшения их пропускной способности. Кроме того, каналы иногда используются в качестве мест для свалки мусора, особенно там, где они протекают через города и поселки городского типа. На фото 14 и 15 представлены некоторые случаи, когда по разным причинам пропускная способность каналов и дренажных систем была поставлена под угрозу.

Пропускная способность каналов может быть легко оценена путем обследования, как в ПЭО (Глава 4). Получению оценки диапазона изменений пропускной способности должны помочь проверка существующей документации и опрос менеджеров и местных операторов.

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ДОБЕГАНИЯ СТОКА

Как ранее рассматривалось выше для вариантов эксплуатации (Глава 3), запаздывание во времени между изменением стока в верхнем течении канала и его переходом в точку нижнего течения канала является важнейшей характеристикой сети открытых каналов.

Быстрота перемещения расхода вдоль канала является важным параметром функциональных возможностей инфраструктуры, который должен быть известен менеджерам для того, чтобы разработать надлежащий план эксплуатации.

Соответствующими характеристиками перемещения расхода по каналу являются:

- продолжительность добегания стока на каждом участке, или скорость распространения изменений (км/час);
- показатель затухания, отображающий направление, в котором видоизменяется или нет расход при движении вниз по каналу (рис.18) - эта характеристика связана с чувствительностью сооружений и рассматривается в главе 6.

Оценка продолжительности добегания стока или скорости распространения изменения может быть сделана на основе анализа ряда наблюдений за расходом вдоль системы при отсутствии манипулирования затворами шлюзов-регуляторов. На рисунке 19 представлен такой анализ для Левобережного Гатапрабхского канала (ЛГК) в штате Карнатака в Индии от головного сооружения и до 70 км. Оценки варьируют в диапазоне от 2 до 4.4 км/час в зависимости от характера рассматриваемых изменений (уменьшение или увеличение) и критериев, используемых для оценки (отправной точки для изменений, нижний уровень максимального изменения, или промежуточное изменение).

Фото 15 Уменьшение пропускной способности канала из-за отложения наносов, Фулели, Пакистан

Прерывание распространяется быстрее, чем возвращение к исходному положению (увеличение).

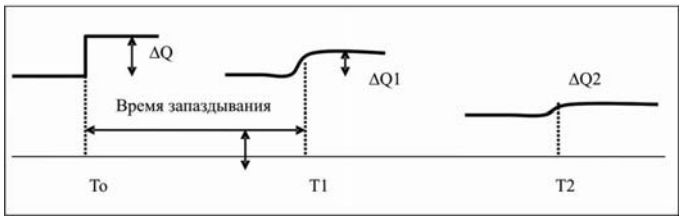


Рис. 18 Распространение по убывающей изменения расхода вдоль канала

Рис. 19 Оценка длительности добегания стока и скорости изменений вдоль Левобережного Гатапрабахского канала (ЛБГК) по ряду наблюдений за расходом

ЗАТОПЛЕНИЕ

В тех случаях, когда ирригационные сооружения затоплены (фото 16), поток через сооружение регулируется также через параметры течения ниже сооружения. Это происходит потому, что ниже сооружения имеются условия спокойного движения потока (бокс 2). Не обязательно подтопление является нежелательным, но необходимо знать о последствиях затопления сооружения. Ими могут быть:

- Уменьшение пропускной способности в связи с понижением напора на сооружении.
- Изменение режима работы сооружения. Поток становится зависимым от уровня воды как в верхнем, так и нижнем бьефах; колебания расхода распространяются вниз, колебания уровня воды распространяются вверх.
- В некоторых случаях, таких как пропорциональный вододелитель, затопление может изменять гидравлические свойства сооружения и практически сделать его неработоспособным.

  Уровень воды ниже затвора зависит от скорости потока, условий в нижнем бьефе, а также любой регулировки ближайшего, находящегося ниже по течению, сооружения.

Сооружениями, которые подвергаются воздействию подтопления в различных условиях, являются:

- Водовыпуски, оборудованные измерительными приспособлениями (водослив или открытый лоток) в нижнем бьефе сооружения на входе в канал канала младшего порядка. Подтопление этих устройств зависит от действительного напора на затворе в голове водовыпуска.
- Водовыпуски, обслуживающие подчиненный канал под воздействием эффекта подпора от сооружения, находящегося ниже по течению.
- Водоотводы или регуляторы, для которых подтопление вызвано местными условиями нормального движения потока.
- Регуляторы, находящиеся под влиянием ближайшего, находящегося ниже по течению, регулятора.

Фото 16 Водовыпуск в условиях подтопления со стороны нижнего бьефа

Бокс 2
Определения характеристик потока

Число Фруда: Число Фруда - это безразмерная величина, представляющая собой меру отношения силы инерции к силе тяжести. Она определяет “режим потока”, называемый также - условием потока. Число Фруда может быть рассчитано как:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gh_m}}$$

где: F = число Фруда; V = скорость (м/с); g = ускорение силы тяжести (9.8 м/с^2) и h_m = средняя глубина потока (м).

Критическое состояние потока: Критическое состояние потока возникает, когда F=1. Условие для критического состояния потока имеет место, когда энергия скорости потока находится в своем минимуме. Оно не возникает естественным путем и является особенностью перехода от бурного потока к свободному движению потока, в этот момент происходит гидравлический прыжок.

Бурное движение потока: Бурное движение потока возникает, когда F>1. Оно характеризуется высокими скоростями и небольшими глубинами воды, и также называется «залповым» потоком. Бурное состояние потока, по сути, означает, что волны не могут передвигаться вверх по течению.

Спокойное движение потока: Спокойное движение потока происходит, когда F<1. Оно характеризуется сравнительно медленными скоростями и большими глубинами, а это подразумевает, что оно может находиться под влиянием потока, движущегося вниз по течению или нижнего бьефа. Необлицованные каналы, вообще говоря, предназначены для спокойного движения потока с тем, чтобы предотвратить размыв русла.

Свободное движение потока: Состояние потока через или поверх сооружения в условиях отсутствия подпора со стороны нижнего бьефа. Поток регулируется только условиями верхнего бьефа. Это состояние потока при F>1 соответствует бурному движению потока,.

Движение воды в условиях подпора: Состояние потока через или над сооружением, при котором он находится в условиях подпора со стороны нижнего бьефа и сооружение подтоплено. Такой поток при F<1 соответствует спокойному движению потока. Сток при этом регулируется режимами верхнего и нижнего бьефов.

Напор (на сооружении): Отметка свободной поверхности воды на сооружении (плюс скоростной напор). Энергия напора может относиться к любой точке отсчета: дна русла - для потока в открытых каналах; гребня водослива для водосливных сооружений, или уровня оси отверстия - для истечения из-под затвора. При затопленном истечении, напор приблизительно соответствует разности между уровнями воды в верхнем и нижнем бьефах сооружения.

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ВОДОЗАБОРНОГО СООРУЖЕНИЯ

Пропускная способность водозаборного сооружения представляет собой функциональную возможность отводить из магистрального канала в канал младшего порядка или в точку водовыдела определенный заданный поток, который может варьировать от нуля, когда водозаборное устройство закрыто, до максимально возможного расхода в этой точке.

Отдельные сооружения системы каналов могут быть классифицированы по двум основным гидравлическим категориям: по типу донного водопропускного отверстия (называемого также истечением из-под гидротехнического затвора) и по типу пропуска воды поверху (рис. 20). Для обеих категорий, два типа потока могут отличаться различными гидравлическими законами и последующими требованиями к эксплуатации.

В таблице 9 дается обзор сооружений с пропуском расхода понизу и поверху, примеры и основные гидравлические характеристики.

Поток считается свободным, когда он проходит через стадию бурного состояния, которая разделяет верхний и нижний бьеф сооружения (Фото 17). Только напор воды, на который влияет уровень подачи на оси затвора, регулирует расход воды через сооружение. Эти сооружения называются полумодульными. Поток находится в условиях подпора, когда уровень воды в нижнем бьефе выше отметки обозначенной точки (порог или иная). При этом условии напор в нижнем бьефе затвора также влияет на поток, проходящий через сооружение. Эти сооружения называются безмодульными.

Фото 17 Водовыпуск в условиях свободного движения потока в нижнем бьефе

Таблица 9
Типология сооружений для контроля воды и регулирования расхода по гидравлическим характеристикам в оросительных системах

Гидравлическая категория	Примеры	Тип потока	Модульное исполнение	Расход, определяемый как
Донное отверстие/ пропуск понизу	Глубинные щитовые затворы, сегментные затворы, направляющие распределители	Свободный	полумодульное	$H_{ВБ} – H_{отверстия}$
		в условиях подтопления	безмодульное	$H_{ВБ}$ и $H_{НБ}$
Пропуск поверху	Водосливы с широким порогом, водосливы с острым гребнем, расходящийся водослив, лотки	Свободный	полумодульное	$H_{ВБ} – H_{гребня}$
		в условиях подтопления	безмодульное	$H_{ВБ}$ и $H_{НБ}$

Модульные сооружения, обеспечивающие постоянную подачу на водовыпуске независимо от уровня воды в канале или более высокого порядка или более низкого порядка, занимали воображение инженеров на протяжении столетий, но примеры практического руководства для этих сооружений отсутствуют. Тем не менее, были разработаны некоторые автоматизированные сооружения, например, пошаговые рас-

пределители (распределители «модуль-маска» компании Нэйрпик), приближающие модульный поток к требуемому в пределах определенного диапазона и ограничений. Это означает, что для непропорциональных систем контроль за уровнем воды является одной из наиболее важных задач эксплуатации канала. Ниже изложены гидравлические законы, в соответствии с которыми управляются наиболее распространенные регулирующие сооружения.

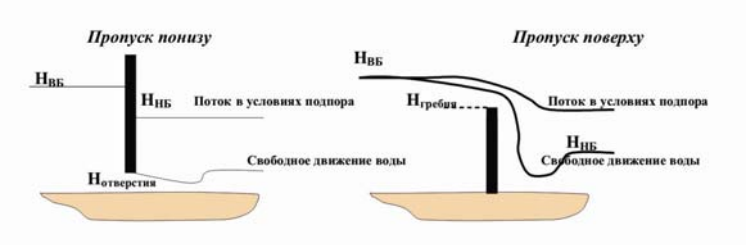


Рис 20 Условия пропуска потока поверху и понизу на ирригационном сооружении

ДЕЛЕНИЕ ПОТОКА ПРИ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ

Устройства для пропорционального деления потока распределяют общий сток, в зависимости от подкомандной площади, пропорционально количеству водовыпусков в нижнем течении. Управлять сооружениями для пропорционального деления нет необходимости: если входящий поток изменяется, поток в каналах/водовыпусках, находящихся ниже по течению, также изменится. Поток в канале регулируется напором в верхнем бьефе до тех пор, пока режим потока ниже по течению является свободным. Вместе с тем, если сооружение подтоплено (фото 18), живое сечение потока нижнего бьефа влияет на разделение потока.

Когда происходит спад уровня воды, сооружения для пропорционального разделения могут быть очень точными в пропорциональном распределении потока и ими нелегко управлять вручную. Пропорциональное разделение всегда является более надежным, когда имеют место условия свободного движения воды ниже по течению. Вместе с тем, сооружения без затворов для пропорционального разделения потока не являются гибкими в эксплуатации.

В большинстве систем каналов вододелители дополняются водозаборными сооружениями, оснащенными затворами. Это требует более пристального внимания, но позволяет обеспечивать более гибкое или поочередное управление.

Возможность деления на основе пропорциональности оценивается с помощью показателей гидравлической гибкости, которые определяются через отношение относительного изменения в отводимом стоке к относительному изменению в текущем стоке:

$$F = \frac{\Delta q / q}{\Delta Q / Q}$$

где: F = гидравлическая гибкость; q = отводимый сток или сток в канале более низкого порядка на водоотводящем сооружении, и Q = текущий сток, или сток в канале более высокого порядка.

Поток является пропорциональным, если F=1. Гидравлическая гибкость рассматривается далее в главе 6.

РЕГУЛИРОВАНИЕ УРОВНЯ ВОДЫ

Основной функцией сооружений для регулирования уровня воды, которые также называются шлюзами-регуляторами или поперечными регуляторами, является поддержание стабильного уровня воды. В канале, регулируемом по верхнему бьефу, эти сооружения располагаются непосредственно в нижнем бьефе водоотводов и могут пропускать расход поверху или понизу.

Зависимость Q=f(h) регуляторов уровня воды аналогична зависимости для регуляторов расхода. Сооружения, пропускающие расход поверху, более пригодны для регулирования уровня воды, поскольку они менее чувствительны к колебаниям уровня воды по сравнению с сооружениями, пропускающими расход понизу. По этой причине сооружения, пропускающие расход поверху, менее пригодны для регулирования расхода.

Фото 18 Нарушение работы пропорционального вододелителя (Непал) с различными условиями в нижнем бьефе: свободное движение воды (главная ветка слева) и движение воды в условиях подпора (маленькая ветка справа). Функциональная способность этого сооружения про порционально делить сток находится под угрозой.

Принимая во внимание то, что потребность в оросительной воде не является постоянной во времени, а также в силу других причин, описанных выше, режимы течения потоков изменяются по всей системе канала как во времени, так и в пространстве. Можно сделать вывод, что, исходя из технологического процесса и необходимости обеспечения хорошего качества услуг водопользователям, без правильно запроектированных сооружений для регулирования уровня воды, расположенных в соответствующем месте, глубины вдоль каналов существенно варьируют, также как и напор в точках водозаборов. Поскольку расход через водовыпуск связан с доступным напором в канале более высокого порядка, зависящим от уровня воды, регулирование уровня воды имеет важное значение для обеспечения хорошего обслуживания водопользователей.

АККУМУЛИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ

Важной технической характеристикой каналов является аккумулирование объемов воды. Ввиду динамичности эксплуатации, большая часть объема воды на участках канала может быть использована для быстрого изменения подачи на эти участки. Аккумулирующая способность канала возрастает с увеличением размера канала (живое сечение потока, умноженное на длину участка канала перед регулятором). Участки канала также могут быть использованы для аккумулирования

дождевой воды, которая будет подаваться позднее. Там, где оросительная система проектируется с большими каналами и достаточным превышением бровки канала над уровнем воды, эта способность может быть использована оптимальным образом. Однако будут возникать колебания в уровнях воды. Накопление в каналах или в небольших водоёмах, стратегически расположенных внутри сети, могут быть использованы для постепенного снижения турбулентности потока и колебаний уровня воды. Затопляемые рисовые чеки могут быть также использованы для временного аккумулирования воды. Тем не менее, каналы не могут заменить соответствующие регулирующие водохранилища и их ёмкость значительно ниже ёмкостей габаритных регулирующих водохранилищ.

Участок, на котором аккумулирующая способность канала может лучше реагировать на колебания в водоподаче/требованиях на воду, зависит от:

- возможности пополнять имеющийся запас над нормальным уровнем воды без риска для канала, которая полностью зависит от того, насколько чувствительны сооружения, регулирующие уровень воды и сток (плюс гидравлика бьефа участка канала);
- способности справляться с большими колебаниями напора на важных регуляторах-водовыпусках (плюс или минус от нормального уровня воды);
- уклона канала, который дает эффективную длину участка канала, от которой зависит объем дополнительного накопления воды (большой уклон означает небольшую длину и небольшой объем). Полезный объем - это призма, основанием которой служит дополнительная площадь живого сечения на шлюзе-регуляторе;
- плотности шлюзов-регуляторов (высокая плотность означает больше объёмов наполнения, которые следует учитывать).

В общих чертах, аккумулирующая способность внутри канала ограничивается покрытием потребностей в хранении излишков или урегулировании дефицита воды на короткий срок, например, на несколько часов.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА В КАНАЛЕ

Часто пренебрегают, например, критической гидравлической способностью системы каналов, возможностью измерять точно и достоверно потоки на ключевых участках, что имеет важнейшее значение для квалифицированного оказания услуг. Водоизмерение может играть важную роль в улучшении эксплуатации, предоставлении услуг и в управлении водными ресурсами. Оно помогает повысить прозрачность услуг по водоснабжению, что может способствовать более справедливым водоподаче и водораспределению.

Подобно другим сооружениям, которые транспортируют и распределяют потоки по каналам, измерительные устройства, размещенные в выбранных точках, позволяют оператору контролировать систему канала. Как и во всех аспектах функционирования канала, измерения касаются его гидравлики, также как и процессов управления.

Возможность проводить измерения на ирригационной системе представляет собой сочетание точных измерительных приборов с их месторасположением в стратегически важных точках внутри системы, т.е. на главных ответвлениях и обслуживаемых водовыпусках. Определение важных точек, в которых водоизмерение

может выявить разницу в услугах по водоподаче и/или эксплуатации, например, в точке изменения управляющих воздействий на систему, имеет решающее значение для планирования измерений расходов воды в ирригационной системе.

Устройства для измерения параметров потока должны быть спроектированы таким образом, чтобы зависимости Q=f(H) были верными, и чтобы даже незначительные изменения в расходе четко отражались в изменениях напора (вот почему водослив типа «утиный нос» не может быть использован в качестве измерительного устройства - кривая при пропуске расхода поверху на рис. 21). Несмотря на то, что сооружения и гидравлика канала, описанные выше, увязывают расход с напором, как с наиболее важным параметром, устройства для регулирования почти никогда не проектируются или не являются достаточно точными для надлежащего измерения параметров потока. В сочетании с погрешностями измерений (уровень воды/напор, открытие затвора, гидравлический коэффициент потока) это означает, что эти формулы могут дать полезные оценки, но не высокую точность. На фото 19 показан исключительный пример неточности в оценке уровня воды с помощью речного водомерного поста в середине канала, вдали от берегов канала, показания которого невозможно снять. Необходимы надлежащие проектирование и строительство. Также, необходимо повышенное внимание при проектировании и строительстве соответствующих измерительных приборов, поскольку неисправные устройства могут препятствовать движению потока, помимо ошибочной оценки расхода и объема. Проблема усугубляется, когда эти устройства оказывают влияние на нормальное движение потока или затапливаются (Фото 20).

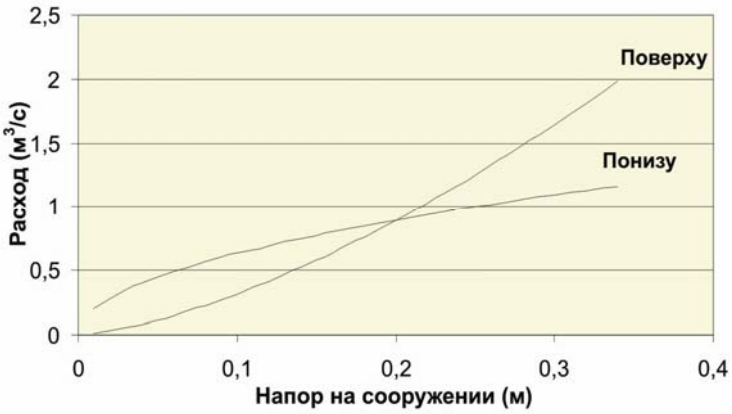


Рис.21 Зависимость Q=f(H) для сооружений с пропуском расхода понизу и поверху

Выбор приборов для измерения параметров потока

Выбор соответствующих приборов для измерения параметров потока определяется различными факторами, зависящими от конкретных проектов и местных условий, например, требования, предъявляемые к точности, стоимость, требования по техническому обслуживанию, диапазон расходов воды и потери напора.

Одним из самых важных технических факторов, зависящих от местных условий, является потеря напора, поскольку большинство приборов для измерения параметров потока основываются на перепаде напоров; однако, требуемый для этого дополнительный напор не всегда может быть обеспечен, особенно в районах с относительно плоским рельефом поверхности. Кроме того, в некоторых случаях, создание требуемого перепада напоров, используемого при измерении потока, может снизить пропускную способность канала в этой точке.

Другим важным соображением при выборе устройств для измерения потока является приспособляемость этих устройств к различным условиям эксплуатации, поскольку большинство оросительных систем подают воду с изменяющимися во времени колебаниями стока. Качество измерительных приборов заключается не только

в их точности, но также и в их открытости (понятности) для операторов и пользователей (например, водомерное устройство, с которого возможно считывать фактические расходы).

Имеется множество измерительных приборов, инструментов и методов. Они включают как методы грубой оценки зависимости скорость-площадь, так и сложные датчики, со своими преимуществами и недостатками. Большинство устройств для измерения параметров потока включают в себя водосливы, лотки, расходомеры, гидрометрические вертушки и электронные датчики. Все эти приборы и методы имеют разный уровень точности (USBR 2001г.), а также сопутствующие им затраты и требования к техническому обслуживанию, которые должны быть приняты во внимание при принятии решения о водоизмерительных устройствах, конструкции их и методе измерений. Более точные водоизмерительные устройства требуются там, где они служат в качестве коммерческих измерителей стока с тем, чтобы гарантировать больше справедливости и прозрачности информации.

Фото 19 Возможность считывания показаний на рейке: нефункциональный измерительный прибор далеко от берегов канала и не дающий возможности считывания показаний, Синд, Пакистан.

Правильная калибровка этих устройств имеет решающее значение для достижения допустимого уровня точности. Стоимость водоизмерительных устройств включает в себя не только первоначальные затраты (стоимости устройства или проектирования, строительства и калибровки в тех случаях, когда эти устройства являются капитальными сооружениями), но и затраты на их эксплуатацию и техническое обслуживание.

Различные водоизмерительные устройства и методики измерения параметров потока предъявляют разные требования к техническому обслуживанию. Так, например, водосливы и лотки требуют периодической очистки подводящего русла, если поток содержит наносы и мусор, а снятие текущих показаний требует не только регулярной очистки прибора, но также и секции канала, используемой для измерения.

Фото 20 Возможность проведения измерения: затопленный подводящий канал без критической секции дает неточные измерения на ЛГК, штат Карнатака в Индии.

Периодическое техническое обслуживание электронных датчиков необходимо в целях обеспечения их нормального функционирования.

Окружающая среда, в которой функционируют приборы для измерения параметров потока, имеет решающее значение для их эксплуатации и срока службы. Это особенно характерно для приборов с движущимися частями или датчиками. Например, кислотность и щелочность воды может вызывать коррозию металлических частей, тогда как загрязняющие вещества в воде могут привести к повреждению пластмассовых деталей. Эти приборы должны быть совместимы с окружающей средой и должны быть хорошо защищены от вандализма.

МИНИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ ВОДЫ

Если бы система каналов была просто замкнутой сетью для транспортировки воды (там, где приток и отток равны), водозаборы и аккумулирование воды полностью характеризовали бы гидравлические параметры для эксплуатации. Однако операторы канала в своих планах по управлению водными ресурсами должны также учитывать потери воды. Потери, которые происходят в результате утечек, фильтрации и испарения, имеют важное значение, особенно для каналов в земляных (необлицованных) руслах. Эти потери могут колебаться в диапазоне от 20 до 50% от общего притока. К примеру, расчетные КПД, принимавшиеся при проектировании для оросительной системы реки Инд, находились между 80-90% по всей линии магистрального канала и каналов второго порядка и 80% вдоль каналов, получающих воду из водовыпускных сооружений, что означает соответственно 10-15 и 20% потерь (Habib, 2004г.). Несмотря на то, что потери, происходящие в каналах, получающих воду из водовыпускных сооружений, на этапе проектирования не считались значительными, полевые исследования показывают, что фактические потери в необлицованных водотоках выше ожидаемых – в диапазоне от 20 до 50% (Wahaj 2001).

Если этим потерям не уделять должного внимания, водоснабжение пользователей нижнего течения будет всегда очень низким, если вообще вода будет доходить до хвостовых участков. Общие показатели или формулы для потерь воды не могут быть даны, и они должны оцениваться применительно к конкретной системе. Потери на фильтрацию зависят от:

- характеристик пересекаемых каналами почвогрунтов;
- глубины воды в канале (загрузка и смоченный периметр);
- характера и качества ложа и боковых стенок (гладкие или неровные);
- содержания наносов в оросительной воде;
- скорости потока;
- глубины залегания грунтовых вод.

Имеются различные методы измерения конкретных потерь:

- измерение разницы между притоком и оттоком для определенной секции канала при постоянном расходе водоподачи в эту секцию;
- запруживание секции канала и измерение скорости инфильтрации;
- использование инфильтрометра для оценки потерь;

- использование эмпирической формулы со следующими параметрами: глубина воды, скорость инфильтрации, смоченный периметр и протяженность канала.

Выбор любого из упомянутых методов зависит от требований. Например, если главной задачей является определение фильтрации или инфильтрации в конкретной секции канала, то предпочтителен метод запруживания. Если задача состоит в установлении потерь при транспортировке в протяженных участках канала, то здесь лучше подходит метод притока-оттока. Точность результатов также зависит от того, как проводятся измерения.

Потери на фильтрацию могут быть выражены в виде объема на удельную площадь поверхности смоченной по периметру сечения в сутки или в виде процента для рассматриваемого участка канала (и расхода). В таблице 10 приводятся потери на фильтрацию для различных типов почвогрунтов.

Таблица 10
Потери на фильтрацию для различных типов почвогрунтов

Тип почвогрунта (по механическому составу)	Потери на фильтрацию ($м^3/м^2$/24 часа)
Суглинок	0.15-0.30
Супесь	0.30-0.45
Песчаные/гравелистые	0.45-0.70
Глина	< 0.05

Потери в сети канала происходят не только в результате фильтрации. Они также могут явиться результатом управления (эксплуатации). Эти потери могут быть достаточно явными, например, эксплуатационные потери, вызванные неточными уставками затворов, отсутствием в течение продолжительного периода настройки затвора и т.д. Они также могут быть более общими, например, если эксплуатирующая канал организация не может ориентировать планируемую водоподачу (предложение) на спрос. Эти спросы могут меняться постепенно (вегетационный период) или внезапно и локально (вследствие выпадения осадков). В пропорциональных и многочисленных системах, ориентированных на предложение, водоснабжение не может быть настроено под конкретный спрос, что приводит к сбросам воды. Даже каналы, которые обеспечивают некоторую гибкость в водоподаче, должны иметь водосброс, что приводит к некоторым потерям, хотя некоторая часть этой сбросной воды может быть использована ниже по течению. Поскольку это относится к организации управления, а не к гидравлике, данный вопрос рассматривается в последующих главах.

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ К ФИЛЬТРАЦИИ/ ПОДПИТКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В системах совместного использования различных видов водных ресурсов, где подземные воды являются важным альтернативным источником воды для Пользователей, вопрос фильтрации в сетях каналов должен рассматриваться с осторожностью. Фильтрация из каналов может представлять значительную проблему, когда слишком большая фильтрация создает ограничения в доступном расходе для хвостовой части системы. Однако, поскольку речь идет об управлении водой, фильтрация не должна быть проблемой в системах, где полностью освоено совместное использование поверхностных и подземных вод.

Есть много примеров систем, для которых подпитка подземных вод во время пика сезона водопользования поддерживается только за счет фильтрации и глубинного просачивания. Например, в 1982 году в Кабанн (Франция) был разработан план модернизации, в котором особо затрагивался вопрос фильтрации и подпитки подземных вод. В верхней части массива намеренно использовались поверхностные способы орошения, хотя и усовершенствованные, а нижняя часть массива, в которой произрастали фруктовые сады, была переоборудована в закрытую напорную систему с использованием подземных вод для капельного орошения. Этот вариант был осуществлен только за счет фильтрации и глубинного просачивания воды в верхней части массива. До привлечения водопользователей к участию в плане модернизации был составлен точный водный баланс.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОД

Технические средства для повторного использования вод, размещаемые вдоль дренажа и водотоков, являются ключевыми элементами потенциала, гарантирующими соответствующее возмещение водных ресурсов в контексте пропускной способности и режимов эксплуатации.

БОРЬБА С НАНОСАМИ

При эксплуатации канала следует учитывать содержание наносов в воде. Чтобы снизить эксплуатационные расходы, связанные с удалением чрезмерного наилка из каналов и сооружений, могут быть применены две основные стратегии:

- улавливать и удалять как можно больше наносов в головной части системы;
- транспортировать все или как можно больше наносов через систему до уровня фермерских хозяйств.

Выбор между этими различающимися стратегиями зависит от многих факторов, присущих конкретным проектам, например количество и тип наносов, уклон канала и тип эксплуатации. Первая стратегия включает строительство отстойника (успокоительного бассейна). Требования к эксплуатации включают в этом варианте стратегии промывку или, иначе, опорожнение отстойника с регулярными временными интервалами.

Вторая стратегия включает поддержание скорости в определенных пределах во всей системе. На стадиях проектирования ирригационной системы могут быть полезны уравнения теории режима и транспортирующей способности потока. В каналах с высоким содержанием наносов могут быть проблематичными гибкость управления ирригационными системами и возможность поддержания стабильных уровней воды. Поддержание стабильного уровня воды при разных расходах означает, что скорость подвергается сильным колебаниям, что может привести к повышению заиления в контрольных створах. Проблемы заиления обычно возникают как раз до или после контрольных створов, поскольку скорости меняются в этих створах.

БЕЗОПАСНОСТЬ

Превышение дамб и берм над поверхностью воды представляет границу безопасности между максимальным эксплуатационным уровнем, определяемым максимальным уровнем воды при максимальном проектном расходе, и верхним

уровнем берегов канала (рис.22). Данный «сухой» запас над горизонтом воды необходим для предотвращения перелива, вызываемого:

- временными избыточными расходами, связанными с внезапным движением затворов (ударные волны);
- сильным ветром, порождающим волны и подъем относительного уровня воды;
- ошибками управления/эксплуатации;
- аварийными ситуациями, такими, как частичная закупорка сечения канала, препятствующая нормальному потоку.

На практике, «сухой» запас должен быть минимум 0.15 м или 1/3*h, в большую сторону. «Сухой» запас никогда не должен использоваться в качестве дополнительной емкости для аккумулирования стока, поскольку он обеспечивает для эксплуатации границу безопасности.

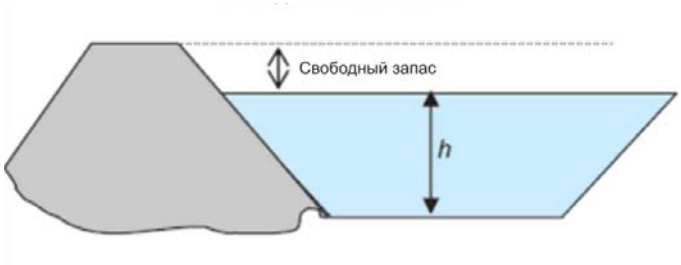


Рис. 22 Запас над горизонтом в канале

ТРАНСПОРТ И ДОРОГИ

Для управляющих водоподачей важно иметь доступ ко всей инфраструктуре канала, а не только к шлюзам-регуляторам. Обычно вместе с магистральным каналом строится инспекционная дорога. Однако зачастую содержание этих дорог не осуществляется надлежащим образом, использование этих дорог населением и для транспортировки грузов часто бывает интенсивным, а функциональные возможности транспортных средств снижены и в отношении времени перемещения от одного пункта к другому, и в смысле возможности быстрой отправки механизмов, если потребуется произвести срочные работы.

Фото 21 Диспетчер, использующий старую систему связи на канале Нара, Синдх (Пакистан)

СРЕДСТВА СВЯЗИ

Это важный аспект управления, которым нередко пренебрегали в прошлом во многих ирригационных системах (фото 21). В прошлом связь в основном осуществлялась посредством телеграфа, телефона и по радио. Сегодня ситуация резко улучшается по мере того, как все больше сельских районов оборудуются средствами мобильной связи.

Глава 6

Картирование режима работы ирригационных систем - чувствительность

Как ведет себя канал после настройки сооружений на конкретный план водораспределения и в условиях отсутствия обслуживания – является главным вопросом анализа чувствительности. Для того, чтобы планировать адекватные меры, важно знать, как сооружения реагируют или ведут себя при наличии тех или иных помех (Бокс 3).

Целью управления являются устойчивые профили водной поверхности вдоль всего канала. К сожалению, это редко достигается на практике. Колебания уровней водной поверхности являются неизменной особенностью оросительных каналов, как следствие эксплуатационных технологических операций в верхнем течении или изменений величин притока/оттока в основных узловых пунктах.

В этой главе представлен анализ поведения ирригационных сооружений посредством оценки их чувствительности: (i) для каждого отдельно взятого основного типа сооружения; (ii) для комплекса связанных между собой сооружений; и (iii) на уровне участка канала и подсистемы.

И, наконец, чувствительность подсистем связана с техническими характеристиками, достигнутыми в связи с управлением глубиной воды в канале.

ПОВЕДЕНИЕ СИСТЕМЫ ПРИ НАРУШЕНИИ РЕЖИМА

Колебания расхода и уровней воды вдоль канала являются нормой, а не исключюючением. Колебания распространяются и трансформируются вниз по течению. Поэтому, незначительное проявление их в голове канала может стать причиной серьезных отклонений от запланированного режима эксплуатации или даже внести хаос в виде переполнения некоторых каналов, в то время как другие каналы останутся без воды. Гидравлический анализ ирригационной системы не может ограничиваться Суммированием всех статически рассчитанных характеристик системы, необходимо также учитывать поведение системы в отношении колебаний уровней и расходов, являющихся причиной погрешностей и неравномерности водораспределения, что осложняет работу системы на всех уровнях.

Предвидение поведения сооружений при колебаниях уровней и расходов необходимо для того, чтобы принимать соответствующие меры. Процесс работы основных типов ирригационных сооружений анализируется посредством оценки их чувствиительности. Короче говоря, показатель «чувствительность» свидетельствует о том, как сооружение реагирует на изменения в притоке воды.

Исследования, касающиеся чувствительности и анализа гидравлической гибкости, были начаты много лет назад Мабубом и Гулати с акцентом на сооружения, обеспечивающие подачу воды из магистральных каналов водопользователям (Mabub and Gulati, 1951), а в дальнейшем продолжены Хорстом (Horst, 1983), Альбинсоном (Albinson, 1986), Анкумом (Ankum, 1993) и Рено (Renault, 1999).

БОКС 3

Терминология, используемая в анализечувствительности.

Нарушения функционирования: Значительное изменение потока в сети канала в результате вызванных внешними причинами колебаний притока или оттока, изменением параметров или регулированием уставок сооружений, или неустановившийся режим потока в период корректировки параметров водораспределения. Колебания стока могут быть как положительными, так и отрицательными, представляя тем самым увеличение или уменьшение расхода соответственно.

Чувствительность сооружения: Отношение интенсивности изменения на выходе сооружения к интенсивности изменения на входе. На входе и выходе – это либо уровень воды, либо расход, в зависимости от назначения сооружения. Чувствительность не является статической гидравлической характеристикой сооружения. Она меняется со временем (в связи с износом оборудования) и с изменением напора.

Гидравлическая гибкость: Отношение интенсивности изменения расхода в водовыпуске к интенсивности изменения расхода в старшем канале (канале, из которого производится подача воды в младший канал).

Напор (на сооружении): Подъем линии свободной поверхности воды на сооружении (плюс скоростной напор). Полный напор можно отнести к любой плоскости сравнения: дно русла открытого канала; гребень водослива водосбросных сооружений; или уровень оси отверстия донных затворов. В условиях затопления, напор приблизительно равен разнице между уровнем воды в верхнем и нижнем бьефах.

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Анализ чувствительности предлагает практический метод для анализирования колебаний уровней и расходов воды в ирригационных системах без необходимости обращаться к сложной гидравлике неустановившегося движения. Он концентрируется на поведении элементов системы (сооружения, гидроузлы, участки канала, и подсистемы) при различных входных данных. В основном, это простой анализ «что если», т.е. «что было бы на выходе, если бы на входе изменения были бы такими?» (Рисунок 23).

Таким образом, подход, основанный на чувствительности, рассматривает два разных устойчивых положения, каждому из которых соответствуют незначительно отличающиеся друг от друга величины на входе. Чувствительность ирригационного сооружения или системы определяется затем как отношение относительного или абсолютного изменения на выходе к относительному или абсолютному изменению на входе:

$$\textit{Чувствительность} = \hat{\imath}\,\frac{\text{Изменение на выходе}}{\text{Изменение на входе}} \qquad (1)$$

Поэтому высокочувствительные сооружения и системы демонстрируют большие колебания на выходе при незначительных на входе и наоборот.

Чувствительность данного конкретного сооружения дает общее представление о том, как оно будет реагировать, если условия изменятся, например:

- На сколько изменится расход в отводящем канале, если уровень воды в магистральном канале изменится на 10 см?

- На сколько изменится уровень воды у шлюза-регулятора, если произойдет колебание порядка 10% скорости течения в канале?

На уровне системы знание чувствительности ирригационных сооружений является фундаментальным для ответа на следующие вопросы:

- Насколько система устойчива к воздействию на нее пульсаций, колебаний уровней/расходов воды?
- Насколько система сама склонна создавать пульсации?
- Как чувствительность системы влияет на ее работу?
- Каким образом можно разработать более подходящие и простые процедуры эксплуатации?
- На чем должны сконцентрировать свои усилия менеджеры, чтобы гарантировать, что никакие непредсказуемые отклонения не повлияют на водный баланс?
- На сборе каких данных должны сосредоточиться менеджеры?
- Как можно использовать чувствительные секции инфраструктуры с тем, чтобы они могли вместить незапланированные излишки воды (регулировать колебания)?
- Где находятся те зоны, которые вероятнее всего будут испытывать недостаток воды в первую очередь?

Высокочувствительными сооружениями, вызывающими или усиливающими колебания, труднее управлять, нежели менее чувствительными. Они требуют более частого и детализированного обслуживания. С другой стороны, они могли бы быть полезны для сбора информации, поскольку они реагируют на небольшие колебания, которые можно выявить с их помощью. Кроме того, что касается управления избыточной водой, то с их помощью можно также определить участки для перенаправления положительных колебаний стока.

Чувствительность определяется пошагово. Различные уровни анализов чувствительности сосредоточиваются на следующих элементах системы канала: сооружениях, гидроузлах, участках и подсистемах (более подробно - в приложении 2). Анализ на уровне участка и подсистемы является важным, поскольку работа сооружений связана друг с другом и отражается на обстановке как в нижнем, так и в верхнем течении. Тем не менее, анализ отдельных точек водозабора дает важное понимание сути локальных характеристик и требований к эксплуатации конкретных сооружений.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ВОДЗАБОРНОГО СООРУЖЕНИЯ

Показатель чувствительности для водозаборного сооружения

Чувствительность любого сооружения должна определяться относительно его функционального назначения. Таким образом, чувствительность водозаборного сооружения, водоотвода, имеет отношение к обеспечению гарантированного расхода в отводящем канале при определенном уровне воды в старшем канале (Рис. 24).

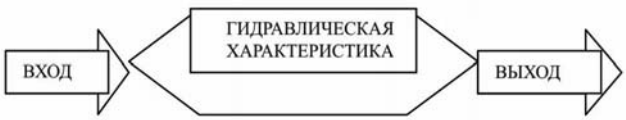


Рис 23 Анализ вход-выход

Рис 24 Вход и выход для водозаборных сооружений

Колебание на выходе связано с относительным изменением расхода в отводящем канале при водозаборе (Δq/q), в зависимости от входной величины, т.е. колебания уровня воды (Бокс 4) в старшем канале (Δh):

$$S_{Offtake} = \frac{\Delta q / q}{\Delta h} \qquad \text{(ед.изм.: м}^{-1}\text{)} \qquad (2)$$

где q - расход в отводящих каналах.

К примеру, показатель чувствительности, равный 1 м$^{-1}$, указывает на то, что изменение уровня воды в 0.1 м в старшем канале вызывает изменение расхода (q) через водозаборное сооружение в 0.1, или на 10%.

Использование показателя чувствительности водовыпускного регулятора

Оценка изменения расхода при регулировании заданного уровня воды

Показатели чувствительности можно использовать для оценки реакции водовыпуска на изменения глубины воды в старшем канале (Рис. 25).

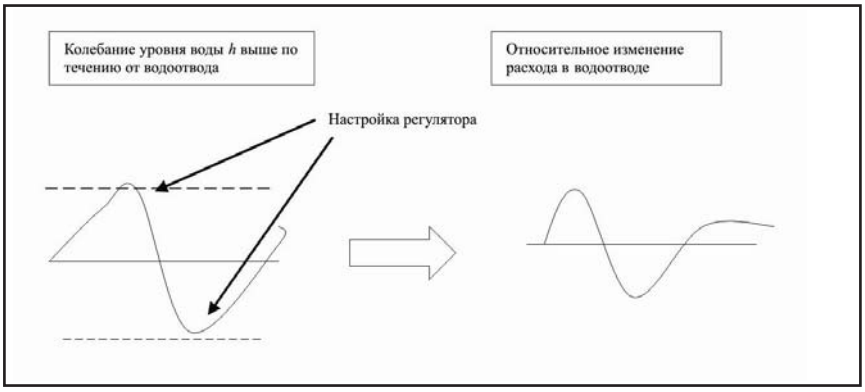


Рис.25 Режим работы водоотвода как функция колебания глубины воды

Если чувствительность водовыпускного регулятора известна, относительное изменение расхода в водозаборном сооружении (водоприемнике) можно рассчитать путем умножения показателя чувствительности на изменение уровня воды (Уравнение 3):

$$\Delta q / q = S_{Offtake} \cdot \Delta h \qquad (3)$$

Например, для водозаборного сооружения с чувствительностью = 2 изменение уровня воды в верхнем бьефе водовыпуска на 10 см будет означать изменение расхода водозабора через водовыпуск на 20%. Далее в табл. 11 даны численные значения показателей.

Сооружение с показателем чувствительности S < 1 относится к низко чувствительным, в то время как с S > 2 - к высокочувствительным сооружениям. Чувствительность, равная 0, встречается редко, поскольку она относится к модульным водозаборным регуляторам (т.е. не подверженных влиянию колебаний уровня воды в верхнем бьефе). Водовыпуски, оборудованные насосами/водоподъемниками, до некоторой степени не чувствительны к колебаниям уровня воды.

Таблица 11
Относительное изменение расхода водозабора при различных значениях чувствительности и колебаниях уровней воды

Колебание уровня воды в старшем канале	Показатель чувствительности ($S_{Offtake}$)		
	0.5м$^{-1}$ Низкая	1м$^{-1}$ Средняя	2 м$^{-1}$ Высокая
		(%)	
+/-0.05 м	2.5	5	10
+/-0.10 м	5	10	20
+/-0.20 м	10	20	40

БОКС 4

Результат использования относительного или абсолютного изменения уровня воды

Часто возникает вопрос о том, почему здесь, в предыдущих уравнениях чувствительности, предлагается использовать (Δh) вместо относительной величины ($\Delta h/h$), представляющей показатель в безразмерной форме (преимущество).

Однако, в то время как математики предпочитают относительные величины, менеджеры из практических соображений предпочитают абсолютное изменение *h*. В большинстве случаев управляемая переменная, которая используется для количественного определения планируемого показателя настройки сооружения, это (Δh), и – реже - ($\Delta h/h$).

К примеру, инструкция менеджера оператору затвора могла бы быть такой: «Вы должны производить операции по регулированию расхода при превышении отклонения уровня воды (Δh) на 10 см от запланированной величины». Это распоряжение является простым. Инструкция была бы более сложной при оперировании относительными величинами: «Вы должны производить операции по регулированию расхода, если относительное отклонение уровня воды от запланированной величины превышает 5 процентов»

Оценка допустимого отклонения при контроле уровня воды

Чувствительность водоотвода используется не только для оценки колебаний расхода при различных уровнях воды. Она может использоваться при установлении требований к контролю уровня воды для надлежащего обслуживания доставки воды. Используя уравнение 2, можно рассчитать допустимое изменение уровня воды:

$$\Delta h_{permissible} = \frac{\left(\Delta q / q\right)}{S_{offtake}} \qquad \text{(ед.изм.м)} \qquad (4)$$

К примеру, в гипотетической системе принятый эксплуатационный расход равен q ±10 процентов. При известной $S_{Offtake}$ это требование можно интерпретировать как эксплуатационные требования, касающиеся уровня воды в старшем канале. Если $S_{Offtake}$ равно 2, то допустимое колебание уровня воды (Δh) равно $\Delta q/q$, деленное на $S_{Offtake}$ = 0.1/2 = 0.05 м. Чтобы гарантировать надлежащее обслуживание пользователей, уровень воды в старшем канале не должен превышать значения, равного h ±5 см.

Показатель чувствительности при транспортировке воды в точку водозабора

Существенным влиянием колебаний расхода, отводимого через водовыпускной регулятор, является ответные колебания расхода в старшем канале. Другими словами, неустойчивое положение уровня воды Δh является следствием изменения расхода воды водоотвода (Δq), вызывающего эквивалентное обратное изменение расхода в старшем канале ($-\Delta q$). В зависимости от отношения q/Q (Q – расход в старшем канале) эта неустойчивость может или не может быть заметна в старшем канале ниже по течению от точки водозабора. Вот почему даже низко чувствительные регуляторы при высоких расходах могут оказывать сильное влияние на устойчивость уровней в магистральном канале. Это можно формализовать при помощи показателя чувствительности для водоотвода, выразив относительное изменение в магистральном канале в виде функции изменения уровня воды:

$$S_{Conveyance} = \frac{\Delta q}{\Delta h} \qquad \text{(ед.изм.м}^{-1}\text{)} \qquad (5)$$

Поскольку $\Delta q = \Delta Q$, это уравнение можно представить в виде:

$$S_{Conveyance} = \frac{\Delta q / Q}{\Delta h} = \frac{\left(\Delta q / q\right) \cdot \left(\Delta\right.}{\Delta h} \qquad \text{(ед.изм.м}^{-1}\text{)} \qquad (6)$$

что упрощается после подстановки показателя чувствительности водовыпускного регулятора:

$$S_{Conveyance} = S_{offtak} \qquad \text{(ед.изм.м}^{-1}\text{)} \qquad (7)$$

где $S_{Offtake}$ используется для определения влияния колебаний на водоотводящий канал (высокая $S_{Offtake}$ означает большое влияние), показатель для $S_{Conveyance}$ используется для определения воздействия колебаний в отводящем канале на основную систему.

Например, у водозаборного узла (в точке водозабора через водовыпускной регулятор) отношение q/Q равно 1/3 (высокое). Чувствительность водовыпускного регулятора, равная 1, означает 10%-ное изменение расхода водовыпуска при 10 см колебаниях уровня воды. Магистральный канал, транспортирующий ниже по течению от

водозабора две трети расхода, испытывает 5%-ные колебания расхода. Это значительная неустойчивость для магистрального канала. Обратное утверждение верно, так называемые высокочувствительные водовыпускные регуляторы, отводящие лишь малую часть расхода, будут оказывать незначительное влияние на магистральный канал.

Влияние режима работы водовыпускных регуляторов на основную систему связано как с показателем чувствительности водозабора, так и с относительной амплитудой водозабора (*q*/Q). Некоторые значения и показатели приводятся в таблице 12.

Таблица 12
Чувствительность при транспортировке воды – цифры и показатели

$S_{Offtake}$($м^{-1}$)	Различные значения q/Q				
	1/100	1/50	1/20	1/6	1/3
0.5	0.005	0.01	0.03	0.08	0.17
1	0.01	0.02	0.05	0.17	0.33
2	0.02	0.04	0.10	0.33	0.67
Чувствительность при транспортировке		**Низкая**	**Средняя**	**Высокая**	
Показатель	< 0.05		0.05–0.1	> 0.1	

Оценка показателей чувствительности водовыпускных регуляторов.

Существует 3 способа оценки чувствительности ирригационных сооружений:

- проведение измерений на месте;
- анализ исторических данных;
- использование гидравлической формулы совместно с геометрическими данными.

Проведение измерений на месте

Показатель чувствительности водовыпускного регулятора можно непосредственно измерить, производя изменение напора (Δ*h*) в старшем канале и измеряя соответствующее изменение расхода (Δ*q*) через водовыпуск. Затем показатель чувствительности рассчитывается по уравнению 2.

Анализ исторических данных

Если имеются в наличии данные по уровню воды, регулированию и расходам за длительный период времени, то необходимо проанализировать эти данные, чтобы выявить изменение в расходах воды (Δ*q*), вызванное только лишь изменением уровня (Δ*h*). Как и ранее, показатель чувствительности затем рассчитывается по уравнению 2.

Чувствительность, рассчитанная по гидравлическим формулам

Величина показателя, представленного в уравнении 2, может быть рассчитана по уравнению потока через сооружение. В общем виде уравнение расхода через сооружение представляется как:

$$q = M(head)^{\alpha} \qquad (8)$$

где:

- *M* – величина, независимая от напора на сооружении. *M* зависит от формы, размера и гидравлических параметров потока в сооружении.

- head – это напор на сооружении (уровень воды в верхнем бьефе минус уровень воды в нижнем бьефе сооружения, если оно подтоплено, или минус уровень, взятый ориентировочно как порог сооружения или ось отверстия, если сооружение не подтоплено).
- α – экспонента в гидравлическом уравнении движения; α равно 1,5 для водосливного типа регулятора и 0,5 – при донном типе регулятора.

Взяв производную от логарифма уравнения 8, получим:

$$\Delta q / q = \alpha \frac{\Delta head}{head} \qquad (9)$$

откуда значение показателя чувствительности определится как:

$$S = \frac{\alpha}{head} \quad \text{ед.изм.м}^{-1}) \qquad (10)$$

Для затопленного сооружения производная от уравнения 8 не будет такой простой, как представлено здесь. Тем не менее, общий подход, записанный в виде уравнения 10, достаточен для приблизительной оценки чувствительности. Точность до десятой после запятой здесь не требуется, достаточно знать, равна ли чувствительность 0.5, 1, 2 или 4.

Показатель чувствительности (Таблица 13) в основном зависит от 2-х факторов:

- напора на сооружении: разница между уровнем воды в верхнем и нижнем бьефах водовыпускного регулятора;
- характера движения потока через сооружение: при одинаковом напоре, водосливной тип водовыпускного регулятора в три раза чувствительнее (α = 1.5), чем регулятор донного типа (α =0.5) к изменению уровня воды (рисунок 26).

Необходимо помнить, что чувствительность не является статической гидравлической характеристикой определенного сооружения. Эксплуатация при различных напорах дает разные показатели чувствительности.

Таблица 13 Обзор показателей чувствительности водовыпускных регуляторов

Сооружение	Исследуемая переменная	Определение	Геометрическая формализация	Приближенная формула (без учёта подтопления)
Донный тип водовыпускного регулятора	Расход водовыпуска q как функция отклонений от нормального уровня воды (Δh)	$S = \frac{\Delta q / q}{\Delta h}$	$S = \frac{0.5}{h_E}$ h_E (эквивалент напора) с учётом влияния подтопления	$S = \frac{0.5}{head}$ Переменная “head” – это разница ($h_{ВБ}$ - $h_{НБ}$), влияющая на сооружение
Водосливной тип водовыпускного регулятора			$S = \frac{1.5}{head}$	Водосливные регуляторы-водовыпуски редки, поскольку они являются высокочувствительными

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ РЕГУЛЯТОРА

Показатель чувствительности для управления уровнем воды

Чувствительность уровня воды вдоль канала у перегораживающего сооружения (поперечного регулятора) или на любом друом участке выражается в изменении уровня воды (выход) в результате относительного изменения расхода (вход), как показано на Рисунке 27.

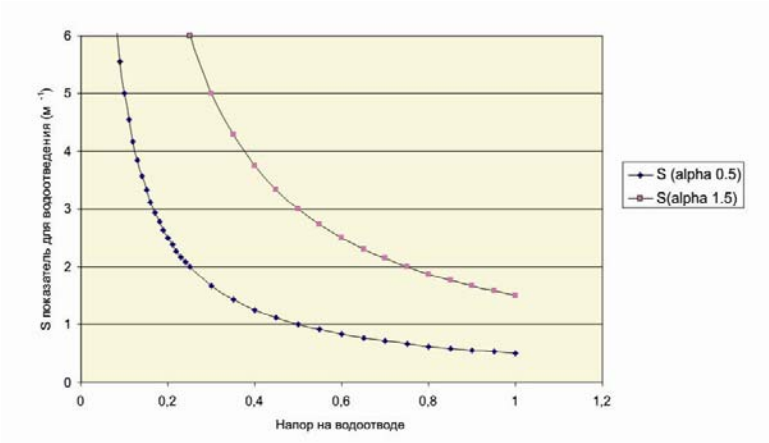


Рис 26 Чувствительность водоотводящего сооружения как функция напора для 2-х видов потока (поверху регулятора и понизу)

Поскольку функция перегораживающего сооружения принципиально противоположна функции водовыпускных регуляторов (поддержание постоянного уровня воды при меняющемся расходе в сравнении с поддержанием постоянного расхода при изменяющемся уровне воды) выражение для чувствительности поперечного регулятора обратно выражению для водовыпускного регулятора (Уравнение 2):

Рис 27 Вход и выход для поперечного регулятора

$$S_{Regulator} = \frac{\Delta h}{\Delta Q / Q} \qquad \text{ед.измерения:м} \qquad (11)$$

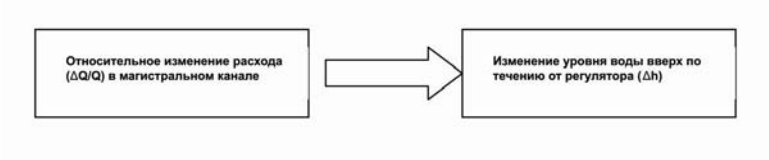


Рис 28. Изменение расхода в магистральном канале и изменение уровня воды

Таблица 14
Изменение уровня воды при различных значениях чувствительности и колебаниях расхода

Показатель чувствительности ($S_{Regulator}$)			
Относительное изменение расхода в канале	0.5 Низкий	1	2 Высокий
		(м)	
+/-0.05 (или 5%)	0.025	0.05	0.10
+/-0.10 (или 10%)	0.05	0.10	0.20
+/-0.20 (или 20%)	0.10	0.20	0.40

Таким образом, анализ чувствительности для водовыпускных регуляторов концентрируется на том, как колебания уровня воды трансформируются в изменение расхода. И наоборот, анализ чувствительности для поперечного регулятора (перегораживающего сооружения) сосредоточен на том, как изменение основного расхода преобразуется в колебания уровня воды.

Оценка изменения уровня воды при изменении расхода

Показатели чувствительности поперечного регулятора могут использоваться для оценки изменения уровня воды у перегораживающего сооружения (Δh), когда основной расход в магистральном канале изменяется (ΔQ), а уставки регулятора перегораживающего сооружения - остаются неизменными (Рисунок 28).

Если чувствительность поперечного регулятора известна, колебания уровня воды рассчитываются как показатель чувствительности, умноженный на относительное изменение основного расхода.

$$\Delta h = S_{Regulator} \cdot \Delta Q / Q \qquad \text{(ед.изм.=м)} \qquad (12)$$

Таким образом, поперечный регулятор с показателем чувствительности 2 при возникновении 5%-ного изменения расхода в канале вызовет изменение уровня воды выше по течению равное 0.1 м. В таблице 14 представлены значения показателей.

Оценка изменения расхода для фиксированного регулятора

Чувствительность поперечного регулятора можно использовать для определения допустимого диапазона, за пределами которого регулятор необходимо отрегулировать. Допустимое Δh можно определить по установленному соотношению $\Delta Q/Q$. Это Δh можно предсказать для Q_{min} и Q_{max}, дающих амплитуду изменения расходов, в пределах которой функционирование регулятора находится в допустимых пределах.

К примеру, у водовыпускного регулятора гипотетической системы из предыдущего примера, допустимое Δh равнялось 0.05 м. Именно поперечный регулятор должен был удерживать уровень воды в пределах диапазона h ± 5 см. Для поперечного регулятора с $S_{Regulator}$ = 0.5, это означает, что регулятор должен приводиться в действие, если расход магистрального канала изменяется более чем на 10 %. В такой системе изменения расхода более чем на 10% встречаются редко и, таким образом, нет необходимости тщательно следить за этим регулятором. Однако, при чувствительности регулятора S, равной 4, возникла бы необходимость в регулировании при ±1-%-ном изменении расхода и в постоянном мониторинге.

Оценка частоты регулирования регулятора, оборудованного затвором

Устойчивость к колебаниям расхода можно интерпретировать в эксплуатационные требования. Высокочувствительные поперечные шлюзы-регуляторы (Фото 22) нуждаются в более частом регулировании, чем низко-чувствительные той же системы. Следовательно, частота настроек регулятора зависит не только от колебаний, которые испытывает система, но также от чувствительности сооружения. На практике это можно интерпретировать как наладку, при которой высоко чувствительные регуляторы проверяются часто, т.е. каждые несколько часов, в то время как менее чувствительные регуляторы могут обойтись без проверки в течение целого дня.

Проверка изменения расхода

Хотя высоко чувствительных поперечных регуляторов надо вообще-то избегать, они могут также выполнять позитивную роль пункта регулирования. Чувствительный поперечный регулятор производит относительно большие колебания уровня воды при небольших изменениях расхода. Эта особенность сооружения может использоваться для обнаружения относительно небольших изменений расхода в оросительном канале. Информация, полученная в этом пункте, может использоваться в реальном масштабе времени для эксплуатационных стратегий системы ниже по течению.

Фото 22 ример высокочувствительного поперечного регулятора – напор около 2 м, следовательно, показатель чувствительности равен 4.

Оценка чувствительности поперечного регулятора

Оценку чувствительности регуляторов можно выполнить посредством: (i) непосредственного измерения; (ii) анализа ведомостей данных измерений; и (iii) гидравлических формул.

Принципы оценки для поперечных регуляторов такие же, как и для оценки чувствительности водоотводов; различие состоит во входных и выходных параметрах, которые должны быть измерены. Используя похожее исходное уравнение движения (уравнение 8) и производную (уравнение 9), показатель рассчитывается по формуле:

$$S = \frac{head}{\alpha} \qquad (13)$$

В таблице 15 представлен обзор по показателю чувствительности.

Сооружения с пропуском воды поверху менее чувствительны к колебанию расхода, чем такие же сооружения, но с пропуском расхода воды понизу (донные), и, следовательно, лучше подходят для регулирования уровня воды. Это совершенно противоположно чувствительности при водоотводе. В противоположность водовыпускным регуляторам подтопление нижнего бьефа регулятора имеет тенденцию увеличивать чувствительность

Таблица 15
Обзор показателей чувствительности регулятора

Сооружение	Исследуемая переменная	Определение	Геометрическая формализация	Приближенная формула (игнорируя подтопление)
Регулятор (водопропускное отверстие)	Уровень воды как функция относительного изменения расхода(ΔQ)	$S = \frac{\Delta h}{\Delta Q / Q}$	$S = 2h_1$	$S = 2 \cdot \text{head}$ Переменная “head” – это разница ($h_{ВБ}$ - $h_{НБ}$), влияющая на сооружение
Регулятор (водослив)			$S = \frac{head}{\left(3/2\right)}$	$S = 0.66 \bullet \text{head}$ Напор равен высоте слоя воды над гребнем водослива, если он не затоплен

Отличие колебаний на смешанных поперечных регуляторах

Некоторые поперечные регуляторы включают в себя затворы с донным отверстием в средней части и боковыми водосливами поверху. Гребень водослива определяет главным образом требуемый уровень, который нужно регулировать в этом месте. Таким образом, эти сооружения отличаются по их действию в отношении сброса воды. Для уровня воды ниже гребня водослива чувствительность регулируется центральными затворами (типом водопропускного отверстия), в то время как для уровня воды выше гребня чувствительность зависит главным образом от влияния менее чувствительных водосливов.

Для такого вида смешанного сооружения чувствительность выше уровня гребня значительно уменьшается в сравнении с ней для уровня ниже гребня. Для смешанного сооружения должны определяться два показателя чувствительности, в зависимости от того, имеется перелив воды или нет (S+ и S-).

Смешанный поперечный регулятор, показанный на фото 23, и приведенный на графике рисунка 29, имеет совершенно разную чувствительность: для уровня воды ниже гребня, регулятор является высокочувствительным; S намного больше 4 (при напоре более чем в 2 м) и для уровня воды выше гребня чувствительность резко падает до очень низкой отметки. Этот вид поперечного регулятора должен всегда иметь водный поток, стекающий через водосливы для того, чтобы минимизировать негативные влияния очень чувствительных центральных затворов.

Фото 23 Смешанный поперечный регулятор с центральными затворами под водой и боковыми водосливами, Таиланд. Функционирование регулятора является неправильным – вода должна переливаться поверх гребня.

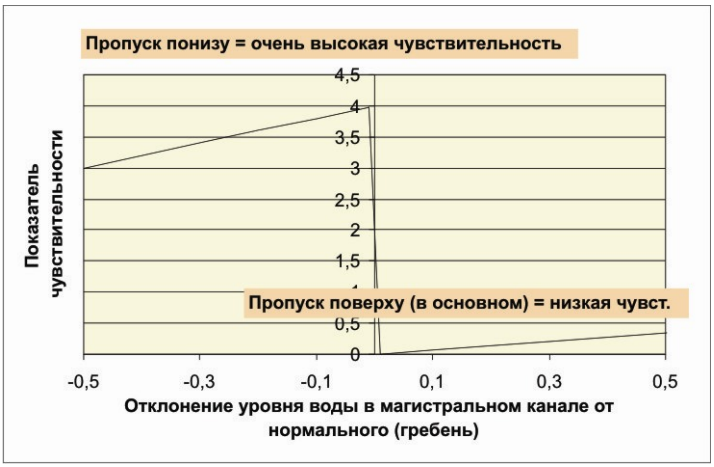
ТОЧНОСТЬ ПРИ ОЦЕНКЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Инженеры часто зациклены на высокой точности измерений. Безусловно, точность необходима во многих вопросах эксплуатации канала. Например, для правильной оценки пропускной способности водоотвода, необходима высокая точность. Однако для анализа не статических характеристик, таких как чувствительность регулируемых сооружений, достаточно знать ориентировочные значения величин. Для отвечающего требованиям управления, оператор канала должен знать, какова чувствительность определенной части рассматриваемой системы – очень низкая, низкая, средняя, высокая или очень высокая. Понимание сути чувствительности уже является руководством к улучшению эксплуатации. Знание показателя в пределах точности в ±25 процентов обычно является допустимым.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

В примере, показанном на рисунке 30, чувствительность значительно варьирует от одного поперечного шлюза-регулятора к другому. На первом участке до CR7, чувствительность – высокая и для водовыпускных регуляторов и для поперечных регуляторов. От CR7 вниз по течению, оба показателя значительно ниже.

Если бы степень регулирования уровня воды, осуществленного на поперечных регуляторах в этой системе была бы одинакова, то для колебания, равного 0.1 м (±10 см), вода, отводимая каждым водовыпускным регулятором, варьировала бы согласно таблице 16.



Амплитуда колебания расхода на водовыпускных регуляторах – большая: от 3.5 % (очень точно) до 43 % (низкая точность). Это должно послужить сигналом для разработки разных правил эксплуатации системы.

Рис 29 Чувствительность смешанного поперечного регулятора в зависимости от уровня воды и высоты гребня

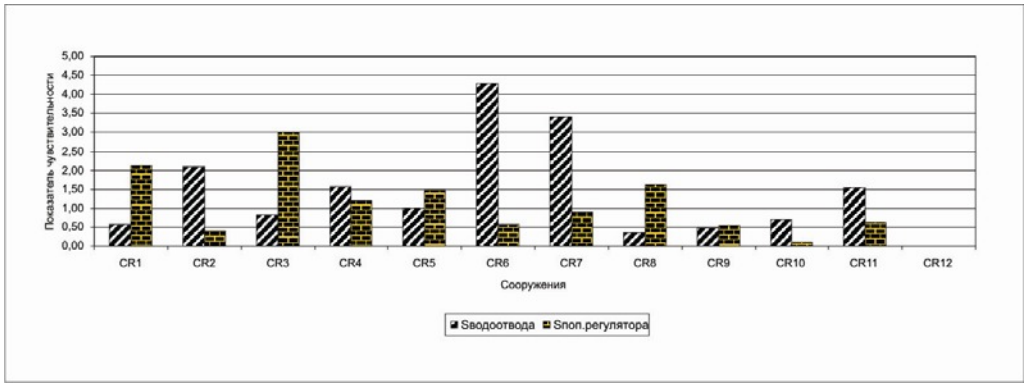


Рис 30 Чувствительность поперечных регуляторов в SMIS, Непал

Таблица 16
Колебания расхода в водовыпускных регуляторах вдоль магистрального канала при изменении уровня воды на 0.1 м

CR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
S водовыпускного регулятора	0.6	2.0	0.8	1.6	1	4.3	3.4	0.35	0.5	0.7	1.5
						(%)					
Колебания расхода (+ или – от первоначально установленных значений)	6	20	8	16	10	43	34	3.5	5	7	15

Таблица 17
Эксплуатационные правила по допустимым отклонениям и частоте регулирования в зависимости от чувствительности поперечного регулятора на магистральном канале оросительной системы SMIS в Непале

Поперечный регулятор (CR)	Характерные черты	Допустимое отклонение (ДО) по уровню воды	Частота регулирования CR
CR1	*S* регулятора высокая (2) *S* водовыпуска низкая	ДО 0.1 приемлемо	Более частое регулирование
CR2	*S* регулятора низкая (0.4) *S* водовыпуска высокая (2)	ДО должно быть уменьшено (±5 см)	Низкая частота достаточна
CR3	*S регулятора очень высокая* (3) *S* водовыпуска низкая (0.8)	ДО 0.1 приемлемо	Более частое регулирование
CR4 & CR5	*S*регулятора средняя (< 1.5) *S* водовыпуска средняя (< 1.5)	ДО 0.1 приемлемо	Средняя частота регулирования
CR6 & CR7	*S* регулятора низкая (< 1) *S* водовыпуска высокая (>3.5)	ДО должно быть уменьшено (±5 см или ниже)	Средняя частота регулирования
CR8–CR11	*S*регулятора средняя или низкая *S* водовыпуска средняя или низкая	ДО 0.1 приемлемо	Средняя частота регулирования

Как минимум, к поперечным регуляторам CR6 и CR7 при эксплуатации должны предъявляться более жесткие ограничения по колебаниям уровня воды, чем к другим. Приведенная контрольная цифра ±5 см снизила бы колебания расхода в соседних водовыпусках до 21.5 и 17 % соответственно.

Если посмотреть на чувствительность поперечных регуляторов, CR1 и CR3, с показателями чувствительности 2 и 3 соответственно (таблица 17), то необходимо также тщательно проверить эти показатели.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГИДРОУЗЛА ИЛИ ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ГИБКОСТЬ

Ирригационные сооружения постоянно взаимодействуют, влияя друг на друга. Поэтому знания о режиме работы отдельного сооружения, выраженного через показатели чувствительности, недостаточно для понимания режима работы узлов, участков и подсистем, когда огромное число сооружений влияют друг на друга.

Предыдущие разделы этой главы рассматривали чувствительность независимых сооружений. Первый шаг в направлении объединения в одно целое чувст-

вительностей – это рассмотреть гидроузлы ирригационных сооружений. Показатель гибкости направлен на характеристику относительных изменений расхода в независимых и магистральных каналах у мест водозабора или водораспределительных узлов. Гидравлическая гибкость особенно хорошо приспособлена к системам без затворов, которые в значительной степени разработаны в Индии, Пакистане и Непале на основе принципа пропорциональности и которые также находят использование в оазисах Северной Африки, на оросительных системах с орошением водами ливневых дождей и горных системах, питаемых нерегулируемыми источниками (родниками). Во всех системах анализ гидравлической гибкости способствует проникновению в суть распределения и переноса колебаний расходов и уровней внутри систем (рисунок 31). Показатель гибкости выражает связь между относительными колебаниями расхода в старших и независимых каналах и равен:

$$F = \frac{\Delta q / q}{\Delta Q / Q} \qquad (14)$$

где: Q – расход в старшем канале; а q - расход во второстепенном (зависимом) канале.

Деление числителя и знаменателя на изменение глубины воды в старшем канале приводит к перемножению двух показателей чувствительности, т.е. чувствительности по расходу водоотвода ($S_{Offtake}$) и чувствительности регулятора в старшем канале ($S_{Regulator}$):

$$F = \left(\frac{\Delta q / q}{\Delta h_{US}}\right)\left(\frac{\Delta h_{US}}{\Delta Q / Q}\right) = S_{Offtake} \cdot S_{Regulator} \qquad (15)$$

Этот показатель гидравлической гибкости можно рассчитать или оценить для любого узла ирригационной системы. Используя типологию Хорста [Horst (1983)]:

- $F < 1$ (подпропорциональное): относительное изменение расхода в старшем канале генерирует/вызывает малое относительное изменение в отводном канале. Колебания ослабляются в водоотводящем канале.
- $F = 1$ (пропорциональное): относительное изменение расхода в старшем канале генерирует/вызывает равное ему/такое же относительное изменение в водоотводящем канале. Колебания разделены равномерно.
- $F > 1$ (гиперпропорциональное): относительное изменение расхода в старшем канале генерирует/вызывает большее по величине относительное изменение в отводном канале. Колебания усиливаются в водоотводящем канале.

Всесторонний анализ различных типов форм старшего и второстепенного каннаалов и результирующих показателей гибкости дается у Албинсона [Albinson (1986)].

Идеальное значение показателя гибкости для беззатворных систем равно единице ($F = 1$). В этой ситуации, расход, какой бы он ни был, распределяется пропорционально по каналам, и достигается высокий уровень справедливости.

В системах с затворами, пропорциональность стремится к единице, когда показатели чувствительности водовыпускных регуляторов и поперечных регуляторов обратны друг другу (уравнение 15).

Поскольку система с затворами позволяет использовать многосторонние стратегии управления колебаниями с помощью регулирования затворов, пропорциональное

распределение колебаний не является обязательной целью эксплуатации канала в такой системе. Требуемую гибкость водоподачи необходимо обсудить в соглашении по обслуживанию и в планах эксплуатации. Решения о требуемом показателе гибкости для систем с затворами должны приниматься на системном уровне, поскольку показатели гибкости на магистральном, вторичном, третичном и т.п. уровне могут дополнять друг друга.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ УЧАСТКОВ

Анализ гибкости подсистемы

Во всех системах гидроузлы можно рассматривать как точки вододеления или водоабора, независимо от того, оборудованы эти узлы сооружениями для регулирования потока или нет.

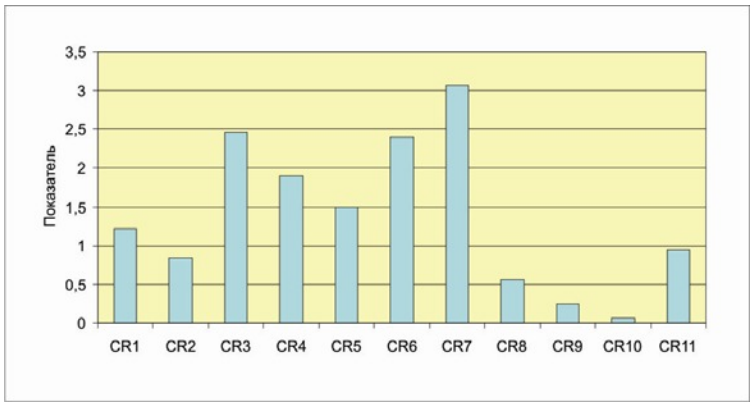


Рис 31 Гидравлическая гибкость вдоль магистрального канала SMIS, Непал Indicator - показатель

Во многих системах, оборудованных затворами, более плодотворно рассмотреть участки, объединяющие несколько водоотводов, находящихся под влиянием поперечного шлюза-регулятора.

Качественный общий подход к гибкости, исследующий распространение колебаний по каналу или подсистеме, синтезирован Хорстом [Horst (1983)]. Объединение гибкости узлов показывает, что колебания (избыток или недостаток воды) Распространятся равномерно по системе при гибкости $F = 1$, будут ощущаться более сильно в верхней части системы при $F > 1$, или в нижнем конце системы при $F < 1$ (рисунок 32).

Постоянный расход водовыпускных регуляторов, таких как успокоители (гасители), представляет гибкость, почти равную нулю; возмущения потока распространяются на всем пути вниз по каналу, оборудованному подобными распределительными сооружениями. В то время как абсолютное колебание распространяется вниз по течению, относительное колебание усиливается вниз по течению, вызывая либо затопление/переполнение канала, либо, если отсутствует стратегия борьбы с такими волнами, резкий дефицит воды.

Наоборот, у регулятора с пропуском воды поверху – высокие значения гибкости, а колебания выравниваются и стихают в верхней части канала, оборудованного такого типа регуляторами. В результате водовыпускные регуляторы в верхнем течении имеют высоко изменчивые расходы, а в нижнем течении расходы водовыпускных регуляторов относительно устойчивы. В связи с такой ситуацией возникают серьезные вопросы по эксплуатации канала. Подход, использующий гибкость, полезен для получения общего представления о режиме работы системы в целом. Однако он не дает количественного выражения объединенной чувствительности на уровне участка. Более детально это обсуждается в следующем разделе.

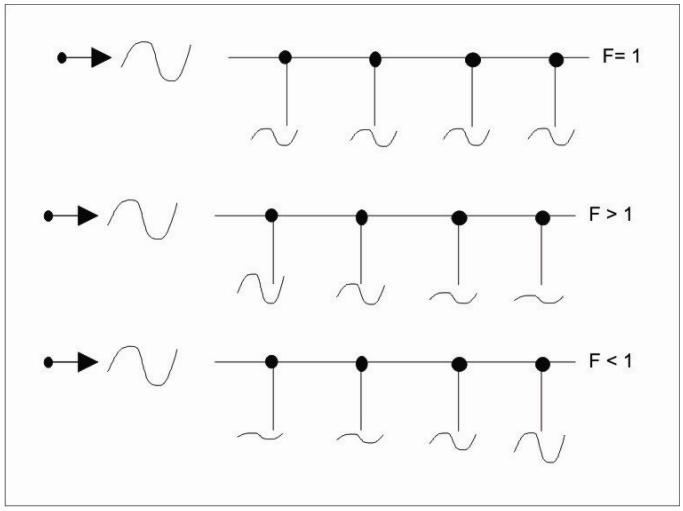
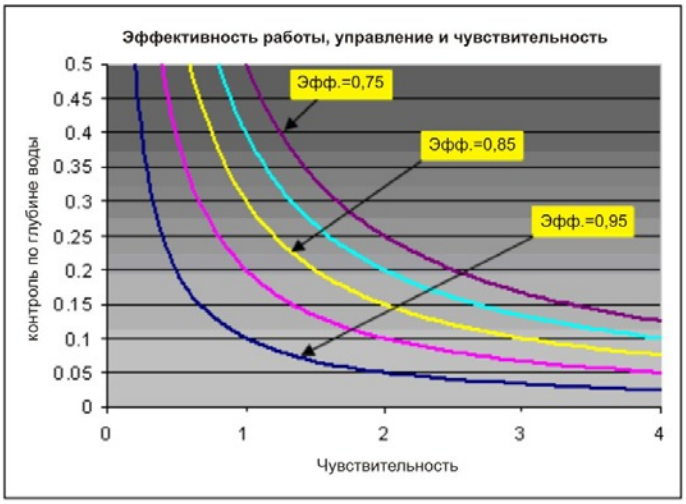


Рис 32 Распространение колебаний при различных гибкостях

Использование показателей чувствительности для участков

Прогнозирование распространения возмущений потока

При анализе системы индикаторы чувствительности участка лучше, чем индикаторы чувствительности отдельных сооружений показывают, как колебания распространяются по каналу/системе. Участки с высоким показателем чувствительности (смотри Приложение 2 для расчета) будут поглощать большую часть колебаний через свои водовыпускные регуляторы. Это означает, что такие участки будут испытывать либо излишки, либо недостатки воды, в зависимости от знака возмущений. Наоборот, участки с низким показателем чувствительности будут передавать большую часть возмущений вниз по течению следующему участку. Такой анализ выявит, как благоприятные и неблагоприятные воздействия колебаний стока распределятся в системе, и может помочь в выработке решений по целенаправленным действиям в отношении определенных чувствительных участков.



Определение высоты надводного борта участка

Участки с высокой чувствительностью к глубине воды должны быть оборудованы бортиком достаточной высоты или аварийными сооружениями; тогда как на участках с низкой чувствительностью к глубине воды бортик может быть более низкий.

Рис 33 Показатель работы канала, регулирование и чувствительность

Увеличение эффективности аккумулирования воды каналом

Там где чувствительность к глубине воды высока на участке (т.е. суммарная чувствительность водоотводов является низкой, а регуляторов – высокой), значительная часть изменений потока на участке будет представлена колебаниями уровня воды. Это будет в виде значительного падения уровня воды (отрицательные изменения) или его подъема (положительные изменения). Многое будет зависеть от геометрии канала. Понимание характерных черт поведения определенного участка и знание заранее о грядущих изменениях потока может быть использовано в планах по эксплуатации для того, чтобы смягчить колебания стока или передать воду в тот участок системы, где она будет полезнее.

Эксплуатационные качества и чувствительность

Предполагаемые эксплуатационные качества ирригационной системы складываются из двух характеристик: способности управлять уровнем воды и чувствиительности системы (рисунок 33). Это дает возможность менеджерам оценить степень контроля, чтобы исследовать [(*H*) или ΔH_R] данные эксплуатационные характеристики, необходимые для работы, а также физические свойства системы. Различные общие показатели чувствительности на уровне системы были разработаны для адекватной, эффективной и объективной характеристики работы системы.

Характеристика адекватности и эффективности относится к точности и влиянию регулирования. Вид показателя работы канала может быть следующим:

$$P = 1 - \frac{1}{2} \Delta H_R S_S \qquad (16)$$

где *S*s - показатель чувствительности системы, суммирующий показатели чувствительности сооружений и контроль, осуществляемый за уровнем воды.

Наоборот, контроль за уровнем воды, который должен осуществлять оператор, может вытекать из чувствительности систем (данной) и намеченных эксплуатационных качеств посредством следующей формулы:

$$\Delta H_R = 2 \left(\frac{1-P}{S_S} \right) \qquad (17)$$

КАРТИРОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ИРРИГАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

MASSCOTE – это пошаговый процесс, пока еще нет стремления выполнять анализ чувствительности по всем и каждому сооружению (регулятору и водоотводу). Подход MASSCOTE начинается с уровня магистрального канала и затем переходит к идентификации объектов управления более низкого порядка, для которых начинается следующий цикл MASSCOTE.

Картирование чувствительности сооружений на магистральном канале

Для картирования чувствительности регулятора вдоль магистрального канала, необходим параметр потока (показатель степени уравнения потока) и знание величины напора (*H* в верхнем течении минус *H* в нижнем течении).

Параметр потока известен из вида сооружения (1/2 для донного типа регулятора, или 3/2 для регулятора с пропуском воды поверху - с комбинацией из двух для некоторых регуляторов). Напор может быть получен из наблюдений за уровнем воды, или

при помощи рекогносцировки, когда канал находится под водой и можно непосредственно измерить напор, используя нивелир. Эта информация может быть легко получена при быстром осмотре - приблизительно один час на каждый узел (поперечный регулятор или соседние водоотводы). Пример, показанный в таблице 18, должен был быть выполнен менее, чем за два дня.

Таблица 18
Пример требуемой информации, оросительная система SMIS, Непал

Сооружение	CR1	Водовыпуск 1	CR2	Водовыпуск 2	Водовыпуск 3	CR3...	CR11
Альфа (показатель степени)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Напор (м)	1.05	0.90	0.20	0.25	0.60	1.50	0.30

Картирование чувствительности сооружения вдоль магистральных, ответвлений и каналов второго порядка, SMIS (оросительная система Сансари Моранг), Непал

Следующий пример относится к третьей по счету измерительной кампании (сентябрь 2006 г.) в оросительной системе Сансари Моранг в Непале.

Эксплуатационные характеристики системы отличались от установленных в 2003 году. Главные особенности состояли в том, что:

- большинство поперечных регуляторов на магистральном канале были полностью открыты и действовали как водосливы;
- поперечные регуляторы на канале второго порядка были полностью открыты;
- водоотводы вдоль канала второго порядка были почти полностью открыты.

Такая ситуация отражает потерю контроля менеджерами за эксплуатацией и стоком в инфраструктуре SMIS. Никаких серьезных попыток не делалось для того, чтобы регулировать сток и обеспечить все водоотводы вдоль распределительных каналов достаточным количеством воды.

Существовала ложная уверенность в том, что система в основном пропорциональна при максимальном нормальном уровне воды, что как-то оправдывает отсутствие эксплуатационного обслуживания. По поведению сооружений этого не было видно. Более того, менеджеры пребывали в заблуждении, что, поскольку канал был полон воды и потребность в воде не была на пике, не было и реальной необходимости в эксплуатации поперечных регуляторов. На рисунке 34 показана гибкость вдоль магистрального канала с сооружениями, которые были либо существенно непропорциональны ($F< 0.5$), либо гиперпропорциональны ($F> 1.5$).

Рисунок 35 обобщает моделирование распространения изменений (колебаний расхода), генерируемой в верхнем течении магистрального канала (колебание расхода водозабора установлено около 5 %, что составляет 2 740 л/сек), показывая/демонстрируя несколько этапов:

- пологий участок в верхнем течении до поперечного регулятора CR3;
- пропорциональное снижение/падение от CR3 до CR5;
- падение у CR6;
- пологий участок от CR6 до CR8;
- падение у CR9;
- пропорциональное снижение далее вниз.

Эта диаграмма показывает, что CR6 Рамгани (Ramganj) поглощал 30 процентов изменений стока (826 л/сек) в то время как его доля была меньше 10 процентов.

При эксплуатационным режиме, принятом менеджерами (никакой эксплуатации основных регуляторов и водоотводов вдоль магистрального канала), можно отметить, что было бы трудно передать изменения стока вниз по течению; после CR6 (половина системы), оставалась только треть от изменений стока в верхнем течении, а после CR9 - лишь 10 процентов.

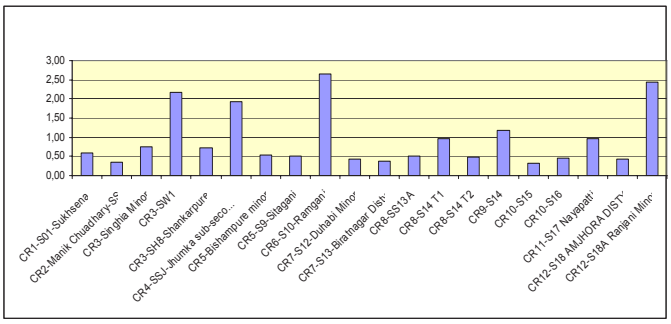


Рис 34 Пропорциональность вдоль магистрального канала у основных точек распределения, SMIS, Непал

Подобная ситуация возникла и вдоль каналов второго порядка. Чувствиительность сооружений была в большинстве случаев высокой, благодаря полному открытию затворов. Поток в водоотводах не соответствовал более донному типу регулятора, а отводился по типу водосливного регулятора, таким образом делая эти регуляторы более чувствительными к изменениям уровня воды. Это было главной причиной различий в водоснабжении/водообеспеченности зон верхнего и нижнего течения. На рисунке 36 показан пример гидравлической гибкости канала второго порядка в SMIS.

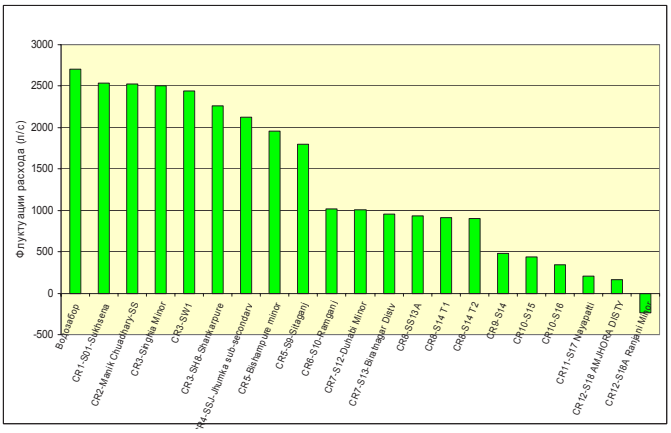


Рис 35 Моделирование изменений расхода вдоль магистрального канала SMIS у основных распределительных точек

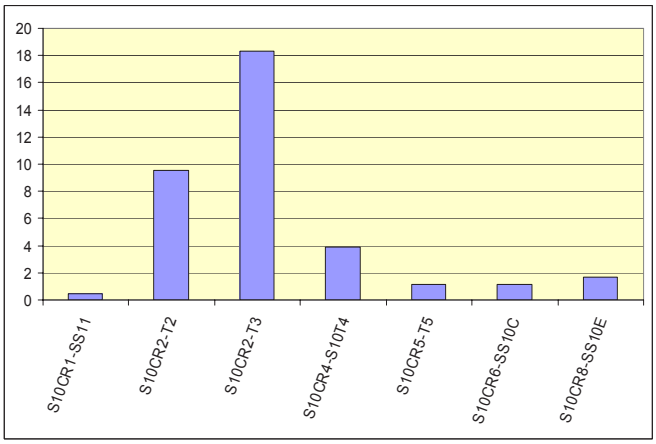


Рис 36 Пропорциональность вдоль канала второго порядка Рамгани, SMIS

ГЛАВА 7

Картирование нарушений функционирования

Работа канала ВО ИЗБЕЖАНИЕ НАРУШЕНИЯ устойчивости

Условия установившегося потока часто являются целевым состоянием работы канала, по крайней мере, это довольно часто прописывается в плане эксплуатации и технического обслуживания. Данное состояние может возникнуть в хорошо изолированной и хорошо контролируемой системе. Однако в обычной практике оно достигается редко. Это часто происходит потому, что к тому времени, когда после осуществления основных изменений и дальнейшей точной настройки система конвергируется, новые изменения и многочисленные колебания (нарушения нормального режима) уже начинают находить свое отражение в условиях потока по всей системе.

Сложность работы канала вытекает из того факта, что необходимо иметь дело с многочисленными физическими компонентами и субъектами, а также этот процесс сопряжен с неопределенностью.

В течение периода орошения, например, за одну неделю или десять дней, работа канала влечет за собой тысячи отдельных мероприятий, которые должны быть скоординированы, упорядочены (с учетом запаздывания во времени), проверены и откорректированы. Время запаздывания, которое означает длительность перемещения воды между любыми двумя точками, является ключевым фактором, который необходимо учитывать, когда действия согласовываются и приводятся в исполнение.

Таким образом, намного безопаснее рассматривать постоянные условия неустановившегося потока, а не гипотетическое установившееся течение.

Акцентирование внимания на установившимся потоке также создает путаницу в мероприятиях по управлению каналом. Очень часто можно увидеть менеджеров, пытающихся стабилизировать как уровни воды, так и расходы, посредством управления регуляторами, что практически невозможно. Данная путаница приводит к хаосу и повышению нестабильности. Предпочтительнее рассматривать неустановившиеся условия (колебания в расходах) для работы канала и сосредоточить контроль над уровнями воды в контролируемых точках.

КАК НЕСТАБИЛЬНОСТЬ возрастает вниз по ТЕЧЕНИЮ

Колебания водных переменных (уровня и расхода) в сети открытых каналов являются нормой, а не исключением. Таким образом, колебания являются постоянной особенностью оросительных каналов вследствие регулировки сооружений в верхнем течении, усугубляющиеся преднамеренными или непредсказуемыми изменениями притока/оттока в основных узлах.

Пример усиления колебаний расхода по ЛГК (Карнатака, Индия) показан на рисунке 37. Расход регистрируется каждые два часа в разных пунктах вдоль магистрального канала, и на графике представлено среднее отклонение, зафиксированное между двумя замерами, показывая резкое усиление изменчивости, достигающее верхнего

значения 3% от изменения каждые два часа на 100 км. Увеличивающееся каждые два часа отклонение в расходе, перемещающегося вниз по течению, также включает в себя колебания и дефицит в течение более длительного периода (рисунок 38). Это пример хорошо известной ситуации увеличения нестабильности, ставящей в невыгодное положение пользователей нижнего течения.

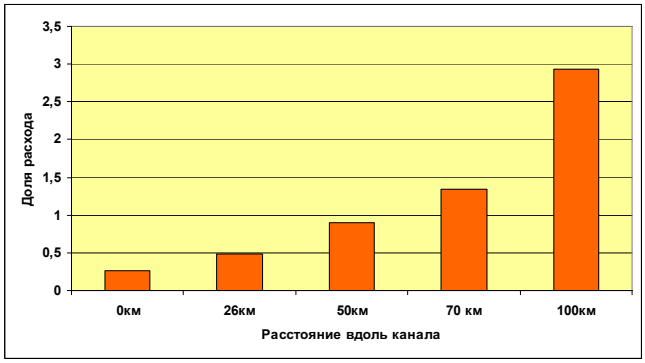


Рис 37 Среднее отклонение расхода каждые два часа по ЛГК, Хариф 2006 г.

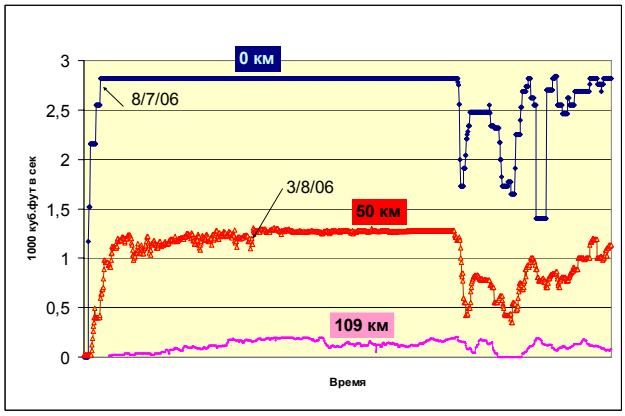


Рис 38 Гидрограф в различных местах ЛГК, Хариф 2006 г. (июль-октябрь)

ПРОБЛЕМЫ НЕТОЧНОСТИ, НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И НЕСТАБИЛЬНОСТИ

Неточность и неопределенность мешают процессу эксплуатации канала. Основными проблемами, которые повышают неточность и тем самым осложняют работу канала, являются:

- Точность:
  - неточность данных о потребности в воде и основных источниках воды (притоках);
  - неточность в прогнозировании последствий распространения волн в нижнем течении, вызванных самой работой канала;
  - неточность в действии или в уставках затворов.
- Вмешательства:
  - несоответствующая реакция на запланированные и непредвиденные колебания стока;
  - неправильные действия в ходе эксплуатации;
  - незаконные вмешательства.
- Незапланированные внешние нарушения функционирования системы:
  - от источника в верхнем течении - или непредвиденного стока вдоль канала;
  - непредвиденные осадки, вызывающие колебания стока - могут потребовать перекрытия каналов и отведения дополнительной воды.

НЕИЗБЕЖНЫЙ ХАРАКТЕР КОЛЕБАНИЙ СТОКА

Во многих ситуациях, особенно в тропических районах, изменчивость, как притока, так и оттока, часто является главной особенностью ирригационных систем. Например, в схеме MUDA в Малайзии, регулируемая водоподача составляет только 35 процентов (контролируемая подача из отдаленного водохранилища [29 процентов] и повторно используемая дренажная вода [6 процентов]) от общей годовой подачи воды в

этом районе (ITIS, 1996г.). Другими составляющими являются непосредственно осадки (52 процента) и неконтролируемый речной сток (13 процентов). В связи с этим, когда дело касается оперативных решений, колебания притоков так же важны, как и колебания требований на воду.

В основном, ирригационные системы могут испытывать колебания притока, вызванные следующими факторами:

- Возвратным стоком: избыточная вода из распределительных каналов или с полей возвращается в ирригационную систему - меняется со временем.
- Водоотводом из русла реки: русловые системы подвергаются большей изменчивости в отношении притоков, чем системы с регулирующими емкостями.
- Эксплуатацией канала в верхнем течении: для канала, отходящего от магистрального канала, существует определенный контроль в отношении нормы водоподачи, в то время как при последовательном водозаборе – на отрезке магистрального канала, снабжаемого за счет участков, расположенных в верхнем течении - контроль находится на низком уровне, то есть сток верхнего течения должен приниматься за норму водоподачи. Колебания в данной точке являются последствием действий в верхнем течении.
- Одной дамбой: однодамбовые каналы, то есть каналы без построенной дамбы со стороны косогора, также называемые контурными каналами, довольно часто встречаются при слабоволнистой топографии. Высокие колебания притока являются результатом нерегулируемого стока, поступающего в эту систему каналов во время выпадения осадков (Фото 24).

Некоторые системы, однако, не сильно страдают от колебаний притока, в особенности, это те системы, которые получают воду из хорошо регулируемого водохранилища и обслуживают сеть каналов с двумя дамбами, где возможность проникновения бокового поверхностного притока ограничена, если не равна нулю.

Фото 24 Сток, наблюдающийся в однодамбовом канале во время сезона дождей, KOISP, Шри-Ланка.

Особенности, которые заслуживают рассмотрения для управления колебаниями притока, состоят в следующем:

- Локализованная аккумуляция стока: наличие промежуточных водохранилищ в рамках этой системы является благоприятной возможностью для гашения колебаний потока.
- Возвратный сток: направление положительных колебаний стока к районам с возвратным стоком делает возможным осуществление эффективного реагирования.

- Система повторного использования воды: положительные колебания стока могут направляться преимущественно к тем районам, где известно, что вода может повторно использоваться в нижнем течении.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРИ ЗАПЛАНИРОВАННЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ И НЕПРЕДВИДЕННЫХ НАРУШЕНИЯХ

Стратегия управления и эксплуатации канала складывается из двух элементов: стратегии для осуществления запланированных изменений (известных и планируемых), и стратегии борьбы с нарушениями в результате неточности и непредвиденных изменений.

При возникновении и урегулировании запланированных изменений, а также непредсказуемых нарушений, логическая последовательность будет следующей:

- осуществление, самым наилучшим образом, запланированной по графику Работы и плана распределения;
- работа с нарушениями, как внешними, так и внутренними, порождаемыми неточностью в водохозяйственном плане и в самой работе.

Если нарушение должно быть урегулировано, то оно сначала должно быть определено, с тем, чтобы инициировать последовательность мероприятий, которые операторы должны быть готовы выполнить. В случае непредвиденных нарушений режима это означает, что менеджеры и операторы должны:

- проверить водные переменные (уровень воды, расходы, требование на воду, приток, отток, и т.д.) и откорректировать их;
- справиться с нарушением или дать возможность системе реагировать без какого-либо вмешательства (отбора);
- увеличить поток информации (нисходящий и восходящий).

ТАМ, ГДЕ НЕВОЗМОЖНО ИЗБЕЖАТЬ ОШИБОК

Даже при хорошо управляемой системе с затворами, использующей модули (успокоители), самое наилучшее управление потоком, которое может быть достигнуто составляет ± 5 процентов от установленного значения. Поэтому, на распределительном канале с расходом 1м^3/с в головной части, обслуживающем 10 модулей по 100 л/с каждый, расход может изменяться следующим образом:

- в головной части канала: от 950 до 1050 л/с;
- на каждом отводящем канале: от 95 до 105 л/с.

Как следствие, первые девять водовыпускных регуляторов на этом канале отводят общий поток, изменяющийся от 855 до 945 л/с. Таким образом, оставшийся поток для водовыпускного регулятора, расположенного ниже по течению, может Варьировать от 55 до 145 л/с. Следовательно, последний отводящий канал может столкнуться с большим дефицитом воды (- 45 л/с) или большим избытком воды (45 л/с). В последнем случае необходим водосброс, чтобы удалить избыток воды (Фото 25). Это иллюстрирует концепцию хвостовой части в ирригационных системах - последние водоотводы должны компенсировать ошибки в системе выше по течению.

ДРУГИЕ ИСТОЧНИКИ НАРУШЕНИЙ

Незаконные действия

Действия, осуществляемые пользователями без разрешения/санкции, являются существенным источником нарушений в ПЗ. Незаконные действия, как правило, являются попытками пользователей отвести больше стока, чем они имеют право или чем позволяют условия эксплуатации. Это явление стремительно усугубляется далее вниз по течению, поскольку все больше людей пытаются компенсировать распространяющийся дефицит. Это, в конечном счете, приводит к тому, что большая часть ПЗ нижнего течения практически получает очень мало стока, если вообще он туда подается.

Фото 25 Хвостовой водосброс на канале, оснащенном водоотводами (успокоителями), Тадла, Марокко.

Незаконные действия также могут стать проблемой в течение промежуточного сезона в случае непредвиденного выпадения осадков. Несанкционированное перекрытие водоотводов может породить избыточный сток внутри системы, что может, если канал не очень хорошо защищен, причинить физический ущерб.

Водовыпуски непосредственно из магистрального канала

Ошибки не всегда порождаются эксплуатацией и управлением или внешними изменениями в стоках. Водовыпуски, отводящие воду непосредственно из магистрального канала без какого-либо эффективного механизма регулирования (Фото 26), являются обычным явлением во многих ирригационных системах.

Вопрос о водовыпусках, забирающих воду непосредственно из магистрального канала, является социально-критическим, поскольку он всегда приводит к дополнительному давлению на менеджеров оросительных систем. Следствием этого является то, что иногда большая часть располагаемого стока, поступающего в систему, не может эффективно управляться операторами. В одной системе в Пакистане, около 40 процентов стока не было под контролем менеджеров. Это является не только вопросом справедливости. Бесконтрольные водовыпуски на магистральном канале могут порождать большие колебания расходов. Это влияет на функциональные характеристики, а также на результаты предоставления услуг пользователям, обслуживаемых регулируемыми водовыпусками.

ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

В пропорциональных системах, по проекту оказание услуг является пропорциональным, и это достигается независимо от размера притока и колебаний внутрисистемного стока (если сооружения правильно спроектированы и установлены). Вот почему пропорциональные системы, называемые также структурированными системами, просты в эксплуатации, они имеют самые низкие затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание (Э&ТО). Однако эти системы имеют другие ограничения, в частности, в отношении обслуживания пользователей. Исторически сложилось так, что они широко используются в традиционных системах орошения, например, в Индонезии, а также в более структурированных многоуровневых ирригационных системах, например, на индо-гангских равнинах, как недорогой способ распределения воды между максимальным числом фермеров и земельных участков. Пропорциональная система является надежной, когда распределение стока обеспечивается отдельным сооружением для пропорционального деления. Там, где пропорциональность является результатом двух отдельных сооружений, в дальнейшем существует высокий риск “смещения” пропорциональности в связи с изменениями в гидравлических условиях (отложение наносов и эрозия).

Фото 26 Нерегулируемый водовыпуск непосредственно из магистрального канала в качестве источника колебаний стока, Синд, Пакистан.

ИЗМЕРЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ СТОКА

Как уже упоминалось выше, колебания имеют разное происхождение. Для картирования колебаний важно знать их происхождение, сроки и частоту появления, амплитуду, а затем, как система реагирует на них. Важно знать, является ли система автономной, или необходимо определенное вмешательство.

СОГЛАСОВАННАЯ УВЯЗКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И КОЛЕБАНИЙ СТОКА

Чувствительные регуляторы являются хорошими точками для обнаружения колебаний стока. Небольшие отклонения в расходе будут вызывать заметные колебания в уровне воды на этих сооружениях.

На уровне подсистемы или участка крайне важно знать, либо система поглощает, либо распространяет колебания. На рисунке 39 представлены две разные системы с точки зрения их потенциала к распространению / поглощению колебаний. Изменение расхода возникало в головной части каждого канала (регулятор 1 на рис. 39). Затем, были сделаны замеры на каждом участке для того, чтобы оценить степень этого изменения в нижнем течении, когда никакие меры не принимались для изменения настроек ирригационных сооружений.

Представленные две системы показывают очень разные модели характера изменений. В проекте оросительной системы Киринди Ойя (KOISP) изменение распространяется регулярно. В абсолютных показателях оно регулярно снижается, но в относительном выражении изменение остается неизменным. Это означает, что данная система является более или менее пропорциональной.

Система Махавели-Б (Mahaweli-B) является неоднородной, либо полностью распространяющей, либо высоко поглощающей изменения. Первоначальные изменения значительно поглощаются на двух участках (участок, расположенный ниже регулятора 1, и участок, расположенный ниже регулятора 5). Участки 2, 3 и 4 распространяют полное изменение вниз по течению. После участка 5, только 20 процентов от первоначального нарушения режима остается в магистральном канале, 80 процентов излишков воды направляются через чувствительные водоотводы.

Стратегия эксплуатации канала и управления водными ресурсами будет отличаться в этих двух системах. Не вдаваясь особо в детали:

- KOISP распространяет и распределяет колебания: для запланированных изменений, необходимо чтобы действовали все регуляторы с одинаковой надежностью. Никаких конкретных действий не требуется в случае непредвиденных изменений.
- Махавели-Б либо распространяет, либо поглощает колебания. Действия при запланированных изменениях должны быть, прежде всего, направлены на участки 2 и 6, чтобы гарантировать, что они не отводят входные колебания. При непредвиденных изменениях водоотводы этих участков должны эксплуатироваться осторожно с тем, чтобы справедливо распределять изменения в притоке.

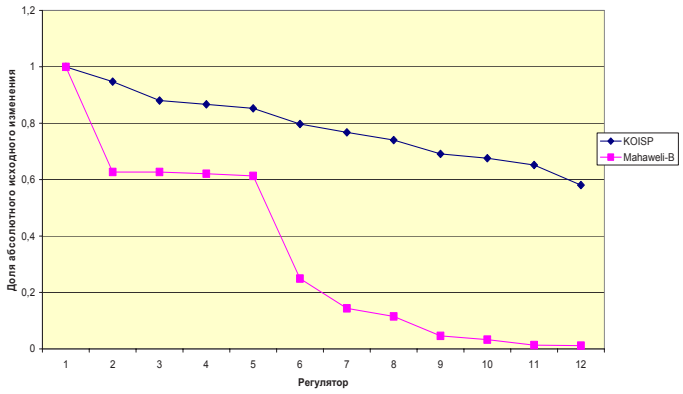


Иллюстрация того, каким образом данная информация может использоваться для организации управления на уровне подсистемы в Махавели-Б, выглядит следующим образом:

Рис 39 Анализ поглощения колебаний по двум системам каналов

- Ниже участка 1, точность контроля потока для плановой эксплуатации существенно зависит от установки параметров на головном сооружении в верхнем течении, а также от параметров на первом участке. Если регулятор 2 должным образом не отрегулирован, то запланированное изменение стока, осуществляемое на головном сооружении, будет значительно уменьшено в пределах первого участка (40 процентов).
- Непредвиденные изменения на первых участках в основном поглощаются на участках 1 и 5, после регулятора 6 лишь 20 процентов колебаний остается в магистральном канале.
- Между регуляторами 2 и 5 колебания передаются без изменений. Поэтому, пункту 5 следует уделить гораздо больше внимания, и его следует очень часто проверять, чтобы контролировать три верхних участка.

КАРТИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ КОЛЕБАНИЯМИ СТОКА

Картирование колебаний стока означает выявление и определение их размеров (таблица 19), как описано ранее:

- происхождение;
- частота и распределение во времени;
- местонахождение;
- признак и амплитуда;
- варианты преодоления.

Таблица 19
Колебания стока - обзор значимых характеристик для эксплуатации и возможных ответных реакций

Тип колебаний стока	Решения (варианты управления колебаниями)
Положительные колебания: Происхождение (приток – отток – внутреннее) Величина (колебание уровня воды – относительное колебание расхода) Частота	Распределение излишков между пользователями особенно актуально там, где система является пропорциональной. Разделение и хранение излишка воды в аккумулирующей емкости.
Негативные колебания: Происхождение (приток – отток – внутреннее) Величина (колебание уровня воды – относительное колебание расхода) Частота	Компенсировать из запаса. Изучение для немедленного исправления. Сократить подачу воды в некоторые водоотводы с последующей компенсацией (менее чувствительные / уязвимые зоны, точки водоподачи с аккумулирующими сооружениями, с альтернативными источниками воды).

Пример из проекта SMIS - Шаг 3. Колебания стока

Основная водоподача

Существует только один источник водоподачи с использованием поверхностного стока – река Коши. Подача воды колеблется от 60 м^3/с в период муссонов до 15-25 м^3/с зимой и весной. Несмотря на это, водоподача является стабильной на еженедельной основе. Изменения в подаче воды порождаются необходимостью во время муссонов перекрывать выше по течению водозабор и промывать песколовку от наносов. Это может занимать два часа в день в периоды высокого содержания наносов в реке. Это приводит к колебаниям стока в основной точке водозабора.

Гидроэлектростанция, расположенная ниже участка с песколовкой, также является потенциальным источником колебаний стока во время сезона минимальных пиков нагрузки, когда основной поступающий сток сокращается в целях повышения уровня воды в отстойнике, а расход вследствие этого уменьшается.

Подача воды в каналы второго порядка

Подача воды в распределительные системы зафиксирована с существенными колебаниями (рисунки 40 и 41). Это может быть следствием низкого контроля над уровнем воды. В течение года регулярно происходили колебания уровня воды до 25 - 30 см. Хотя более низкие, ежедневные колебания могут достигать 9 - 17 см. Эти колебания, связанные с чувствительными водозаборными сооружениями, отводящими воду на ПР2, ПР4, ПР6 и ПР7, являются одной из двух главных причин существенного различия в подаче воды (другой причиной является незаконные прямые вмешательства на водозаборных сооружениях).

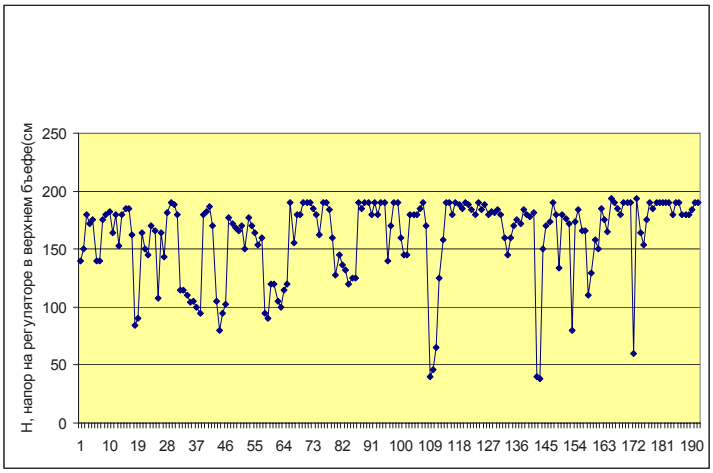


Рис 40. Колебания уровня воды на ПР 4, Джумка Майнор, сезон дождей

Тем не менее, даже с учетом существующих сооружений, контроль над потоком воды можно легко улучшить. Физическое состояние поперечных регуляторов (ПР) хорошее, и каждый канал второго порядка оснащен щелевым водосливом. Все это позволяет обеспечить хороший контроль за подачей воды в каналы второго порядка. Поэтому, данная проблема заключается в организации работы, а не в самой физической инфраструктуре.

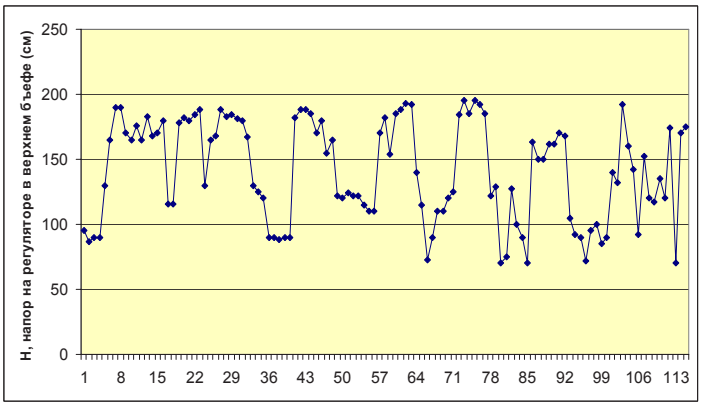


Рис 41. Изменение уровня воды на ПР 4, Джумка Майнор, в зимний период

В таблице 20 показаны ежедневно измеряемые колебания уровня воды (суточная разница после того, как исключается сильное изменение, соответствующее временному нарушению работы или перекрытию канала) для семи (7) из двенадцати (12) регуляторов. Данные значения выражают точность (или допустимое отклонение), с которой осуществляется контроль. Умножение данного значения на чувствительность рядом расположенных водоотводов приводит к оценке контроля за расходом.

Самое сильное колебание в уровне воды, зарегистрированное на ПР4, не объяснено. ПР3 имеет чувствительность выше, чем ПР4, но показывает гораздо меньшее колебание.

Таблица 20.
Зарегистрированная точность контроля по МКЧ и сопутствующие колебания расхода

Поперечный регулятор (ПР)	Суточное среднее колебание уровня воды выше ПР (не включая большие изменения), см	Чувствительность ПР	Чувствительность водоотвода (голова канала второго порядка)	Колебания расхода на входе канала второго порядка, ± от заданного значения, %
ПР 1		2.0	0.60	
ПР 2	12	0.5	2.00	± 24.0
ПР 3	15	3.0	0.8	± 12.0
ПР 4	17	1.0	1.60	± 27.0
ПР 5	9	1.5	1.00	± 9.0
ПР 6	11	0.5	4.30	± 47.0
ПР 7		1.0	3.40	
ПР 8		1.5	0.35	
ПР 9	13	0.5	0.50	± 6.5
ПР 10		0.1	0.7	
ПР 11	11	0.5	1.50	± 16.5
ПР 12		нет данных	нет данных	

Сильное колебание на ПР11, имеющем низкий показатель чувствительности (0.5), является результатом высокого колебания в расходе, достигающего конца этой системы.

Данные о колебании уровня воды не свидетельствуют о какой-либо конкретной тенденции. Это означает, что нет возрастания колебаний вдоль МКЧ (магистрального канала Чатра).

Три из шести оцененных каналов второго порядка имеют колебания расхода более чем 20 процентов, как следствие изменения уровня воды.

Глава 8

Водохозяйственные сети и водоучет

Для того, чтобы с учетом ограничений и возможностей разрабатывать приемлемые, реальные стратегии управления водой и эксплуатации, необходимо в пределах зоны обслуживания должным образом осмысливать ирригационные и дренажные системы. Для достижения этой цели важно картографировать трассы потока (сеть) и определить (насколько это возможно) потоки на основе их распределения во времени, расходов и объемов (водный баланс).

Водоучет, называемый также водным балансом, относится к учету всех притоков и оттоков воды в рассматриваемых пространстве и времени. Он должен учитывать все виды водных ресурсов (поверхностные и подземные потоки, их комплексное использование, аккумулирование и восполнение и т.д.), которые поступают и стекают с определенной территории в определённый период времени. Соответственно, любые оборотные воды в этих территориальных границах не учитываются в водном балансе. В нем следует учитывать аспекты количества, а также качества воды, использование вод более низкого качества и влияние агротехники на водные ресурсы.

Хотя концепция комплексного использования оросительных вод распространена уже несколько десятков лет, только в последнее десятилетие или даже позже, с тем, чтобы улучшить понимание потоков и водных ресурсов, на крупных оросительных системах стали составляться систематические и всесторонние водные балансы.

В этой главе вкратце описывается картирование водохозяйственной сети и затем представляется концепция водоучета и его использования как мощного инструмента принятия решений по эксплуатации и управлению оросительной системой на разных иерархических уровнях. ПЭО включает в себя водный баланс на уровне объекта или массива, составляющийся на основе имеющихся данных и полезный для принятия решений по водосбережению. Помимо водного баланса как элемента ПЭО, MASSCOTE, в качестве элемента повседневного управления, рекомендует проводить водоучёт.

КАРТИРОВАНИЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СЕТЕЙ

Для эффективной эксплуатации каналов и надлежащего управления водой требуется глубокое знание всех существующих и потенциальных источников притоков и оттоков в зоне обслуживания. В MASSCOTE это обеспечивается путем оценки иерархической структуры и основных характеристик ирригационных и дренажных сетей, природных поверхностных водотоков и подземных вод, а также картированием возможностей и ограничений, включая дренажные сооружения и средства оборотного водоснабжения. Таким образом, картирование водохозяйственной сети включает не только оросительный канал и дренажную сеть, но и любые водотоки и/или природные русла и дрены, которые пересекают зону обслуживания и которые взаимодействуют (или могут взаимодействовать в будущем) с ирригационной и дренажной сетью и

аккумулирующими емкостями. Сюда также относятся водосбросы, которые отводят воду в дренажную сеть.

Территориальное размещение ирригационной системы и инфраструктуры в пределах зоны обслуживания обычно хорошо известно. Однако это не так в случае дренажной системы, которая обычно разработана не в полной мере или проектировалась по разным фазам, зачастую без надежных зафиксированных данных о точном расположении и о том, какие ее элементы поддерживаются и работают. Информация о том, где и сколько воды отводится, может помочь менеджерам и лицам, принимающим решения, при оценке возможности повторного использования этой воды.

Также зачастую отсутствует информация относительно схемы расположения и расходов водотоков (в неосвоенной части территории), которые, если позволяет топография, могли бы быть использованы для орошения в системах, недостаточно водообеспеченных, в связи с этим, менеджеры не учитывают воду из этих водотоков в планах вододеления и водораспределения.

Картирование водохозяйственной сети особенно важно для выработки практических стратегий управления водой и эффективного вододеления, в частности в системах с (периодически повторяющимся) дефицитом воды.

ВОДОУЧЕТ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

Водоучет следует рассматривать как основу управления водными ресурсами и эксплуатации водохозяйственной инфраструктуры в том смысле, что он определяет требования (спрос) на водохозяйственные услуги, связанные с поверхностными водами. Посредством территориально разделённого водного баланса можно определить: (i) различные потоки в пределах зоны обслуживания; (ii) требования, которые менеджеры должны обеспечивать; (iii) возможности разделения затрат на эксплуатацию между большим числом пользователей, чем только между фермерами. Он также позволяет оценить эффективность управления водой и выявить экологические проблемы, например, заболачивание.

Составленный должным образом водный баланс может быть использован менеджерами для оценки условий, в которых работает канал.

Комплексный водный баланс играет решающую роль:

- на начальной стадии проекта – для установления водохозяйственных услуг, разработки надлежащих стратегий управления и процедур эксплуатации;
- позже – при оценке стратегий модернизации для достижения усовершенствованных функциональных характеристик системы.

Тремя важными характерными деталями водного баланса являются:

- Оконтуривание физических границ: верхний, нижний и горизонтальный пределы границ. На рис.42 приведены компоненты водного баланса для территориальных границ.
- Временной интервал: год, сезон, месяц, две недели или декада.
- Центр внимания: объем и качество воды.

В объемах воды должны учитываться все притоки и оттоки, плюс изменения во внутреннем аккумулировании воды. Для качества воды процесс более сложный и зависит в значительной мере от биохимических и физических свойств рассматриваемого параметра во времени. В процессе круговорота воды химические соединения абсорбируются, разрушаются, трансформируются, теряются через реакцию с воздухом и т.д. Поэтому закон сохранения массы применяется к воде, но его не всегда легко применять к составляющим химических соединений

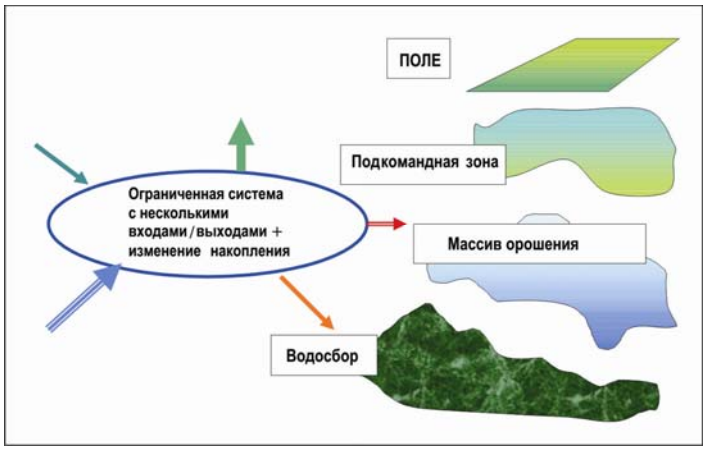


Рис. 42 Подход к системе водоучета и физический масштаб, на котором можно применять водоучет

В зависимости от назначения, водоучет можно проводить на сезонной или годовой основе на уровне всей системы или субэлементов управления для поддержки принятия решений по управлению.

ОКОНТУРИВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ПРЕДЕЛАХ ЗОНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ

Существует множество критериев, учитываемых при определении физических границ баланса воды для целей ирригации. Водный баланс может составляться для поля, хозяйства, субэлемента управления, всей зоны обслуживания и речного бассейна. Какой бы ни была единица оценки, необходимо определить верхние, нижние и горизонтальные границы пространства. В таблице 21 приводится пример определения территориальных границ водного баланса. Она показывает, что использование подземных вод или высокий уровень залегания этих вод может оказывать значительное влияние на нижние пределы водного баланса.

Таблица 21 Территориальные границы различных зон

Территория	Верхняя граница	Нижняя граница	Горизонтальная граница
Хозяйство	Растительный покров сельхозкультур	Нижняя граница корневой зоны	Поля хозяйства
Система транспортировки воды	Поверхность воды	Дно канала	Все водозаборы, сбросы и точки отвода воды
Водохозяйственный район без откачки подземных вод	Растительный покров сельхозкультур	Нижняя граница корневой зоны	Район
Водохозяйственный район с откачкой подземных вод	Растительный покров сельхозкультур	Нижняя граница водоносного пласта	Район
Водохозяйственный район без откачки подземных вод, но с высоким уровнем залегания грунтовых вод	Растительный покров сельхозкультур	Нижняя граница водоносного пласта, которая связана с высоким уровнем залегания грунтовых вод	Район

Территориальные границы водного баланса, которые должны помочь в принятии решений по управлению и эксплуатации системы, будут включать:

- валовую площадь обслуживания проекта: часто используется в качестве первого приближения для изучения общего водного баланса;
- иерархия каналов: магистральный, второго, третьего и четвертого порядков;
- организационное управление: федерация АВП, АВП, организации фермеров.

Перечисленные критерии могут быть включены в определение водного баланса. Однако одним из наиболее важных аспектов является его практичность. Объекты водного баланса должны базироваться на реальных границах, для которых потоки могут либо измеряться, либо оцениваться с удовлетворительной точностью. В идеале водный баланс составляется для всей ирригационной зоны обслуживания и каждого субэлемента управления, чтобы менеджеры и операторы могли принимать решения в пределах своих собственных подразделений, а также на уровне всего проекта/системы. Однако, независимо от того, какой объект выбирается для анализа, должны быть четко установлены и понятны его границы.

Установка территориальных, а также временных границ для водного баланса очень важна. Неправильное определение этих границ зачастую является главной причиной ошибок при расчете водного баланса.

УСТАНОВКА ВРЕМЕННЫХ ГРАНИЦ

Временные границы играют решающую роль при расчете водного баланса. В зависимости от целей, для которых составляется водный баланс, временные пределы могут устанавливаться в виде нескольких лет, одного года, шести месяцев, сезона орошения, месяца или двух недель. Например, не рекомендуется делать долгосрочные рекомендации только на основе водного баланса одного года, поскольку такие данные зачастую не являются показателями обычных условий. Значения большинства элементов водного баланса, таких как осадки, распределение поверхностных вод и эвапотранспирация, изменяются из года в год. Поэтому для целей долгосрочных рекомендаций необходимо рассматривать средние величины за 4-5 лет из водных балансов, выполненных на годовой основе.

Для целей оценки стратегий модернизации рекомендуется интервал времени год, шесть месяцев или один сезон орошения. Месячные или двухнедельные водные балансы требуются, когда задача заключается в использовании величин для решений оперативного управления. Однако зачастую сложно оценить изменения в эксплуатационном запасе подземных вод за более малый период, чем один год. Тем не менее, для менеджеров и операторов ирригационной системы необходимо вести учет, откуда вода приходит и куда она уходит в пределах единицы управления, чтобы можно было принимать эффективные решения по сбережению, размещению и распределению воды.

СОСТАВЛЯЮЩИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА

Вне зависимости от рассматриваемой территориальной единицы, необходимо оценивать ряд базовых параметров потока (рис.43):

- заборы воды на орошение;
- поверхностный сток внутрь и из территориальных границ;
- эвапотранспирация (ET) с полей и других объектов, таких как каналы, дрены и прочие неорошаемые площади;
- осадки в пределах территориальных границ;

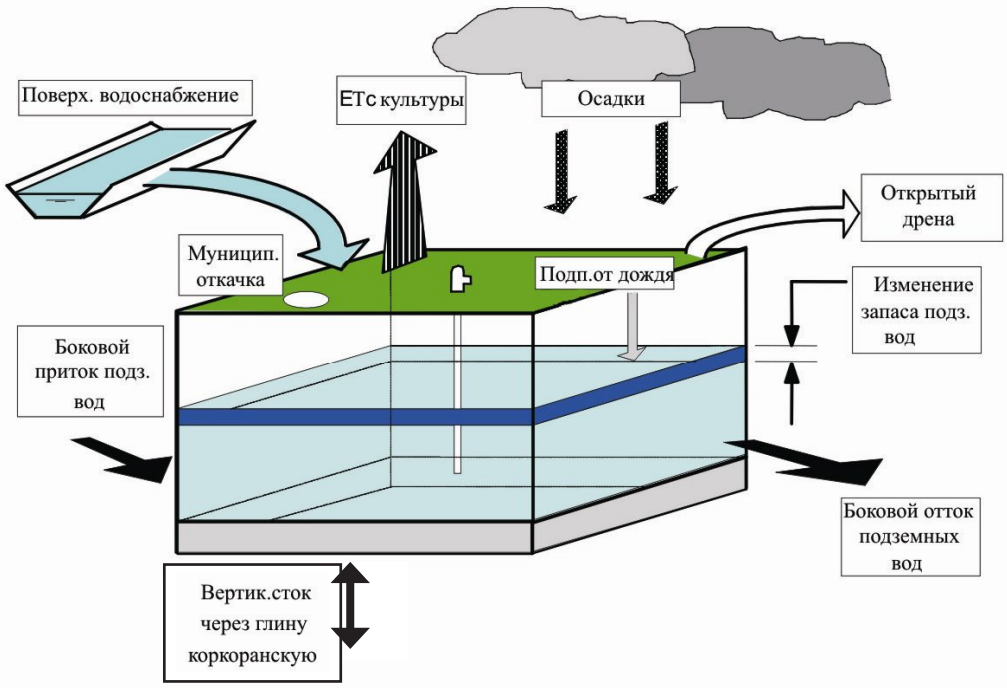
- открытый дренаж, боковые потоки подземных вод и вертикальный дренаж в пределах нижней границы.

Водозабор на орошение

Заборы воды на орошение измеряются с помощью измерительных средств в местах разветвления. Для водного баланса должен быть известен забор оросительной воды, поступающей внутрь территориальных границ.

Осадки

Осадки должны замеряться при достаточной плотности точек, чтобы учитывать территориальное распределение количества осадков, особенно если временной интервал событий короткий. Зачастую можно видеть крупные ирригационные проекты, охватывающие десятки квадратных километров, но при этом имеющие только один осадкомер, не смотря на высокую изменчивость осадков во время гроз. На практике число осадкомеров должно подгоняться под локальное территориальное распределение количества выпадающих осадков. Надежным вариантом будет один осадкомер на 5 км в системе среднего размера и один на 10 км в крупной системе.



Источник: Style and Burt, 1999.

Рис. 43 Водные потоки, которые необходимо учитывать в сельском хозяйстве

Эвапотранспирация

Эвапотранспирация или использование воды культурой обычно представляет самый большой и наиболее важный элемент водного баланса. Она получается как произведение площади под культурой и оценки эвапотранспирации культуры (ET_c). Однако, когда значительную часть ПЗ составляет растительность другого рода (деревья, кустарники и т.д.), ее эвапотранспирация также образует существенную часть водного баланса.

Эвапотранспирация культуры или требования культуры на воду могут быть оценены путем умножения эталонной эвапотранспирации на коэффициент культуры: $ET_c = K_c \times ET_o$, где ET_c – эвапотранспирация культуры, ET_o - эталонная эвапотранспирация, K_c – коэффициент культуры.

Эталонная эвапотранспирация отображает суммарное испарение со стандартной покрытой растительностью поверхности. Единственными факторами, влияющими на ET_o, являются климатические параметры. Таким образом, ET_o можно вычислить из метеорологических данных. Существует множество методов расчета ET_o, но ФАО рекомендует использовать метод Пенмана-Монтейта (ФАО, 1998). Альтернативно, можно использовать программу ФАО CROPWAT для оценки ET_o и ET_c.

Некоторые метеоданные (температура, солнечная радиация, относительная влажность, скорость ветра) требуются для расчета ET_o, независимо от используемого метода. Однако, не всегда легко получить эти данные с ближайшей метеостанции. Если данные не могут быть получены, необходимые для расчетов ET_o значения метеопараметров могут дать базы климатических данных, такие как CLIMWAT (ФАО) или Климатический атлас Международного института управления водными ресурсами (IWMI). Эти источники также дают хорошие оценки ET_o.

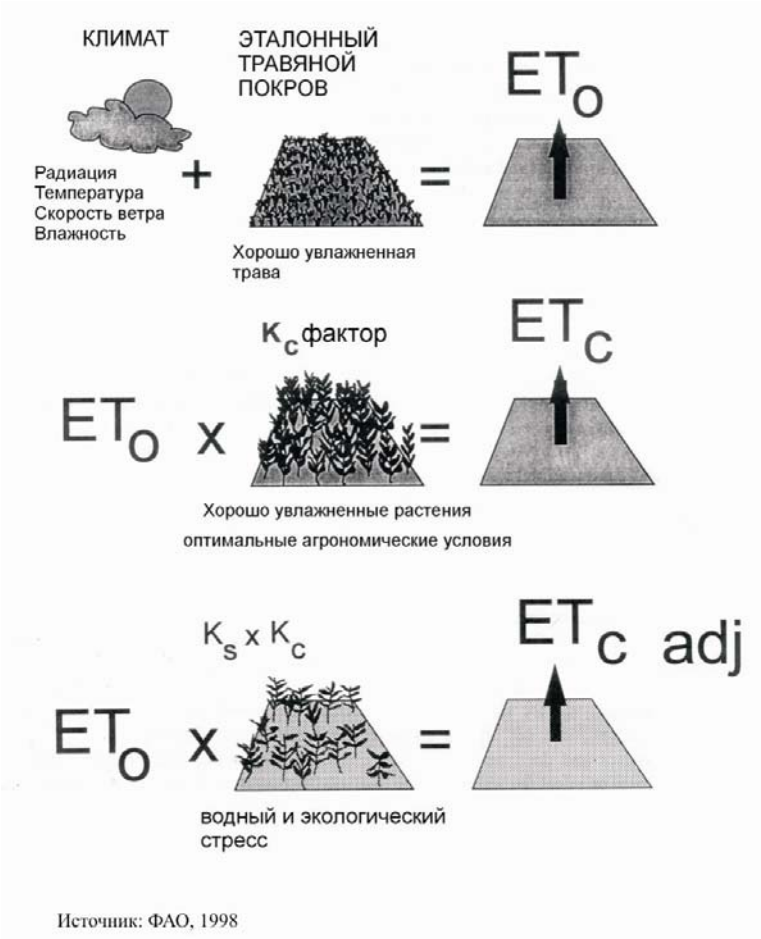


Рис.44 Эталонная ET, эвапотранспирация культуры при стандартных (ET_c) и нестандартных ($ET_{c\,adj}$) условиях (см. публикацию фао 56 – рисунок на русском)

Коэффициент культуры, K_c, по существу представляет отношение ET_c к ET_o и зависит, главным образом, от сорта культуры и стадий роста культуры. ФАО (1998) дает значения K_c для разных культур и стадий их роста, которые повсеместно используются для оценки ET_c.

ET_c, вычисляемая с помощью приведенного выше выражения, представляет собой эвапотранспирацию культур, растущих в условиях оптимального управления и окружающей среды с хорошей водообеспеченностью и в отсутствии ограничений на любые другие ресурсы. В большинстве случаев фактическое использование воды культурой отличается от этой потенциальной ET_c из-за неоптимальных условий, таких как засоление почвы, дефицит воды, заболачивание, сельхозвредители и т.д. Эти условия могут снизить величину эвапотранспирации ниже ET_c. Для решения этой проблемы в уравнение вводится коэффициент водного стресса K_s (рис.44): $ET_{c\,adj} = K_s \times K_c \times ET_o$.

K_s зависит от доступной почвенной влажности и изменяется от 0 до 1. Когда истощение почвенной влаги в корнеобитаемой зоне ниже, чем количество воды, которое легко доступно для культуры, K_s = 1, т.е. когда почва увлажнена, потребление воды растениями равно ET_c.

В публикации ФАО (1998) и Приложении 3 приводится более подробная информация о расчетах эвапотранспирации.

Дренаж

Дренажный сток следует измерять в ключевых точках, особенно там, где этот сток покидает территориальные границы, установленные для водного баланса, и возможно при необходимости проводить мониторинг качества воды. Мониторинг кАчества дренажной воды, стекающей с орошаемых площадей, с тем, чтобы поддерживать безопасный уровень агрохимической нагрузки, особенно важен, если эта вода будет использоваться для полива ниже по течению.

Подземные воды

Подземные потоки, т.е. боковые потоки и вертикальный дренаж, часто являются самыми сложными элементами в водном балансе. Тогда как непосредственные измерения подземного стока невозможны, можно измерять уровни подземных вод, а моделирование подземных вод или гидрологическое моделирование (рис.45) может использоваться для воссоздания стока методом проб и ошибок и с помощью сравнения с данными полевых наблюдений. Однако, не всегда просто сделать калибровку этих моделей из-за отсутствия эмпирических данных. Более простым способом мониторинга изменений в подземных водах будет установка наблюдательных скважин, что можно сделать на локальном уровне.

Подземные воды являются важным компонентом учета воды. Установка нижней территориальной границы обычно определяет, рассматривается ли использование грунтовых и/или подземных вод как источник питания или просто как повторное использование поверхностных вод и осадков. Однако, в процедурах водоучета следует различать грунтовые и подземные воды, если они будут проводиться для поддержки решений по управлению водой, особенно в полуаридных и аридных регионах.

В случае, если грунтовые воды (менее 20 м) соединены с нижней территориальной границей системы водоучета, нет необходимости учитывать дополнительную водоподачу из трубчатых колодцев, питаемых грунтовыми водами. Следует учитывать только боковой подземный сток, поступающий внутрь и покидающий пределы системы.

Как правило, вода, откачиваемая из подземных источников (более 20 м), рассматривается за пределами границ системы. Поэтому определенное питание из подземных вод обычно добавляется к притоку.

Чтобы избежать двойного учета воды, поступающей внутрь территориальных границ зоны водного баланса, необходимо точно определить подземные воды, которые откачиваются в пределах территориальных границ и которые могут рассматриваться как повторное использование поверхностных вод и осадков, поступающих внутрь этих границ. Эти подземные воды не должны учитываться, в то время как подземные воды, которые откачиваются за пределами территориальных границ, но используемые для орошения в пределах границ водного баланса, должны учитываться как приток/питание.

Рис.45. Пример использования гидромоделирования для имитации подземных потоков (справа) после калибровки по уровням подземных вод (слева), Тараскон, Франция

ДОВЕРИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРВАЛ

Определенная величина ошибки или погрешности присуща всем процессам измерения или оценки. Поэтому истинные или правильные значения объемов воды, необходимые для расчета таких величин как «КПД орошения», неизвестны. Необходимо делать оценки объемов составных частей, исходя из замеров или расчетов.

Один из методов выражения погрешности (Приложение 3) заключается в определении доверительного интервала (CI), который ассоциируется с оценкой значений одной величины. Если считать, что корректная оценка данных означает, что истинное значение лежит в пределах 5 единиц от 70, то следует указать, что значение физической величины равно 70±5. Более конкретно, при обсуждении оцениваемого значения CI должно иллюстрироваться, например, следующим образом: «Исследователи на 95% уверены, что их оценка орошаемой площади проекта лежит в пределах ±7% от 500000 га (между 465000 и 535000 га)».

Статистически CI связан с коэффициентом вариации (CV), где CV= (среднее) / (стандартное отклонение); CV - это безразмерная величина. Кроме того, CI = ±2 × CV, где CI выражается как доля (%/100) оцениваемой величины. Иначе говоря, если CI установлено равным 0.10, это означает, что ±2 стандартного отклонения охватывают ±10% ряда значений указанной величины.

Если допустить нормальное распределение данных, то примерно в 68% случаев истинное значение величины будет находиться в пределах плюс или минус одного стандартного отклонения от оцениваемого значения физической величины. Аналогично,

примерно в 95% случаев (из которых выводится «95% доверительное» утверждение), истинное значение величины будет находиться в пределах плюс или минус двух стандартных отклонений от оцениваемой величины.

Комбинация независимых параметров

Многие члены водного баланса являются результатом суммирования или умножения отдельных членов и параметров. Существуют методы расчета CI подобных агрегированных параметров, такие как $m = m_1 + m_2$ или $m = m_1 \times m_2$, где эти параметры и члены являются независимыми.

Более подробную информацию по CI дают Clemmens и Burt (1997).

ВЫСОКАЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ НЕВЯЗКИ БАЛАНСА

Невязка водного баланса - это член или множество членов баланса, которые не могут быть измерены, но должны быть определены из оценки других членов. Невязка водного баланса всегда вычисляется с высокой неопределенностью, поскольку она накапливает в себе все неопределенности других членов. Этот аспект можно проиллюстрировать тремя случаями: многолетняя растительность, подземные воды и инфильтрация.

Растительность, не относящаяся к сельхозкультурам, на валовой площади подкомандной зоны

Растительность, не относящаяся к сельхозкультурам, в ПЗ может представлять важный элемент водного баланса, так как за счет воды, поступающей с поверхностным орошением разрастается множество деревьев. Это явление можно оценивать визуально внутри и за пределами ПЗ. В засушливых зонах тропиков часто имеет место четкое разграничение между типом растительности и развитием лиственных пород и, как следствие, между водопотреблением. Однако непросто оценить площади, покрытые растительностью, и удельным водопотреблением.

Значение величины водопотребления многолетней растительностью после оценки всех прочих элементов баланса можно принять как невязку баланса.

Боковой приток подземных вод нетто

Боковой приток из подземных вод нетто (не включающий подпитку из каналов и поверхностный сток ПЗ) можно определить как невязку прочих членов баланса, и, по существу, он будет иметь высокую степень неопределенности.

В случае ЛГК (рис.46) с высокой степенью неточности прочих членов баланса, начальная оценка состоит в том, что невязка баланса вероятно составляет ±55%. Таким образом, боковые притоки подземных вод могут составлять от 238 до 732 млн.м^3 в год. Необходимо провести дальнейшие исследования, чтобы сократить эту неточность за счет улучшения оценки прочих членов.

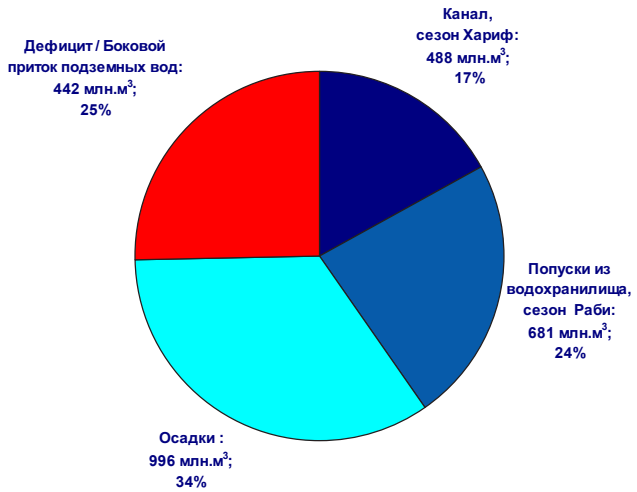


Рис. 46 Невязка баланса для бокового притока подземных вод н а общую подкомандную площадь ЛГК

Измерение инфильтрации

Измерение инфильтрации также является хорошим примером невязки водного баланса. Большинство экспертов рекомендует измерять инфильтрацию с помощью метода запруживания, фиксируя падения уровня воды на изолированном участке (нет притока и оттока), с учетом испарения.

Другой метод - метод притока-оттока - является менее точным. Он заключается в измерении потока в канале в двух точках и вычитании всех притоков и оттоков, возникающих между этими двумя рассматриваемыми секциями: Инфильтрация = Приток - Отток.

Чтобы обеспечить точную оценку инфильтрации, потери воды должны быть намного больше погрешности измерения потоков.

Проблему точности можно проиллюстрировать на примере магистрального канала в проекте ЛГК. Для оценки инфильтрации была проведена серия замеров. С тем, чтобы оценить потери на инфильтрацию, расход измерялся в двух точках: 0 км и 50 км. Приток составлял 78.90 м^3/с, общий отток – 73.36 м^3/с, в итоге инфильтрационные потери на пятидесятикилометровом участке были оценены в 5.6 м^3/с, т.е. 0.11 л/с/м. Проблема состоит в том, что неточность измерения притоков и оттоков такова, что полученный результат, вероятно, известен с точностью плюс или минус 200%.

Даже в идеале, когда притоки и оттоки известны с точностью 2.5%, приток в этом случае будет различаться на $\pm$1.97 м^3/с, а отток – на $\pm$1.83 м^3/с. В этих условиях оценка инфильтрации будет различаться на $\pm$3.8 м^3/с и, таким образом, будет находиться между 1.8 м^3/с и 9.4 м^3/с. Такое различие в численных значения потерь на инфильтрацию не могут быть убедительными определяющей в отношении и соответствующего сбережения воды благодаря облицовки канала.

РИСК ДВОЙНОГО УЧЕТА

Риск двойного учета в водном балансе реален, и всегда необходимо гарантировать, что учитываются только потоки через границу системы.

Типичным примером этого является откачка подземных вод или повторное использование дренажных вод. Хотя и важно знать их объем, они не должны учитываться в водном балансе, если эта вода уже была учтена как приход либо со стороны атмосферных осадков, либо через подачу оросительной воды. Следует учитывать только внешние притоки, поступившие в систему, это могут быть подземные воды и боковой приток из водоносного слоя. То же относится к средствам повторного водоснабжения.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА НА УРОВНЕ УПРАВЛЕНИЯ

Логика разработки водных балансов зависит от цели: использование общего водного баланса в пределах валовой площади зоны обслуживания или оценка управления и режимов работы при возможных стратегиях модернизации. Водные балансы могут быть полезны для управления ирригационной системой в смысле:

- определения эффективной, ориентированной на потребителя, стратегии управления водой;
- оперативного управления водой в течение сезона и, соответственно, эксплуатации системы;
- оценки режимов управления водой, а также обеспечения услуг через оценку внешних показателей.

Водные балансы для оценки стратегий управления водой

Водные балансы играют важную роль в понимании таких вопросов, как потенциал для возможных усовершенствований (например, водосбережение), разные виды использования воды в зоне обслуживания и, в особенности, для несельскохозяйственного использования.

В начале 80-х в Кабаннах (Франция), проект модернизации был разработан исключительно на основе водного баланса. Массив был разделен на две части:

- Верхняя часть, где главным образом выращивались зерновые и полевые культуры, была модернизирована с помощью современных технологий поверхностного орошения (в основном, орошение по бороздам) для поддержания высокой подпитки подземных вод в нижней части системы, а также для бытового водоснабжения.
- Нижняя часть, где в основном были фруктовые сады, была модернизирована применением капельного орошения с использованием машинной откачки грунтовых вод.

Водный баланс всей системы тщательно выверялся с тем, чтобы обеспечить устойчивое водообеспечение обеих частей и с учетом того, что на модернизированной нижней части, благодаря применяемой технике локального орошения, потребуется намного меньше воды в сравнении с прежней техникой поверхностного орошения.

Водоучет для проведения организационных мероприятий среди пользователей

Во многих случаях ирригационные системы предоставляют услуги для разных видов водопользования, независимо от того факта, что основной целью подачи воды является орошение сельхозкультур. Разнообразное использование воды это не исключение, а общая норма.

Вода для потребления культурами и для других видов водопользования

Хотя большинство ирригационных систем строилось исключительно для подачи воды культурам в засушливые периоды, на практике некоторые из них за счет организационных потерь или естественной инфильтрации воды питают также других водопользователей. Часто это имеет место в случае рисовых систем, где обводнение чеков создает повышение уровня грунтовых вод, которые могут быть использованы другими пользователями.

В старых системах самотечного орошения на юго-востоке Франции менее 25% от ежегодной водоподачи идет на орошение культур, а остаток идет на подпитку грунтовых вод и подпитку поверхностных водотоков. Это явление не фиксируется в ирригационных системах развивающихся стран. Однако, одним из подобных примеров может служить ирригационная система Киринди Ойя в Шри-Ланке, где во влажных тропиках вода для естественной растительности и приусадебных участков составляет большую долю подачи оросительной воды (рис.47).

В этих типах систем водоучет может иметь сильное влияние на выявление различных видов водопользования и, в меньшей степени, на оценку пользователей или бенефициариев, которые получают выгоду от управления водой. Он составляет основу обсуждения стратегий управления между менеджерами, пользователями или получателями выгод. Это может помочь в инициировании обсуждений о разделении затрат на эксплуатацию системы не только использующими воду на орошение, но и между всеми заинтересованными в использовании воды сторонами.

Водоучет для оценки работы

Водоучет также полезен для оценки работы канала в течение некоторого периода времени (декада, месяц, сезон и год). В частности, он полезен при сопоставлении водоподачи с водопользованием. На рис.47 показан водный баланс системы Киринди Ойя (за полный год (1998), где рассматриваются два сезона вегетации, а также период, когда земля остаётся под паром. Водный баланс был выполнен в связи с предположением низкого уровня управления ирригационной системой. Тот факт, что оросительные нормы (вода, подаваемая на орошение из основных водоемов, поделенная между ПЗ) были чрезвычайно высокими, где значения 3000-4000 мм/сезон нередки, явился изначальной мотивировкой изучения этого случая.

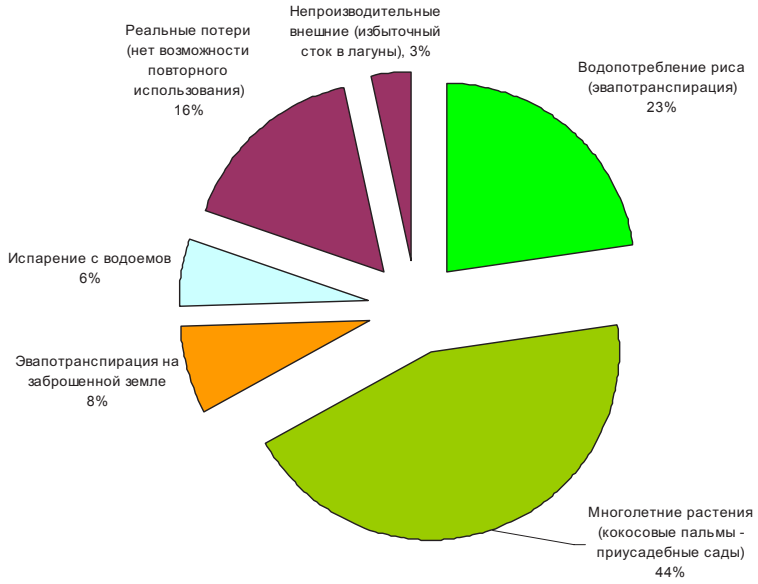


Рис.47 Водный баланс проекта Киринди Ойя в Шри-Ланке

Водный баланс полностью изменил взгляд на работу системы в этом проекте. В 1998 году были обнаружены поразительные факты:

- Эвапотранспирация культуры составляет только 23% от общей водоподачи (орошение плюс дождь).
- Основная масса потребления относится к приусадебным участкам и кокосовым пальмам, которые получают воду в основном за счет бокового притока с орошаемых площадей, что очень выгодно для населения.
- Другими пользователями являются рыбаки, которые ловят рыбу в искусственных прудах, и скотоводы, использующие рисовые поля в период, когда земля этих полей находится под паром.
- Выигрышная ситуация была выявлена для лагуны, где избыток пресной воды с орошаемых площадей образовал непроизводительное влияние, оцененное в целом в 3% от общего объема воды.
- Реальные потери воды (в устье) составляют 16%.
- Потенциал водосбережения (16%+3%) существенен по сравнению с водопотреблением культур (23%), хотя необходимо учесть, что часть этих потерь имеет место во время паводков и ее будет сложно оценить.

Водный баланс может также дать оценки внешних показателей, таких как КПД орошения, соотношение относительной водоподачи (требования на воду против общей водообеспеченности) и урожайность культур на единицу поданной воды (глава 4 и приложение 3).

Водоучет при эксплуатации канала

Водоучет может быть также важен для принятия оперативных решений по корректировке эксплуатационных мероприятий и подачи воды в верхнем течении. На этом коротком промежутке времени это больше представляет из себя комбинацию оценки показателей и водоучета.

Например, наличие избыточного дренажного стока ниже какой-либо подзоны может указывать на то, что слишком много воды поступает в ПЗ по сравнению с текущим потреблением. Фиксирование этого может явиться сигналом для действий. Менеджерам необходимо знать: i) насколько сократить приток в ПЗ, чтобы существенно снизить дренажный сток без создания дефицита воды в нижней части ПЗ; ii) сколько времени уйдет на то, чтобы изменения в притоке отразились на дренажном стоке. Эти параметры реакции на наличие дренажного стока могут быть откорректированы методом проб и ошибок и путем простого водоучета.

УЛУЧШЕНИЕ ПРОЦЕССА ВОДОУЧЕТА

Неточность, связанную с водоучетом в пределах всей подкомандной зоны, можно с течением времени постепенно уменьшить. Объединение данных за длительные периоды времени позволяет повысить точность некоторых параметров, выявить и исправить некоторые противоречия. Это улучшает данные водного баланса и помогает сократить разрыв между оценками и фактическими величинами.

Для улучшения данных водного баланса требуются хорошие средства измерения и эффективные информационные управляющие системы, которые требуют ресурсов в смысле времени и денег.

Разумное использование накопленной информации по водоучету позволяет принимать рациональные решения в последующие сезоны и годы.

КАЧЕСТВО ВОДЫ

Качество воды при орошении также является важным вопросом для окружающей среды, управления ресурсами и здоровья местного населения. Отдельный учет качества воды, поступающей внутрь физических границ системы и покидающей ее, помогает выявить экологические риски, связанные с водой. В последующем эта информация может быть полезна в разработке соответствующих стратегий по уменьшению негативного воздействия. Основные проблемы качества воды в ирригационных системах связаны с:

- минерализацией - снижение урожайности культур, ухудшение качества почв;
- загрязнением окружающей среды - отведение промышленных и муниципальных сточных вод в каналы;
- дренажными водами с орошаемых площадей с агрохимической нагрузкой;
- здоровьем - болезни, передаваемые с водой, заражение мышьяком и другими тяжелыми металлами.

Использование воды низкого качества для поливов

Следует рассмотреть различные воздействия в связи с использованием оросительной воды низкого качества.

- Загрязнение/заражение почв: оросительная вода низкого качества может серьезно повлиять на урожайность культур и нанести ущерб почвам. В частности, в полуаридных и аридных странах (например, в Египте и Пакистане), засоленность и осолонцевание почв являются главными проблемами, которые были усугублены орошением минерализованными грунтовыми водами из-за

нестабильной подачи поверхностных вод. Высокий уровень содержания тяжелых металлов в воде, вероятно, будет способствовать накоплению их в верхнем слое почвы и затем поступлению в пищевые продукты.

- Конфликт с другими видами водопользования: сточные воды с мелких отраслей промышленности, а также муниципальные сточные воды зачастую сбрасываются в каналы и поверхностные водотоки. Это порождает загрязнение и риски для здоровья, так как эти каналы также часто обеспечивают воду для питьевых и бытовых целей. Кроме того, использование неочищенных сточных вод на орошение в сельскохозяйственном производстве в городских и пригородных зонах является главным источником беспокойства за здоровье людей.

Городские зоны

Каналы, проходящие через населенные пункты, деревни и городские зоны, часто также используются как свалки для мусора. Это порождает загрязнение и риск для здоровья для близлежащих поселений. Это также вызывает проблемы с транспортировкой воды из-за засорения каналов и, в конечном счете, нарушает распределение воды в нижние части канала.

Вопросы здравоохранения

В то время как заболевания, передаваемые с водой, вызваны употреблением загрязненной воды, стоячая вода в водоемах, каналах и на полях является главным источником инфекционных заболеваний, так как она становится местом размножения насекомых-переносчиков болезней, особенно комаров.

Потребление растениями тяжелых металлов и мышьяка через прямой контакт с оросительной водой или через накопление в почве также представляет угрозу для здоровья человека, так как эти элементы попадают в пищевые продукты.

Мониторинг и оценка качества воды

Для качества воды требуется своя собственная оценка M&O, которую не всегда, из-за отсутствия технических и финансовых средств, могут организовать и провести менеджеры оросительных систем. Однако необходимо создать и контролировать минимальный набор данных по показателям качества воды в системах каналов, особенно для тех, которые обеспечивают воду для многоцелевого использования и где качество воды является основной проблемой, например, где вода минерализована/осолонцована или загрязнена с высоким содержанием мышьяка и/или тяжелых металлов.

Глава 9

Картирование эксплуатационных расходов в зависимости от предлагаемых услуг

Для того чтобы предоставить услуги, которые были определены/согласованы с потребителями, менеджеры должны мобилизовать ряд различных средств или производственных ресурсов (воду, персонал, электроэнергию, помещение, связь и транспорт). Все эти средства/производственные ресурсы имеют стоимость. В данной главе разъясняется вопрос о вкладываемых ресурсах/расходах на эксплуатацию по отношению к выходным результатам/услугам в рамках общей деятельности по управлению и как один из основных элементов разработки процесса модернизации.

С одной стороны, анализ текущих затрат на эксплуатацию дает четкое представление о рентабельности текущей деятельности, и, таким образом, помогает в определении изменений во вкладываемых ресурсах (увеличение или уменьшение) для повышения экономической эффективности работы. С другой стороны, это служит хорошей основой для стоимостного анализа любых усовершенствований. Таким образом, изучение затрат и стоимости имеет важное значение для:

- установления уровней обслуживания, в особенности, при изучении вариантов предоставления различного вида услуг и связанных с этим расходов;
- установления цены на воду для пользователей, с тем, чтобы предложить комплекс процедур по взиманию платы за воду, которые учитывают реальную стоимость предоставления услуг,
- повышения производительности и экономической эффективности путем изучения технических вариантов для максимального увеличения эффективности эксплуатации (более рациональное распределение имеющихся ресурсов, автоматизация и т.д.).

КАРТИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАТРАТ И РЕЗУЛЬТАТОВ

Цель этого шага MASSCOTE (т.е. картирование стоимости эксплуатации/оказания услуг) заключается в том, чтобы дать достоверную информацию о зависимости между затратами и результатами, даже в приблизительном формате. На рисунке 48 представлена номинальная кривая стоимости предоставления услуг. Предполагается, что данная теоретическая кривая, увязывающая услуги (результаты) и стоимость (затраты), имеет общий вид, с первоначальными постоянными затратами при нулевом обслуживании (точка О), и постепенным увеличением стоимости (затрат) в зависимости от качества услуг, оказываемых пользователям.

На рисунке 48:

- Точка О соответствует отсутствию обслуживания вообще по какой-либо причине, например, из-за отсутствия воды в водохранилище. Тем не менее, всегда существуют текущие расходы, так как техническое обслуживание, охрана, а также расходы по финансовым операциям остаются неизменными. Таким образом, даже если пользователям не требуется обслуживание, или они обращаются за ним, но не получают его, расходы все равно производятся.
- Точка А относится к ситуации, когда качество предоставления услуг пользователям находится на низком уровне, например, несоответствующая требованиям, ненадежная или негибкая водоподача. Например, в точке А услуга может быть оказана на основе фиксированной очередности полива и пропорциональной водоподачи.
- Точка В указывает на то, что ограниченное увеличение затрат значительно улучшает обслуживание. Это может быть типичной ситуацией во многих крупномасштабных оросительных системах в мире. Когда затраты низкие, теоретически можно ожидать средний уровень обслуживания.
- Точка С может соответствовать очень надежным и гибким услугам по водоподаче в системе, регулируемой затворами. Переход к более качественному обслуживанию (С) становится все более дорогостоящим с такой системой, и можно дойти до стадии (D), когда обслуживание уже не может быть улучшено при такой физической системе. Любое дальнейшее улучшение должно достигаться за счет радикального изменения типа системы, например, переход на управление по нижнему бьефу или к напорной системе, либо использование другого источника воды (из грунтовых вод) из неглубоких скважин (высоконадежное, гибкое, соответствующее требованиям, своевременное и т.д.).
- Точка Е соответствует эффективности управления ниже номинальной; фактическая эффективность работы ниже той, которая может быть достигнута с тем же уровнем затрат (ресурсов), когда управление ресурсами имеет более целенаправленный характер. Многие крупные оросительные системы в мире относятся к типу “точки Е”.

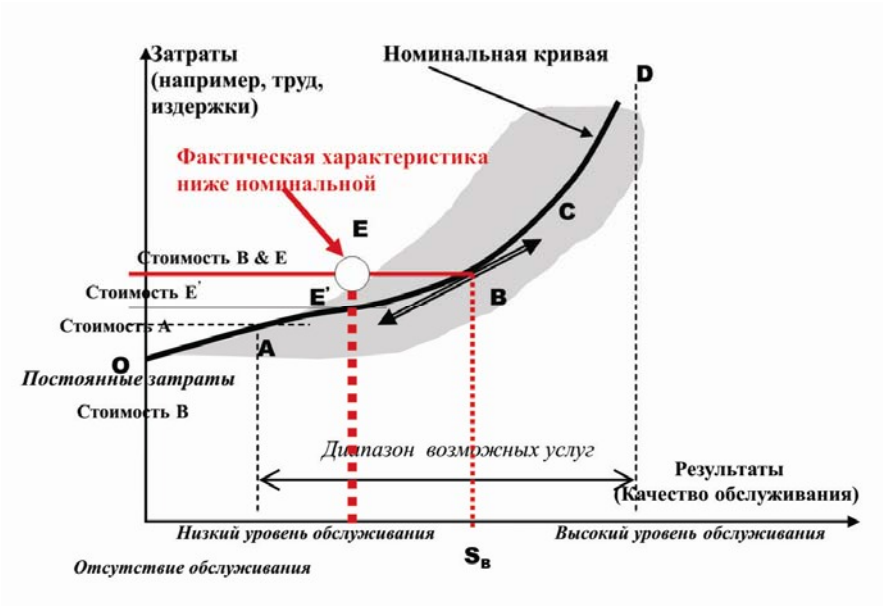


Рис 48 Номинальная кривая стоимости услуг (затраты-результаты)

Данная кривая имеет важное значение в УОО (управлении, ориентированном на обслуживание), когда с пользователями обсуждаются решения по ирригационным услугам, которые управляющие планируют, и за что пользователи готовы платить. Пользователи должны хорошо знать, какова должна быть стоимость услуг, которые они хотят получить. Им необходимо знать:

- какова стоимость услуг низкого уровня (точка А на кривой), какова стоимость услуг высокого уровня (точка С), или существует ли какой-либо промежуточный вид услуг (В);
- какова предполагаемая потенциальная выгода в качестве обслуживания при перераспределении средств (от Е к В);
- насколько может сократиться стоимость услуг при сокращении вкладываемых средств при том же уровне обслуживания S_E (от Е к Е').

ПРОБЛЕМЫ ПРИ КАРТИРОВАНИИ эксплуатационныХ расходОВ

Средства и затраты по системе каналов редко понятны для пользователей. Более того, они иногда не ясны даже для управления. По многим причинам существует большая нехватка литературы о реальной стоимости услуг по подаче оросительной воды, хотя концепция платы за воду подробно обсуждается в водном секторе в последние годы.

Информация и знание о расходах на управление и Э&ТО, как правило, носят обрывочный характер и часто не достаточны для оценки эксплуатационных затрат. В основном, требуется дальнейший анализ для получения достоверных данных о том, что следует считать разумной ценой за данную услугу, а также, что будет включать в себя техническое обслуживание.

Проблемы являются достаточно многосторонними:

- отсутствие базовой информации;
- трудности в интерпретации информации там, где она имеется в наличии;
- трудности в выделении эксплуатации из других видов деятельности;
- установление пропорциональности между услугами и затратами.

Важнейшие вопросы

Важнейший вопрос здесь касается соразмерности управления, эксплуатации и технического обслуживания (УЭТО) производимым услугам. Эти данные можно получить, задав ряд вопросов и, в результате, необходимо будет зафиксировать эту соразмерность, как это показано в таблице 22. Некоторые специфические вопросы заключаются в следующем:

- Каковы постоянные затраты УЭТО?
- Какая часть технического обслуживания пропорциональна услугам? Какая часть является постоянной?
- Какая часть управления пропорциональна услугам?
- Что необходимо преобразовать в затрачиваемых средствах, чтобы модифицировать предоставляемые пользователям услуги?
- Каковы будут затраты (прибыль или дополнительные вложения), связанные с этими изменениями?
- Какие еще существуют варианты сокращения издержек при том же уровне услуг?

В этой главе не ставится целью дать справочную информацию, а привести только некоторые направления, которые должны быть изучены менеджерами, а также местными и национальными заинтересованными сторонами, чтобы определить более достоверную, конкретную информацию на местах о стоимости эксплуатации как функции обслуживания.

Таблица 22
Соразмерность УЭТО предоставляемым услугам, предварительная оценка

Вид деятельности	Доля деятельности, которая является:	
	фиксированной или независящей от услуг	пропорциональной услугам
	%	
Управление	80	20
Техническое обслуживание	100[1]	0
Эксплуатация	0	100

[1] Предположение о том, что 100 процентов технического обслуживания является фиксированной величиной или не пропорционально предоставляемой услуге, является экстремальным допущением. Во многих случаях, возможно, это может быть верным, но не во всех. В системе каналов характер работ по техническому обслуживанию может меняться в зависимости от уровня услуг, но общая стоимость остается прежней. В системе с водоподъемом техническое обслуживание более тесно связано с услугами (объем и напор).

Источники информации

Там, где отсутствует явная информация о стоимости эксплуатации, должны использоваться другие доступные источники для оценки затрат. Некоторые из таких источников информации и знаний о соотношении средств-результатов, приводятся в таблице 23.

Таблица 23.
Источники информации и данных о соотношении средств – результатов

Источники информации	Предположения	Результаты
Анализ тарифов	Тарифы определяются на основе услуг.	Общая форма
Обзор фактических услуг и платежей	Платежи связаны с фактической поставкой услуг.	Общая форма
Анализ бюджета органов управления	Разбивка на эксплуатацию и техническое обслуживание.	Одна точка на кривой
Стоимостной анализ (макро)	Разбивка на эксплуатацию и техническое обслуживание.	Одна точка на кривой
Услуги по подаче подземных вод	Индивидуальные услуги по подаче подземных вод представляет собой самый лучший вид обслуживания.	Одна точка на кривой и общая форма

АНАЛИЗ ТАРИФОВ

Здесь предполагается, что тарифы на услуги, как правило, отражают интенсивность работ для предоставления услуги. Это предположение не всегда и не в полной мере подтверждается на месте, так как другие факторы порождают некоторые явные и/или неявные искажения.

Тариф на основе сельскохозяйственной культуры

Плата за орошение часто производится в зависимости от орошаемых сельхозкультур. Поскольку потребности в воде (объем, частота поливов и продолжительность сезона) зависят от сельхозкультуры, услуги для пользователей и, следовательно, оплата за услуги у них разная. В определенной степени, при установлении платы за услуги признается тот факт, что услуги для каждой сельхозкультуре различны. Однако, часть тарифа может также отражать добавленную стоимость сельхозкультур. Так обстоит дело в Махараштре в Индии, где оплата за многолетние товарные сельхозкультуры (например, сахарный тростник и бананы) намного выше, чем для любых других трех культур, выращиваемых последовательно в течение всего года (табл. 24). Таким образом, базирующийся на рыночной стоимости сельхозкультур тариф является одним из источников информации о стоимости услуг как функции сельхозкультуры, но при этом необходимо перепроверить, что действительно отражается в составе оплаты за услуги.

Таблица 24

Плата за ирригационные услуги по сельхозкультурам, Махараштра, Индия, 2004-05 гг.

Сельхозкультуры	Вода в канале (долл. США / га)
Сезон хариф	
Сезонные культуры/ рис-падди	5.2
Арахис. высокопродуктивные семена и т.д.	10.4
Сезон раби	
Сезонные культуры (за исключением пшеницы и арахиса)	7.8
Пшеница	10.4
Хлопок. арахис. рис-падди и т.д.	15.8
Сезон жары	
Сезонные культуры	15.8
Многолетние культуры	
сахарный тростник и бананы	137

Тариф на основе энергопотребления

В тех ирригационных системах. где энергия является важным компонентом затрат. дифференциацию следует проводить в зависимости от потребления энергии для оказания услуг. Это относится к поверхностному орошению и орошению из напорных систем. На рисунке 49 представлена плата за воду для трех различных ситуаций в Марокко: при поверхностном орошении в Тадла; при орошении дождеванием в Массе. и при разделении систем на поверхностное орошение с машинным водоподъёмом и орошение дождеванием в Гарбских ирригационных проектах (ГИП). На этом рисунке показаны цены за кубический метр воды, на основе Закона об инвестициях в сельское хозяйство. Этот закон обеспечивает правовую и институциональную основу для значительного возмещения, как инвестиционных. так и эксплуатационных затрат на орошение (полное возмещение затрат на Э&ТО и до 40 процентов первоначальных инвестиционных затрат).

ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ПЛАТОЙ ЗА УСЛУГИ И ПРЕДОСТАВЛЕНИЕМ УСЛУГ ПО ДАННЫМ РАЗЛИЧНЫХ ПЭО В АЗИИ

Плата за воду отражает как уровень предоставляемых услуг, так и ограничения. влияющие на расходы, связанные с этим. Это показано на рисунке 50, который отражает плату за ирригационные услуги в 11 ирригационных проектах относительно общего показателя обслуживания (который сам по себе заложен в отдельные показатели

обслуживания, такие как гибкость. справедливость и соответствие) из проведенных ПЭО этих проектов в период с 1995 по 2005 годы.

На рисунке 50 показано, что хотя Э&ТО большинства из этих оросительных систем субсидируются (особенно те, которые характеризуются самыми низкими показателями обслуживания), общий показатель обслуживания возрастает с увеличением платы за ирригационные услуги или платы за воду. Низкая плата за воду, в основном, устанавливается в ирригационных системах. которые предназначены для основных культур, таких как рис и пшеница. Системы с высоким уровнем платы за воду предназначены больше для товарных культур, таких как хлопок и табак. Основными причинами низких показателей услуг по водоподаче являлись несвоевременное техническое обслуживание и плохая эксплуатация, которые, в свою очередь, были связаны с бюджетными ограничениями. Это показывает, что значительное увеличение платы за воду (и улучшение ее сбора) необходимо в целях повышения качества услуг по водоподаче в целом. Для водопользователей повышение качества услуг по водоподаче (имеется в виду повышение надежности. достаточность и гибкость) приведет не только к повышению урожайности и улучшению планирования и проведения оросительных мероприятий внутри хозяйства, но и к большей свободе в выборе возделываемых сельхозкультур. Таким образом, их решения об инвестициях в улучшение качества услуг по водоподаче будут зависеть от выбора культур, которые они будут выращивать. Например, производители риса могут сделать выбор только в пользу повышения надежности, а не гибкости, а фермеры. Которые хотят разнообразить состав возделываемых культур, сделали бы выбор в пользу улучшения качества услуг водоподачи по всем компонентам.

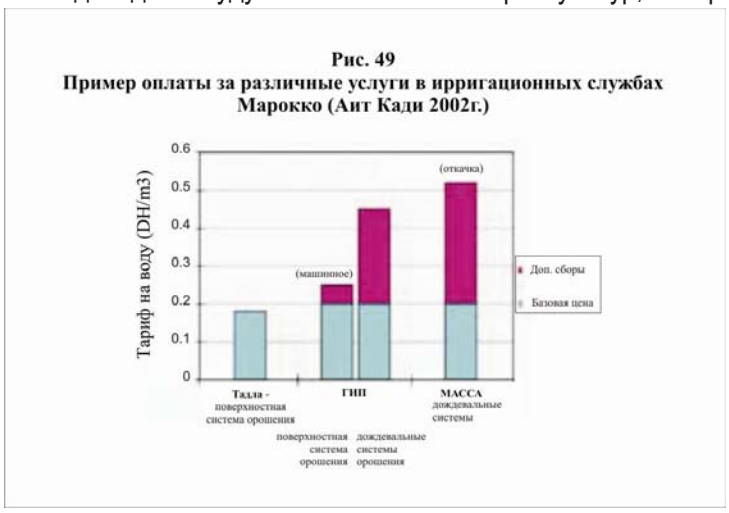


Рис 49 Пример оплаты за различные услуги в ирригационных службах Марокко (Аит Кади 2002г.)

Рис 50 Плата за ирригационные услуги в зависимости от услуг по подаче воды в различных ирригационных проектах

Даже в рамках одного основного типа ирригационной системы средства, вкладываемые в эксплуатацию, будут зависеть от характера распределения земель. графиков посева/сбора урожая. частоты внесения изменений и т.д. Еще одним фактором, который влияет на издержки производства, является метод начисления платы за воду (в данном документе подробно не рассматривается). Например, если с АВП (или водопользователя) взимается плата на основании подаваемого объема воды в течение сезона вместо фиксированной платы в зависимости от орошаемой площади и сельхозкультур, то: (i) для выставления счета должен быть известен объем поданной воды, а для этого необходимы работающие измерительные сооружения в точке подачи; (ii) требуется более эффективное планирование и очень точные операции (установка затворов, управление колебаниями расходов и т.д.); (iii) также требуется улучшение средств связи и мобильность персонала. Все эти факторы влияют на вкладываемые средства и, следовательно, на стоимость.

Хотя анализ платы за услуги и общие тарифы дают представление о средствах и затратах, они слишком приблизительны и расплывчаты, чтобы давать полезную информацию, например, для того чтобы можно было полностью понять компоненты. входящие в стоимость услуг.

Анализ бюджета ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ

Анализ бюджета органов управления является источником информации о расходах, связанных с эксплуатацией. Информация о бюджете ирригационных проектов. собранная в ПЭО (Шаг 1 в MASSCOTE), дает первое представление о расходах на эксплуатацию. Однако требуется подробная информация о различных затрачиваемых средствах. чтобы оценить стоимость разных вариантов улучшения. Например. в системах. где труд стоит дорого. численность персонала может быть сокращена. и могут быть предусмотрены транспортные средства для оставшихся сотрудников в целях повышения их мобильности. В подобном случае. важно знать удельную стоимость содержания транспортного средства (цену. страхование. топливо. обслуживание и т.д.).

Для предложений по модернизации и анализа эффективности затрат на эксплуатацию было бы полезно разбить общий бюджет на категории работ. связанных с УЭТО. Расходы по Э&ТО зачастую относятся к сумме всех затрат. связанных с распределением воды и техническим обслуживанием ирригационной инфраструктуры. Однако имеются некоторые различия по проектам относительно того. что входит в ирригационную (и дренажную) инфраструктуру и мероприятия по Э&ТО. Разбивка на эксплуатацию и техническое обслуживание (и другие соответствующие компоненты) имеет важное значение при принятии решений. касающихся модернизации и эффективности затрат как эксплуатации. так и технического обслуживания.

Как правило. затраты на персонал являются. несомненно. наибольшей составляющей деятельности. поскольку служебный персонал является одним из основных производственных факторов в эксплуатации канала. Расходы на персонал редко составляют менее 50 процентов от общей величины годовых расходов. а зачастую достигают 70 процентов (ФАО. 1986 г.). Расходы на оборудование. как правило. являются наименьшей статьей затрат. Однако некоторые расходы. связанные с использованием оборудования. например. персонал. который работает с ним. включаются в расходы на персонал и заработную плату. В таблице 25 представлен пример разбивки бюджета по статьям затрат для системы канала Сант-Жюльен во Франции (5000 га). Расходы на персонал составляли в 2004 году около 60 процентов от годового бюджета ассоциации. В прошлом эти расходы были даже выше. когда все техническое обслуживание выполнялось сотрудниками. вместо найма субподрядчиков (как это делается сейчас).

Таблица 25
Разбивка годового бюджета. канал Сант-Жюльен. Франция. 2004г.

Статьи расходов	Распределение бюджетных средств. евро
Электроэнергия	35 460
Небольшое оборудование. канцтовары. униформа	12 906
Контракты на техническое обслуживание канала	193 926
Транспортные средства (страховка. топливо и обслуживание)	26 191
Средства связи (почта и телефон)	13 306
Земельный налог	7 720
Водохозяйственная организация (налог)	46 508
Персонал (зарплата. отчисления и обучение)	646 605
Прочее	113 620
Всего	1096 242

Примечание: 1евро=1.28 долларов США

Система канала Сант-Жульен управляется ирригационной службой или АВП с некоторой долей государственного контроля. АВП обеспечивает подачу воды и собирает плату за воду от индивидуальных собственников. Э&ТО покрываются платой за воду. Бюджет в 2004 году составил 1.096 млн. евро (около 1.4 млн. долл. США) вместе с заработной платой и контрактами на обслуживание канала в качестве двух основных статей расхода при распределении бюджета (таблица 25). В 2006 году бюджет АВП на Э&ТО составил 1.2 миллионов евро, примерно 250 евро на гектар в год (около 300$/га), выплачиваемых водопользователями. Капиталовложения, предусмотренные в бюджете АВП в 2006 году, составили 1.4 млн. евро, которые формировались за счет государственных субсидий, бассейнового управления и некоторых займов, полученных АВП.

На рисунке 51 показана аналогичная разбивка бюджета для Су-Чианьской водохозяйственной компании во Вьетнаме. Ежегодные расходы компании на УЭТО составляют на массиве площадью 8500 га около 38$/га. Опять же, заработная плата рабочих и служащих составляет более 50 процентов от общей суммы бюджета.

Система канала Сант-Жюльен и Су-Чианьская водохозяйственная компания являются примерами, которые ни в коей мере не указывают на то, что каждый ирригационный проект или АВП должны иметь те же категории распределения бюджетных средств. Тем не менее, для АВП важно иметь разные категории распределения бюджетных средств и вести детальный учет бюджета, а не относить все на Э&ТО. Минимальная информация, требуемая для анализа затрат деятельности:

Рис 51. Разбивка бюджета для Су-Чианьской водохозяйственной компании , Вьетнам Источник: Дэвидсон, Мэлано и Джордж, 2004г.

- заработная плата и льготы персонала;
- затраты на электроэнергию для насосов (если в проекте есть насосы);
- связь - телефонные счета и т.д.;
- транспорт, в том числе топливо, страхование и техническое обслуживание транспортных средств;
- оборудование - амортизация, эксплуатационные расходы, ремонт;
- прочие/другие (помещения для операторов, административные расходы и т.д.);
- капиталовложения.

Общий анализ затрат на УЭТО

Еще одним источником информации о затратах и услугах являются опросы в масштабе проекта или страны, которые иногда осуществляются национальными департаментами водного хозяйства. В целом, они обеспечивают данные для одного из двух дополнительных источников информации об анализе затрат:

- национальных и/или региональных справочников по стоимости эксплуатации;
- счетов проекта.

Идеальным является тот случай, когда могут использоваться оба источника, сочетая местные данные с национальными справочниками. Однако информация о финансовых отчетах и бюджете проекта очень часто труднодоступны для такого анализа, причем не всегда легко выделить бюджет на эксплуатацию из других видов деятельности. Кроме того, во многих случаях, бюджет на эксплуатацию преуменьшен, что является одной из причин низкой эффективности многих ирригационных систем. Поэтому иногда бывает важно сравнить эти расходы с эксплуатационными расходами на национальном и региональном уровнях.

Таблица 26
Разбивка эксплуатационных затрат по уровням инфраструктуры в ирригационной системе Сансари Моранг (SMIS) в Непале

Категория	Эксплуатация. Неп.рупий/га	Процент от общей стоимости эксплуатации. %
Головные сооружения	35	10
Магистральный канал	50	15
Каналы и суб-каналы второго порядка	120	35
Каналы третьего порядка и водоводы	125	40
Всего	260	100

Источник: по данным С.Сиджапати. 1999 год.
Примечание: 1долл. США = 72 НР (Непальских рупий)

Расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание (Э&ТО): на примере Непала

В 1990-е годы, по оценке Департамента водного хозяйства Непала, ежегодные затраты на Э&ТО для наиболее крупных проектов в Тераи составили более чем 400 НР/га (1долл. США= 72 НР). эксплуатационные затраты приведены в таблице 26. На тот момент, в плане проекта по эксплуатации SMIS предполагались ежегодные бюджетные ассигнования на техническое обслуживание в размере 770 НР/га (DOI. 2001г.). Эти цифры снизились после того, как каналы, обслуживающие менее чем 1000 га, были переданы пользователям.

В плане эксплуатации для Проекта ирригационного развития Нарьянской зоны, годовое приращение стоимости Э&ТО для массивов орошения из поверхностных систем составило 950 НР/га (Pradhan at al., 1998).

По словам нынешних руководителей, стоимость Э&ТО в SMIS должна быть 1500 НР/га. причем 500НР идет на эксплуатацию и 1000НР - на техническое обслуживание. Эта сумма соответствует примерно 3.3% от валового продукта в ПЗ на 2005 год. Согласно Pradhan at al. (1998) предусматривается, что это будет соответствовать примерно 10% от чистого дохода на гектар.

Часть различий в цифрах по затратам на Э&ТО можно объяснить инфляцией и усилением интенсивности возделывания сельхозкультур от одной орошаемой культуры в год (риса), в среднем, до более двух в среднем (интенсивность земледелия в настоящее время составляет 215 процентов). При круглогодичном орошении услуга предоставляется в течение более длительного периода времени и затраты на Э&ТО увеличиваются. Таким образом, для Э&ТО следует предусматривать 1500 НР/год на орошение.

Эта цифра должна быть сопоставима со стоимостью откачки подземных вод для отдельных фермеров. ПЭО оценивает эти расходы в размере 2000-3000 НР на одну культуру за сезон, а это означает, что две сельхозкультуры в год будут стоить 4000-6000 НР при том же типе источника водоснабжения (даже еще дороже, если фермеру необходимо будет брать в аренду оборудование).

Эта стоимость Э&ТО соответствует текущему обслуживанию, которое во многих отношениях не в состоянии удовлетворить спрос в зимний и весенний периоды. Реагирование на спрос пользователей более гибким обслуживанием, при гарантированности водоподачи из реки Коши, снова приведет к увеличению затрат, и, как следствие, стоимости за год (рисунок 52).

Таким образом, представляется целесообразным рассмотреть стоимость усовершенствования услуг по подаче воды из поверхностных источников, допуская возделывание двух сельхозкультур приблизительно по 1800 НР/га/год (увеличение в основном будет идти за счет эксплуатации). Эта стоимость должна быть приемлемой для пользователей при условии, что действительно улучшается качество услуг.

УСЛУГИ ПО ПОДАЧЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Многие фермеры, которые имеют низкий уровень услуг по подаче воды из канала или вообще не обслуживаются, перешли на откачку подземных вод там, где это доступно по разумной цене. Таким образом, они, как правило, платят высокую цену за достаточное, надежное и гибкое обслуживание, Стоимость откачки варьируется в зависимости от ситуации, В Тераи (Непал) фермеры тратят 3000 НР за сезон для риса (Фото 27).

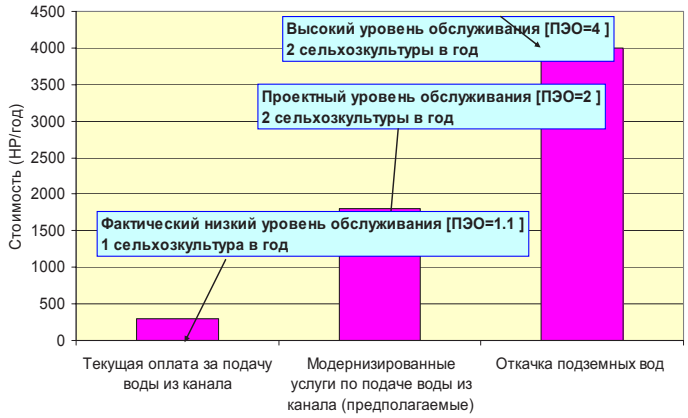


Рис 52 Оценка различных затрат / услуг, оросительная система Сансари Моранг (SMIS). Непал

В таблице 27 представлена сводная информация о потребности в энергии и связанные с этим расходы на добычу подземных вод в Гхатапрабхском ирригационном проекте в Индии. Средняя стоимость энергии для откачки подземных вод для возделывания сахарного тростника на одном гектаре составляет около 210 долл, США, что намного выше, чем плата за воду, поданную для сахарного тростника в данном проекте из канала.

Фото 27 Подача близко залегающих подземных вод на рисовые поля, Непал,

Таблица 27
Требования на энергию при водоподаче из подземных источников, Гхатапрабхский ирригационный проект в Индии

Сельхозкультура	Сахарный тростник
Потребность культуры в воде	2000 мм в виде эвапотранспирации за год
КПД полива (на поле)	66 %
Подача воды к полевому водовыпуску	30000 м^3/га
Скважина/колодец	80 м, вместе с погружаемым на 40 м насосом
Подъем воды (напор)	24 м (12 м – статический + 12 м динамический)
КПД насоса	75 %
Требование на электроэнергию	(объем × напор) / 367 ×КПД
Годовое требование на электроэнергию	2600 кВт-ч расходуется на 1 га сахарного тростника
Количество электроэнергии на кубический метр	0.086 кВт-ч /м^3
Тарифы на электроэнергию	
для сельского хозяйства	0.5 Р/ кВт-ч
для промышленности	7 Р/ кВт-ч
Стоимость электроэнергии для откачки	9150 Р/га (по 3.5 Р/ кВт-ч

Примечание: постоянные затраты на насосное оборудование оцениваются в 2000Р/га/год, Они включают в себя капитальные затраты на скважины и насосное оборудование, а также текущее техобслуживание.

Анализ затрат по вариантам для повышения эффективности затрат и улучшения обслуживания

Анализ затрат на деятельность по различным вариантам производится по двум причинам: (i) в целях сокращения эксплуатационных расходов, не ставя при этом под угрозу существующий уровень обслуживания, и (ii) для повышения уровня обслуживания. Анализ текущих расходов должен позволить определить потенциальные статьи для экономии средств и ответить на такие вопросы, как: какие статьи расходов являются самыми дорогими и где могут быть сэкономлены деньги.

Повышение уровня обслуживания существующей оросительной системы, путем принятия мер по улучшению эксплуатации повысят в некоторой степени текущие эксплуатационные затраты. Важно иметь возможность оценить затраты, связанные с подобным усовершенствованием для оценки того, является ли предполагаемая выгода

от улучшения обоснованной при ожидаемых расходах, и могут ли пользователи позволить себе такие расходы.

Оценка расходов обычно производится с помощью стандартных методов анализа затрат и выгод. Эти методы помогают оценить финансовые расходы и отдачу, связанную с определенными действиями, а также они обеспечивают руководство для принятия решений об изменениях в стоимости услуг, которые необходимы для возмещения затрат, связанных с этими действиями. В этих видах экономического анализа важно проводить различие между двумя разными видами затрат, каждые из которых известны под разными названиями:

- Капитальные или постоянные затраты являются затратами, которые должны быть произведены, как правило, в начале проекта, для того, чтобы купить новое оборудование и материалы, для модификации ирригационных сооружений и создания новых информационных и коммуникационных систем, Обычно такие капитальные затраты производятся один раз, а затем обеспечивается экономический эффект в течение длительного времени, 5, 10, 20 или более лет, в зависимости от оборудования или сооружений.
- Текущие или переменные затраты являются затратами, которые повторяются, например, ежедневно, еженедельно или ежемесячно, и они являются затратами, связанными с предоставлением услуг, после того, как все оборудование и инфраструктура пущены в эксплуатацию, Они включают в себя расходы на топливо для транспорта, затраты на оплату труда, затраты на электроэнергию, а также общие затраты на техобслуживание оборудования (например, регулярное обслуживание транспортных средств, насосных станций и водозаборных сооружений).

В таблице 28 показана структура затрат на эксплуатацию Нарьянской ирригационной системы (НИС) в Тераи, Непал, с фактическим предоставлением услуг из магистрального канала в каналы второго порядка, оцененным в 0.4 (очень низкий показатель) по ПЭО. Эта величина соответствует услуге по подаче воды к 12 блокам (охватывающим примерно 80 процентов официальной ПЗ массива орошения). Последние три блока, не получают никакой воды из поверхностных источников. В отношении орошаемой площади, стоимость эксплуатации системы составляет 233НР/га.

С помощью разбивки фактических расходов по разным уровням и статьям была сделана грубая оценка стоимости оказываемых услуг для двух вариантов.

Вариант 1 направлен, главным образом, на совершенствование управления водными ресурсами и подачи воды по магистральному каналу путем отвода дополнительной воды из природных поверхностных источников, на совершенствование информационных систем и повышение качества работы. Этот вариант не ставит задачу значительного улучшения в пределах подкомандных зон (ПЗ) второго порядка. Обслуживание фермеров (в плане надежности и справедливости) улучшилось лишь незначительно.

Затраты на уровне магистральной системы значительно увеличиваются для решения этих проблем, при этом производятся новые выделения средств в целях развития местного потенциала в области управления в блоках 13-15. В этом варианте затраты на эксплуатацию системы составят около 244 НР/га.

Вариант 2 выполняет задачи Варианта 1 плюс значительно повышает качество оказания услуг фермерам, что в основном означает выращивание двух сельхозкультур в год и повышение надежности и справедливости. Для реализации этого варианта не требуется повышение кадрового потенциала на уровне магистрального канала и

увеличения многих других вкладываемых средств на уровне канала второго порядка. Для этого варианта затраты на эксплуатацию системы составят около 360 НР/га.

Таблица 28
Оценка затрат на эксплуатацию и повышение качества услуг в Нарьянской ирригационной системе в Непале

		Фактические услуги Блоки 13-15 не обслуживаются, Фактическая подача из магистрального канала 0,4 (Блоки1-12) (из данных ПЭО)	Вариант 1 Улучшение эксплуатации направлено на обеспечение незначительного улучшения услуг для всех местных агентств, включая нижерасположенные участки ПЗ	Вариант 2 Обслуживание всей ПЗ наряду с улучшением качества услуг для всех пользователей (2 посева / год),
Затраты, млн, НР				
1 уровень	Персонал	1.250	2.000	2.500
Система магистрального канала	Офис	0.250	0.500	0.500
25%	Транспорт и средства связи	0.175	0.500	0.500
2 уровень	Персонал	3.750	4.100	6.000
	Офис	0.750	1.000	2.000
Каналы второго и третьего порядка – местные агентства	Транспорт и средства связи	0.525	1.050	2.000
75%				
Всего эксплуатация		6.700	9.150	13.500
Затраты в расчете на 1 обслуживаемый гектар		233 НР	244 НР	360 НР

Глава 10

Картирование услуг для пользователей

Содействие развитию управления, ориентированного на обслуживание (УОО), является главной целью модернизации орошения. Это означает, что услуги для пользователей занимают центральное место на уровне управления и имеют большое значение для планирования, согласования, предоставления, контроля и оценки услуг. В ирригационных системах исторически сложилось так, что, в основном, внимание уделялось сельскому хозяйству. Однако внимание также необходимо уделить и другим пользователям. В пределах орошаемой зоны обслуживания, предоставление разного рода услуг различным пользователям является ограничивающим фактором для менеджеров, оно повышает сложность задачи управления и доставки воды. С другой стороны, это также создает благоприятную возможность для распределения расходов на управление среди большего числа заинтересованных сторон (стейкхолдеров).

В этой главе сделана попытка определить и охарактеризовать (картировать) услуги для пользователей, начиная с основного обслуживания фермеров. Кроме этого, в главе также преследуется цель картировать услуги для других типов пользователей.

Предварительное видение будущего ирригационного проекта должно сформироваться в конце этого шага MASSCOTE.

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ, ОРИЕНТИРОВАННОГО НА ОБСЛУЖИВАНИЕ

Как сказано в определении УОО (бокс 1): с помощью УОО осуществляется управление и надзор за доставкой услуг от поставщика к потребителю, сделавшему запрос на обслуживание. При управлении орошением этот потребитель называется получателем услуг. К трем столпам УОО относятся сама услуга и два участника - поставщик и получатель (либо пользователь, либо потребитель) - как показано на Рисунке 3.

Участники обслуживания

На языке бизнеса получателями считаются заказчики или клиенты. В ирригационной системе получателями являются также те участники или заинтересованные стороны управления, которые эффективно участвуют в руководстве проекта. Например, в АВП фермеры являются не только потребителями услуг, они также участвуют в принятии решения по поводу этих услуг. В этом смысле, фермеры являются также участниками.

Элементы обслуживания

Первым элементом является вода. Водоподача находится в центре обслуживания, но это не единственный важный компонент. Информационный поток также является важным для услуг по водоснабжению. Информация течет в обоих направлениях, от поставщика к получателю, и наоборот. Пользователи должны иметь

информацию о распределении водных ресурсов, графике подачи и о замерах подаваемой воды.

Действительно, обслуживание состоит из трех основных потоков: Обслуживание = вода + информация + деньги (таблица 29). Эти три потока неразрывно связаны друг с другом, что подтверждается следующим:

- Нет воды, нет денег.
- Для воды необходима информация.
- Информация - это деньги для пользователей.
- Деньги требуют информацию.
- Деньги должны оплачивать воду, информацию и средства.

Таблица 29
Потоки услуг

Поставщик	Услуга	Получатель
Управление системой для осуществления водоподачи	Потоки воды	
Должен информировать пользователей заранее об услуге, на которую они могут рассчитывать в течение определенного периода времени (сезон, год), о графике поставок.	Потоки информации	Информация о спросе на услуги со стороны получателя должна быть доведена до поставщика
Должна собираться информация о фактическом обслуживании		Должна быть собрана/проверена информация о фактическом обслуживании
Взимает плату за фактическое обслуживание и обеспечивает долгосрочную устойчивость инфраструктуры.	Деньги	Должен платить за услугу, согласно используемому объему или полученной выгоде.

Информация и услуги

Информация является важной частью обслуживания в УОО. Достоверная и точная информация об услуге по подаче воды имеет ключевое значение для фермеров, когда им необходимо принять стратегические решения о структуре посевных площадей и графике выращивания сельхозкультур. Им необходимо знать заранее, будет ли достаточно воды для сельхозкультур, которые они планируют выращивать, и, будет ли эта вода в наличии во время критических фаз роста этих культур.

Информация о спросе на услуги по подаче воды имеет важное значение для менеджеров до сезона и в течение него.

Информация также необходима для оценки фактического обслуживания и, соответственно, взимания платы с пользователей.

Денежные средства и услуги

Деньги необходимы для обеспечения устойчивости проекта. Многочисленные оросительные системы не получали достаточного финансирования со стороны государства и эта ситуация сохраняется, а передача управления пользователям во многих случаях еще не завершена (или даже не начата).

Кто-то должен оплатить, сейчас или позднее, счет за услуги по управлению ирригационными системами (за личное пользование и за кого-то, кто тоже ими

пользуется). Обычно налогоплательщик оплачивает часть полного счета за управление ирригационной системой при инвестировании. Также распространено, когда налогоплательщик оплачивает УЭТО, но подобное не может долго продолжаться.

Поэтому, одна из основных обязанностей руководства эффективно организовать потоки денежных средств для предоставления услуг (УЭТО).

Определение услуг для пользователей

Ирригационные системы были первоначально построены для снабжения фермеров водой там, где потребности сельхозкультур в воде не могут быть удовлетворены за счет атмосферных осадков. Таким образом, услуги фермерам были и все еще должны быть в центре внимания управления. Однако со временем, становится все более и более очевидным, что другие потребители используют оросительную воду в других целях, которые могут ущемлять орошаемое земледелие. Среди распространенных категорий услуг в рамках ирригационного проекта можно найти следующие:

- хозяйственно-бытовое снабжение сельских жителей;
- подпитка грунтовых вод;
- экологические попуски;
- здравоохранение;
- промышленные потребители;
- рыбное хозяйство;
- рекреационные зоны;
- туризм.

Услуги для пользователей сегодня гораздо шире, чем на начальных этапах развития ирригации, хотя спрос на воду со стороны фермеров до сих пор занимает центральное место.

Задача определения услуг и установление требований к эксплуатации состоит в основном из ответов на следующие вопросы, которые касаются как определения сферы услуг, так и закономерных требований к эксплуатации:

- Какие услуги востребованы со стороны различных групп пользователей?
- Как они связаны территориально, во времени и с точки зрения эксплуатационных требований?
- Какие услуги могут быть предложены пользователям?
- Каков возможный диапазон услуг и сборов является обоснованным?
- Какой режим эксплуатации можно применять, и с какой точностью?
- Какова должна быть периодичность проверки и вмешательств?
- Какая структура необходима для мониторинга услуг?
- Какие существуют механизмы обеспечения того, чтобы услуги предоставлялись и оплачивались?

Обычно предусматривается несколько возможных мероприятий по предоставлению услуг по подаче оросительной воды. Даже там, где физическая инфраструктура уже установлена, может быть несколько вариантов в планировании, гибкости и точности эксплуатации. Логично ожидать, что увеличение в затратах (труда и денег) в целом в результате дадут высокий уровень обслуживания. Однако не все так просто. Ключевым фактором для успешной эксплуатации канала является целенаправленные улучшения, которые удовлетворят реальный спрос пользователей.

Для того, чтобы удовлетворить современные требования по эксплуатации канала, полезно следовать подходу, ориентированному на обслуживание. Это означает, что пользователи и поставщики услуг совместно несут ответственность за планирование

и определение наилучшего компромисса между уровнем и стоимостью услуг, имея в виду, что пользователи в конечном итоге будут получать выгоды и нести расходы по эксплуатации.

ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ УСЛУГ ФЕРМЕРАМ

Качество обслуживания сельскохозяйственных пользователей может быть определено на основе показателей, аналогичных тем, которые используются для оценки эффективности работы, например, адекватность, гибкость, надежность и своевременность. Для других видов использования водных ресурсов, таких, как рыбное хозяйство, охрана окружающей среды и здравоохранение, показатели оказания услуг могут быть самыми разными: наличие воды, изменение потоков, температура и т.д.

Предоставление услуг фермерам, как правило, определяется на основании трех временных аспектов, которые имеют важное значение для сельскохозяйственных организаций:

- распределение воды в течение сезона или года;
- график подачи воды на орошение;
- фактическая подача воды.

С точки зрения распределения водных ресурсов в течение сезона или года, услуги включают в себя не только количество (объем) воды, а также гибкость при ведении переговоров относительно изменений этой величины. Данный аспект имеет важное значение в связи со структурными решениями в отношении взаимоувязки спроса и предложения на водные ресурсы, к примеру, при регулировании структуры посевов соразмерно распределению воды, либо при привлечении дополнительных источников водоснабжения, чтобы охватить всю структуру посевов.

Составление графика подачи воды на орошение является процедурой создания расписания очередности орошения или самих поливов на конкретный период времени, например, поливной сезон (или вегетационный период). Качество обслуживания определяется периодичностью, с которой будет предоставляться вода, например, каждую неделю, две недели или месяц, и снова гибкостью при внесении изменений в график в соответствии с незапланированными изменениями. Этот аспект имеет важное значение для обеспечения такого водоснабжения, которое позволит предотвратить дефицит влаги на уровне поля, а также для организации использования трудовых ресурсов и оборудования на уровне хозяйства. Гибкость здесь означает, что для данного выделенного объема график подачи воды может быть скорректирован. Например, некоторые фермеры могут захотеть уменьшить первоначальные, предусмотренные по графику поставки воды и зарезервировать объемы на момент пикового спроса или на конец сезона.

Фактическая подача воды - это вода, доставляемая пользователям. В частности, это касается, прежде всего, расхода (поток в данный момент) и объема (количество в течение некоторого периода времени) воды, доставленной с учетом спроса в данный момент времени.

Следовательно, хотя акцент обычно ставится на услуге в плане подачи воды, необходимо принимать во внимание три аспекта оказания услуг для фермеров (рисунок 53).

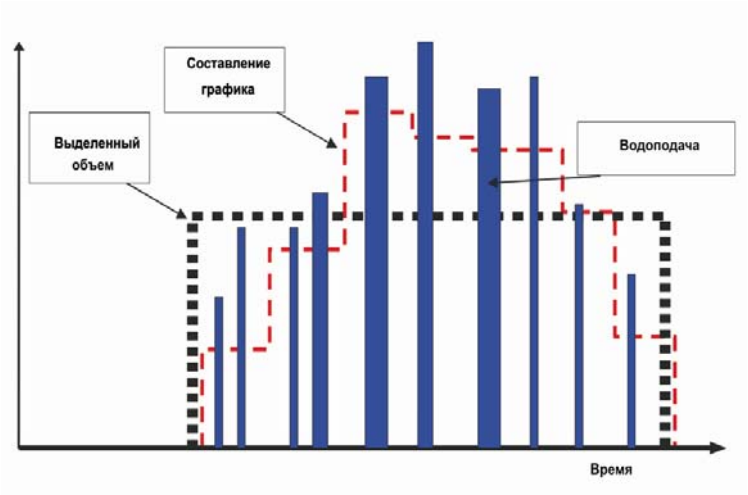
Качество воды также является важным аспектом обслуживания, который должен рассматриваться руководителями и пользователями. Однако его зачастую нелегко контролировать, и оно в большей степени может быть результатом определенных условий.

Определение размера услуг: цель и допустимое отклонение

Услуга может оцениваться на основе гидравлических показателей, свойственных поставкам, аналогичных тем, которые используются для оценки результатов деятельности, например, адекватности, гибкости и надежности. Важным показателем оказания услуг является допустимый предел, в котором поставки могут меняться. Следовательно, она должна определяться по двум переменным: цели и допустимому отклонению: Услуга = {цель; допустимое отклонение}. Например:

- услуга = 100 л / с ± 10 %;
- услуга = своевременная подача ± 3 дня.

Допустимое отклонение устанавливает пределы, в которых может меняться объем. Существует необходимость в определении такого допустимого отклонения, которое: (i) приемлемо для всех вовлеченных заинтересованных сторон, и (ii) соответствует точности, с которой оценивается услуга.



В теории, вышеприведённая формулировка позволяет точно определить, когда услуга успешно выполняется и когда она не выполняется. На практике, это также зависит от точности, с которой она оценивается.

Рис 53 Аспекты оказания услуг: распределение, составление графиков и поставки

Учет неточности

Неточность измерений добавляет неопределенности в процесс. На рисунке 54 показано, каким образом это происходит. В этом примере допустимое отклонение установлено до 10 процентов, что при поставленной цели 100 л/с означает, что расход будет колебаться в диапазоне от 90 до 110 л/с. Допуская, что точность работы самого измерительного устройства около 5%, то при показателе 110 л/с, истинное значение находится между 105 и 115 л/с. Аналогично, для 90 л/с истинное значение лежит между 85 и 95 л/с.

В результате мы имеем диапазон расходов, равный 95-105 л/с, в рамках которого произведена услуга и в правильности которого нет сомнений. Этот диапазон определяется, как допустимое отклонение минус точность измерений. Вот почему допустимое отклонение теоретически не может быть равно или меньше, чем точность измерения. Неверно будет устанавливать допустимое отклонение, равное 5% при учёте расходов на устройствах, которые могут производить замеры с точностью 10%.

На фото 28 показано измерительное сооружение (водослив), расположенное ниже водозабора на SMIS (Непал). На этом сооружении точность измерений очень низкая по причине: (i) неточности в показаниях водомерного устройства; (ii) наличия турбулентности и (iii) низкой чувствительности водослива (слишком большой). По

оценкам, точность (или погрешность) работы водослива равна или превышает 20%. Поэтому, в данном конкретном случае, представляется невозможным ориентировать целевую услугу на менее, чем 20 процентов расхода.

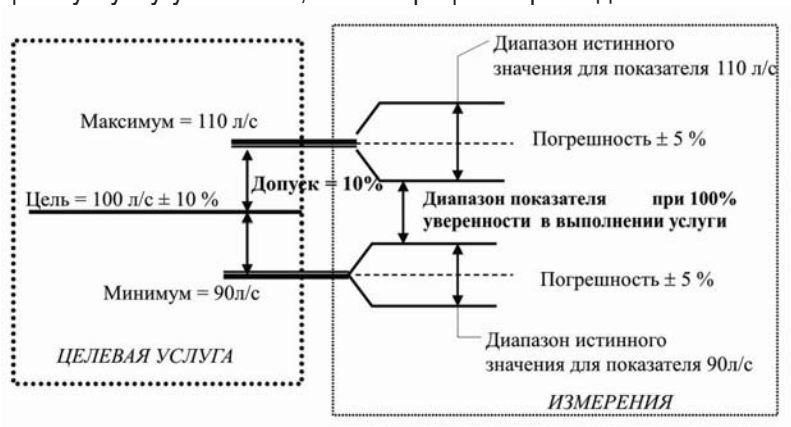


Рис 54 Иллюстрация совместимости допустимого отклонения/погрешности при водоподаче

Иными словами, нет смысла устанавливать малое допустимое отклонение при подаче расходов, когда точность измерений низкая.

Виды услуг

Цели и показатели оказания услуг по подаче воды фермерам (скорость подачи воды, продолжительность и частота) в значительной степени зависят от инфраструктуры/технологий и метода управления водными ресурсами. Например, невозможно добиться гибкости в норме подачи в системе пропорционального распределения. Основными вариантами оказания услуг являются:

Фото 28 Голова канала второго порядка, оснащенная измерительным устройством (водомером) с очень низкой точностью (Непал).

- предварительно установленные;
- упорядоченные (по требованию);
- свободный доступ (полная гибкость).

Клемменс и Реплоджил (1987 г.) сделали обзор моделей подачи воды относительно целевых показателей. В таблице 30 представлены различные цели водоподач, их эксплуатационные параметры и системы регулирования потока, в которых эти цели часто выполняются или на которые ориентированы.

Таблица 30.
Определения методов составления графиков по подаче воды

Категории графиков / цели услуг по подаче воды	Эксплуатационные параметры			Способы регулирования потока
	Скорость	Продолжи-тельность	Частота	
Свободный доступ / по требованию				
Неограниченный	U	U	U	DS-auto, US-auto-cent
Ограниченное требование на норму	L	U	U	DS-auto, US-auto-cent
Ограниченная или установленная частота	L	U	A	DS-auto, US-auto-cent
Ограниченный период	U	L	U	DS-auto, US-auto-cent
Графики по запросу / упорядоченные				
Упорядоченная	A	A	A	DS-auto, US-auto
Упорядоченная ограниченная норма	L	A	A	US-auto, US-man
Ограниченная упорядоченная	C	C	A	US auto, US-man
Фиксированный период упорядоченный	C	F	A	US-auto, US-man
Фиксированная норма / ограниченная упорядоченная	F	C	A	US-auto, US-man
Жесткие или заданные				
Центральная система	V	V	V	US-auto-cent; US-man
Фиксированный объем	F	F	V	US-auto; US-man
Фиксированная ротация	F	F	F	US-auto; US-man
Ротация с разным объемом	F(V)	F(V)	F	US-auto; US-man, Prop.
Ротация с разной частотой	F	F(V)	F(V)	US-auto; US-man, Prop.
Непрерывный поток	F(V)	-	-	US-man, Prop.

Примечание: U: неограниченная, без ограничения, под контролем пользователя; L: ограничения по максимальной скорости потока, но все же упорядоченные; A: упорядоченные между пользователем и водохозяйственным органом; C: постоянная во время полива, как упорядочено; F: установлены согласно основной стратегии; V: изменены центральным управлением, на усмотрение управления; (V): изменяемые центральным управлением, сезонно согласно стратегии; DS-авто: автоматизированное по нижнему бьефу; UC-auto-cent: автоматизированное центральное по верхнему бьефу; UC-auto: автоматизированное по верхнему бьефу (как центральное, так и локальное); US-man: ручное по верхнему бьефу; Prop.: пропорциональное.

Источник: Clemmens and Replogle (1987).

Установление параметров услуги

Способ установления целей и допустимых отклонений в течение сезона полива приводит к определенному уровню услуг (таблица 31). Цели услуг и устойчивость к колебаниям могут быть различными для разных пользователей. Некоторые могут приспособиться к более низкому качеству услуг по сравнению с другими (доступ к грунтовым водам), а некоторые хотят всегда своевременных поставок воды (овощи); другим требуются небольшие расходы, но в течение длительного периода (капельное орошение). Кроме того, требования могут меняться с течением времени. Надежность орошения при пересадке риса должна быть очень высокой, а позже в течение сезона допускаются некоторые колебания. Наконец, ставки наиболее высокие для пользователей хвостовых участков, поскольку они будут ощущать последствия неполноценного обслуживания больше всех.

Таблица 31
Пример целей и допустимых отклонений по услугам водоподачи для фермеров

Компоненты услуг	Цель	Допустимое отклонение
Расход	100 л/с	-10 л/с, +20л/с
Своевременность	На данный час	± 1 день
Продолжительность	6 часов	± 30 минут
Характеристики потока	Стабильный поток	20% колебаний в расходе
Компенсация, когда есть нарушения	Непосредственная компенсация в воде	Макс. 3-дневный период

Другие требования по оказанию услуг не столько связаны с количеством отдельных поставок, сколько с общей организацией и их влиянием на систему. Важным показателем является гибкость системы. Гибкость водоподачи может быть определена как уровень свободы для изменения параметров подачи воды (норма, продолжительность и частота), например, возможность требовать определенный объем воды при определенном расходе в определенное место и время.

В Пакистане обнаружены переменные допустимые отклонения по подаче воды в системах, управляемых на основе чередующихся приоритетов полива (особенно во время засушливого сезона). Например, во время одного периода полива (как правило, неделя или десять дней), выбранным водоотводам (или сети водоотводов) предоставляется самый высокий приоритет, и, следовательно, самый маленький допустимый предел отклонений от целевых показателей, в то время как другие водоотводы обслуживаются только тогда, когда что-нибудь осталось, и, соответственно, с большим допустимым пределом отклонения от целевого показателя. Во время следующего поливного периода приоритеты меняются.

ОКАЗАНИЕ УСЛУГ ПО ВИДАМ оросительной СИСТЕМЫ

Концепция единого обслуживания, определенная раз и навсегда, и для всех, на стадии планирования уже недействительна. С учетом ротации культур при их выращивании и маркетинговых стратегий, а также освоения альтернативных источников воды (например, откачка близко залегающих грунтовых вод), спрос на обслуживание все больше меняется в пределах оросительной системы и на протяжении всего сезона(ов) выращивания культур. Вопрос заключается в том, в каком объеме могут быть учтены различные требования, осознавая, что большая гибкость делает работу более сложной и зачастую более дорогостоящей. Опять же, должен быть найден компромисс между удовлетворением требований пользователей и сохранением степени сложности и платы за воду на приемлемом уровне. На рисунке 55 показаны некоторые примеры гибкости и сложности для различных режимов работы и планировки систем. Системами, нанесенными на график на рисунке 55, являются:

- Пропорциональная система:
  - A: Непрерывный поток (система «савах» (террасы) и многие горные оросительные системы); низкая гибкость и чрезвычайно низкие эксплуатационные требования и затраты.
- Оборудованная затворами система:
  - B: Единое (унифицированное) обслуживание: фиксированный график очередности (время, расходы, периодичность, основанные на долях вододеления); гибкость не увеличивается, однако усложняется эксплуатация.
  - C: Единое обслуживание, заданный график очередности, основанный на сезонном планировании посева сельхозкультур.

- D: Полу-унифицированное обслуживание, заданный график очередности, основанный на фактических требованиях сельхозкультур.
- E: Разностороннее обслуживание, упорядоченное планирование и распределение, это наиболее гибкая ситуация для систем, оборудованных затворами, но они могут быть очень сложными и потребовать сильной организационной структуры.
  - Автоматизированная или полу-автоматизированная система:
- F: Единое обслуживание, продиктованное графиком очередности, который определяется на основе выращиваемых сельхозкультур, сезонного планирования; это обслуживание похоже на ситуацию C, но инфраструктура не предназначена для такого эксплуатационного режима, и будет трудно обеспечить ротацию.
- G: Разностороннее обслуживание, по запросу, бесплатная подача; эта система очень редко встречается на практике. Такая система - мечта многих фермеров, и она похожа на службу хозяйственно-бытового водоснабжения. Сложность эксплуатации, при хорошем проектировании, может быть низкой, а гибкость - очень высокой.

На рисунке 55 сравнивается гибкость системы со сложностью эксплуатации и произведенными затратами. Режимы эксплуатации представлены как точки, а не в виде кривых. Переход от одного режима к другому часто происходит не постепенно, а ступенчато или очень резко изменяясь. Существует множество возможностей вокруг каждой точки, и гораздо больше вариантов структуры. Тем не менее, те, которые нанесены на графике, наиболее часто встречаются на практике, но не в литературе. Хотя сложность и уровень обслуживания взаимосвязаны, это нелинейная зависимость. Инфраструктура является одним из основных определяющих факторов в диапазоне возможностей. Например, точка G показывает, что полу-автоматизированная система может обеспечить высокую гибкость при относительно низких затратах, в то время как традиционные системы, оборудованные затворами, возможно, никогда не смогут достичь такого уровня гибкости и, несомненно, при гораздо более высоких затратах. Однако не следует делать вывод, что все системы должны быть автоматизированы. Причины для этого заявления следующие:

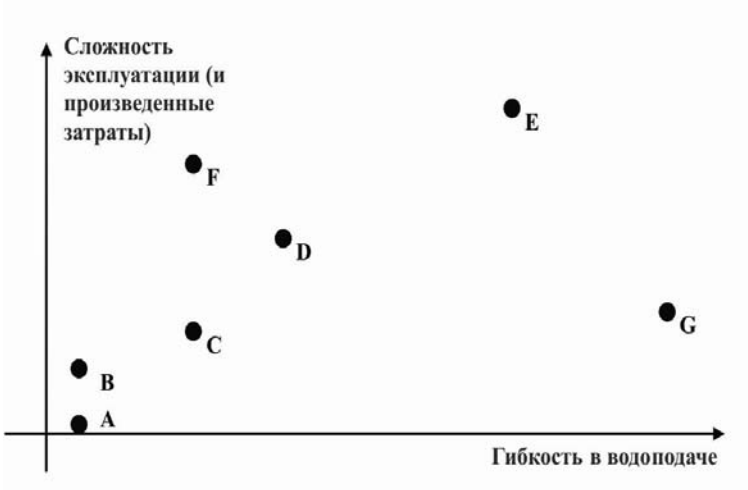


Рис 55 Гибкость против сложности эксплуатации для различных режимов работы и планировок систем

- Эффективность использования воды не представлена на рисунке 55. Там, где воды не хватает, менее унифицированная (единая), но весьма эффективная система может обеспечить более качественное обслуживание пользователям, чем водоемкая гибкая система.
- Изменчивость в режиме эксплуатации. На протяжении всего сезона или нескольких лет, требуемые режимы эксплуатации могут меняться. Например,

инфраструктура и меры управления должны предусматривать возможность перехода от жесткого режима к режиму полного невмешательства в эксплуатацию.

- Контроль за системой: могут ли быть изолированы «безбилетники»? Является ли система устойчивой к внешним воздействиям? Эти вопросы находятся в интересах, как пользователей, так и операторов, и, могут частично решаться путем выбора инфраструктуры.

МНОГОЦЕЛЕВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДЫ

Сельскохозяйственное использование

Основная цель ирригационных систем состоит в подаче воды фермерам. Следовательно, сельскохозяйственные требования доминируют в дискуссиях и переговорах по обеспечению услуг. Однако сельскохозяйственные требования не являются однородными. Спрос на воду со стороны хозяйств, практикующих органическое земледелие (выращивание культур с использованием только органических удобрений), выращивающих овощи и цветы, будет сильно отличаться от унифицированных рисоводческих систем мелких землевладельцев, которые в свою очередь будут отличаться от требований крупных плантаций хлопка или сахарного тростника. Их требования на орошение будут разные не только с точки зрения всех переменных рабочих характеристик, но также их спрос на воду будет основываться на существенных различиях в технике орошения, потребностях в рабочей силе, экономической отдаче, уязвимости в случае перебоев в услугах, статусе, разделении по половому признаку и т. д. Требования на воду различных культур и сортов будут являться основой любого запроса по подаче оросительной воды, но они не являются единственным обоснованием ирригационных стратегий фермеров.

В этой публикации не представляется возможным рассмотреть все соображения и конкретные требования к обслуживанию, которые можно найти в проектах в настоящее время. Водопользователи теперь способны сформулировать свои требования при обсуждении предоставления услуг. Кроме того, при обсуждении требований к услугам по подаче оросительной воды придется столкнуться с мозаикой требований, которые, возможно, трудно будет обеспечить, или которые даже могут быть взаимно противоречивыми. Окончательные соглашения об обслуживании будут отражать различные потребности сельхозкультур в воде, разные в пространственном отношении методы орошения, установленные права, местные взаимоотношения представителей власти, экономические интересы и т.д., исходя из располагаемых водных ресурсов и бюджета по Э&ТО. Они могут быть разными по времени и месторасположению, с учетом некоторых обозначенных критических периодов за год.

Таким образом, важно помнить, что спрос на услуги по подаче оросительной воды:

- является неоднородным во времени и пространстве и для различных видов пользования;
- касается параметров подачи, а также требований к структуре эксплуатации и управления.

Обслуживание для других целей / пользователей и внешние факторы

Управление водными ресурсами не ограничивается только подачей воды для сельскохозяйственных культур. Все чаще, ирригационные проекты рассматриваются в более широком контексте бассейнового управления водными ресурсами с точки зрения как качественных, так и количественных аспектов воды. Даже в рамках ирригационной

системы, “оросительная вода” может использоваться фермерами и другими жителями на многие другие цели (Фото 29). Кроме того, требования к оператору также включают вопросы в сфере смягчения возможных негативных побочных эффектов орошения, например, засоления, заболачивания и распространения трансмиссивных заболеваний (т.е. передаваемых переносчиками). Все эти вопросы ставят более или менее жесткие требования к выбранным режимам эксплуатации. Например, последние исследования (ИВМИ, 2001г.) показали положительный эффект преднамеренных колебаний уровня воды на трансмиссивные заболевания (заразные болезни человека, возбудители которых передаются кровососущими насекомыми. *Термин предложил советский зоолог и паразитолог Евгений Николаевич Павловский (1884-1965))*, например, малярию.

Фото 29 Рыболовство в водохранилище, Шри-Ланка

В рамках ирригационной системы есть несколько общих внешних факторов, с которыми приходится иметь дело руководителям:

- хозяйственно-бытовое водоснабжение сельской местности (Фото 30);
- подпитка подземных вод;
- водотоки и водоемы для рыболовства;
- водоснабжение для животноводства;
- экологические потребности / воздействие (подпитка подземных вод, заболачивание, засоление, дренаж и возвратный сток из ПЗ в естественные водотоки);
- рекреационные потребности;
- здравоохранение и санитария.

Производство энергии иногда является еще одним важным видом использования воды, аккумулируемой в водохранилищах комплексного использования. Выбор направления и составление графиков требований на воду для выработки электроэнергии чаще всего относится к точке головного притока воды в проект. Однако в некоторых случаях, это может находиться в рамках самой системы.

Виды услуг для других видов водопользования

Вышеупомянутые различные дополнительные виды использования и специфические потребности, связанные с водными ресурсами, требуют наличия разных типов услуг по воде, которые отличаются от услуг для растениеводства. Эти дополнительные услуги зависят от контекста, иногда простые, а иногда сложные; они должны обсуждаться и решаться на местном уровне. Вопросы по предоставлению различных услуг, с которыми руководители могут иметь дело, изложены в следующих разделах.

Подача воды к месту назначения

В качестве примера можно привести подачу определенного расхода воды в конкретную точку. В этом случае, услуга почти аналогична подаче воды фермерам. Это в частности верно, когда вода подается в водосборник для хозяйственно-бытового снабжения деревень. В этом случае, качество обслуживания в основном заключается не только в своевременности и достаточности, но и в качестве воды.

Исследования IWMI (Ensink et al., 2002) в Пакистане показали, что в значительной части ПЗ грунтовые воды имеют неприятный вкус и, как следствие, значительная часть сельского населения для своих бытовых нужд полагается на поверхностные воды, предназначенные для орошения. По оценкам, около 40 миллионов человек зависят от качества воды в ирригационной системе, и это число может удвоиться в ближайшие 25 лет. При основной потребности в 50 литров на человека в день, это представляет объем 2 млн.м^3/день. Некоторые люди сильно зависят от поверхностной воды, используемой для орошения для удовлетворения своих бытовых потребностей, и они страдают во время закрытия канала для технического обслуживания системы.

Фото 30 Хозяйственно-бытовое использование воды, подпитка естественных водотоков через сеть поверхностных каналов (Гхатапрабха, Индия).

Во многих странах вода очищается для использования в домашнем хозяйстве, но нет никакой гарантии, что это имеет место в отношении воды в ирригационных системах. Имеется немного возможных вариантов. Один заключается в организации условий для инфильтрации воды в почву и затем откачке насосом солоноватых вод из водных линз, и в этом случае количество не менее важно, чем качество.

Поддержание стока в местных водотоках и водоемах

В некоторых низкорасположенных районах сохранение стока в местных водотоках, водоемах и болотах имеет большое значение для предотвращения интрузии морской воды. В других случаях, сохранение водных ресурсов ветландов имеет не менее важное значение для их способности поддерживать живую природу и окружающую среду.

Поддержание уровня воды в местных водоемах

В некоторых районах вода в каналах является единственным источником воды не только для питья, но и для других хозяйственно-бытовых целей, таких как купание или стирка одежды. Когда каналы закрываются (например, на ремонт, либо при отсутствии спроса на орошение), люди, живущие поблизости, могут страдать вследствие низкого качества подземных вод - временами, для них нет возможности получить доступ к качественной воде. Эта проблема заставляет руководителей периодически заполнять

часть оросительной системы в целях поддержания минимального уровня воды (например, в Пакистане и Шри-Ланка).

Поддержание качества воды в естественных водотоках

В засушливые периоды, подача воды в естественные водотоки поддерживает минимальное качество в местных реках путем разбавления токсичных сточных вод, сбрасываемых из городских районов и пригородов.

Поддержание мощностей для хранения воды и борьбы с наводнениями

В районах и в периоды проливных дождей единственной целью контроля воды в системе является максимальное увеличение мощностей для хранения осадков. Это имеет два положительных эффекта: (i) повышает водообеспеченность; (ii) сводит к минимуму воздействие наводнений.

Режимы работы, необходимые для различных услуг

Теоретически, основная физическая работа затворов в системе одна и та же для предоставления любого вида услуг. Тем не менее, процесс принятия решений и планирования этих мероприятий может отличаться в зависимости от того, для кого это делается - для фермеров или управляющих каналами (табл. 32).

Важным аспектом работы для этих “других целей” является планирование и распределение. Менеджеры каналов должны знать спрос на воду и требования, а также располагаемые ресурсы для этих различных пользователей с тем, чтобы иметь возможность надлежащим образом распределять воду.

Многочисленные виды водопользования иногда могут конфликтовать друг с другом, и необходимо находить компромисс, когда требования к эксплуатации находятся в противоречии.

Таблица 32.
Типы целей и услуг для различных видов водопользования

Пользователи	Тип услуг/ целей
Фермеры	Временные ограничения по подаче воды. Доля стока.
Поддержка природных поверхностных водотоков & окружающей среды	Определенный расход. Качество воды путем разбавления воды и/или регулирование дренажа.
Туризм, рыбное хозяйство, подпитка подземных вод, рекреация, дикие животные & природные заповедники	Наличие воды и заданный уровень воды в водоемах
Борьба с трансмиссивными болезнями в водоемах	Колебания уровня воды
Борьба с наводнениями	Объем для хранения воды
Контроль дренажного возвратного стока	Максимальный расход

КАРТИРОВАНИЕ СПРОСА НА УСЛУГИ

Картирование спроса на услуги означает пространственное определение вида услуг, а затем количественное определение самой услуги. Иными словами, спрос на услугу по подаче воды состоит в основном из ответов на следующие вопросы, которые касаются как определения услуг, так и, последующих требований к эксплуатации:

- Какой вид услуг требуется различным группам пользователей?
- Какие услуги могут быть предложены пользователям?
- Каков возможный диапазон услуг и платы за услуги подлежат рассмотрению?

Как обсуждается в главе 12, обслуживание и эксплуатация неразрывно связаны между собой. Следовательно, картирование услуг не должно производиться только с точки зрения пользователей, оно также должно базироваться на том, кто предоставляет услуги. Таким образом, важный вопрос касается того, как предусмотренные услуги связаны пространственно, во времени и по эксплуатационным требованиям.

Услуги по подаче воды из оросительной инфраструктуры должны быть помещены в более широкий контекст управления водными ресурсами в пределах ПЗ. Иными словами, при анализе спроса на услуги по подаче воды необходимо учитывать индивидуальные требования, а также конкретные условия, в которых это требование предъявляется. (Бокс 5).

Бокс 5

Услуги и пользователи:
пример “экономии энергии” в системе совместного использования поверхностных и подземных вод

Существуют случаи, когда обсуждение вопросов о пользователях и предоставлении услуги не являются простым. Например, в хорошо развитых системах совместного использования поверхностных и подземных вод, обслуживание из канала больше касается энергии, чем воды.

В подобных системах можно предположить, что назначение оросительной воды состоит в том, чтобы восполнить почвенную влажность, либо непосредственно из поверхностного источника, через откачку близкорасположенных грунтовых вод, либо через дренаж, частично или полностью подпитываемый от потерь на глубинную фильтрацию и инфильтрацию, порожденных самой ирригационной системой. В хорошо управляемой системе совместного использования поверхностных и грунтовых вод нет потерь оросительной воды, и, следовательно, с точки зрения строгого управления водными ресурсами не существует разницы, сумели ли менеджеры достичь высокого уровня услуг по водоподаче на уровне поля или нет. Единственное основное отличие заключается в использовании энергии и расходах, связанных с откачкой воды.

В этих условиях услуга по подаче воды на поля также включает в себя понятие энергии. Самотечное орошение на поля является энергосберегающим. Реальную услугу для ирригационных систем можно разделить на две части: (i) услугу по подаче воды в виде большей части водоснабжения ПЗ, а также (ii) экономию энергии при доставке воды на уровне поля/ хозяйства.

Экономия зависит от высоты подъема воды, для примера в таблице 27 в главе 9, экономия может быть оценена в 3,6 Вт-ч / м3 /на каждый поднятый метр.

Пользователи/потребители: там, где фермеры платят полную стоимость за откачку воды, они являются пользователями как водных, так и энергетических услуг. Там, где, как в Индии, энергия предоставляется практически бесплатно для фермеров, необходимо рассматривать двух пользователей/ потребителей: фермеров, которые получают услуги по воде, и государство, которое экономит энергию (или тратит средства на субсидирование энергетики

Сельскохозяйственные требования

В сельском хозяйстве некоторые критерии имеют влияние на характер и характеристики обслуживания:

- требования культур на воду: функция;
- источник воды: атмосферные осадки, грунтовые воды и т.д.;
- характеристики почвы.

Кроме того, необходимо также рассматривать различные временные масштабы, от сезонного распределения воды (объем, в зависимости от ожидаемых общих потребностей) до характеристик подачи (расход и объем, частота, надежность и т.д.).

В рамках одной подкомандной зоны есть вероятность того, что спрос на услуги в орошаемом земледелии изменяется территориально. Есть некоторые исключения из этого, например, небольшая система с одной сельхозкультурой и без территориального изменения климата (например, система риса-падди во время засушливого периода).

В КОНТЕКСТЕ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

В ирригационных системах, как указано в предыдущих разделах, все чаще предполагается предоставление услуг для использования в других, кроме орошения, целях. Таким образом, обслуживание пользователей должно определяться, осуществляться и оцениваться в контексте управления водными ресурсами. Это считается важным для: i) устойчивости и повышения эффективности работы ирригационных систем; ii) смягчения негативных последствий орошения на здоровье человека и окружающую среду.

Качество воды

В результате современных методов ведения сельского хозяйства и нехватки пресной воды в некоторых районах предстоит иметь дело с водой, содержащей химические вещества (пестициды и биогенные вещества) и другие загрязнители. Выявление различных причин и последствий качества воды является серьезной проблемой для орошаемого земледелия, имеющей значение, как для поверхностных, так и грунтовых вод. Многие близкорасположенные водоносные слои имеют важное значение для хозяйственно-бытового водоснабжения. Они зачастую получают некоторую подпитку от инфильтрации с орошаемых площадей во время засушливого периода, представляя одновременно и пользу (ресурс), и угрозу (загрязнения). В таких ситуациях, менеджеры должны будут учитывать все виды водопользования и находить эффективный компромисс.

Повторное использование оросительной воды

Возвратные стоки с орошаемых площадей могут быть важным фактором в управлении водными ресурсами. Потери в одном месте становятся источником воды для других областей. Правильное понимание этого цикла может облегчить проблему управления в верхнем течении, в основном, за счет допуска менее точного распределения, зная о том, что излишки не будут потеряны. Системы возвратных стоков дают возможность руководителям сохранять положительные изменения в системе, например, для сбора дождевых осадков, поскольку как дренажный сток, так и ирригационные излишки направляются обратно в ирригационную сеть.

Сбор воды и управление совместным использованием разных видов вод

Сбор воды в периоды выпадения осадков является одной из важных возможностей для управления водными ресурсами. Могут быть разработаны специальные эксплуатационные мероприятия для максимального сбора воды, одновременно не допуская переполнения канала. Совместное использование разных видов водных ресурсов (поверхностных вод, грунтовых вод и осадков) может обеспечить дополнительную гибкость для фермеров. Грунтовые воды часто используются для компенсации отсутствия гибкости или низкой эффективности работы в системе поверхностных вод. Пополнение грунтовых вод может быть задачей эксплуатации

канала. Районы, не имеющие доступа к дополнительному водоснабжению из грунтовых вод, должны рассматриваться с большим вниманием с точки зрения управления, чем районы, где насосные установки могут компенсировать недостаточность и/или ненадежность водоподачи.

Засоление почвы и воды, заболачивание

Повышение засоления почвы и минерализации воды, а также увеличение заболоченных площадей в засушливых регионах представляют собой экологические риски огромного значения. Они представляют серьезную угрозу для многих массивов орошения. При эксплуатации ирригационных систем должно приниматься во внимание территориальное распределение этих рисков, с тем, чтобы обеспечить избирательное водоснабжение, адаптированное к местным условиям. На практике, решения, в основном, принимаются для конкретных условий территории, а общие рекомендации получить трудно. Однако, как правило, при разделении орошаемой площади необходимо установить районы, куда следует обеспечить доставку пресной воды, и районы, где следует избегать чрезмерной фильтрации с тем, чтобы предотвратить подъем минерализованных грунтовых вод.

Многоцелевое использование воды

На многих массивах орошения вода используется не только для орошения сельхозкультур, но и на многие другие цели (Рисунок 56). Правила эксплуатации многоцелевой системы являются сложными из-за возможных конфликтов при установлении целей для различных видов водопользования, а также из-за отсутствия подходящих процедур учета. Многоцелевое использование воды может быть интегрировано в большей степени в сферу управления, независимо от того, рассматривались ли эти виды водопользования на стадии проектирования.

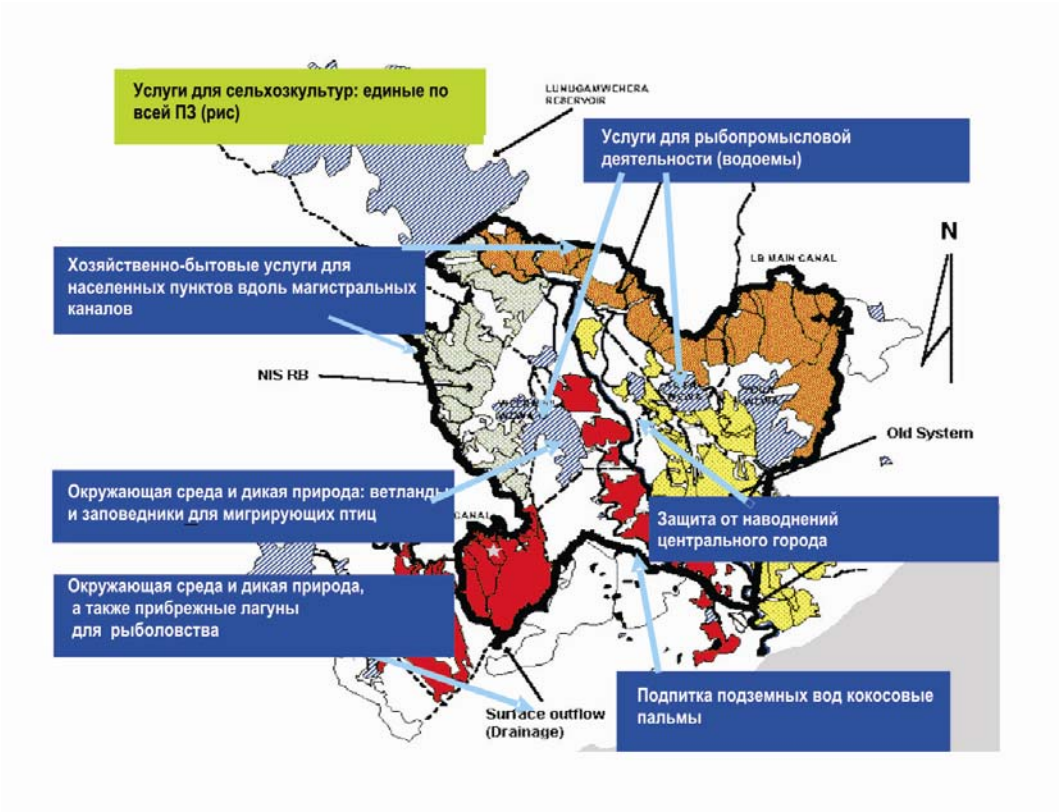
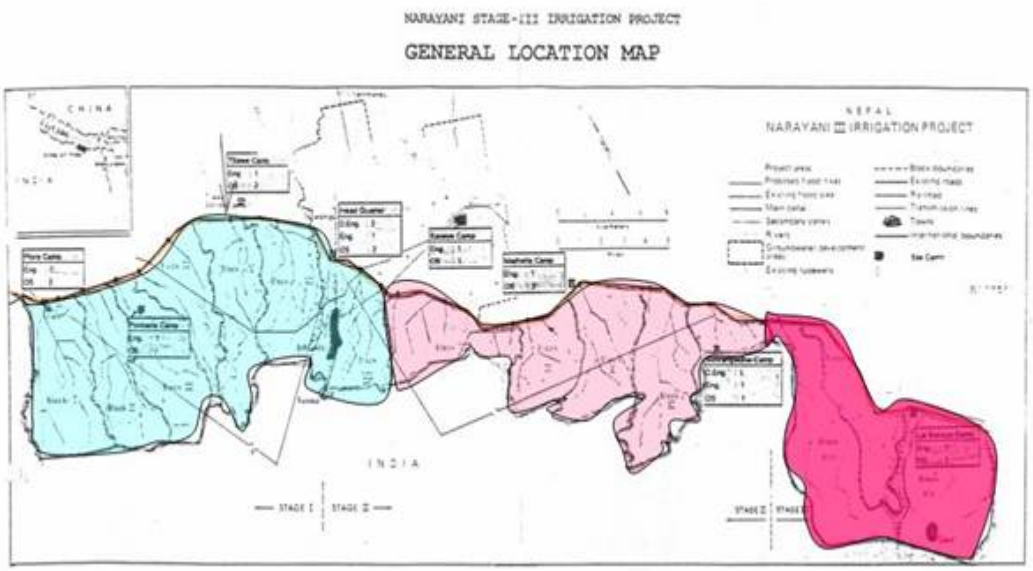


Рис 56 Пример разнообразных услуг по подаче воды с равномерным требованием для системы, специализирующейся на рисе, Шри-Ланка

Воздействие на здоровье

Несмотря на свое позитивное воздействие на экономику сельских районов и с точки зрения дохода для фермеров, орошение также иногда приводит к негативному воздействию на здоровье общества через трансмиссивные заболевания. Наличие воды в каналах в течение длительного времени может сказаться на репродуктивном цикле переносчиков болезней. Связь между функционированием системы и здоровьем населения может быть сильной. Рекомендации от экспертов в области здравоохранения сходятся к требованию большей изменчивости режимов стока в канале для того, чтобы, например, снизить размножение москитов. Однако существует явный конфликт между этими требованиями для борьбы с переносчиками болезней и целью управления ирригационной системой – стабильный сток и стабильная водоподача. Новые методы эксплуатации необходимы в тех районах, где размножение москитов связано с практикой орошения.

На рисунке 57 показан пример того, как услуги должны увязываться с водной обстановкой (управление грунтовыми водами). Нижняя часть (помечено красным) ирригационной системы Нарьяни (NIS) в Непале никогда должным образом не снабжалась оросительной водой из канала и, поэтому здесь была развита чрезмерная откачка грунтовых вод. Однако эта практика в результате привела к загрязнению воды, подаваемой на орошение и хозяйственно-бытовые нужды, мышьяком. Альтернатива грунтовым водам должна быть найдена через улучшение эксплуатации каналов. С другой стороны, часть системы в верхнем течении менее уязвима в отношении мышьяка, и, следовательно, в этом случае откачка воды для компенсации недостаточных услуг из канала является одним из вариантов, который мог бы рассматриваться менеджерами.



Примечание: Синий = верхнее течение и низкий спрос.
Красный = нижнее течение и высокий спрос.

Рис 57 Карта с указанием трех видов спроса на услуги по подаче поверхностных вод, вытекающих в результате загрязнение мышьяком ирригационной системы Нарьяни, Непал

КАРТИРОВАНИЕ ВИДЕНИЯ СХЕМЫ

По мере отображения (картирования) всех услуг, участников, пользователей и потребителей водохозяйственной схемы, складывается видение ирригационной инфраструктуры в сельском обществе. Поэтому в конце этого шага важно четко определить, какое это видение, поскольку оно будет одним из главных движущих факторов последующих шагов процесса MASSCOTE.

Конечно, видение будущего этой системы должно быть согласовано различными заинтересованными сторонами, участвующими в процессе модернизации. Поэтому на данном этапе можно говорить лишь о предварительном видении. Это видение должно охватывать сферу сельского хозяйства, а также сферу управления водными ресурсами. Вот некоторые примеры видений, которые были разработаны в ходе предыдущих семинаров по ПЭО:

- Интенсивное сельское хозяйство, специализирующееся на производстве высокотоварных сельхозкультур, основанное на справедливом доступе к источникам воды, при обеспечении эффективного и устойчивого функциионирования и управления услугами по подаче воды, при этом пользователи покрывают эксплутационные расходы в течении 10-ти лет.
- Сельское хозяйство, ориентированное на производство основных продуктов питания, опирающееся на низкозатратные услуги по водоснабжению.
- Проект, направленный на обеспечение устойчивости путем модернизации оборудования и управления в целях повышения качества услуг.
- Модернизация ирригационных систем для того, чтобы сделать их более эффективными, функциональными и ориентированными на обслуживание путем укрепления необходимой инфраструктуры и развития управленческого потенциала местных заинтересованных сторон при выполнении ими их обязанностей.
- Временное и территориальное распределение оросительной воды по времени и по площади в достаточном объеме, на надежной, справедливой и гибкой основе с тем, чтобы повысить эффективность орошения для увеличения производства сельскохозяйственной продукции и, тем самым, внести вклад в борьбу с бедностью.
- Управление водными ресурсами, ориентированное на обслуживание, которое обеспечивает справедливую и надежную подачу воды в целях улучшения уровня жизни населения.

Глава 11

Построение карт административных подразделений

Средние и крупные ирригационные системы обычно обслуживают тысячи Пользователей. Поэтому необходимы эффективная организация и разделение обязанностей между центральным административным подразделением проекта и многочисленными пользователями.

Разделение сферы управления и сферы эксплуатации должно выполняться по следующим критериям:

- однородность группирования пользователей и гибкость в предоставлении услуг для пользователей;
- эффективность управления, ответственность и профессионализм в определении разных уровней управления.

Эти два критерия могут быть противоречивыми, поэтому необходимо найти компромиссное решение между ними.

ПОДХОД/МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ

Одна из скрытых целей реформ в орошении, например, передача управления орошением, управление с вовлечением всех пользователей в принятие решений и/или программа модернизации, заключается в определении оптимальных административных подразделений, которые вероятнее всего дадут наилучшие результаты в смысле улучшения работы системы.

Это изменение играет важную роль – от одного центрального органа управления (ирригационное управление), занимающегося тысячами отдельных пользователей, к нескольким уровням и подразделениям управления с разными заинтересованными сторонами. При данном преобразовании важно четко определить задачу и разделение ответственности между различными субъектами новой структуры управления.

Организационное устройство и управление водой

Ирригационные системы можно подразделить на цепь гидрологических единиц управления водой и, тем самым, на цепь услуг по водоподаче:

Источник - сеть магистрального канала - водопользование/требования и распределение воды в подкомандной каналу зоне

На этом уровне услуги по водоподаче включают:

- получение воды (водозабор из источника);
- транспортировку воды (эксплуатация основной инфраструктуры для передачи воды в ПЗ, для различных видов водопользования и пользователей);

- вододеление и водораспределение между разными видами использования воды и водопользователями (т.е. сезонное водораспределение и права на воду).

Потенциальным поставщиком услуг является ирригационное/бассейновое управление, а потенциальными потребителями/пользователями:

- ирригационное управление или организация пользователей (сеть второго порядка);
- фермеры (конечные пользователи);
- природа и природоохранные организации;
- гидроэлектроустановки;
- коммунальные системы водоснабжения;
- рыбхозы, животноводство и т.д.

Оросительная сеть (от второго до третьего порядка)
На этом уровне услуги по водоподаче включают:

- краткосрочное планирование;
- подача воды и эксплуатация системы;
- сбор заявок на воду (от пользователей каналов третьего порядка);
- получение воды из магистральной сети;
- подача воды по согласованному порядку обслуживания.

Потенциальным поставщиком услуг на этом уровне является профессиональная ирригационная организация (желательно, принадлежащая фермерам), а клиентами – АВП на каналах третьего порядка и другие представители сектора.

Сфера водопользования
На этом уровне к задачам водоподачи относятся:

- четкое определение спроса на услуги и внесение соответствующих изменений;
- получение воды от оператора сети;
- управление и осуществление водоподачи, распределения и использования водных ресурсов в пределах данного уровня.

Существует множество вариантов подобной структуры управления, но мы не задавались целью предложить исчерпывающий обзор всех этих вариантов. Важным аспектом является четкое представление всех деталей подобной модели управления. Модель, приведенная в таблице 33, является предполагаемой моделью, на основе которой реализуется подход MASSCOTE. Однако это только один подход из многих.

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ УСЛУГ И УПРАВЛЕНИЯ

Как объяснялось в предыдущих главах, построение карт в рамках MASSCOTE в Фазе 1 состоит вначале из составления карты всей системы канала, включая:

- физические характеристики и мощности,
- потоки и назначения водного баланса,
- требования на услуги и требования к работе каналов.

Эта задача выполняется с учетом того, что допущение разнородности в рамках проекта является правилом, а не исключением. Результатом является база данных,

которая позволяет рассматривать всю систему, состоящую из многочисленных единиц с однородными характеристиками.

Таблица 33 Предполагаемая модель управления, применяемая в MASSCOTE, для крупной ирригационной системы

Уровень и сфера	Административное подразделение	Особенности	Размер
Управление водными ресурсами	В ведении государства	Регулирует управление водой и обеспечивает выполнение государственной политики	Бассейн
Управление магистральной системой	Администрация магистральной системы Автономный орган большой группы заинтересованных сторон	Высокоуровневая профессиональная организация, предоставляющая услуги местным организациям/пользователям	20 000 га и больше
Подсистема - каналы второго порядка	Местное водохозяйственное управление	Профессиональная организация под руководством местных заинтересованных сторон (гл.образом, фермеров)	1000-20 000 га
Местное распределение	Группа фермеров и пользователей	Размер этой группы определяется из соображений обеспечения социальной сплоченности	Менее 1000 га

Центральный вопрос управления и экономической эффективности работы относится к степени дифференциации.

Слишком большая дифференциация требований на услуги может привести к очень высокой стоимости эксплуатации (или даже к нереальным и несовместимым эксплуатационным требованиям), в то время как слишком маленькая дифференциация не отвечает потребностям в более подходящих услугах. Необходимо найти компромисс между управляемостью и дифференциацией услуг.

Для некоторых видов систем этот принцип дифференциации может быть применен, начиная от головы системы до конечных пользователей. Сюда относятся системы напорных трубопроводов, в которых отдельные фермеры могут настраивать режим услуги (давление, расход и время), который, по их мнению, наиболее соответствует их производственным условиям.

Однако в системах каналов этот принцип дифференциации очень часто ограничен из практических соображений и не может распространяться до уровня Пользователей, но значительно чаще до группы пользователей или до нижнего уровня системы каналов.

В данной главе рассматривается разделение всей области обслуживания на различные уровни территориальных и административных единиц с целью обеспечения эффективного управления и эксплуатации и улучшения обслуживания пользователей.

Данное разделение должно быть нацелено на определение административных подразделений вплоть до самого нижнего, которые будут управляться профессиональным персоналом. Размер этих подразделений зависит от сельскохозяйственных и экономических условий, с вариацией от одного до нескольких тысяч гектаров.

Количество уровней ирригационной системы при разделении определяется размером всей обслуживаемой территории. Очень большие системы, например, как в бассейне реки Инд на территории Пакистана (более 400 000 га ниже одного единственного водозабора по реке Инд), требуют несколько разных уровней, чтобы

достичь управления самой нижней административной единицы профессиональным персоналом.

ОБОСНОВАНИЕ РАЗДЕЛЕНИЯ: ГРУППИРОВКА И ДРОБЛЕНИЕ

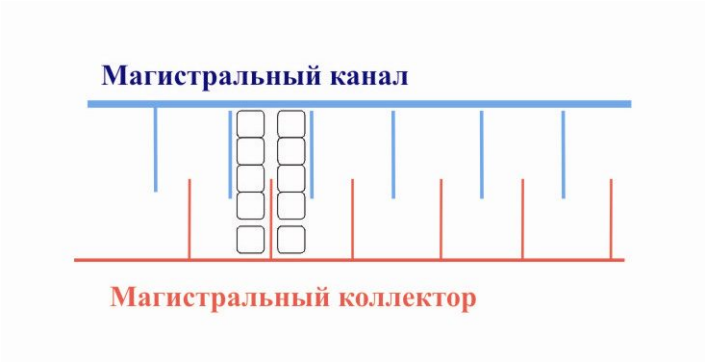
Разделение системы канала на управляемые территориальные единицы требуется для эффективного принятия решений и управления, способствующего улучшению водохозяйственного обслуживания. Основными параметрами разбиения на подразделения являются следующие:

- согласованность и ответственность за управление магистральной системой;
- экономическая эффективность: слишком много подразделений = дороговизна и хаотичность; слишком мало подразделений = низкая чувствительность;
- критический размер административных единиц: с позиции обеспечения эксплуатации профессиональным персоналом;
- компактность и чувство собственности у пользователей;
- внедрение концепций ИУВР: может потребоваться ввести множество видов водопользования и источников.

Процесс разбиения управления является двухсторонним:

- дробление ПЗ на небольшие единицы;
- группирование и обеспечение четкой ответственности за магистральную систему.

Таким образом, при рассмотрении нового деления управления обычно необходимо рассматривать два действия:



- группирование на магистральной системе, чтобы повысить оперативность (рис. 58 и 59);
- разделение ПЗ на профессиональные локальные единицы.

Рис.58. Варианты разделения: одна организация, обслуживающая многочисленные группы и работающая на базе ИУВР

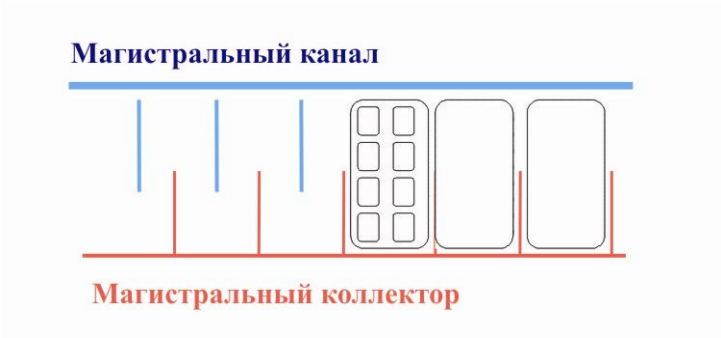


Рис.59 Варианты разделения: организация при магистральной системе, обслуживающая организации второго уровня, включающие несколько групп.

КРИТЕРИИ РАЗДЕЛЕНИЯ

Существует много критериев разбиения системы каналов, включая социальные сети и культурные аспекты.

Традиционно, в качестве основы для разделения используется иерархия канналов и гидрологические (гидрографические) единицы.

Однако есть и другие критерии, на которых должны основываться подразделения:

- управление с участием общественности и социальные накопления;
- территориальный разброс и требования к водохозяйственным услугам;
- управление совместным использованием поверхностных и подземных вод;
- многочисленные виды водопользования;
- условия дренируемости.

Иерархия каналов

Крупные ирригационные системы обычно подразделяются на более мелкие единицы управления, называемые трактами, блоками, подсистемами, часто исходя из иерархии каналов (магистральный, второго порядка, третьего порядка и т.д.). При едином органе, отвечающем за управление, легче всего разделить систему на подсистемы.

Разделение управления водой

Как было показано в Главе 2, ясно очерченные отдельные единицы управления могут изначально определяться на основе главных контрольных створов, где можно регулировать расход, т.е. где можно компенсировать колебания стока.

Если разделение проводится по организационным границам, субединицы управления должны соответствовать более широкому делению зоны обслуживания между: i) пользователями (группы пользователей, АВП и т.д.); ii) управлением магистральной системы – федерацией/АВП – группой фермеров – конечными пользователями.

При разделении по типу услуг необходимо учесть однородность предоставляемых услуг. Области с разными видами услуг должны по мере возможности отделяться. Примером разделения спроса по услугам в крупном проекте является проект NIS в Непале. В данном случае была составлена карта услуг, предоставляемых каналом, в зависимости от того, имелся или нет доступ к чистым подземным водам. Результаты картирования установили, что области, подверженные проникновению мышьяка, должны получать возможность наилучшего обслуживания (как показано на рис.57).

При делении по гидрологическим границам, необходимо определить пределы чувствительности в отношении взаимодействия между сетью поверхностных вод и подземными водами (ирригационные и дренажные системы, естественные водотоки).

Другими потенциальными пунктами технического разделения являются:

- хорошо измеряемые точки – они подходят для водозабора субединицы, так как расход точно известен;
- водосбросы;
- основная входная точка колебаний (флуктуаций);
- высокочувствительные регуляторы – они определяют изменения водного баланса в верхнем бьефе (даже небольшие изменения) и являются хорошими пунктами для контролирования нижнего бьефа субединицы;
- аккумулирование – позволяет буферизировать колебания расхода и возобновлять управление в нижнем бьефе.

РАЗДЕЛЕНИЕ ПО КРИТЕРИЮ ТИПОЛОГИИ ИРРИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Когда на национальном уровне имеется типология ирригационных систем, то выбранные критерии типологии стоит использовать как основные при разделении, при условии, что при составлении типологии ставилась та же цель, например, эксплуатация канала. Это повышает последовательность диагностики и предложенных решений.

Данный подход применялся в Шри-Ланке, где была разработана обобщенная типология (Renaut and Godaliyadda, 1998) для 64 систем среднего и большого размера. В целом был первоначально проверен и изучен 21 критерий. Далее они были сведены до четырех критериев. Типология определяет четыре основных вида систем:

- Водохранилище и система локальных накопителей: основным источником водоснабжения является водохранилище; локализованные накопители (промежуточные водохранилища) на уровне системы, однодамбовые каналы (поверхностный сток), при этом отсутствует возвратный сток.
- Водохранилище без системы локальных накопителей: основным источником водоснабжения является водохранилище; без локализованных накопителей, с однодамбовыми каналами и без возвратного стока.
- Система с водозабором непосредственно из реки: основной источник - водозабор из реки; имеет однодамбовые каналы, с или без локального накопления и возвратных стоков.
- Система возвратного стока: этот тип перегруппировывает ирригационные системы, где возвратный сток поступает обратно в систему, имеет однодамбовые магистральные каналы, получает воду из водохранилища или через водозабор из реки; имеется локальное накопление или оно отсутствует.

В результате применения данного подхода типологии к проекту KOISP было определено пять подсистем (со средним размером 2000 га) в пределах зоны обслуживания, которые можно рассматривать как однородные в отношении эксплуатации каналов. Характеристики этих подсистем обобщены в таблице 34, где также приводятся возможные стратегии улучшения управления.

Таблица 34
Ирригационные подсистемы, определенные в KOISP, и предлагаемые стратегии эксплуатации (Шри-Ланка)

Субединицы	Основные характеристики	Предлагаемые стратегии эксплуатации
LBO	Водохранилище-двухдамбовый канал-возвратный сток-повторное использование отсутствует	Контроль объема посредством мониторинга дренажного стока в море и работы над проблемами аккумулирования воды (промежуточные водохранилища).
RBO	Водохранилище-однодамбовый канал-нет возвратного стока-повторное использование отсутствует	Контроль расхода на каждом отдельном участке подкомандной зоны посредством мониторинга дренажного стока в реку и работы по водоотводам. Контроль объема по магистральному каналу.
LBN	Водохранилище-однодамбовый канал-нет возвратного стока-повторное использование в LBO	Контроль объема посредством мониторинга уровней воды в нижнем бьефе и работы с основным источником водоснабжения.
RBNT 1-2	Водохранилище-однодамбовый канал-нет возвратного стока-повторное использование в RBO-промежуточное накопление (в нижнем бьефе)	Контроль объема посредством мониторинга уровней воды в нижнем бьефе и работы с основным источником водоснабжения.
RBNT 5-6	Водохранилище-однодамбовый канал-нет возвратного стока-	Контроль расхода на каждом отдельном участке (тракте) подкомандной зоны посредством

Субединицы	Основные характеристики	Предлагаемые стратегии эксплуатации
	повторное использование отсутствует- промежуточное накопление (в нижнем бьефе)	мониторинга дренажного стока в реку и работы по водоотводам. Контроль объема между нижним водохранилищем и главным верхним водохранилищем.

ГРУППИРОВАНИЕ НА МАГИСТРАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ И РАЗДЕЛЕНИЕ ПО МЕСТНЫМ ОРГАНИЗАЦИЯМ

Создание новой системы деления на единицы управления подразумевает полную реорганизацию ПЗ. Пока магистральная система не реорганизована должным образом, не следует предпринимать попытки создания местных единиц управления.

В проекте KOISP структура управления перешла от фазы строительства с тремя единицами управления на уровне проекта: одна – для старой системы, другая – для правобережья нового канала и третья – для левобережья. В системе, которая является типично каскадной, где дренажный сток с одной единицы используется другими единицами ниже по течению, подобное разделение ответственности оказалось неэффективным и непродуктивным, и привело к большим потерям воды.

Первым решающим шагом в процессе модернизации была реорганизация управления в одно подразделение, рассматривая весь проект в виде притоков и оттоков. Вторым шагом было определение границ подразделений, исходя из повторного использования воды и сложности эксплуатации.

Аналогичный случай был обнаружен в ЛГК (Карнатака, Индия), где магистральная система была разделена на три части. Это деление оказалось неэффективным при пропуске воды пользователям низовьев, и пользователи хвостовой части столкнулись с трудностями, так как не знали, кто отвечает за данную ситуацию, и кому они могут жаловаться. В этой ситуации разделение только на местные организации не принесет ожидаемых результатов. Первой рекомендацией, сделанной властям, отвечающим за систему, было создание одного единого административного подразделения для всей магистральной системы (100 км). Пример предложения, сделанного управлению проекта, приведен в таблице 35 и на рисунке 60.

Таблица 35 Уровни управления на ЛБК

Существующая структура управления	Предлагаемая структура управления
Управление ЛБК 3 подразделения по 50 000 га	Водохозяйственное управления ЛБК - Karnataka Neeravari Nigam Limited (KNNL)
3 или 4 субподразделения: 10 000 га Сектора по 5 000 га Подкомитеты при распределительных каналах	Местные управления (заинтересованные стороны), обслуживающие водохозяйственные объединения, там, где они действуют или напрямую полевые группы на полевых оросителях
АВП (500 га)	Водохозяйственные объединения, обслуживающие группы фермеров
Группы водопользователей по полевым оросителям	Группы фермеров

ДИЛЕММА МЕЖДУ КОМПАКТНОСТЬЮ И ПРИНАДЛЕЖНОСТЬЮ КАНАЛОВ

Определение правильного размера субединиц для эффективного управления является непростой задачей. Это можно наблюдать на примере многих проектов, где в ходе ирригационных реформ были созданы АВП, и в их ведение были переданы функции по эксплуатации и техобслуживанию части систем, которыми по многим причинам сложно управлять. Подобную дилемму демонстрирует проект Синдх, Пакистан

(рис.61). На северо-западе обслуживаемой области первоначально были определены компактные подразделения с несколькими параллельными каналами, а на юге и востоке были установлены довольно протяженные административные подразделения вдоль одного канала. Во время проведения организационной реформы было обнаружено, что эти протяженные подразделения неэффективны. Сложно было организовать фермеров и обеспечить их регулярные собрания из-за времени, затрачиваемого на поездку. Операторам систем также трудно было эффективно эксплуатировать и управлять этими системами.

Другой пример дилеммы с размером субединицы показан в NIS, Непал, где в случае применения критерия принадлежности канала (второго порядка), это приведет к 22 подразделениям, большинство из которых будет слишком маленькими, чтобы можно было нанимать профессионалов.

Рис.60 Пример совмещенной группировки магистрального канала в одно подразделение и разделения на 11 местных организаций управления, ЛБК.

Рис.61 Административные подразделения Водохозяйственного управления территории Гохтки в Синдхе, Пакистан

ПРОЦЕСС ДЕЛЕНИЯ

В процессе определения административных подразделений следует учитывать различные аспекты разделения. Необходимо найти компромисс между соображениями гидравлики и социальными связями. Так как пользователи играют главную роль в УОО, компактность и социальные связи должны иметь приоритет при делении крупной системы на более мелкие административные подразделения.

Нет специальных научных или технических знаний, которые позволили бы заинтересованным сторонам понять, какой вид деления будет наилучшим для

управления. Однако разделение области обслуживания на субединицы управления должно быть итеративным, технически и социально обоснованным процессом. Затем предложение по разделению изучается на предмет этих обоих аспектов и, при необходимости, уточняется до стадии утверждения. Его необходимо протестировать на пилотном участке проекта или на репрезентативных системах.

ПРИМЕР ДЕЛЕНИЯ НА АДМИНИСТРАТИВНЫЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ: SMIS, НЕПАЛ

Текущее управление разделено на пять уровней (таблица 36). Считается, что слишком много уровней ведут к неэффективному управлению. В сущности, лучше будет сократить число уровней до трех.

Поскольку речь идет об управлении и эксплуатации, по-видимому, имеются основания для наличия двух профессиональных уровней для административных подразделений. Это то, что ввело Министерство ирригации в SMIS посредством Центральной координационной комиссии водопользователей (ЦККВП) в качестве профессиональной организации, отвечающей за водообеспеченность МКЧ и обслуживание большой профессиональной организации более низкого порядка – Координационной комиссии водопользователей (ККВП), по одной на каждый канал второго порядка (рис.62). В этой структуре ККВП охватывают площадь в несколько тысяч гектаров, и они отвечают за обслуживание более мелких подразделений, Комитетов водопользователей (КВП), около 300 га, с одновременным внедрением ИУВР.

Таблица 36 Существующая организационная структура SMIS

	Уровень системы канала
Группа водопользователей	Водовод
Комитет водопользователей или подкомитет водопользователей	Канал третьего порядка
Комитет водопользователей	Суб-канал второго порядкаl
Координационная комиссия водопользователей	Канал второго порядка
Центральная координационная комиссия водопользователей	Уровень системы

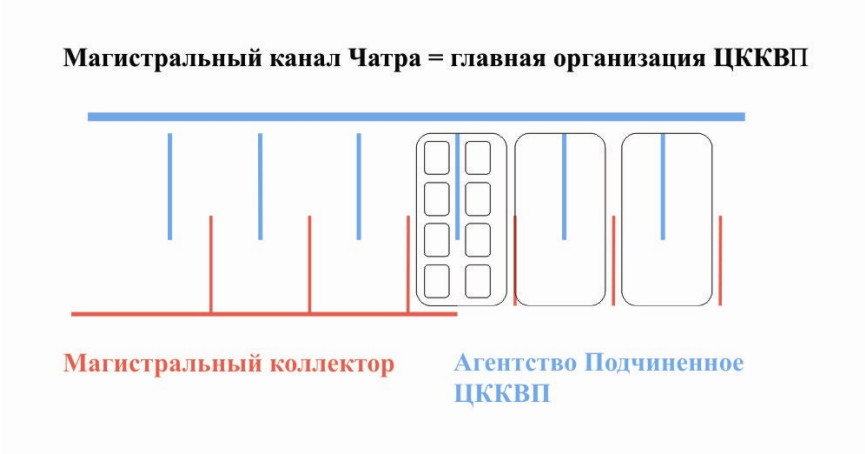


Рис.62 Структура управления SMIS Магистральный канал Чатра = главная организация ЦККВП

Здесь важный вопрос касается количества организаций второго уровня (ККВП).

Разделение ПЗ на практические административные подразделения должно проводиться с учетом каналов второго порядка. Однако это не означает, что подраз-

делений должно быть столько же, сколько крупных или мелких каналов второго порядка. Здесь необходимо использовать другие критерии, например размер и компактность ПЗ.

На данный момент менеджеры SMIS рассматривают деление на основе всех каналов второго порядка, включая мелкие. Поэтому всего будет 20 ККВП. В качестве границы раздела услуг разумно для каждой ККВП иметь только один отвод из магистрального канала. Однако ФАО считает, что этот вариант, возможно, создаст некоторые мелкие подразделения, которые окажутся нежизнеспособными, в то время как другие будут иметь критическую массу (площадь), позволяющую нанять профессиональный персонал.

ФАО предлагает рассмотреть наличие только семи ККВП, причем многие из них будут иметь несколько точек водовыделов из магистрального канала, и они будут достаточно большими для обеспечения усиленного управления. На рис.63 показаны карта ПЗ подразделений второго уровня для случая, если бы вся система была поделена на семь подразделений со средним размером 10 000 га каждое.

При разделении на семь подразделений, нижнее подразделение (ККВП-7) имело бы четыре средних канала второго порядка, забирающих воду из МКЧ. Для четкости управления предлагается прервать МКЧ выше ПР11 и передать в ведение ККВП завершающие участки МКЧ. Этот вариант будет сопровождаться строительством измерительного водослива выше ПР11, чтобы можно было замерять расход, достигающий ККВП-7.

В хвостовой части системы, вероятно, что колебания расхода повлияют на подачу в точку входа ККВП-7. Поэтому предлагается использовать магистральный канал в качестве контррегулирующей емкости, чтобы компенсировать ежечасные колебания.

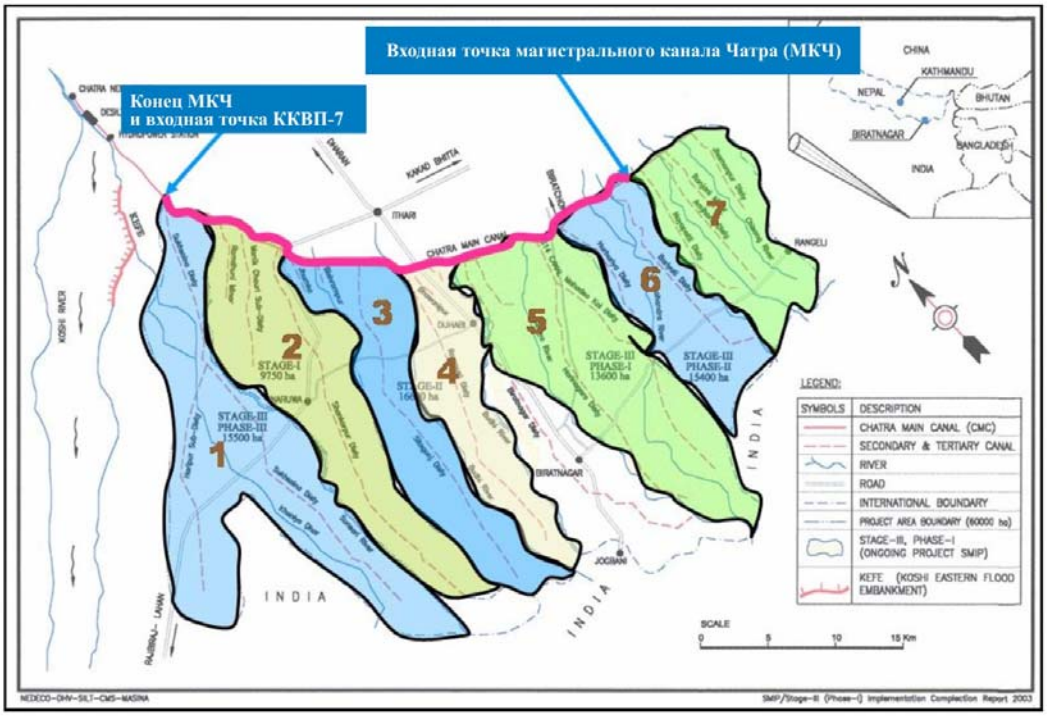


Рис.63 Предлагаемое деление SMIS на семь подразделений второго уровня

Глава 12

Картирование потребности в эксплуатации

Руководители ирригационных объектов размещают и распределяют ресурсы в пространстве, что в результате отражает качество обслуживания и затраты на эксплуатацию. Ограничивающими факторами, влияющими на качество и расходы по эксплуатации, являются: наличие персонала и его навыки; транспортные средства; и линии коммуникации. Перед тем, как приступать к выполнению программы по модернизации, необходимо достаточно точно оценить их текущее состояние и вероятные будущие сценарии.

Как и в иной деятельности, важно, насколько это возможно, привести в соответствие затраты и потребности. Предполагается, что, в основном, эксплуатационные требования распределены неравномерно в рамках конкретного объекта.

Определение потребности (требований) в эксплуатации включает в себя ответы на следующие вопросы:

- В каких услугах нуждаются различные группы пользователей?
- Как это связано пространственно, со временем и с эксплуатационными требованиями?
- Какие услуги могут быть предложены пользователям?
- Какой возможный перечень услуг и оплаты необходимо рассмотреть?
- Какому режиму эксплуатации необходимо следовать и с какой точностью?
- Какие помехи (нарушения) являются вероятными?
- Какова должна быть частота проверок и устранения неполадок?
- Какой набор инструментов требуется для контроля за обслуживанием?
- Каковы механизмы, гарантирующие предоставление услуг и оплаты за них?

Предложенный подход, представленный в общих чертах в этой главе, направлен на определение целей и уровня средств, которые должна включать в себя эксплуатация, наряду с анализом 3-х основных факторов: потребности в обслуживании, помех и чувствительности.

ТРИ ФАКТОРА ПОТРЕБНОСТИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

С точки зрения оператора или менеджера, эксплуатация канала может восприниматься как промышленный процесс. Затраты трансформируются в результаты (доставка воды пользователям) при помощи организации комплексного взаимодействия производственных элементов (каналы, сооружения, накопители стока и т.д.). Чтобы эффективно использовать средства, менеджеры должны проанализировать:

- Четкие потребности в эксплуатации и допустимые отклонения в соответствующих направлениях использования воды у пользователей – результат.
- Воздействие процесса принятия решений на результат – уязвимость результата.

- Характеристика сооружений, участвующих в процессе. Какого режима эксплуатации можно добиться? Каковы ограничения и возможности? – поведение системы.
- Изменчивость входных элементов (водообеспеченность и аккумуляция стока), частота и влияние помех на систему – вход и образ действий.
- Организационные и финансовые ресурсы, имеющиеся в наличии или необходимые для достижения требуемого уровня эксплуатационных качеств – структура управления, необходимая для поддержания существующего процесса.
- Требования, предъявляемые к организации процесса – правила, прозрачность и т.д.

Необходимо провести оценку требований к эксплуатации канала параллельно и вместе с определением услуг пользователям и заинтересованным лицам. Однако требования к эксплуатации канала не могут определяться напрямую лишь потребностями в обслуживании. Система представляет собой возможности и ограничения, которые обусловливают возможные режимы эксплуатации. Короче говоря, требования должны определяться по трем направлениям: (i) потребность в обслуживании; (ii) помехи; и (iii) чувствительность.

К области потребности в обслуживании относятся потребности, связанные с эксплуатацией канала и другие потребности. Многие из этих потребностей взаимосвязаны; они могут либо дополнять друг друга, либо конфликтовать друг с другом. Некоторые потребности могут быть, по-видимому, автономны, поскольку какая-то часть относится к водоподаче, какая-то - к потоку в каналах, а какая-то - к режимам работы инфраструктуры. Объединение этих потребностей позволяет сформулировать сценарии эксплуатации во времени и пространстве, что обеспечивает соответствующее снабжение уязвимых территорий в соответствии с ключевыми переменными потребностей в обслуживании.

Как только четко сформулированы сценарии потребности в обслуживании, зона помех очерчивает граничные условия со стороны ресурсов. Зона помех имеет отношение к частоте и амплитуде возникновения колебаний уровней и расходов воды в подсистеме, и она позволяет оценивать стабильность обслуживания с точки зрения потребностей. Поскольку ирригационные системы являются предметом воздействия постоянных изменений условий стока, как запланированных, так и незапланированных, требуемого обслуживания добиться не легко. Эта область определяет режим наблюдений, измерений и регулирования внутри системы, для того чтобы гарантировать водоснабжение.

Область чувствительности характеризуется физическими свойствами системы транспортировки и распределения. Образ действий ирригационных систем в процессе эксплуатации и под воздействием колебаний уровней и стока воды определяется реакцией системы при неустановившемся движении потока в отношении потребностей в обслуживании. Эта область определяет требуемую точность контроля.

Оценка требований к эксплуатации канала должна включать в себя все эти частично совпадающие области. В эту схему могут быть включены технические, организационные и финансовые граничные условия, и необходимо найти компромиссы.

СЛУЖБА ДОСТАВКИ ВОДЫ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ КАЧЕСТВА И КОНТРОЛЬ ЗА СТОКОМ

Служба доставки воды, контроль за стоком и эксплуатационные качества в действительности связаны. Это можно показать на примере распределительного сооружения (водовыпускного регулятора), если обратить внимание на требования к обслуживанию и эксплуатации. Для подводящего сооружения (Рисунок 64),

установлены уровень воды в старшем канале ($H_{ВБ}$), напор в сооружении (разница между уровнем воды в верхнем и нижнем бьефах) и, следовательно, расход (q) через открытый затвор.

Колебания уровня воды в старшем канале вызывают изменения напора и расхода через затвор. Как описано в Главе 6, для чувствительного водовыпускного регулятора незначительные колебания уровня воды вызовут большие колебания расхода, в то время как для низко чувствительного водовыпускного регулятора, уровень воды может сильно меняться без существенного изменения расхода q. Следуя Главе 6 (в которой показана четкая связь между допустимыми изменениями расхода, чувствиительностью и управлением глубиной воды), предоставленную услугу в данном случае можно выразить как:

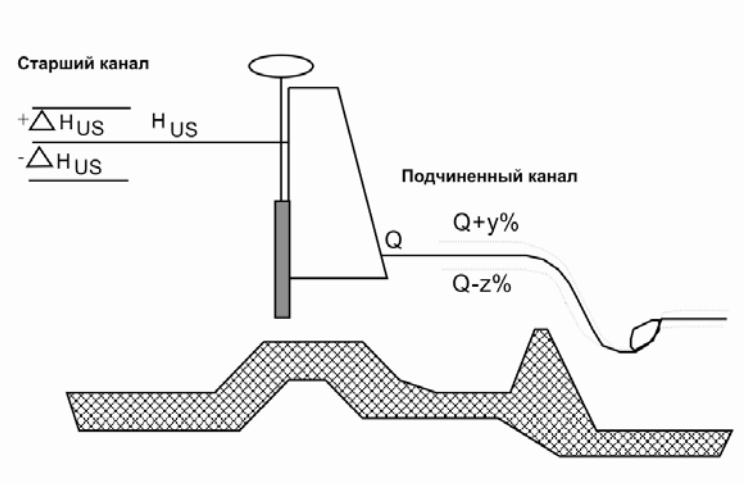


Рис 64 Подводящее сооружение как связующее звено между обслуживанием и управлением

где y и z – рассматриваемые допустимые отклонения факторов: соответствие требованиям и эффективность функционирования, соответственно. Соответствие требованиям и эффективность в основном противоположны друг другу – там, где один из этих факторов выше, другой – ниже. Значения y и z необязательно одинаковые. Например, можно было бы допустить высокое значение для y (избыток), в то время как величина z (дефицит) должна сохраняться более низкой для того, чтобы не накладывать слишком большие штрафы на пользователей (Рисунок 65).

Если предположить, что регулирования при помощи затворов нет, колебания будут иметь место вследствие изменения уровня воды в старшем канале. Изменение расхода зависит от чувствительности сооружения и изменений напора: Колебания или изменение напора H $\rightarrow$Чувствительность $\rightarrow$Колебание расхода Q.

Если сооружение подтоплено, условия в нижнем бьефе также влияют на расход. В расчеты показателя чувствительности должна быть внесена поправка на подтопление со стороны нижнего бьефа. Однако, в большинстве случаев, поправка не нужна.

При помощи уравнения, обратного уравнению чувствительности, требуемая точность контроля за уровнем воды в старшем канале ($\Delta H_{ВБ}$) рассчитывается как:

$$\Delta H_{\text{ÂÁ}} = \frac{Tolerance(Q)}{S} \qquad (18)$$

где: S – чувствительность водоотвода; а y и z в % - допустимое изменение расхода (Q) (Q – это обозначение расхода/скорости потока).

$H_{ВБ}$ в старшем канале должен регулироваться таким образом, чтобы расход оставался в определенных пределах ($Q + y$ %; $Q - z$%). Эта цель обслуживания может быть преобразована затем в требование на регулирование в этом отдельном пункте канала.

Уравнение 18 выражает допустимое для отдельного сооружения изменение уровня воды (в пределах которого он может колебаться) в старшем канале. Это

впоследствии должно быть преобразовано в требование на регулирование для близлежащего регулятора в нижнем течении. Управление уровнем воды в канале складывается с учетом совместного влияния гидравлических характеристик поперечного сечения канала, характеристик регулятора и периодической эксплуатации сооружений, относящихся к поперечным шлюзам-регуляторам. Точность, с которой заданные уровни воды контролируются на поперечных шлюзах-регуляторах (ΔH) – это показатель режима эксплуатации, напрямую зависящий от управления.

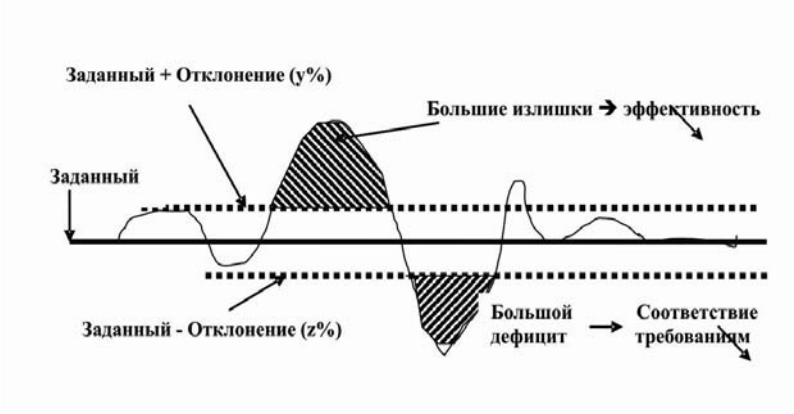


Рис 65 Соответствие требованиям и эффективность, их связь с допустимыми отклонениями

СФЕРА ПОТРЕБНОСТИ В ОБСЛУЖИВАНИИ

Сфера потребности в обслуживании имеет отношение к возможностям, ограничениям и влиянию эксплуатации при различных пространственных и временных масштабах. На потребности в обслуживании, установленные пользователями или другими заинтересованными лицами, может оказать положительное или отрицательное влияние эксплуатация канала. Некоторые потребности более чувствительны в отношении эксплуатации, нежели другие. Уязвимыми периодами могли бы быть посадка риса или цветение плодовых деревьев. И, наоборот, на области или периоды с низкой уязвимостью лишь слегка воздействует низкокачественная эксплуатация.

Потребностям в обслуживании при высокой уязвимости необходимо придавать больший вес при оценке сценариев. Несмотря на это, и потребности, и уязвимости должны рассматриваться в договоре на обслуживание. Потребности и уязвимости (и, таким образом, уровни допустимых значений) для различного вида использования воды должны обсуждаться пользователями наряду с определением услуг.

Сфера потребности в обслуживании имеет отношение не к установлению уязвимостей, а к реагированию на эти потребности. Она направлена на то, чтобы исследовать какие режимы эксплуатации могут предоставить хорошее обслуживание по наибольшему количеству потребностей рентабельным и эффективным способом. Поэтому потребности в обслуживании не ограничиваются оросительной водой для сельхозкультур и включают в себя рассмотрение более масштабных воздействий управления водой.

Некоторые более широкие аспекты управления водой, которые должны картироваться в качестве областей уязвимости, включают то, что обсуждалось в Главе 11:

- качество воды;
- повторное использование оросительной воды;
- накопление воды и совместное управление;
- засоление почвы, минерализация воды и заболачивание;
- многоцелевое использование воды;
- влияние на здоровье.

К этому следует добавить: расположение внутри системы. Влияние эксплуатации сооружений, расположенных в голове ирригационной системы, более значительно. Поэтому место расположения включено в анализ на уязвимость. Изучение каждого аспекта области потребности в обслуживании ведет к оценке совокупного спроса на эксплуатацию канала, а также областей уязвимости. На основе такой оценки поставщик услуг может наметить структуру плана эксплуатации. Логическое обоснование состоит в том, что высоко уязвимые области требуют обслуживания высококачественной водой, в то время как низкокачественное обслуживание может быть удовлетворительным для мало уязвимых областей. Пространственные и временные характеристики области потребности в обслуживании могут быть преобразованы в эксплуатационные сценарии со специфическими целями водоснабжения, которые можно частично представить в количественном выражении такими показателями практической реализации как соответствие требованиям, эффективность, надежность, своевременность и справедливость. Однако, некоторые потребности не связаны с водоподачей (например, влияние на здоровье, безопасность и эффективность эксплуатации канала). Они больше относятся к режиму эксплуатации, нежели к качеству водоподачи.

ОБЛАСТЬ НАРУШЕНИЙ

Ирригационные системы открытых каналов являются гидравлически сложными. Вообще, эксплуатация сводится к контролю за уровнем воды на поперечных шлюзах-регуляторах с помощью которых пытаются поддерживать стабильным уровень воды и, следовательно, расход в водоотводящих сооружениях. Однако, установившийся профиль уровня воды едва ли когда-нибудь встречается в ирригационных системах из-за колебаний стока в верхнем бьефе и накладывающихся друг на друга эффектов от оперативного вмешательства внутри системы. Следовательно, даже если все затворы правильно установлены, эксплуатация является нескончаемой проблемой, а регулирующие сооружения должны постоянно отлаживаться для того, чтобы соответствовать потребностям.

Нарушение/изменение режима в данном месте определяется как значительное изменение текущего расхода. Изменения стока могут быть связаны с запланированными изменениями водоподачи, или неожиданными, или временными изменениями. Нарушения, связанные с последним видом, являются более трудными для безошибочного управления, поскольку их нельзя точно предсказать. У управления колебаниями две основные цели:

- обеспечить прохождение изменчивого стока без неблагоприятного влияния на поставку воды;
- гарантировать, что изменения режима находится под контролем, при котором компенсируется дефицит воды, если изменение отрицательное, или аккумулируются избытки, если оно положительное.

Для достижения этих целей существует два варианта:

- Создать такую инфраструктуру, которая бы автоматически реагировала на изменения режима, т.е. излишки воды автоматически направлялись бы в области, которые способны аккумулировать или с пользой использовать воду.
- Обнаруживать колебания уровней и иметь надлежащий набор процедур для ответных действий операторов.

С целью анализа, область нарушений разделена на две части: (i) образование; и (ii) распространение. Их можно также назвать «действующими» и «реагирующими» процессами (Глава 3).

Действующие и реагирующие процессы могут быть проанализированы по трём направлениям:

- случаи колебаний, вызванные возвратным стоком, несанкционированной эксплуатацией сооружений, и отклонением в уставке регуляторов;
- частота случаев;
- наблюдаемая амплитуда колебаний.

Случаи с нарушениями режима работы системы канала во многом определяются характеристиками сети системы канала. Определяющими статическими характеристиками являются: источник снабжения; гидравлическая схема и изменчивость расходов воды; взаимосвязь с другими сетями, такими как дренажная сеть; нерегулируемый возвратный сток и т.д.; и число и тип водовыпусков и регуляторов. Вторая причина нарушений – работа самой ирригационной регулирующей системы. Эксплуатация водовыпусков и регуляторов вызывает переходные условия в сети, наподобие каких-то препятствий потоку, водозабору и отклонения, либо запланированные, либо несанкционированные. Сложность системы распределения и механизмов контроля за отведением и изъятием воды имеют значительное влияние на уровень колебаний.

Расположение сети является определяющим фактором частоты и амплитуды случаев нестационарности и частично проясняет хорошо известную проблему ирригационных систем - «голова/хвост». Вообще, отклонения от запланированных поставок воды гораздо существенней и случаются гораздо чаще в хвостовой части системы. Незначительные отклонения в голове канала усиливаются из-за любой незначительной ошибки управления гидроузлами системы. Более того, как только затворы выставлены, определяющими факторами ослабления или усиления колебаний и их распространения в системе будут чувствительность и уязвимость сооружений.

Всякий раз, когда имеет место изменение в распределении, следует ожидать колебаний уровней. Поэтому, планирование и политика распределения (по запросу, систематизированное требование или очередность) являются ключевыми определяющими факторами частоты и возникновения колебаний. Чем больше уязвимость предоставляемого обслуживания, тем чаще будет изменяться сток в каналах ирригационной системы. Надлежащее рассмотрение влияния уязвимости обслуживания на область нарушений режима эксплуатации канала является существенным для определения особых режимов эксплуатации и характеристик сооружений, необходимых для приемлемого качества эксплуатации.

ОБЛАСТЬ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Для эксплуатации канала важен анализ чувствительности сооружений и их влияние на распространение или ослабление неустановившихся потоков, поступающих в систему каналов. Область чувствительности анализирует поведение сооружений и подсистем во время распространения нестационарных условий. Она обобщает результаты анализа чувствительностей (Глава 6). При отсутствии оперативных вмешательств, развитие колебаний в подсистеме идет по кривой спада, которая обобщает чувствительность транспортировки на участках и связанных с ней сооружениях.

КАЧЕСТВЕННЫЙ ПОДХОД К КАРТИРОВАНИЮ ПОТРЕБНОСТИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ КАНАЛА

Обозначенные выше три области должны совместно использоваться для картирования потребности в эксплуатации канала. Причина состоит в следующем: чем существенней потребность в обслуживании, колебания уровней и чувствительность, тем выше потребность в эксплуатации канала. Это можно представить в виде связи: потребность в эксплуатации = обслуживание × колебания уровней/расходов ×чувствительность.

Существуют некоторые оговорки для этого общего уравнения, например, когда высокое значение критерия не приводит к высокой потребности. Это тот случай, когда высокочувствительные сооружения (участок или водовыпуски) используются для отвода существенных изменений/колебаний стока на территории, когда штрафные санкции не предъявляются ни за избыток воды, ни за ее временный недостаток.

Простой путь объединения всех трех областей в потребность в эксплуатации канала состоит в перемножении основных показателей с 1-го по 4-ый, как показано в таблице 37.

Таблица 37

Суммирование основных показателей для оценки потребности в эксплуатации канала

	Потребность в обслуживании	Колебания уровней/расходов	Чувствительность		Результат	Потребность в эксплуатации канала
Низкий	1	1	1		От	1-4
Средний	2	2	2	→	1	4-16
Высокий	3	3	3		До	16-27
Очень высокий	4	4	4		64	27-64

Обслуживание систематизировано от низкого до очень высокого (1–4); 1 - низкое обслуживание, это может быть обслуживание засухоустойчивых сельскохозяйственных культур на территориях, у которых есть возможность использовать альтернативные источники воды в случае крайней необходимости, в то время как 4 – может означать обслуживание чувствительных сельскохозяйственных культур на территориях, где нет альтернативных источников воды. Колебания уровней/расходов также классифицируются от 1 до 4 в зависимости от их частоты и амплитуды. С целью логической связи с другими основными показателями чувствительность была классифицирована заново, а именно: 1 – при показателе чувствительности (S) (Глава 6), равном или меньше 0.5; 2 - если он лежит в интервале от 0.5 до 1; 3 – если S находится между 1 и 2 и 4 - если S выше 2. Подобным образом агрегированная потребность классифицирована заново как «низкая» при результате между 1-4, «средняя» - между 4 и 16, «высокая» - между 16 и 27 и «очень высокая» - между 27 и 64.

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ЭКСПЛУАТАЦИИ КАНАЛА

Более точные в количественном выражении показатели для эксплуатации могут быть получены из области потребности в обслуживании. В процессе необходимо рассмотреть как поставку воды для орошаемых сельскохозяйственных культур, так и управление водой в более широком аспекте. В данном случае рассматриваются лишь основные показатели, а именно: соответствие требованиям, эффективность и своевременность. Для того чтобы облегчить анализ, предпочтительно преобразовать показатели работы в допустимые отклонения, имеющие отношение к целям. Таким

образом, характеристику работы в отношении соответствия требованиям и эффективности можно суммировать при помощи функции расхода в данном месте, который должен поддерживаться на уровне между «заданной величиной - z%» и «заданной величиной + *y*%»:

$$\mathrm{Tol}(Q) = {}^{+y\%}_{-z\%} \qquad (19)$$

Где: z – это способность территории приспосабливаться к дефициту воды (*z* напрямую относится к показателю о соответствии требованиям и включает в себя вопросы по водоподаче); а *y* выражает способность подсистемы приспосабливаться к избытку воды (положительные колебания уровней/стока воды). Похожее уравнение можно представить для своевременности.

Связь между обслуживанием, ирригационными технико-экономическими показателями и целями эксплуатации, проиллюстрированными выше на простом примере, может быть представлена в виде схемы, как показано на рисунке 66. Эта связь указывает на то, что требуемая точность работы сооружения является результатом допустимых изменений поставки и чувствительности сооружения.

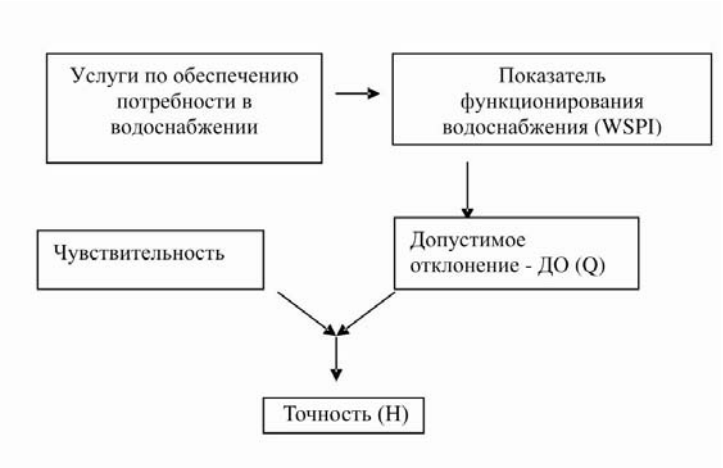


Рис 66 Функциональная связь между уязвимостью, чувствительностью и характеристиками обслуживания

Потребность в эксплуатации можно вывести из ранее обозначенных связей путем преобразования допустимых изменений расхода в допустимые изменения глубины воды или какие-то другие характеристики сооружения. Связь между эксплуатацией и ирригационными характеристиками можно установить посредством общих связей:

$$\left.\begin{array}{l}\text{Потребность в услугах}\\ \text{в услуггах}\left\{\begin{array}{c}\text{Требование на воду}\\ \text{орошеение}\\ \text{управление водой}\end{array}\right.\end{array}\right\} \Rightarrow \text{Потребности} \Rightarrow \text{WSPI} \Rightarrow \left\{\begin{array}{c}\text{ДО}(Q)\\ \text{ДО}(T)\end{array}\right\} \times \left\{\text{Чувствительность}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{c}\text{ДО}(H)\\ \text{ДО}(\text{уст})\end{array}\right\} \qquad (20)$$

Связи в уравнении 20 выражают идею о том, что показатель водоснабжения является результатом допустимых отклонений при эксплуатации инфраструктуры и чувствительности самих сооружений (таблица 38).

Таблица 38

Примеры чувствительности, допустимых изменений и точности регулирования

Чувствительность сооружений (S) ($м^{-1}$)	Допустимое изменение расхода (α) (%)	Точность регулирования ($\Delta H_{ВБ}$) (м)
0,5	±10	±0.2
Низко чувствительные	±20	±0.4
1	±10	±0.1
Средне чувствительные	±20	±0.2
2	±10	±0.05
Высоко чувствительные	±20	±0.1

УПРАВЛЕНИЕ КОЛЕБАНИЯМИ СТОКА

Разумеется, что при оценке эксплуатационных требований используются как количественные, так и качественные подходы. Цель качественного подхода – определить качественные особенности подсистем, влияние которых на потенциальные оперативные стратегии значительно. Все вышеупомянутые особенности необходимо рассмотреть, и их можно использовать для классификации требований к эксплуатации: низкие, средние или высокие.

Такая классификация может способствовать более подходящему распределению усилий по эксплуатации в рамках объекта. Цель количественного подхода (т.е. определение планов эксплуатации и уровня допустимых изменений) заключается в том, чтобы определить в договоре об обслуживании планы эксплуатации таким образом, чтобы можно было проводить мониторинг и контроль.

Важным аспектом эксплуатации канала является управление колебаниями (колебаниями стока). Целью управления является повышение эффективности управления водой (например, сбора дождевой воды) наряду со сведением к минимуму влияния колебаний на доставку воды. Этот процесс соединяет в себе возможности управления колебаниями (аккумулирование или эффективное использование излишков воды) и вероятность и амплитуду их возникновения:

$$\text{Колебания стока}\left\{\begin{matrix}\text{Возможност и для}\\ \text{управления колебания стока}\end{matrix}\right\}\times\left\{\text{Колебания стока}\begin{matrix}\text{Вероятност ь}\\ \text{Амплитуда}\end{matrix}\right\}\Rightarrow\left\{\begin{matrix}\text{Режимы экспл.}\\ \text{Частота}\end{matrix}\right\} \qquad (21)$$

Это позволяет выбрать подходящий режим работы и частоту эксплуатации, в зависимости от ожидаемой частоты колебаний, как показано на Рисунке 67.

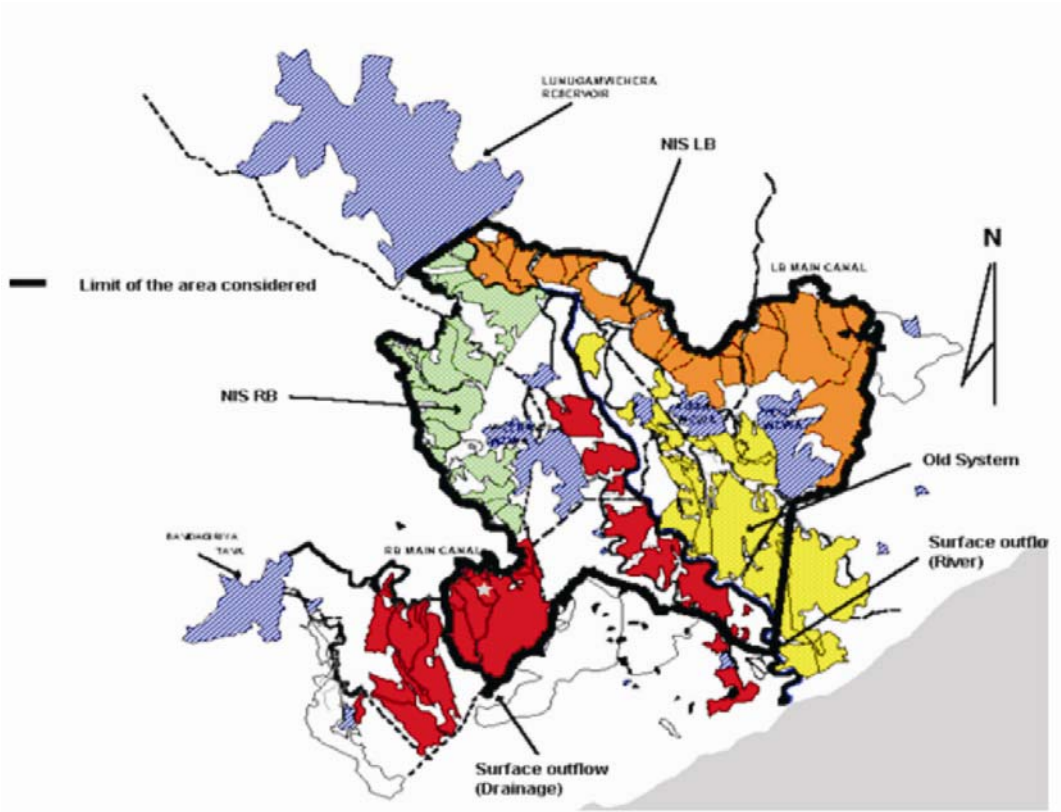
Частоту/регулировки эксплуатации можно представить в виде:

Частота (регулировка/ эксплуатация) = Частота колебаний $\times$ Амплитуда колебаний $\times$ Чувствительность регулятора.

Рис 67 Функциональная связь между уязвимостью, колебаниями стока и режимами эксплуатации

КАРТИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ: ПРИМЕР

Картирование потребности в эксплуатации можно представить на примере KOISP, когда использование методологии в итоге привело к появлению 4-х категорий потребностей в обслуживании (Рисунок 68).



Примечание: Высокая потребность – красный цвет; низкая потребность – зеленый цвет.
Источник: Ренаулт и Макин, 1999

Рис 68 Применение метода потребностей для картирования эксплуатации канала на рисовой системе в Шри Ланке

Колебания стока

Четыре подсистемы снабжаются из водохранилища, следовательно, в основном потоке ожидаются незначительные колебания стока. Однако три основных канала являются однодамбовыми и поэтому в период дождей могут наблюдаться колебания, вызванные стоком дождевых осадков. Одна из подсистем (Левый Берег Старый [LBO]) является подсистемой возвратного стока; следовательно, колебания расхода внутри ПЗ обусловлены изменениями возвратного стока.

Сеть

В трех подсистемах нет повторного использования и поэтому они должны эксплуатироваться с осторожностью, поскольку дренажный сток фактически теряется, стекая в море. С другой стороны, Правобережный новый канал впадает в водохранилище, расположенное в нижнем течении, которое может компенсировать любые ошибки эксплуатации. Таким образом, для каждой подсистемы можно выполнить анализ влияния эксплуатационных характеристик.

Чувствительность

Чувствительность водоотводов RBN (средняя чувствительность, S=1.3) отличается от чувствительности каналов LBN и RBO, которые относятся к высоко чувствительным (средняя = 2.4 и 2.2 соответственно). Это означает, что одно и то же отклонение глубины воды вызовет отклонения расхода, величина которых в два раза больше в LBN и RBO, чем в RBN.

Анализ распределения ресурсов в сравнении с потребностью в эксплуатации

В качестве переходной ступени между определением потребности в эксплуатации и ее усовершенствованием, очень полезно провести анализ текущего распределения ресурсов в системе, сравнивая его с потребностью в эксплуатации. Такой анализ приводит к выявлению недостатков и искажений и позволяет выработать предложения по усовершенствованию эксплуатации путем простого перераспределения объемов в процессе эксплуатации системы.

Такой анализ показан на том же примере KOISP, при более внимательном рассмотрении Правобережного магистрального канала. Первоначальное размещение операторов по Правобережному магистральному каналу (RBMC) было сделано по гидроучасткам: 4 оператора для гидроучастков 1 и 2; 5 операторов для гидроучастка 5; и 3 оператора для гидроучастков 6 и 7, которые принимались за одно целое (Таблица 39). Площадь, обслуживаемая каждым из гидроучастков, приблизительно одинакова (850–1 000 га), в то время как площадь, обслуживаемая одним оператором, колеблется (213–300 га). Количество сооружений, приходящихся на 1 оператора, практически постоянно. Приведенные цифры показывают, что распределение сил в зонах обслуживания (площадь и количество сооружений на 1 оператора) практически однородно.

Таблица 39
Распределение ресурсов и трудозатрат в RBMC и KOISP, Шри Ланка

Гидро-участок	Количество операторов затворов	Зона обслужи-вания (га)	Площадь на дного оператора (га)	Количество регуляторов	Число Водо-отводов	Кол-во сооружений на одного оператора	Уровень потребности в экс-плуатации
1	4	851	213	3	10	3.25	Низкий
2	4	868	217	6	10	4.00	Низкий
5	5	1005	200	5	14	3.80	Очень высокий

Гидро-участок	Количество операторов затворов	Зона обслужи-вания (га)	Площадь на дного оператора (га)	Количество регуляторов	Число Водо-отводов	Кол-во сооружений на одного оператора	Уровень потребности в экс-плуатации
6-7	3	896	300	4	8	4.00	Очень высокий

На рисунке 69 представлен график эксплуатации затворов на поперечных шлюзах-регуляторах. Он показывает, что между гидроучастками существует различие, внутри же каждого гидроучастка оно не выходит за определенные границы. Для 1 и 2 гидроучастков, число, показывающее сколько раз регулировались затворы, находится в пределах 30-38 за сезон. Для гидроучастка 5 оно больше по величине (среднее=44) и амплитуде (33–52). Для гидроучастков 6-7 среднее равно 38, а разброс – выше (20–60).

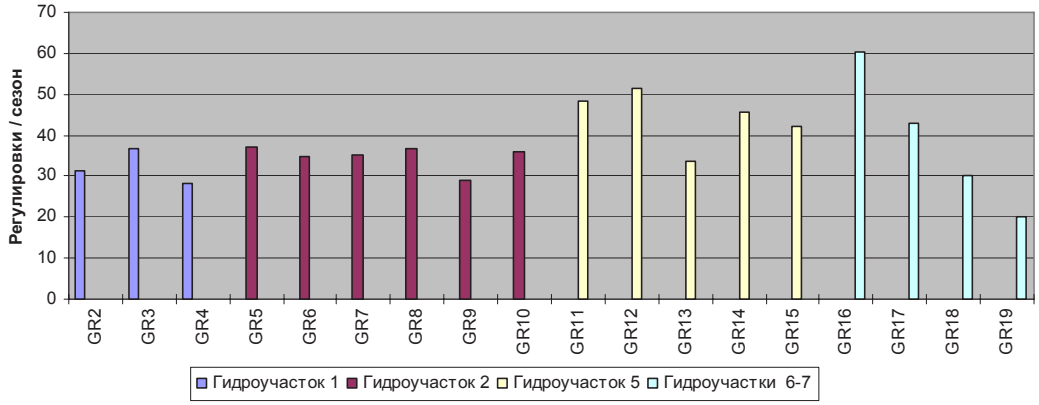


Рис 69 Частота регулировки затворов на поперечных шлюзах-регуляторах, в среднем за 6 сезонов, RBMC, KOISP

Среднее число регулировок сооружений более изменчиво, оно уменьшается от 60% за сезон для гидроучастка 1 до 34 – для гидроучастка 5 (Рисунок 70). Это говорит о значительной изменчивости качества эксплуатации, которое подтверждается анализом изменения глубины воды выше каждого водоотвода, и, как следствие – изменением расхода (Рисунки 71 и 72).

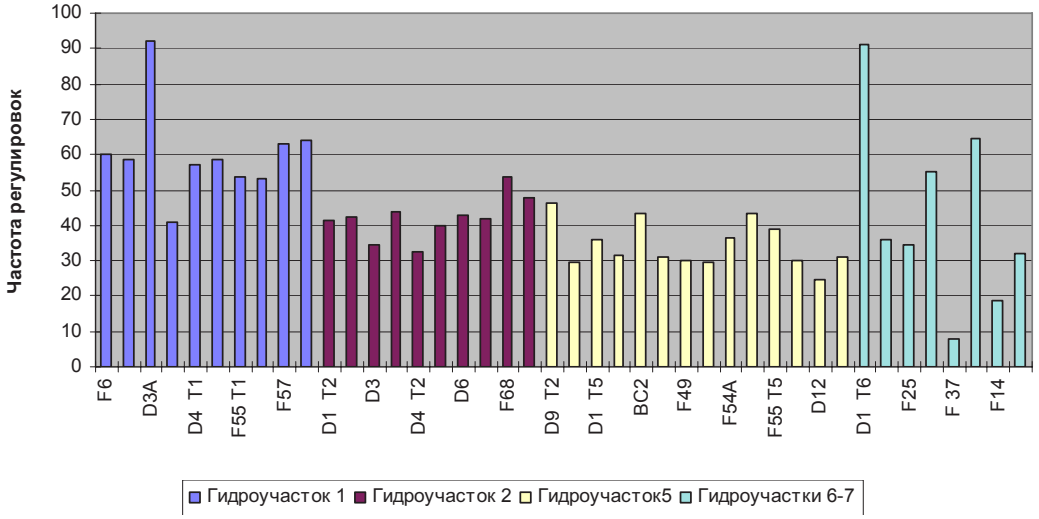


Рис 70 Частота регулировки водоотводов-водовыпусков, средняя за 6 сезонов, на RBMC, KOISP

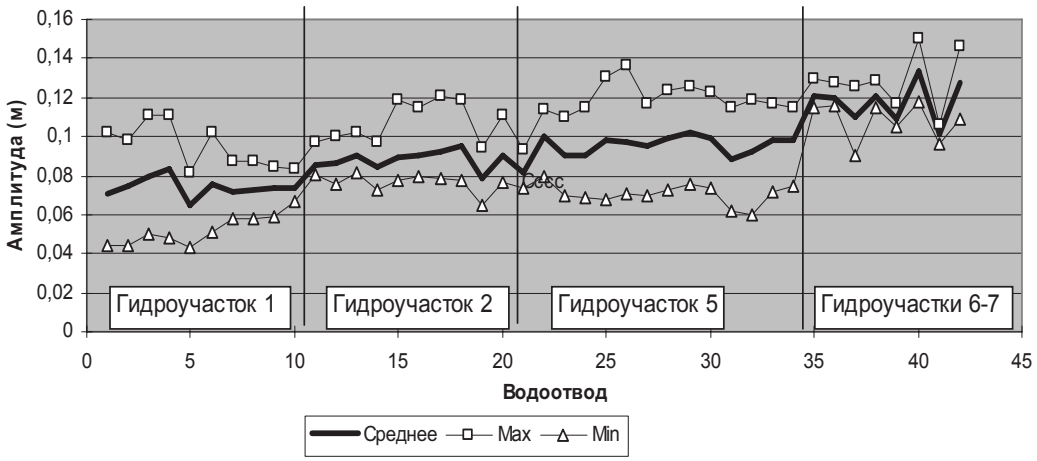


Рис 71 Сезонное стандартное отклонение уровня воды в верхнем бъефе водоотводов-водовыпусков, максимум, минимум и среднее за 6 сезонов, RBMC, KOISP

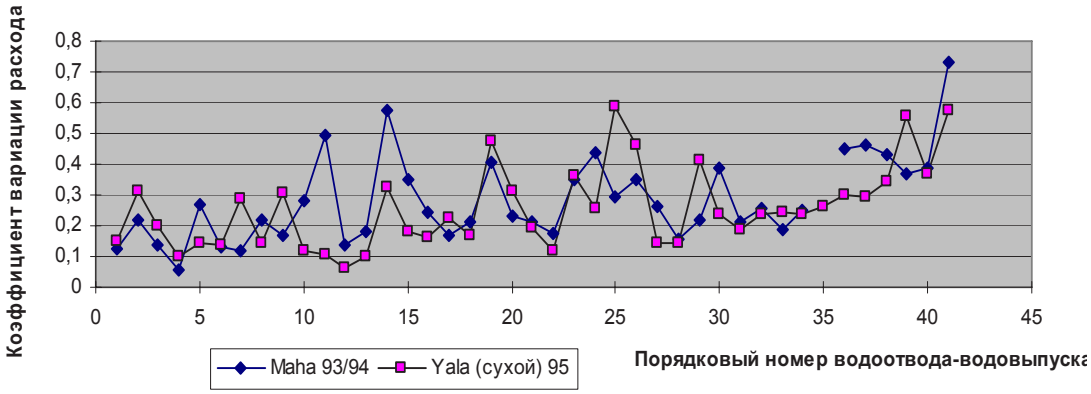


Рис 72 Изменение расхода в RBMC, KOISP, и коэффициент вариации

Парадокс в случае с RBMC (Правобережным магистральным каналом) заключался в том, что регулировка сооружений чаще наблюдалось там, где поток был более установившимся, а не на участках, расположенных выше по течению.

Анализ размещения человеческих ресурсов и технических мероприятий на RBMC показывает, что численность штата и частоту оперативного вмешательства необходимо было изменить, принимая в расчет ухудшение по нисходящей качества обслуживания. Если рассматривать потребности (см табл. 40), то перераспределение ресурсов в дальнейшем неизбежно. Участки верхнего течения являются участками с низкими потребностями в эксплуатации, в то время как участки нижнего течения - с высокими потребностями, главным образом, из-за того, что они не приспособлены к повторному использованию воды, и избыток/осушение является либо потерей, либо даже оказывает отрицательное влияние на некоторые прибрежные лагуны.

Таблица 40
Классификация уровней требований к эксплуатации в KOISP, Шри Ланка

Подсистема	Гидроучастки RBN 1 и 2	LBO	LBN	RBO	Гидроучастки RBN 5 и 6-7
Уязвимость	Низкая Повторное использование	Низкая Возвратный сток RF	Низкая Повторное использование	Очень высокая Нет повторного использования	Очень высокая Нет повторного использования
Водоснабжение Головных сооружений каналов 2-го/3-го порядков	Низкая Tol (допустимое отклонение) Q=±20%	Низкая Tol (допустимое отклонение) Q=±20%	Низкая Tol (допустимое отклонение) Q=±20%	Очень высокая Tol Q = ±5%	Очень высокая Вариант PA (3) Tol Q = ±5% Высокая Вариант RO (4) Tol Q = ±10%
Чувствительность головных сооружений SC/TC	Высокая 1.3	Очень высокая (не измерено)	Очень высокая 2.4	Очень высокая 2.2	Высокая 1.3
Точность	Низкая ±15 см	Высокая 10 см в качестве индикатора	Высокая ±10 см	Экстремально высокая ±2.2 см Нереалистично	Высокая ±4 см для варианта PA (3) Средняя ±8 см для варианта RO (4)
Колебания уровней/расходов	Низкая вероятность Малая амплитуда	Низкая вероятность Малая амплитуда	Средняя вероятность (высокочувствительные водоотводы & участки канала с одним откосом)	Высокая вероятность & амплитуда (нет контроля за глубиной воды; однодамбовый; усовершенствованная эксплуатация)	Высокая вероятность & амплитуда (усовершенствованная эксплуатация)
Режим эксплуатации и частота	Низкая частота FBC(2) нижний бьеф	Средняя частота FBC(2) дренажные водовыпуски	Часто выполняемая проверка чувствительных водоотводов Низкая частота FBC нижние бьефы	Замечание: проект по особому контролю должен быть разработан для RBO, включая некоторые восстановительные работы и/или модернизацию.	Высокая частота FBC(2) дренажные водовыпуски Четкий контроль уровня усовершенствования процедур эксплуатации
Класс потребности	D1 низкий	D2 средний	D3 высокий	D4 Очень высокий	D4 Очень высокий

Глава 13

Совершенствование работы подразделений

Следующим этапом, после разделения на управление и эксплуатацию, является определение вариантов модернизации для каждого подразделения (рис. 73), на основе: i) управления водой; ii) учета воды; iii) эксплуатации канала (услуги и экономическая эффективность).

По каждому подразделению необходимо осуществить комплексный подход для правильной идентификации ограничений и возможностей.

Улучшения в эксплуатации канала выполняются с целью рентабельного обслуживания пользователей. Задачей должно быть лучшее обслуживание пользователей соответственно их спросу и по разумной цене.

В теории модернизация не обязательно означает улучшение услуг по водоподаче пользователям, скорее это наилучший компромисс между услугой и стоимостью по согласованию с пользователями. На практике модернизация зачастую сопровождается улучшением услуги, но это в большей степени является результатом исправления при предоставлении услуг прежде плохого управления.

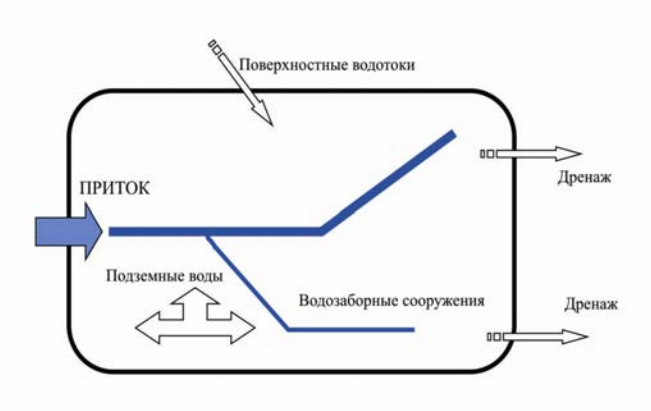


Рис. 73 Схема подразделения в пределах ПЗ

ДРУГОЙ ЦИКЛ MASSCOTE ДЛЯ КАЖДОЙ ЕДИНИЦЫ УПРАВЛЕНИЯ

Каждое подразделение, определенное в предыдущих разделах, должно рассматриваться как отдельная система, для которой в идеале должен быть выполнен другой цикл анализа MASSCOTE, чтобы можно было сосредоточиться на конкретных ограничениях и возможностях подразделения. Идея заключается в определении и подготовке для каждого подразделения:

- Стратегии управления водой: каково обоснование управления водой в ПЗ для этого отдельного подразделения? Какие процедуры будут использоваться для плановых и непредусмотренных потоков воды (осадки, поверхностный сток, дренаж, грунтовые воды, избыток воды в канале и т.д.)?
- Стратегии обслуживания: (распределение-планирование-подача): Какие имеются специальные правила при обслуживании пользователей нижнего те-

чения, учитывая ограничения ресурсов и услуги, предоставляемые высшим уровнем (магистральная система)?

- Стратегии эксплуатации: Каковы основные правила для преобразования ПВР в планы эксплуатации и для решения возникающих проблем?
- Процедур эксплуатации для обеспечения запланированных подач и решения проблем случайных вмешательств.

В идеале, на уровне подразделения, подход MASSCOTE должен привести к нескольким техническим вариантам для пользователей. Пользователи должны определить цели и методы.

ВИДЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЙ

Эксплуатация каналов может быть усовершенствована разными путями, среди которых два основных способа, включающих:

- Приведение эксплуатации в соответствие со спросом: в рамках управления ПЗ (область обслуживания) и с учетом одного метода эксплуатации кАнала; это подразумевает подгонку средств, затрачиваемых на эксплуатацию, к спросу на услуги и к ограничениям на эксплуатацию. При использовании только этого способа, его следует рассматривать как «небольшое изменение».
- Улучшение методов эксплуатации каналов: подразумевает значительные изменения в методах эксплуатации для лучшего реагирования на текущий спрос на услуги.

ЦЕЛИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЙ

Усовершенствование эксплуатации должно быть направлено на конкретные цели, а именно:

- совершенствование услуг по водоподаче для сельскохозяйственных пользователей;
- повышение эффективности работы при предоставлении услуг с одного уровня на последующий нижний уровень, с упором на показатели, которые имеют низкую оценку в процедуре ПЭО;
- оптимизация стоимости эксплуатации;
- повышение рентабельности существующих процедур;
- улучшение управления водой и повышение продуктивности воды (усиление совместного использования поверхностных и подземных вод);
- интегрирование многочисленных видов водопользования (ИУВР).

Общей целью внедрения подхода MASSCOTE является улучшение текущей практики эксплуатации (делая ее более эффективной и рентабельной) или осуществление новой, более совершенной стратегии.

Подобных улучшений можно достичь посредством одного или комбинации нескольких вариантов:

- распределяя имеющиеся ресурсы и средства более эффективно с экономической точки зрения, с быстрой реакцией на изменение обстановки;
- оптимизируя организацию и режимы эксплуатации;
- изменяя стратегию эксплуатации;
- инвестируя в усовершенствование методов и инфраструктуры.

МЕТОДЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Решение проблемы мощностей

Первый вариант технических интервенций/вмешательств состоит в планировании специальных работ для уменьшения или устранения проблемы пропускной способности, описанной в Шаге 4. Это может привести к длинному списку вопросов и возможных вмешательств и, в результате, можно не получить согласованную структуру. Необходимо установить приоритеты вмешательств. Кроме того, также необходимо обеспечить увязку этих вмешательств с общей стратегией эксплуатации. Однако также есть возможность определения простых вмешательств, которые могут дать существенные результаты без крупных инвестиций и серьезных изменений в процедурах. По существу, этот вид вмешательств может быть «видимым» и может помочь восстановить доверие между менеджерами и пользователями.

В таблице 41 приведен пример выявленных проблем и вариантов для магистральной системы в Индии.

Совершенствование текущей стратегии эксплуатации

Задача совершенствования процедур эксплуатации канала состоит не в изменении стратегии, а в повышении эффективности путем установления новых целей, переориентировки операторов на конкретные задачи и оптимизации использования ресурсов на эксплуатацию, учитывая все аспекты и функции эксплуатации:

- плановая, непредусмотренная, безопасность и информация;
- транспортировка, контроль, водозабор, хранение и т.д.

Эти виды изменений могут включать модификации в отношении частоты мониторинга и настройку поперечных регуляторов. Например, в системе KOISP в Шри-Ланке изучались различные методы работы (из числа применяемых). В настоящее время практикуется фиксированная частота операций дважды в сутки (с интервалом 12 часов) на шлюзах-регуляторах с целью поддержания уровня воды на МНУ. Большинство поперечных регуляторов на каналах Шри-Ланки смешанного типа, т.е. состоят из затвора (или затворов) с донным отверстием и боковых водосливов. Гребень водослива определяет МНУ. Результаты выполненного моделирования показали, что текущая практика близка к оптимальной для условий данной системы. Можно ожидать небольшого улучшения, если частоту операций увеличить, сократив интервал до шести часов в дневное время.

Изменение/оптимизация стратегии и организация эксплуатации

Изменение действующей стратегии может улучшить работу иногда без значительных физических изменений инфраструктуры. В этой связи стратегию можно просто определить как структурный способ установления целей для услуг по водоподаче и практических путей их достижения. Например, в Азии существует много систем, которые нацелены на обеспечение подачи воды только в засушливые периоды и не приспособлены под влажные периоды. Подобная стратегия, очевидно, ведет к потере больших объемов воды в дождливый сезон. Поэтому другой стратегией будет обеспечение услуг по водоподаче для пользователей во время выращивания культуры, а также хранение запаса дождевых вод в пределах зоны обслуживания. Это изменение стратегии показано ниже с помощью нескольких примеров.

Таблица 41

Проблемы мощностей и предлагаемые варианты по магистральному каналу ЛГК

Характеристики по магистральному каналу	Проблемы	Варианты
Пропускная способность системы	Участки со сниженной пропускной способностью.	Восстановление участков
Замеры на границе между единицами управления.	Калибровка кривой расходов не выполняется.	Регулярная калибровка
Навыки для проведения замеров	ОК/хорошо, но слишком частая регистрация вручную	
Функционирование ПР	Не работают	
Дистанционный мониторинг (вкл. данные по осадкам в ПЗ) на магистральном канале	Недостаточная плотность осадкомеров.	Добавить автоматические осадкомеры
Пропускная способность водосброса / рециркуляция и измерения	Намеренная утечка. Нет измерений.	
Промежуточное накопление в канале, на канале и вне канала	Нет промежуточного накопления.	Исследовать накопление на и вне канала для улучшения водоснабжения ниже по течению.
Чувствительность поперечных регуляторов и водоотводов	ПР не работают (низкая чувствительность). Водоотводы имеют низкую чувствительность, за некоторыми исключениями.	Специальный уход за чувствительными водоотводами: физические изменения, где возможно, или специальные процедуры эксплуатации.
Приспособление для учёта потерь на фильтрацию	Оценка объема потерь на фильтрацию неточная. Приспособление на хорошем уровне по всей ПЗ, за исключением нижнего течения на ветке Билиги.	
Специальные сооружения	Один сифон со сниженной пропускной способностью.	
Система связи (дороги и телекоммуникации)		
Регулирующая способность водослива Дундал		

Пример стратегии контроля объемов для управления изменениями в притоке воды

В Шри-Ланке изучались действующие стратегии объединения управления колебаниями уровня воды на канале с обеспечением стабильной подачи и возможностью накопления положительных колебаний. Различные стратегии эксплуатации, исходя из явно выраженных физических характеристик, установленных в ирригационных подсистемах Шри-Ланки, были протестированы на разные методы контроля объема, ориентируясь на оптимальное управление возможным накоплением или эффективное использование воды (Renault, Godaliyadda and Makin, 1999).

Этими стратегиями были:

- систематическая избыточная подача воды в некоторые водоотводы, которые обслуживают подсистемы возвратного стока или повторного использования воды, которые будут использоваться в качестве «компенсационного хранилища» в случае временного дефицита воды в нижнем течении;
- недоподача воды в некоторые водоотводы для создания на ротационной основе возможности для поглощения избытков воды;

- управление клином аккумуляции путём понижения уровня воды ниже максимального нормального уровня, давая возможность для накапливания поверхностного стока, стекающего в канал в случае дождей.

Потенциал повышения эффективности управления водой с помощью этих методов был впервые успешно оценен на гидравлической модели для правобережного магистрального канала KOISP. Были представлены все варианты и обсуждены вместе с пользователями.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ВОДОЙ

Используя внешние показатели ПЭО в качестве основы, целью является повышение продуктивности воды и улучшение водопользования путем: i) максимального сбора дождевых вод; ii) сведения потерь к минимуму; iii) управления колебаниями (излишками воды); и/или iv) объединения контроля стока по всей зоне обслуживания. Хотя этот последний аспект является как решающим, так и проблематичным, основной целью должно быть объединение (или повторное объединение) в управлении и эксплуатации всех водозаборов, законных либо незаконных, но допустимых, например откачка воды из каналов с помощью насосов и незаконные водовыпуски на магистральном канале.

Управление клинообразными (или выклинивающимися) запасами на канале может также при некоторых обстоятельствах компенсировать колебания небольшого объема (время $\times$ амплитуда).

Измерение расхода воды в ключевых точках играет важную роль в улучшении эксплуатации канала, обслуживания и управления водой. Обоснованная программа измерения расходов воды в проекте помогает следующим образом:

- повышает прозрачность услуг по водоподаче в смысле расходов и объемов, подаваемых отдельному фермеру или группе фермеров;
- обеспечивает справедливое деление и распределение воды;
- при учете воды (водный баланс), для сведения к минимуму отрицательного воздействия на окружающую среду, например заболачивания и засоления;
- при заключении контрактов на обслуживание;
- сберегает воду путем ограничения избыточного водоснабжения, что, в свою очередь, может предотвратить глубинную фильтрацию и поверхностный сброс;
- обеспечивает фермеров хорошей информацией, на основе которой они могут принимать важные решения о структуре распределения посевов, интенсивности земледелия, графике и частоте поливов, использованию удобрений, трудовых ресурсах и т.д.;
- позволяет выставлять правильные счета за водопользование (там, где плата за воду начисляется на основе объема использованной воды, или где управляющие намерены ввести цены по объемам).

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНТРОЛЯ ВОДЫ

Исходя из диагностики, обеспеченной внешними показателями ПЭО, целью будет совершенствование контроля уровней и расходов воды. Этого можно достичь путем введения в эксплуатацию соответствующих регулирующих сооружений и установления надлежащих процедур работы. При пересмотре процедур работы следует принять во внимание улучшенные методы эксплуатации (цели и режимы) посредством уменьшения допуска *H* и колебаний расходов.

Первым шагом будет задание новых достижимых целей работы, а вторым шагом - определение технических вариантов для достижения этих целей.

ПОВЫШЕНИЕ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ

Эксплуатация составляет большую часть от общих затрат на управление орошением. Варианты повышения рентабельности ирригационных систем включают:

- сокращение частоты настроек (в случае дороговизны трудовых ресурсов);
- уменьшение чувствительности - модернизация чувствительных сооружений (водоотводов и регуляторов) (фото 31);
- автоматизация некоторых сооружений (там, где труд дорогой);
- разработка эффективных информационных управляющих систем (для целевых вмешательств);
- замена регуляторов с затворами на автоматические регуляторы или регуляторы с фиксированным выходом.

Фото 31 Сооружение боковых водосливов на регуляторах, оснащенных затворами

На фото 31 показан пример случая, когда боковые водосливы могут выгодно заменить затворы чувствительных регуляторов – уменьшая чувствительность и потребности в настройке.

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Совместное использование поверхностных и подземных вод важно для:

- улучшения общего управления водой, максимального использования воды по количеству и качеству;
- улучшения обслуживания пользователей путем компенсации колебаний воды на одном источнике за счёт другого источника.

ИНТЕГРИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВОДОЙ

Сельское хозяйство и экосистемы зачастую являются основными пользователями воды (будь то дождевая или оросительная вода). Часто в рамках ирригационного проекта используемая вода существует не только в виде эвапотранспирации полевых культур. Например, в KOISP водопотребление на эвапотранспирацию риса составляет менее одной четверти поданной воды (глава 8). Обеспечение многочисленных услуг в контексте интегрированного управления водными ресурсами могло бы рассматриваться как ограничение, так и возможность для эксплуатации ирригационных систем. Это ограничение, потому что услуги разнообразны, иногда противоречат друг другу и это усложняет задачу эксплуатации инфраструктуры. В то же время, это возможность разделения затрат между различными пользователями/потребителями, что позволяет облегчить затраты фермеров, связанные с поддержанием ирригационной системы.

Глава 14

Объединение вариантов управления, ориентированного на обслуживание

Исследование по усовершенствованию управления и эксплуатации системы каналов - это не простой процесс изучения в каком-то одном направлении (например, начиная от магистрального канала до самой малой по рангу единицы системы). Для такого исследования требуется итеративный метод, с частичным дублированием.

MASSCOTE сначала применяется для всей ПЗ без анализа конкретных подразделений. Затем ПЗ разбивается на подразделения, и для каждого административного подразделения вновь применяется MASSCOTE. На этой стадии определяются основные характеристики обслуживания, требуемого для каждого подразделения, начиная с верхнего уровня.

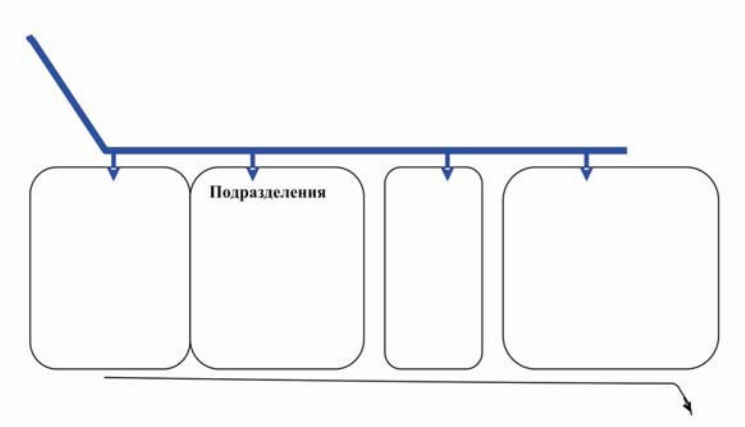
Основные вопросы, которые необходимо основательно рассмотреть на данном этапе:

- способен ли верхний уровень обеспечить желаемый уровень обслуживания?
- если да, то по какой цене?
- каковы трудности, связанные с другими подразделениями, которые необходимо проанализировать?

Следовательно, интеграция в виде двойной процедуры укрупнения и разукрупнения является основой при разработке вариантов управлении и технических вариантов модернизации всей системы в целом. Эта двойная процедура должна выполняться несколько раз, и необходимо дать время созреть тем, кто принимает решения.

В этом процессе укрупнения варианты усовершенствования для подразделений определяются вместе с затратами на каждый вариант. Далее они укрупняются на уровне системы. Стратегия модернизации разрабатывается в соответствии с видением целей и предлагаемых достижений/усовершенствований, как было разработано в части Шага 6.

Решения, которые разработаны на уровне административного подразделения, необходимо объединить на более высоком уровне системы для того, чтобы проверить их взаимодействие и увидеть, насколько они реально выполнимы, если рассматривать их для более высокого уровня управления и эксплуатации (Рисунок 74). Некоторые сдерживающие факторы на верхнем уровне могли бы помешать предоставлению необходимых услуг для более низкого уровня.



Повторим, что этот процесс укрупнения и объединения в одно целое – это двусторонний процесс, идущий в направлении вверх и вниз, и постепенно приближающийся к решению, которое можно проверить на практике.

Рис 74 Проверка последовательности управления водой, услуг для подразделений и эксплуатации магистральной системы (включая дренаж)

УКРУПНЕНИЕ ОБОСНОВАНИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ НА ВЕРХНЕМ УРОВНЕ

После того, как подготовлено обоснование на управление водой, услуги и эксплуатацию на уровне местного административного подразделения, необходимо объединить это все на верхнем уровне (например, основной системы) для того, чтобы проверить согласованность и, возможно, вернуться назад на более низкий уровень для того, чтобы учесть все необходимые изменения.

Обоснование для управления водой, услуг и эксплуатации, как основное управление водой выполняется, и согласуется ли оно с вариантами для более низкого уровня, как флуктуации или незапланированные изменения будут адаптированы к основной системе и т.д.

ДОСТИЖЕНИЕ КОМПРОМИССА МЕЖДУ ЗАТРАТАМИ И ОБСЛУЖИВАНИЕМ

Чтобы договориться по поводу эксплуатации оросительной системы, необходимо достижение компромисса совместными усилиями пользователей, управляющих и служб эксплуатации. Для схемы данной системы, это компромисс между техническими возможностями и ограничениями, желаниями фермеров, зависящих от сельскохозяйственной системы, и вытекающих из этого затрат на эксплуатацию (Рисунок 75). Процесс принятия решений может выглядеть как сравнение того, что желательно, с тем, что возможно, такой процесс приводит в итоге к достижимому в соответствии со средствами результату.

Этот процесс достижения компромисса можно подытожить следующим образом:

1. Системы управления сельским и водным хозяйством определяют, какого конкретно обслуживания водой хотели бы пользователи (фермеры и другие Пользователи),
2. Физические водные ресурсы и оросительная система, по существу, определяют то, что физически/гидравлически возможно с точки зрения осуществления специфических услуг по поставке воды как функции различных входных элементов в эксплуатации. В результате появляется ряд услуг по поставке воды.
3. В результате сравнения 2-х выше приведенных пунктов появится специифическая услуга, которую могут себе позволить пользователи.

Такого компромисса невозможно достичь сразу. Это постепенный процесс, который подразумевает постепенное продвижение, то вперед, то назад, между тем, что

желательно и тем, что возможно (и внутри желаемого, между индивидуальными и групп-повыми интересами). Не должно быть никаких иллюзий по поводу того, что достижение компромисса будет идти либо по легкому, либо по прямому пути. Напротив, часто то, чего хотят пользователи, будет технически невыполнимо, или поставщик ирригационных услуг слишком самоуверен в отношении осуществляемого им управления и контроля, что не способствует серьезному изучению возможностей для обеспечения запросов фермеров. Как управлять этим процессом на различных этапах и повторяющихся циклах, заслуживает само по себе отдельного рассмотрения, что выходит за рамки данной публикации.

Распознавание линейных и нелинейных изменений

В процессе рассмотрения усовершенствований в эксплуатации каналов, необходимо различать:

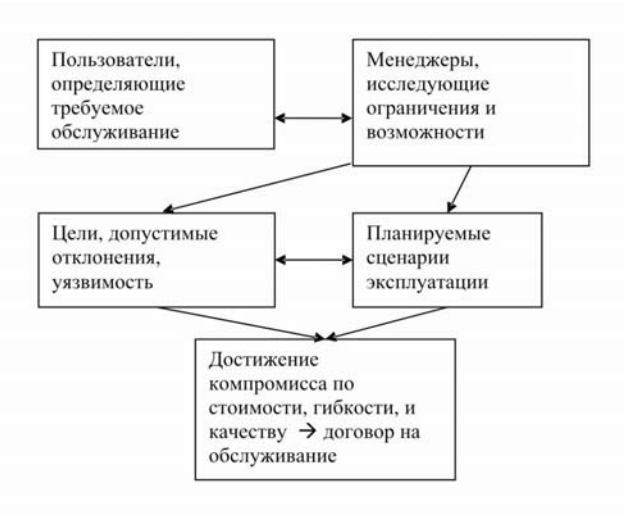


Рис 75 Процесс по достижению компромисса в обслуживании

- усовершенствование существующей системы и организационные меры по возрастающей (линейный подход);
- резкие изменения либо в системах, либо в процедурах – этот вид изменения подходит для полной модернизации или для мероприятий по реорганизации (нелинейный подход).

ДОГОВОРА НА ОБСЛУЖИВАНИЕ

Решения, принятые в результате всех вышеупомянутых соглашений и обсуждений, должны быть включены в договора на обслуживание между поставщиками услуг и пользователями. Договора на обслуживание включают описание следующего:

- услуга, которая должна быть предоставлена;
- обязательств поставщиков услуг;
- прав и обязанностей пользователей;
- определенные процедуры в случае невозможности выполнения обязательств.

Договор на обслуживание может быть формальным и юридически обязательным или не формальным. В обоих случаях, он может служить в качестве основы для оценки результатов деятельности и ответственности как поставщиков услуг, так и водопользователей – для первых в случае невыполнения обязательств договора по предоставлению услуг; а для последних – в случае неуплаты за предоставленные услуги.

Для того, чтобы сделать более прозрачными обязательства и планы поставки воды, договора на обслуживание должны включать четкую информацию по следующим компонентам:

- пункт доставки воды;
- количество (расход, объем и т.п.);
- качество (распределение во времени и т.п.);
- допустимые уровни отклонений;
- гибкость;
- штрафные санкции;
- компенсация в случае аварии.

Хотя доставка воды является первоочередной задачей эксплуатации канала, договор по водоснабжению будет охватывать не только распределение во времени, надежность и объемы поставки воды. Качество обслуживания измеряется также организационными способностями и ответственностью. Для многих водопользователей важно, позволяет ли эксплуатационный план осуществлять контроль и обеспечивать гибкость, также как и являются ли правила строгими и прозрачными для них и других действующих лиц. Обеспечение эксплуатации оросительной системы и качество доставки можно зачастую значительно улучшить, если проверить:

- насколько надежно руководящее ведомство;
- каковы механизмы управления, чтобы гарантировать реальное предоставление услуг.

На практике уровень ирригационного обслуживания не может определяться на индивидуальном уровне в коллективных системах. Некоторые потребности несовместимы друг с другом, и не все потребности можно удовлетворить. Эту проблему необходимо обсуждать и существенным моментом является необходимость обоснования на всех уровнях системы. Ирригационную систему можно разделить на более мелкие части, для которых технически возможно установление различий. Это вовсе не обязательно должны быть объекты третьего порядка, поскольку некоторые решения должны приниматься на более высоком уровне. Поэтому договора на обслуживание должны приниматься коллективно, в зависимости от физической способности системы согласовывать работу «административных подразделений».

Глава 15

Переход к плану модернизации, мониторингу и оценке

Важно осуществлять модернизацию поэтапно, чтобы получать планируемые результаты и сохранять достигнутые на реалистичном и практическом уровне. Необходимо решить какие варианты и стратегии должны быть предприняты. Для того, чтобы начать процесс модернизации, выбираются наиболее рентабельные и легко выполнимые варианты. Тем не менее, надо понимать, что модернизация – это длительный процесс, который надо начинать при согласованном представлении об оросительной системе и орошаемом сельском хозяйстве в ПЗ. Затем план по модернизации может быть составлен в виде непротиворечивого множества действий, сосредоточенных на реализации этого представления.

ПЛАН МОДЕРНИЗАЦИИ

ПЭО и MASSCOTE являются инструментами – методологиями, полезными для диагностики текущих эксплуатационных качеств и для создания основы, чтобы начать осуществление плана модернизации. Выполнение плана модернизации – это длительный и повторяющийся процесс. ПЭО – это экспресс-метод (вопрос нескольких дней). MASSCOTE – это быстрый метод (вопрос нескольких недель). Разработка плана по модернизации – более медленный процесс, требующий вероятно месяцы для разработки всех аспектов (Рисунок 76). И, наконец, для выполнения этого плана нужны годы. Проверка мелиоративных организаций, которые сегодня хорошо работают, показывает, что большинство из них начали осуществлять модернизацию, которая продолжается до сих пор.

Рис 76 Этапы работы с каналами на пути к модернизации

В связи с быстрыми изменениями на сельскохозяйственном рынке, в управлении водой, энергетике, затратах на оплату труда и т.п., модернизация должна восприниматься как текущая деятельность, позволяющая менеджерам приспособить в любой момент времени эксплуатационные характеристики к условиям и возможностям.

Процесс улучшения эксплуатации канала – это длительное мероприятие, которое необходимо осуществлять поэтапно (что также важно с точки зрения финансирования проектов). Платежеспособность пользователей и других заинтересованных лиц (государства, местных органов и т.д.) ограничена. Поэтому определение реалистичного временного интервала является ключевым фактором на пути к успеху. Слишком медленное продвижение вперед может привести к чрезмерно дорогим усовершенствованиям, в то время как слишком быстрый прогресс – к ошибочным и дорогим работам.

Разработка реальных инновационных решений и приспособление жизни людей к техническим решениям требует времени (как минимум нескольких сезонов). Даже для испытанных и надежных решений требуется некоторое время, чтобы приспособиться к ним и принять их, даже в наилучших обстоятельствах.

Если суммировать изложенное, то время является ключевым фактором в планировании модернизации эксплуатации канала. Здесь необходимо найти компромисс между спешкой и слишком медленными действиями. Кроме того, временные интервалы должны четко определяться, перед тем как начинать проекты по улучшению эксплуатации канала.

МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА

Мониторинг и оценка (M&O) усовершенствованной эксплуатации канала необходимы для того, чтобы добиваться результатов, правильно действовать и иметь возможность сравнивать результаты до и после инвестирования. В любом случае M&O должны быть частью регулярной деятельности, чтобы следить за ключевыми моментами эксплуатации и управления водой, и периодически оценивать, как обслуживаются пользователи.

M&O мелиоративных проектов обычно означает обеспечение информацией о двух важных потоках – воды и денег – и оценку текущего уровня эксплуатационных характеристик по поставке воды и эффективности затрат. Правильная система M&O должна быть способной обеспечивать руководителей информацией о доступных ресурсах (воды и денег), производимой продукции (доставка воды) и достигнутых эксплуатационных качествах (надежность, достаточность, гибкость и т.д.) для того, чтобы определить, какие корректирующие действия необходимо предпринять.

Оценка обслуживания по поставке воды делается для того, чтобы оценивать объективно и систематически реализацию планов и целей. Эта задача должна выполняться периодически. Обычными являются оценки услуг по поставке воды за сезон (вегетационные периоды, дождливые и засушливые, летние и зимние и т.д.) и год. Они служат основой для дискуссий между менеджерами и водопользователями и их представителями по поводу любых изменений в эксплуатации, инфраструктуре и планах поставки воды.

Под мониторингом подразумевается систематический сбор информации и ее использование с тем, чтобы помочь менеджерам в принятии решений по: (i) ежедневной эксплуатации и управлению; (ii) средствам управления; и (iii) средне- и долгосрочному планированию усовершенствований.

Именно отличать хорошую работу системы от плохой является задачей эксплуатации, особенно в системах с изменчивым притоком и флуктуациями. К примеру, без мониторинга невозможно определить любые незапланированные флуктуации и связанные с ними действия. Для эффективной эксплуатации необходимо иметь «умную» информационную систему.

Эксплуатация канала предъявляет особые, специфические требования к информации (сбор, передача и обработка) и, поэтому, планы по эксплуатации должны включать в себя особые «системы управления информацией».

К основным элементам мониторинга эксплуатации относятся:

- уровни воды на шлюзах-регуляторах;
- расходы на входе в административные подразделения и водоотводы;
- условия в поперечных сечениях канала и технические средства – особенно в уязвимых точках.

Осуществлять мониторинг каждого сооружения и поперечного сечения канала – дорого и в этом нет необходимости. Поэтому для мониторинга важно определить ключевые точки внутри системы, исходя из следующих критериев:

- чувствительность сооружения;
- уязвимые точки внутри системы;
- классификация служб и критерии.

Мониторинг чувствительных шлюзов-регуляторов и водоотводов необходимо проводить чаще по сравнению с сооружениями, которые не чувствительны к изменениям уровня воды и/или расходов. Как показано в Главе 4, чувствительные шлюзы-регуляторы являются хорошим местом для обнаружения изменений, а чувствительные водоотводы могут создавать флуктуации вниз по течению. Мониторинг чувствительных сооружений является обязательным для того, чтобы предпринимать правильные действия и выполнять планы по эксплуатации.

За уязвимыми или слабыми поперечными сечениями или участками каналов необходимо постоянно следить для того, чтобы обеспечить безопасность инфраструктуры во время внезапного увеличения расхода в результате притока или дождей, что может нанести ущерб, такой как, например, размыв берегов или повреждение канала.

Категория услуг и договора на обслуживание определяют объекты, за которыми необходимо следить (то, что подлежит мониторингу). Например, если в договоре на обслуживание говорится о поставке конкретного расхода воды в конкретных точках выдела, то мониторингу подлежат расходы воды в этих точках.

Планы по эксплуатации должны включать в себя очередность, процедуры и частоту мониторинга. Частота проведения мониторинга зависит от различных элементов, включая:

- изменения в намеченной эксплуатации;
- колебания стока – флуктуации;
- изменения в установке затворов на ключевых контрольных сооружениях;
- особые случаи (ливневые осадки, паводки и т.п.).

Условно говоря, мониторинг осуществляется с использованием человеческих ресурсов (операторов затворов и сотрудников, выполняющих полевые исследования). Однако с развитием технологий в настоящее время стало возможным приобретать системы дистанционного контроля по разумной цене, например, электронный датчик, который передает информацию оператору в режиме реального времени. Эти технологии особенно полезны для облегчения эксплуатации каналов там, где нет операторов, и где доставка воды фермерам в большей мере осуществляется по запросу. Однако некоторые технологии дорого стоят и для их использования и функционирования требуются очень специфические условия (физическая инфраструктура, уровень квалификации штата и уровень услуги подачи воды).

Не имеет никакого смысла мониторинг и сбор информации, если результаты их не анализируются и не используются для разработки решений по эффективному управлению водой. Информация, полученная при помощи мониторинга и оценки, используется также для расчета водного баланса (абсолютно необходима для хорошего управления водой) и для оценки достигнутого уровня поставки воды.

Список литературы

Ait kadi, M. 2002. “Irrigation Water Pricing Policy in Morocco’s Large Scale Irrigation Projects” Hommes Terre& Eaux 32(124): 25-33.

Albinson, B. 1986. Network planning criteria. *In: Design and operating guidelines for structure dirrigation networks*, pp. 51–133. Washington, DC, South-East Asia Division, World Bank.

Ankum, P. 1993. *Some ideas on the selection of flow control structures for irrigation*. Paperpresented at Fifteenth Congress of the International Commission on Irrigation andDrainage. The Hague.

Burt, C.M. 1999. Irrigation water balance fundamentals. Paper presented at the conference *Benchmarking irrigation system performance using water management and water balances*,pp. 1–13. ITRC Paper 99-001. Denver, USA, USCID.

Burt, C.M. & Plusquellec, H.L. 1990. Water delivery control. *In* G.J. Hoffman, T.A. Howell & K.H. Solomon, eds. *Management of farm irrigation systems*, pp. 373–423. USA, American Society of Agricultural Engineers.

Clemmens, A.J. & Burt, C.M. 1997. Accuracy of irrigation efficiency estimates. *J. Irrig. Drain. Eng*., 123(6).

Clemmens, A.J. & Replogle, J.A. 1987. Delivery system schedules and required capacities. *In* D.D. Zimbelman, ed. *Planning, operation, rehabilitation and automation of irrigation water delivery systems*, pp. 18–34. Proc. of a symposium sponsored by the Irrigation and Drainage Division of the ASCE. Portland, July 28–30. ASCE. 381 pp.

Davidson, B., Malano, H.M. & George, B.A. 2004. Assessing the financial viability of irrigation management companies: a case study at Cu Chi, Vietnam. *In* H.M. Malano, B.A. George & B. Davidson, eds. *A framework for improving the management of irrigation schemes in Vietnam*. 72 pp. (also available at: www.aciar.gov.au).

Department of Irrigation (DOI). 2001. *Irrigation operation and maintenance (O&M) cost and water charge recovery study. Phase II. Main report. Nepal Irrigation Sector Project*. Nepal, Ministry of Water Resources.

Ensink, J. H. J. ; Aslam, M. R. ; Konradsen, F.; Jensen, P. K. ; van der Hoek, W. 2002. Linkages between irrigation and drinking water in Pakistan. Working Paper 46. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

FAO. 1986. *Organization, operation and maintenance of irrigation schemes*, by J.A. Sagardoy, A. Bottrall & G.O. Uittenbogaard. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 40. Rome.

FAO. 1998. *Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements*, by R.G. Allen, L.S. Pereira, D. Raes & M. Smith. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome. 300 pp.

FAO. 1999. *Modern water control and management practices in irrigation: impact on performance*, by C.M. Burt & S.W. Styles. FAO Water Report No. 19. Rome. 224 pp.

Goussard, J. 1987. Neyrtec automatic equipment for irrigation canals. *In* D.D. Zimbelman,ed. *Planning, operation, rehabilitation and automation of irrigation water delivery systems*, pp. 121–132. Proc. of a symposium sponsored by the Irrigation and Drainage Division of the ASCE. Portland, July 28–30. ASCE. 381 pp.

Habib Z. 2004. Scope for reallocation of river water for Agriculture in the Indus Basin. PhD. thesis. ENGREF, Paris.

Horst, L. 1983. *Irrigation systems*. Internal Report. Wageningen, The Netherlands, Agricultural University. 53 pp.

IPTRID. 2001. *Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector*, by H. Malano & M. Burton. Rome. *Modernizing irrigation management – the MASSCOTE approach* **152**

ITIS. 1996. *Proceedings of the Third International ITIS Network Meeting on "Scheduling of Water Deliveries in Irrigation Systems"*, Alor Setar, Malaysia, 15–17 June 1996.

IWMI 2001. Malaria Risk Mapping in Sri Lanka—Implications for its Use in Control Proceedings of a Workshop held September 2001. Working paper 29, (downloadable at http: //www.iwmi.cgiar.org/health/malaria/index.htm)

Mahbub, S. I. & Gulhati N.D. 1951 Irrigation outlets. Atma Ram & Sons Delhi India .

Pradhan, P., Sijapati, S., Riddell, N. & Prasad, K.C. 1998. *Evaluation of management transfer performance and process: irrigation service fee in Nepal*. Nepal, Research and Technology Development Branch, Irrigation Management Division, Department of Irrigation, and IWMI.

Renault, D. and Godaliyadda G.G.A. 1998. *Generic Typology for Irrigation Systems Operation*. IWMI Research Paper 29. International Water Management Institute, Sri Lanka. pp.23.

Renault, D. 1999. Offtake sensitivity, operation effectiveness and performance of irrigation systems. *J. Irrig. Drain. Eng*., 125(3).

Renault, D. & Makin, I.W. 1999. *Modernization of irrigation systems operation: a disaggregated approach of the demand*. IWMI Research Report 35. International Water Management Institute, Sri Lanka. pp.23.

Renault, D., Godaliyadda, G.G.A. & Makin, I.W. 1999. Volume controlled strategy for operation of irrigation system with variable inflows. *In*: *Proc. ASCE & USCID Workshop on Modernization of Irrigation Water Delivery Systems.* Phoenix, USA.

Renault D., Hemakumara M.H. and Molden D.W. 2000 " Importance of water consumption by perennial vegetation in irrigated areas of the humid tropics: evidence from Sri Lanka. *Agricultural Water Management. Vol 46 Issue 3, January:201-213.*

Renault, D. & Montginoul, M. 2003. *Positive externalities and water service Management in Rice Based Irrigation Systems of the Humid Tropics*. Ag. Wat. Mgt. Journal, 59 171-189.

Shanan, L. 1992. Planning and management of irrigation systems in developing countries. *Agric. Wat. Man*., 22(1+2).

Style S. W., Burt C.M. 1999. Surface flow water balance components for irrigation districts in the San Joaquin Valley. ITRC Paper 99-002. International Training and Research Center.

USBR 1995 Canal System Automation Manual (Volume 1, 128 pages & Volume 2, 240 pages). [see document included in the attached CD-ROM, downloadable from http://www.usbr.gov/pmts/hydraulics_lab/)

USBR 2001 Water Measurement Manual 317 pages. [see document included in the attached CD-ROM, downloadable from http://www.usbr.gov/pmts/hydraulics_lab/)

Wahaj R, 2001. Farmers actions and improvements in irrigation performance below the mogha: How farmers manage water scarcity and abundance in a large scale irrigation systems in South-Eastern Punjab, Pakistan. PhD thesis. Wageningen University, the Netherlands.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Основные гидравлические характеристики каналов

Цель данного приложения заключается в том, чтобы напомнить о некоторых базовых знаниях, об условиях потока и пропускной способности канала. Они определяются гидравлическими законами, которые используются не только для планирования, но и для диагностики.

ГИДРАВЛИЧЕСКИ УСТАНОВИВШЕЕСЯ движение потока

Гидравлика установившегося свободного движения является разделом гидромеханики. Гидравлика установившегося движения рассматривает потоки с постоянным во времени расходом. Установлены специальные законы, увязывающие геометрию, гидравлические свойства и расход для различных типов сооружений и каналов. Эти законы переводятся в правила, которые широко применяются в проектировании и при эксплуатации ирригационных систем (например, Chow, 1959).

Знание гидравлики установившегося движения в открытых каналах является основополагающим на стадии разработки транспортирующей и подающей воду сети. Что касается управления и эксплуатации оросительных систем, то гидравлика установившихся потоков важна для измерения, контроля и регулирования расходов в различных точках системы (измерительная, регулирующая и эксплуатационная инфраструктура от головных сооружений до водовыпусков в хозяйства). В открытых каналах расходы редко измеряются напрямую; они вычисляются локально, используя общий закон, представленный в уравнении (1), и одну или более замеренных прокси переменных, например, глубину воды или высоту поднятия гидротехнического затвора:

$$Q = F\,(\text{геометрия; гидравлические переменные}) \qquad (1)$$

Следует различать два типа движения потока (Бокс А1.1) при измерении или вычислении расхода:

- равномерное (параллельноструйное) движение потока;
- неравномерный (находящийся под воздействием) поток.

При равномерном движении потока все переменные потока (расход (Q), глубина (h), ширина (w_o) и средняя скорость (V)), являются постоянными. Кроме того, неравномерный поток может находиться в установившемся состоянии (Q = константа), в то время как другие переменные потока (геометрия канала и скорость потока) могут постепенно меняться от одного участка канала к другому. Зачастую в оросительных системах могут обнаруживаться оба типа движения потока.

Геометрические характеристики поперечного сечения канала

В гидравлике открытого канала двумя основными переменными являются смоченный периметр – p и гидравлический радиус - R. Эти переменные необходимы при расчете равномерного движения потоков в канале. На рисунках А1.1 и А1.2 приводятся

геометрические характеристики неровного (произвольного) и трапецеидального сечений канала.

Уклон дна канала

В гидравлике канала есть три определяющие переменные: глубина потока, ширина потока и уклон канала. Определение двух дает третью. Продольный уклон дна канала обычно выражается в виде дроби или в долях (например, 0,001 или 0,1 процент для уклона 1 м на 1000 м). В условиях равномерного движения потока (рисунок А1.3), градиент энергии воды является параллельным уклону дна канала (и среднему уровню воды). Иными словами, когда сила двигающая воду вперед (вес по отношению к уклону дна) находится в равновесии с силами трения, то скорость и глубина воды являются постоянными величинами,

Диапазон выбора продольных уклонов каналов ограничен. Уклон должен способствовать пропуску достаточного расхода воды и обеспечивать минимальный уровень воды в контрольных точках, не превышая при этом максимальную скорость потока. Он также должен обеспечивать минимальную скорость для того, чтобы избежать отложения наносов.

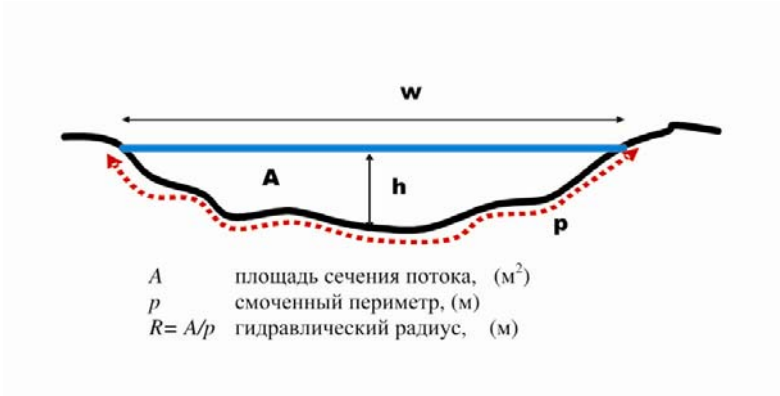


Рис А1.1 Геометрические переменные поперечного сечения канала

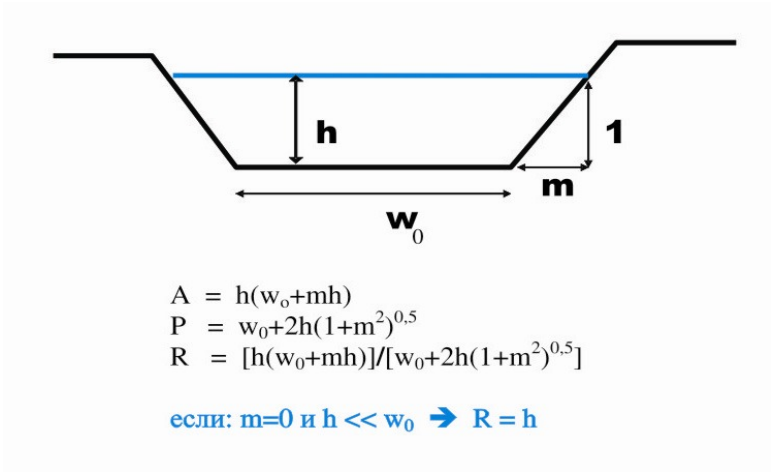


Рис А1.2 Геометрические параметры трапецеидального канала

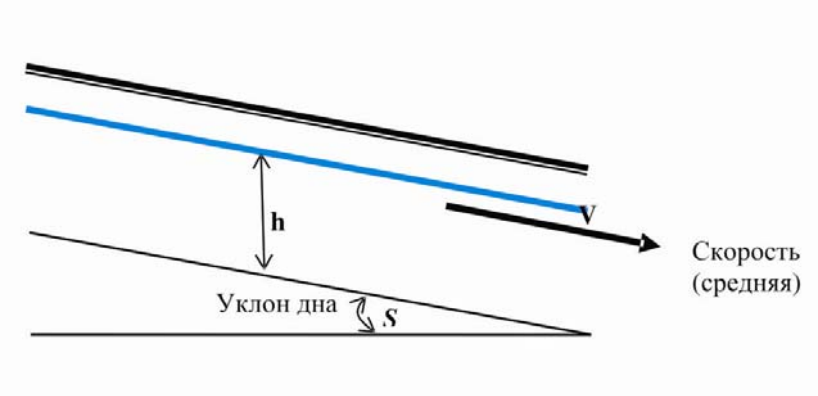


Рис А1.3 Поверхность потока, параллельная уклону дна с равномерным движением воды в открытом канале

Скорость потока

Скорость в равномерных потоках (Рисунок А1.4) обычно рассчитывается с помощью эмпирического уравнения Маннинга-Стриклера:

$$V = K R^{2/3} S^{1/2} \qquad (2)$$

где:

- V = скорость, (м / с);
- K = коэффициент шероховатости, ($м^{1/3}/с$);
- R = гидравлический радиус, (м);
- S = уклон дна русла канала, (м/м).

Скорость потока в канале должна поддерживаться в пределах небольшого диапазона. В целях предотвращения размыва земляных каналов и сохранения спокойного движения потока, значения максимальной скорости не должны быть превышены. Поток в оросительных каналах почти всегда находится в спокойном состоянии (глубокий и медленно текущий). У водозаборных, вододелительных и особенно измерительных сооружений может возникнуть и даже необходимо бурное течение потока.

Бокс А1.1

Определения

Установившееся (стационарное) движение потока: движение жидкости, при котором количество воды, проходящее в заданной точке в единицу времени остается неизменным.

Неустановившееся (нестационарное) движение потока: в отличие от установившегося движения, это движение воды, при котором элементы потока подвержены изменению с течением времени.

Равномерное (или параллельноструйное) движение потока: движение воды в открытом канале называется равномерным, когда такие параметры как площадь живого сечения, скорость и гидравлический уклон (или градиент), остаются неизменными от одного участка канала к другому. Уровень воды в данном случае параллелен линии дна канала.

Неравномерное (непостоянное) движение потока: движение воды в открытом канале называется неравномерным, когда глубина и другие элементы потока, такие как площадь живого сечения, скорость и гидравлический уклон изменяются от одного участка канала к другому. Неравномерное движение воды в канале возникает под воздействием сооружений, расположенных вдоль канала.

	Живое сечение потока постоянно от точки к точке	Живое сечение потока меняется от точки к точке
Постоянное во времени движение потока	Установившееся равномерное движение потока	Установившееся неравномерное движение потока
Переменное во времени движение потока	Неустановившееся равномерное движение потока	Неустановившееся неравномерное движение потока

Смоченный периметр: Длина смачиваемого контакта между потоком текущей воды и ограничивающим ее водоводом или каналом, измеренная в плоскости под прямыми углами к направлению движения потока.

Гидравлический радиус: Отношение площади живого сечения текущей воды к смоченному периметру.

Коэффициент шероховатости: Число, характеризующее степень влияния шероховатости труб или стенок канала на потери энергии воды (K или n в гидравлических формулах).

Спокойное движение потока: Скорость течения воды ниже критической; характеризуется глубоким медленным движением потока. Большинство потоков в открытых каналах являются спокойными.

Критическое движение потока: Скорость движения потока, при которой энергия потока является минимальной; переходная точка.

Бурное движение потока (залповое движение потока): Скорость потока превышает критическую. Потоки бурные и очень стремительные. Важной характеристикой является то, что волны не могут двигаться вверх по течению потоков, превышающих критический поток (т.е. формы свободной поверхности потока распространяются только вниз по течению).

Движение воды в открытом русле: Течение в канале, когда свободная водная поверхность находится в контакте с атмосферой. Сюда относится движение воды в трубопроводах и закрытых, частично заполненных каналах.

Свободное движение потока: поток воды через или поверх сооружения, в условиях, когда поток не подвержен затоплению или влиянию подпора со стороны нижнего бьефа. Поток регулируется только условиями верхнего бьефа.

Подтопленный поток (движение воды в условиях подпора): Состояние потока через или поверх сооружения, в условиях, когда такой поток подвержен затоплению или влиянию подпора со стороны нижнего бьефа. Поток регулируется режимами верхнего и нижнего бьефа.

Сооружение с пропуском воды поверху: Сооружение, которое пропускает воду из канала старшего порядка либо в нижерасположенный канал, либо в канал младшего порядка через сброс воды поверх гребня стенки, или через верхнюю кромку затвора.

Сооружение с пропуском воды понизу (донное водопропускное отверстие): Сооружение, которое пропускает воду из канала старшего порядка либо в нижерасположенный канал, либо в канал младшего порядка ниже открытия затвора, образованного между уплотнением затвора и нижней кромкой затвора, либо через водовыпускное отверстие, образованное трубой, либо через находящееся под водой отверстие в сооружении.

Водовыпускное (водоотводящее) сооружение: Сооружение, построенное в головной части отводящего рукава или распределительного канала для контроля и пропуска регулируемых объемов воды в него из канала старшего порядка.

Шлюз-регулятор, поперечный регулятор (перегораживающее сооружение): сооружение, предназначенное для контроля за уровнем и потоком воды в канале, поддерживающее определенную глубину воды или напор на водовыпуске или водозаборном сооружении, особенно тогда, когда поток небольшой.

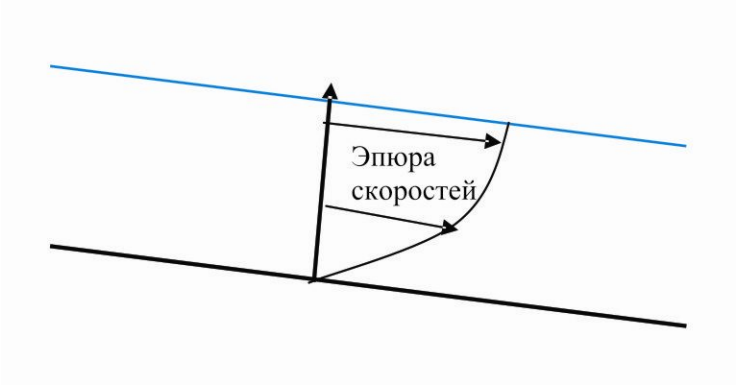


Рис А1.4 Эпюра скоростей в равномерном живом сечении

Минимальные скорости также должны поддерживаться в целях предотвращения отложения наносов, когда поток имеет высокое содержание наносов, а также, для ограничения возникновения болезней, передающихся через воду преимущественно из стоячих водоемов. Рекомендуемые скорости приведены в таблице А1.1.

В таблице А1.1 *V* относится к средней скорости, так как скорость не распространяется равномерно по всему поперечному сечению канала из-за трения.

Таблица А1.1.
Стандартный диапазон скорости в оросительных каналах

Скорость, м/с		
V_{max}, (м/с)	Земляные каналы в песчаном грунте	0,3-0,8
	Земляные каналы в устойчивом грунте	1,0
	Облицованные каналы	2,0
V_{min}, (м/с)		0,5

Шероховатость

Уравнение Маннинга-Стриклера показывает, что скорость зависит не только от гидравлического радиуса и уклона, а также от шероховатости поверхности канала. Как уже упоминалось выше, равновесие устанавливается между энергией, рассеиваемой за счет силы трения вдоль стенок и дна, и потенциальной потерей напора вдоль наклонного канала.

Шероховатость может быть выражена коэффициентом Маннинга (*n*) (*n* увеличивается с увеличением шероховатости), или коэффициентом расхода Маннинга-Стриклера (*K=1/n*). Шероховатость не является установившейся постоянной характеристикой сечения канала. Как правило, она увеличивается с течением времени (таблица А1.2). Однако уменьшение шероховатости можно наблюдать сразу после приведения в порядок стенок земляного канала. Таким образом, это явление связано с гладкими стенками и/или отложением мелких аллювиальных наносов на дне русла канала.

Таблица А1.2
Значения коэффициента расхода К (n), взятые из литературы

Облицовка каналов	**Состояние**	
	Отличное	**Ухудшенное**
Гладкие цементные стенки	100 (0.010)	75 (0.013)
Каналы, облицованные бетоном	83 (0.012)	55 (0.018)
Земляные каналы (обычные) [1]	60 (0.017)	40 (0.025)
Каналы с каменистым руслом	40 (0.025)	25 (0.040)

[1] Шероховатость земляных каналов сильно колеблется в течение сезона из-за роста сорняков и т.д.

Режимы установившегося потока

В конечном счете, и, что самое важное, пропускная способность связана с расходами потока воды в канале. Расход равен произведению живого сечения (*A*) и скорости (*V*) потока:

$$Q = V*A \qquad (3)$$

Для равномерного движения потока применяется стандартное уравнение Маннинга-Стриклера:

$$Q = K\,A\,R^{2/3}\,S^{1/2} \qquad (4)$$

где:

Q = расход (м3 /с);

K = коэффициент шероховатости (м1/3 / с);

A = площадь живого сечения канала (м2);

R = гидравлический радиус (м);

S = уклон дна русла канала (м/м).

В тех случаях, когда канал большого размера и имеет прямоугольную форму, гидравлический радиус *R* равен высоте воды *h* и уравнение можно упростить. Пропускная способность может рассчитываться как:

$$Q = K\,w\,h^{5/3}\,S^{1/2} \qquad (5)$$

где:

- *w* = ширина канала (м);
- *h* = глубина воды (м).

Неравномерное движение потока

Поток находится под воздействием в тех случаях, когда глубина воды вдоль канала контролируется в единичном пункте. Уравнения для равномерного движения потока уже не применяются, поскольку эпюра движения воды отклоняется от эпюры равномерного потока при постепенном приближении к контрольной точке (рисунок А1.5).

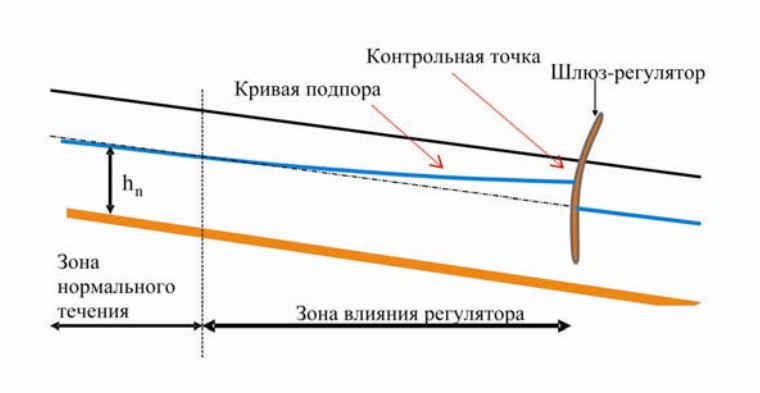


Рис А1.5 Режим течения в условиях неравномерного потока

МЕТОД НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА

По своей природе установившийся поток редко встречается в оросительных каналах. Колебания возникают постоянно в результате управления или от непредвиденных колебаний в притоках или оттоках. Поэтому, знание свойств установившегося движения потока оросительной системы не является достаточным для эффективного управления.

Неустановившееся движение потока представляет собой динамику изменения потока во времени. Расход изменяется как функция времени. Таким образом, общее уравнение 1 можно записать как:

$$Q(x,t) = F\,(\text{геометрия, гидравлические переменные, время}) \qquad (6)$$

Для описания этих условий были выведены дифференциальные уравнения Сэн-Венана. В прошлом предлагалось и использовалось несколько способов математического описания неустановившегося движения потока с различными уровнями упрощения, в зависимости от возможностей вычислительной техники. В области регулирования потока, например, были разработаны упрощенные подходы с использованием функций перехода (функции Лапласа и Фурье) для моделирования распространения волн. Решение полных гидродинамических моделей, основанных на числовом решении двух уравнений Сэн-Венана, может быть выполнено с использованием персональных компьютеров.

Метод неустановившегося движения потока необходим для полного описания динамики оросительных систем, например, чтобы оценить время запаздывания между водовыпуском и водоприемником. К примеру, чтобы прогнозировать работу головных сооружений как функцию ожидаемого спроса на воду, важно знать время, необходимое чтобы вода дошла от главного водохранилища до пользователя, расположенного ниже по сети.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛНЫ

Характерные особенности распространения волны вдоль канала очень важны при управлении каналом. Фактически, изменения потока по длине канала происходят относительно долгое время. Нередко требуется 24 часа, чтобы изменения в объёме подаваемой воды в вышерасположенном канале достигли каналов, расположенных в нижней части сети. Таким образом, для управляющих каналами важно знать как распространяются волны, чтобы предусмотреть изменения при регулировании и, следовательно, удовлетворить спрос на воду вовремя, (Рисунок А1.6).

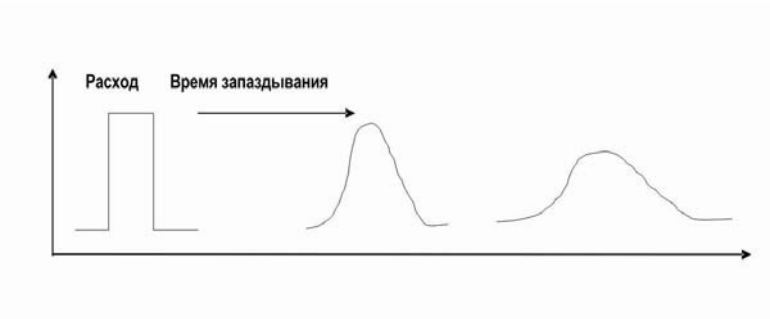


Рис А1.6 Распространение волны вдоль канала

Знание времени прохождения волны по каналу также имеет важное значение при разработке стратегии управления сооружениями и, в частности, для предотвращения такого типа управления, при котором бы происходило увеличение возмущений (колебаний) вдоль канала.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИРРИГАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Отдельные сооружения ирригационных систем можно разделить на две основные гидравлические категории: по типу водопропускного отверстия (также называемый пропуском расхода понизу) и переливного типа (пропуску воды поверху) (Таблица А1.3). Для обеих категорий можно выделить два типа потоков с различными гидравлическими законами и последующими требованиями к эксплуатации.

Таблица А1.3
Типы ирригационных сооружений

Гидравлическая категория	Примеры	Тип потока	Модульность	Расход, определяемый по
Донный тип отверстия (пропуск понизу)	Шлюз, сегментные затворы, диафрагмовые распределители	свободное течение	полумодульное	$h_{ВБ}$
		в условиях подпора	безмодульное	$h_{ВБ}$ & $h_{НБ}$
Переливной тип (пропуск поверху)	Водосливы с широким порогом, водосливы типа «утиный нос», лотки	свободное течение	полумодульное	$h_{ВБ}$
		в условиях подпора	безмодульное	$h_{ВБ}$ & $h_{НБ}$

Поток считается свободным, когда при переходе из верхнего бьефа в нижний, он проходит стадию критического (или бурного) движения (рисунок А.1.7). Только напор воды, оказывающий давление на ось затвора, регулирует расход воды через сооружение. Эти сооружения называются полумодульными.

Поток находится в условиях подпора, если он погружен под горизонт воды, контролируемый точкой (порогом или др.) в нижнем бьефе. В этих условиях, напор ниже водозабора в равной степени влияет на расход, проходящий через сооружение. Такие сооружения называются безмодульными.

Кроме насосов, и, возможно, распределителей типа «Neyrpic», в практике нет примеров модульных сооружений. Это означает, что для непропорциональных систем контроль за уровнем воды является весьма важной дополнительной задачей эксплуатации канала.

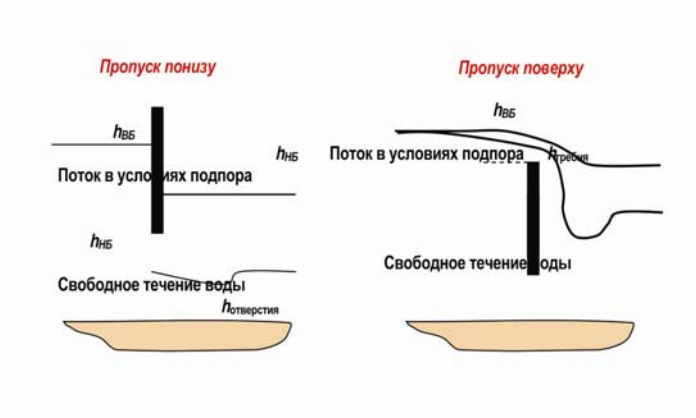


Рис А 1.7 Типы движения потока на сооружениях

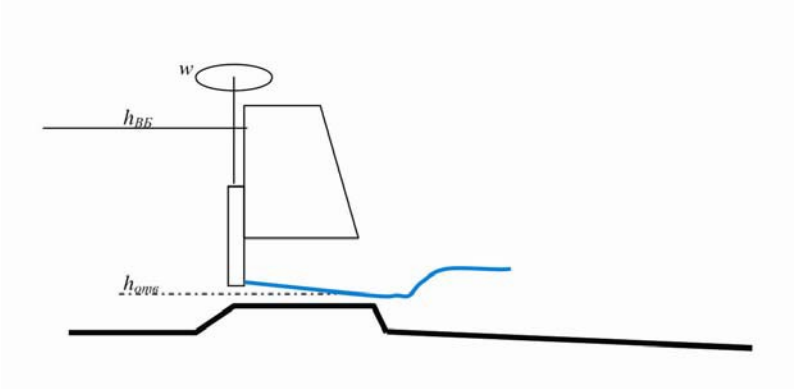


Рис А1.8 Водовыпуск с пропуском расхода понизу при свободном течении потока в нижнем бьефе

Гидравлические параметры отверстия (пропуск воды понизу) при свободном течении потока

Сооружения с донным типом отверстия можно найти в любой части ирригационных систем. Они часто используются в качестве водовыпусков. Для описания потока на сооружениях с отверстием донного типа, при условиях свободного движения потока в нижнем бьефе (рисунок А1.8), необходимо только одно уравнение:

$$q = a\,A\,(h_{ВБ} - h_{отверстия})^{0.5} \qquad (7)$$

где:

- q = расход воды через сооружение (м^3/с);
- a = коэффициент расхода, равный $c(2g)^{0,5}$;
- с = коэффициент расхода в зависимости от формы отверстия ($c \approx 0,5$);
- $A_{(w)}$ = живое сечение потока на сооружении, выраженное в виде функции параметра w (м^2);

- $h_{ВБ}$ = уровень воды в верхнем бьефе сооружения (м);
- $h_{отверстия}$ = уровень оси отверстия (м).

Примерами сооружений с донным водовыпуском являются шлюзовые затворы, отверстия (водовыпуски в виде труб) и трубка Вентури. Одной из основных гидравлических характеристик является отношение расхода (q) к напору (h) = ($h_{ВБ}$ - $h_{отверстия}$) с показателем степени 0.5.

Гидравлические параметры отверстия в условиях подпора

Сооружения довольно часто находятся под водой, то есть поток ниже сооружения контролируется створом или сооружением. Уровень воды на выходе из затвора зависит от расхода, а также от параметров настройки и регулирования нижнего бьефа.

Сооружениями, которые подпадают под эту категорию, являются:

- водоотводы, оснащенные измерительными приборами (водослив или лоток) ниже сооружения на входе в канал младшего порядка;
- водоотводы, обслуживающие глубинный канал, который контролируется сооружением ниже по течению;

- водоотводы или регуляторы, для которых погружение под воду продиктовано локально условиями нормального потока;
- регуляторы, находящиеся под воздействием ближайшего регулятора ниже по течению.

В условиях подтопления (Рисунок А1.9) расчеты расходов сложнее, чем в условиях свободного движения потока. Это объясняется тем, что уровень воды в нижнем бьефе зависит от условий в данном канале. Изменение глубины воды в канале старшего порядка ($\Delta h_{ВБ}$) порождает колебания в расходе (Δq), которые, в свою очередь вызывают изменения в уровне воды в нижнем бьефе ($\Delta h_{НБ}$), контролируемым водосливом. Как следствие, изменения в уровне воды на водовыпуске уже не равны $\Delta h_{ВБ}$, а равны ($\Delta h_{ВБ} - \Delta h_{НБ}$). Решение этой проблемы требует рассмотрения двух стадий и двух уравнений.

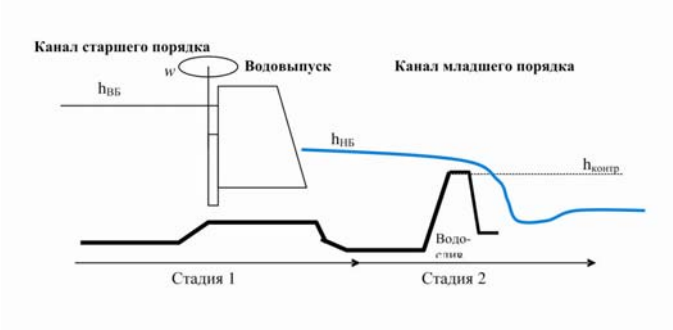


Рис А1.9 Затопленное водосливом донное водопропускное отверстие

Основными уравнениями потока являются:

Стадия 1: $q = a\,A\,(h_{ВБ} - h_{НБ})^{0.5}$ (8)

Стадия 2: $q = a'\,b\,(h_{НБ} - h_{контр})^{1.5}$ (9)

где:

- q = расход через сооружение (м^3/с);
- $A_{(w)}$ = живое сечение потока на сооружении, выраженное в виде функции параметра w (м^2);
- a = коэффициент расхода, равный $c(2g)^{0,5}$;
- c = коэффициент расхода в зависимости от формы отверстия ($c \approx 0,5$);
- $a'\,b$ = гидравлические параметры в формуле второй стадии;
- $h_{ВБ}$ = уровень воды в верхнем бьефе сооружения (м);
- $h_{НБ}$ = уровень воды в нижнем бьефе сооружения (м);
- $h_{контр}$ = контрольным уровнем в нижнем бьефе принят уровень порога водослива (м).

Гидравлические параметры сооружений с пропуском расхода поверху

Переливные сооружения (с пропуском воды поверху) используются в основном в целях управления водой, измерения уровня воды и в качестве сооружений, обеспечивающих безопасность. Они редко используются в качестве сооружений для регулирования расхода (рисунок А1.10), из-за гидравлических характеристик и часто более сложных требований по эксплуатации, связанных с настройкой. Примерами сооружений с пропуском расхода поверху являются: водосливы с широким порогом, шандоры, водосливы Чиполетти и лотки Паршалла. Основной гидравлической характеристикой всех сооружений с пропуском воды поверху является то, что расход (q) относится к напору (h) ($=h_{ВБ} - h_{отверстия}$) с показателем степени 1,5. Гидравлическое уравнение записывается как:

$$q = c\,b\,h^{1.5} \qquad (10)$$

где:

- q = расход через сооружение (м^3/с);
- c = коэффициент водослива для свободного течения потока (зависит от размера, формы и угла к поперечному сечению; $c \approx 1{,}0\ldots1{,}9$);
- b = ширина порога (м);
- h = высота над порогом (м).

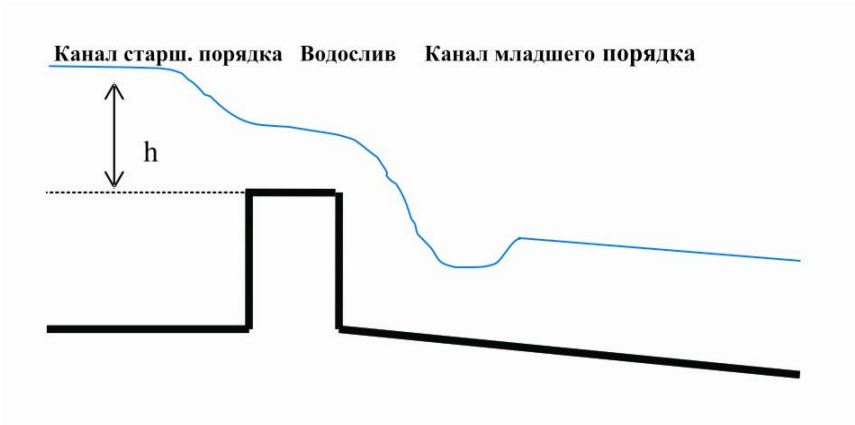


Рис А1.10 Регулятор расхода с пропуском воды поверху

КОНТРОЛЬ ЗА УРОВНЕМ ВОДЫ

Учитывая, что спрос на воду не постоянен во времени, расходы в ирригационной сети, как правило, колеблются. Следствием этого является то, что без специального контроля, глубина воды в каналах значительно варьирует, а также изменяется уровень воды в точках водозабора. Так как расходы через водоотводы связаны с уровнем воды в канале старшего порядка, контроль за уровнем воды важен для обеспечения хорошего уровня услуг по водоподаче.

Если на канале старшего порядка отсутствует шлюз-регулятор, глубина воды может быть рассчитана из стандартной формулы Маннинга-Стриклера при условии, что поток является равномерным. Расчёты для большого канала прямоугольной формы, производятся по формуле:

$$h = \left[\frac{Q}{KwS^{1/2}}\right]^{3/5} \qquad (11)$$

где:

- Q = расход, (м^3/с);
- K = коэффициент шероховатости, (м$^{1/3}$/с);
- w = ширина дна канала (м);
- S = уклон дна русла канала, (м/м).

Это означает, что в условиях нормального движения потока, колебание расхода в пределах 50 процентов приведет к изменению уровня воды на чуть более 30 процентов (рисунок А1.11).

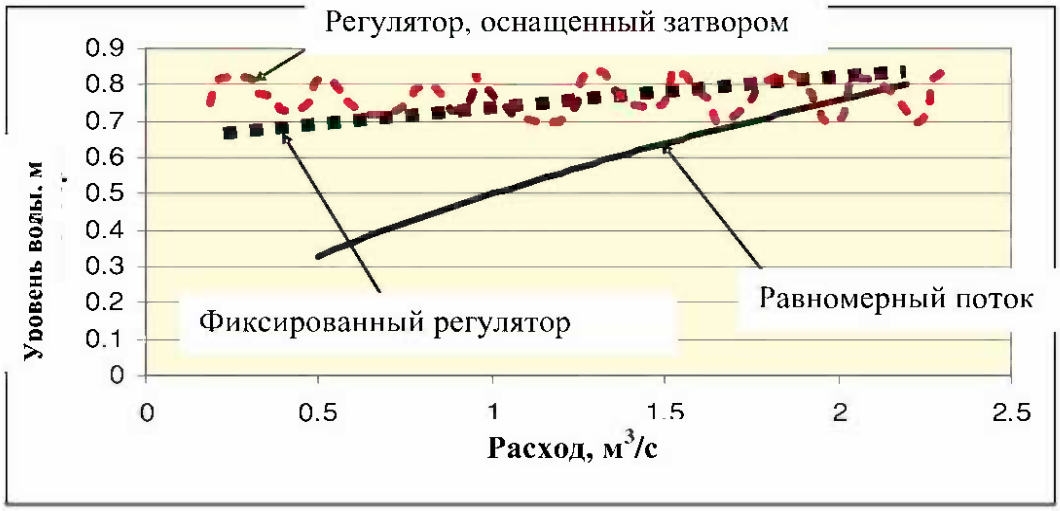


Рис А1.11 Изменения уровня воды в зависимости от расхода при равномерном потоке, фиксированном водосливном регуляторе и регуляторе, оснащенным затвором

В целях обеспечения гарантии, что водовыпуски (водораспределительные сооружения) надлежащим образом обеспечены водой при соответствующем и стабильном напоре, уровни воды должны регулироваться.

Водораспределительные сооружения могут также служить в качестве сооружений, где производится контроль за уровнем воды. Такие сооружения, называемые перегораживающими сооружениями или шлюзами-регуляторами, располагаются чуть ниже водовыпусков; их основная функция заключается в поддержании стабильного уровня воды. Зависимости *Q-h* для регуляторов уровня воды аналогичны зависимостям для регуляторов расхода. По той же причине, по которой регуляторы с пропуском воды поверху являются неподходящими в качестве регуляторов расхода, то есть их нечувствительность к изменениям уровня воды, они являются превосходными шлюзами-регуляторами (Рисунок А1.12).

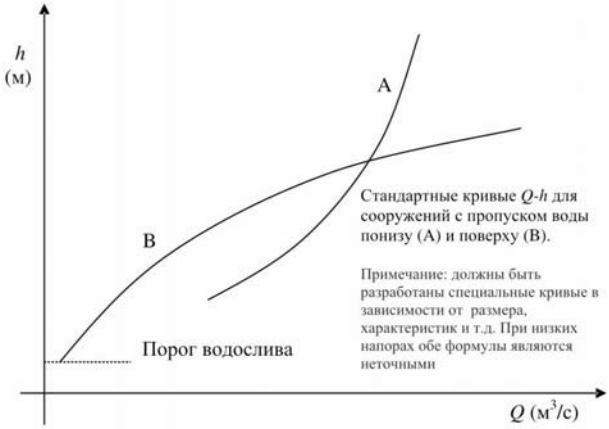


Рис А1.12 Кривые *Q-h* для гидротехнических сооружений

ССЫЛКИ

Chow, V.T. 1959. *Open-channel hydraulics*. International Edition 1973. McGraw-Hill Book Company. 680 pp

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Чувствительность ирригационной инфраструктуры и эксплуатационные параметры

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СООРУЖЕНИЙ В ОТКРЫТЫХ РУСЛАХ

Определение

Для водозабора (водоотвода), показатель чувствительности представляет собой отношение относительного изменения в водозаборе (расхода *q*) к колебанию уровня воды в канале старшего порядка (*H*):

$$S = \frac{\Delta q / q}{\Delta \mathrm{H}} \qquad (1)$$

При контроле за уровнем воды (на регуляторе), показатель чувствительности представляет собой отношение изменения (*H*) к относительному изменению расхода *Q* в магистральном канале:

$$S = \frac{\Delta \mathrm{H}}{\Delta Q / Q} \qquad (2)$$

Оценка чувствительности сооружения

Существуют три способа оценки показателя чувствительности сооружения:

- с помощью гидравлических формул;
- непосредственное измерение;
- обработка данных записанных уровней.

Расчет показателей чувствительности с помощью гидравлических формул

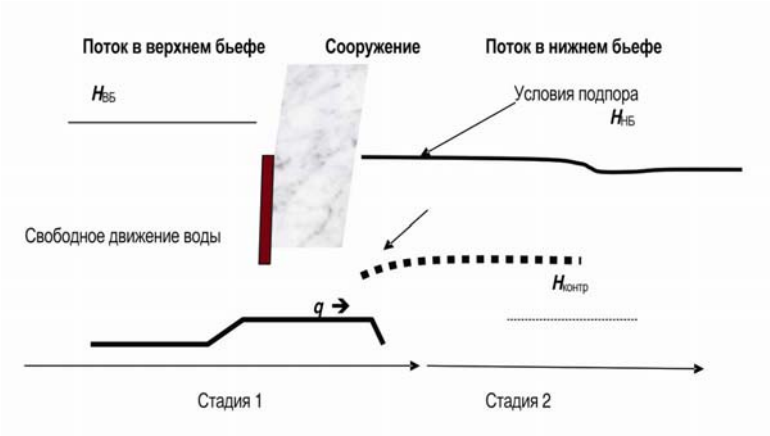
По условиям потока различают свободное движение воды или движение воды в условиях подпора. Свободное движение воды подразумевает, что нижний бьеф сооружения не оказывает какого-либо воздействия на поток, проходящий через соружение, и наоборот, оказывает в условиях подпора. На рисунке А2.1 показан пример сооружения, пропускающего воду через донное отверстие, в этих двух возможных условиях.

Подпор может быть вызван:

- наличием измерительных водосливов;
- наличием водослива ниже по течению;
- нормальным течением потока в нижнем бьефе;

- потоком, находящимся под воздействием перегораживающего сооружения, расположенного далее в нижнем течении.

В общем случае подпора последовательность входа-выхода носит двойственный характер: изменение во входном уровне $H_{ВБ}$ создает изменение расхода q, которое, в свою очередь, вызывает изменение уровня воды $H_{НБ}$ в нижнем бьефе сооружения. Как следствие, конечное изменение q зависит как от $H_{ВБ}$, так и $H_{НБ}$.



При одном и том же первоначальном напоре, при подтоплении сооружений уменьшаются колебания в расходе, тем самым снижается чувствительность сооружения по сравнению с сооружением при свободном движении воды.

Рис А2.1 Движение потока через ирригационное сооружение при различных условиях в нижнем бьефе

Точный расчет требует рассмотрения двух уравнений - одно для самого сооружения, и второе для режима потока непосредственно в нижнем бьефе сооружения.

Общими основными уравнениями потока, проходящего через сооружение в открытом русле, являются:

Стадия 1: $q = a\,A\,(H_{ВБ} - H_{НБ})^{\alpha}$ (3)

Стадия 2: $q = a'\,b\,(H_{НБ} - H_{контр})^{\beta}$ (4)

где:

- A = живое сечение потока на сооружении, (A = площадь отверстия при пропуске потока понизу, и, A = длина порога при пропуске потока поверху);
- a = коэффициент расхода, равный $c(2g)^{0,5}$;
- c = функция коэффициента потока в зависимости от формы потока (c ≈ 0,5 для отверстия);
- a'& b = гидравлические параметры из закона для второй стадии;
- α, β = показатели степени, равные 1/2 при пропуске потока понизу, 3/2 при пропуске поверху, и приблизительно 1,6 - для нормального течения;
- $H_{ВБ}$ = уровень воды в верхнем бьефе сооружения (м);
- $H_{НБ}$ = уровень воды в нижнем бьефе сооружения (м);
- $H_{контр}$ = контрольный уровень, зависящий от условий течения в нижнем бьефе;
- q = расход через сооружение;

$H_{контр}$ является постоянным контрольным уровнем, принятым по: (i) если есть водослив, то по уровню порога водослива или (ii) контрольному уровню (дно канала или уровень порога), который обуславливает движение потока на сооружении ниже по течению (таблица А2.1). Предполагается, что $dH_{контр} = 0$.

Таблица А2.1
Условия потока и контрольные точки, которые рассматриваются в расчетах.

Специфические условия	$H_{контр}$	Второе уравнение	α	β
Свободный поток при пропуске понизу	Ось отверстия	не нужно	0.5	нет
Свободный поток при пропуске поверху	Уровень порога водослива	не нужно	1.5	нет
Пропуск понизу в условиях подпора со стороны измерительного водослива в нижнем бьефе	*H* порога измерительного водослива	необходимо	0.5	1,5
Пропуск понизу в условиях подпора при нормальном равномерном течении	*H* дна русла участка канала нижнего бьефа	необходимо	0.5	1,66

Условия свободного потока

В условиях свободного движения воды на водовыпуске, стадия 2 (уравнение 4) не актуальна, и проблема сводится к решению одного уравнения, т.е. уравнения 3. В этом случае, $H_{НБ}$ берется либо по уровню порога водослива в случае пропуска воды поверху, либо по оси отверстия в случае пропуска воды понизу.

Решение для общего случая в условиях подпора

В общем случае, преобразование уравнений 3 и 4 дает:

$$\left(\frac{q}{aA}\right)^{1/\alpha} = H_{ВБ} - H_{НБ} \qquad (5)$$

и

$$\left(\frac{q}{a'b}\right)^{1/\beta} = H_{НБ} - H_{контр} \qquad (6)$$

Складывая уравнения 5 и 6, получаем:

$$\left(\frac{q}{aA}\right)^{1/\alpha} + \left(\frac{q}{a'b}\right)^{1/\beta} = H_{ВБ} - H_{контр} \qquad (7)$$

Затем, взяв производную логарифма по переменной $H_{ВБ}$, получаем:

$$\frac{1}{\alpha}\left(\frac{q}{aA}\right)^{1/\alpha^{-1}}\left(\frac{\partial q}{\partial H_{ВБ}}\right) + \frac{1}{\beta}\left(\frac{q}{a'b}\right)^{1/\beta^{-1}}\left(\frac{\partial q}{\partial H_{ВБ}}\right) = \frac{\partial(H_{ВБ} - H_{контр})}{\partial H_{ВБ}} \qquad (8)$$

Из этого получим, учитывая, что $dH_{контр} = 0$:

$$dH_{ВБ} = \left|\frac{q^{\frac{1}{\alpha}-1}}{\alpha[aA]^{1/\alpha}} + \frac{1}{\beta}\frac{q^{\frac{1}{\beta}-1}}{[a'b]^{1/\beta}}\right|\partial q \qquad (9)$$

которое можно переписать как:

$$dH_{ВБ} = \left[\frac{q^{\frac{1}{\alpha}}}{\alpha[aA]^{1/\alpha}} + \frac{1}{\beta}\frac{q^{\frac{1}{\beta}}}{[a'b]^{1/\beta}}\right]\frac{dq}{q} \qquad (10)$$

Замена уравнений 3 и 4 приводит к:

$$dH_{ВБ} = \left[\frac{1}{\alpha}(H_{ВБ} - H_{НБ}) + \frac{1}{\beta}(H_{НБ} - H_{контр})\right]\frac{dq}{q} \qquad (11)$$

которое можно записать как:

$$dH_{ВБ} = \frac{H_E}{\alpha}\frac{dq}{q} \qquad (12)$$

путем введения эквивалента потери напора (H_E), который равен:

$$H_E = (H_{ВБ} - H_{НБ})\left[1 + \frac{\alpha(H_{НБ} - H_{контр})}{\beta(H_{ВБ} - H_{НБ})}\right] \quad (13)$$

Эквивалент потери напора H_E на отдельном сооружении равен потере напора на сооружении с поправкой на фактор, который отражает влияние подтопления (таблица А2.2).

Таблица А2.2
Выражение показателей чувствительности

S водозабора (водоотвода)	$S = \frac{dq}{q\,dH_{ВБ}} = \frac{\alpha}{H_E}$
Для S контрольного уровня (регулятора)	$S = \frac{dH_{ВБ}}{(dq/q)} = \frac{H_E}{\alpha}$
H_E	$H_E = (H_{ВБ} - H_{НБ})\left[1 + \frac{\alpha(H_{НБ} - H_{контр})}{\beta(H_{ВБ} - H_{НБ})}\right.$

Первое грубое приближение показателей чувствительности, с учетом H_E = напору, представляет собой:

Прибл. H_E = *Напор* = ($H_{ВБ}$ – $H_{НБ}$) (14)

$$S_{водоотвода} = \frac{\alpha}{H_{ВБ} - H_{НБ}} \quad (15)$$

$$S_{регулятора} = \frac{H_{ВБ} - H_{НБ}}{\alpha} \quad (16)$$

Чувствительность водовыпуска

В зависимости от типа водовыпуска и напора, возникающего на нем, чувствительность колеблется от низких до очень высоких значений. На низко чувствительных водовыпусках, распределение воды не подвержено влиянию колебаний, происходящих ниже по течению.

В системе, направленной на предоставление конкретных услуг (расходов) пользователям, желательно, чтобы водовыпуски были низко чувствительными. Для системы, которая базируется на пропорциональном распределении, низкая чувствиительность нежелательна, и чувствительность водовыпуска должна быть настроена в соответствии с чувствительностью шлюза-регулятора для того, чтобы иметь гибкий показатель, равный 1 в точках распределения.

В некоторых случаях вдоль системы, оборудованной затворами, было бы полезно иметь достаточно высокочувствительные водовыпуски с целью сброса избытка или компенсации дефицита воды.

Чувствительность водовыпуска, как показано в таблице А2.3, может меняться.

Таблица А2.3
Классификация чувствительности для водовыпуска

Водовыпуск	Показатель чувствительности	Пример
Высокочувствительный	выше чем 2	Водовыпуск с пропуском воды поверху Водовыпуск с пропуском воды понизу при очень низком напоре (0,25 м или ниже)
Среднечувствительный	от 1 до 2	Водовыпуск с пропуском расхода понизу при напоре от 0,25 м до 0,5 м
Низкочувствительный	ниже 1	Сооружение, оборудованное затвором с пропуском расхода понизу при напоре > 0.5м Специальное модульное сооружение (например, “Neyrpic” см. далее)

Пример водовыпусков с низкой чувствительностью

Распределители типа «Neyrpic» (экранные распределители) предназначены для контроля за расходом, когда имеющийся напор является низким и непостоянным. Регулирование обеспечивается путем изменения режима потока. При низких напорах этот режим представляет собой свободный поток с пропуском расхода поверху (по порогу). При высоком напоре, диафрагмы создают режимы потока с пропуском воды через донные отверстия со сжатием струи.

В случае распределителя с диафрагмами, показанного на рисунке А2.2, расход регулируется в пределах 10 процентов при колебании уровня воды от 13,5 до 28 см над уровнем порога. Таким образом, чувствительность равна

$S_{успокоителя}$=0.1/(0.28-0.1345)= 0.68, что является довольно низким показателем.

Классический водвыпуск с пропуском расхода понизу, в такой же ситуации будет иметь чувствительность, определяемую как: S=0.5/(средний напор)= 0.5/0.2 = 2.5.

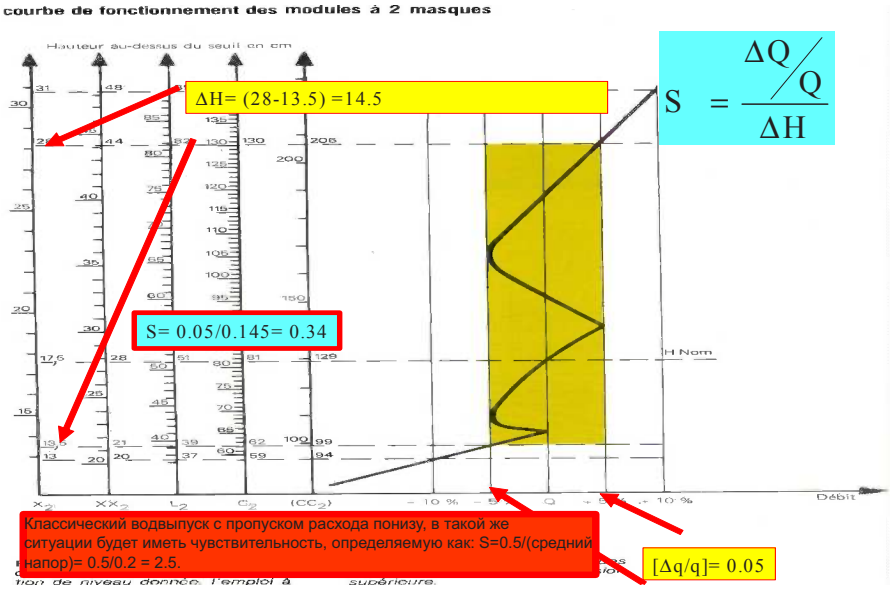


Рис А2.2 Рабочая кривая распределителя типа «Neyrpic» и оценка его чувствительности

Факторы, влияющие на чувствительность водовыпуска: напор / уровень воды на магистральном канале

В первом приближении, чувствительность сооружения зависит, от напора, оказываемого на него. Она может меняться как функция режима эксплуатации канала (средняя высота в канале старшего порядка) и некоторых вмешательств на сооружениях.

Например, в Шри-Ланке канал, который изначально имел очень низкую чувствиительность, начал эксплуатироваться хаотично в результате комбинированных действий, что повысило чувствительность от 0.5 до 3. Первое из этих действий

заключалось в систематическом строительстве водосливов ниже водораспределителей, что в результате привело к повышению уровня воды примерно на 40 см и в среднем изменило чувствительность приблизительно до 2.

Второе действие заключалось в изменении режима работы канала старшего порядка (средний уровень воды в магистральном канале на 10 см ниже по отношению к значению нормальной глубины воды [НГВ]), и это дополнительно снижает средний напор на водовыпусках. Таким образом, средняя чувствительность изменилась до 3.

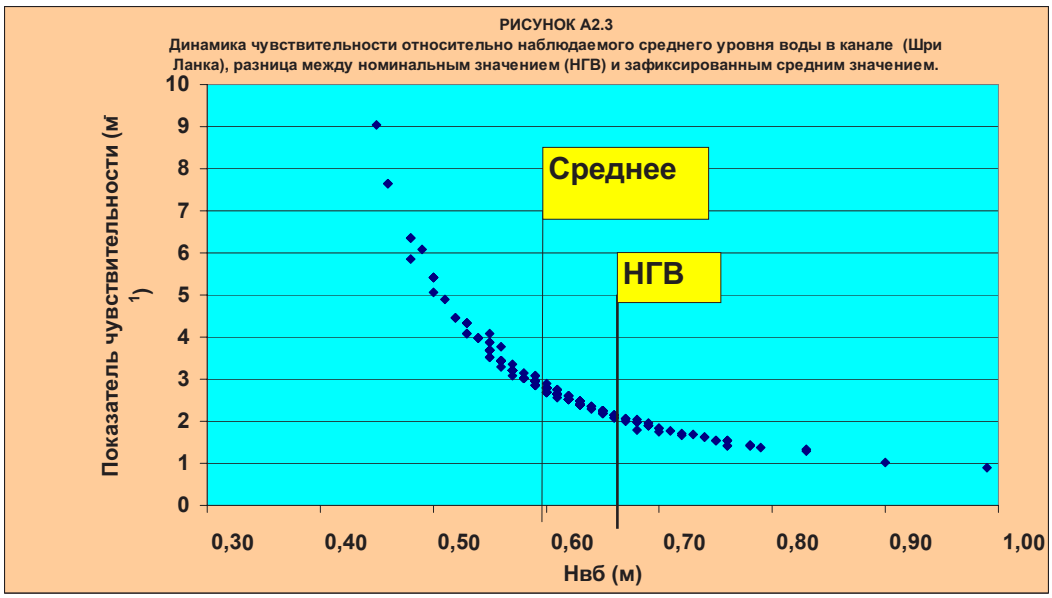
Влияние горизонта воды в канале на показатель чувствительности показано на рисунке А2.3.

Аналогичный пример повышения чувствительности в результате строительства измерительного водослива был обнаружен в ирригационной системе Сансари Моранг.

Чувствительность регулятора

Шлюзы-регуляторы являются ирригационными сооружениями, контролирующими глубину воды по каналу, путем корректировки локальных потерь напора (рис. А2.4). Степень контроля и амплитуда колебаний глубины воды от нулевого до максимального расхода зависит от типа сооружения. Например, водосливной регулятор без затворов на гребне не управляет глубиной воды, но амплитуда результирующего колебания по отношению к изменению расхода является очень маленькой. И наоборот, регуляторы, оборудованные затворами, имеют высокий уровень регулирования, но при неправильном управлении амплитуда колебаний глубины воды может быть большой.

Для шлюзов-регуляторов, разница между подачей и транспортировкой не имеет значения. Тем не менее, необходимо учитывать эффекты как в сторону повышения, так и понижения.



Снижение чувствительности шлюза- регулятора

Уравнения, описывающие поток, проходящий через регулятор, представлены ранее в таблице А2.1:

$$S = \frac{H_{\mathrm{E}}}{\alpha} \qquad (17)$$

В случае свободного потока после отверстия, H_{E} равен разнице между уровнем воды в верхнем бьефе $H_{\mathrm{ВБ}}$ и осью открытия ниже затвора ($H_{\text{контр}}$ = $H_{\text{отверстия}}$). Как

правило, ниже по течению регуляторы подтоплены, и учитываемая разница напора представляет собой значение H_E, рассчитанное по полной формуле (уравнение 13).

Для сооружения с донным водопропускным отверстием, α = 0,5, следовательно:

$$S = 2H_E \qquad (18)$$

Регуляторы с донным водопропускным отверстием обычно оснащаются водовыпусками с затворами, регулирующая функция которых достигается за счет управления этими затворами.

Для сооружений с пропуском расхода поверху, α = 3/2 и, таким образом:

$$S = 2/3.h \qquad (19)$$

где h - высота потока на пороге.

Пример регулятора с расходящимся водосливом (типа «у-тиный нос»)

Регулятор с водосливом типа «утиный нос» является низко чувствительным регулирующим сооружением. По конструкции, его функция заключается в преобразовании значительных колебаний расхода воды в незначительные колебания высоты потока, без какого-либо вмешательства в процесс.

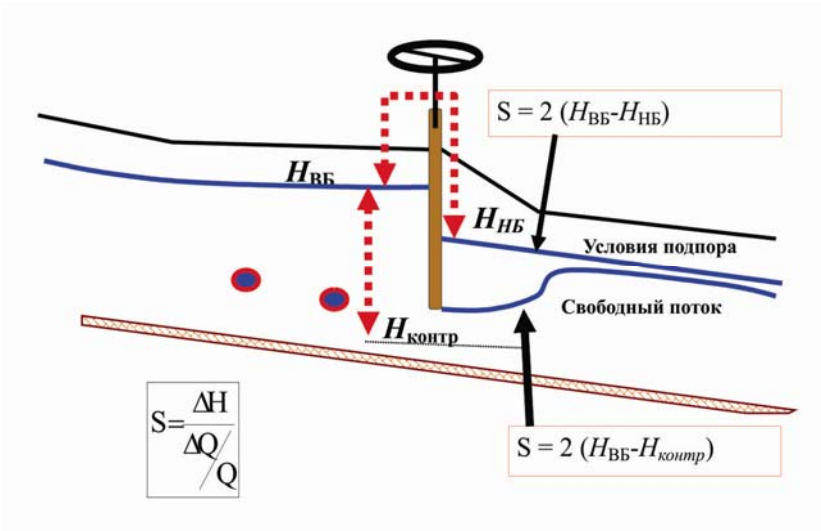


Рис А2.4 Регулятор с донным водопропускным отверстием

Предполагая, что водослив работает в свободном режиме потока (без влияния со стороны нижнего бьефа), уравнение для пропуска потока поверху будет следующим:

$$Q = c\,L_c\,[h]^{3/2} \qquad (20)$$

где,

- c = коэффициент потока на водосливе, зависящий от формы порога (с ≈1,5-1,7);
- L_c = длина порога водослива;
- h = напор воды на водосливе (измеряется на заданном расстоянии выше водослива);
- Q = расход, проходящий через водослив.

Из выражения производной логарифма уравнения 20, можно определить показатель чувствительности, который равен:

$$S = 0.66\ h \qquad (21)$$

При *h,* ограниченном до 0,5 м, когда $S < 1/3$.

Взаимное влияние шлюзов-регуляторов

Регуляторы зачастую подтоплены в нижнем течении. В первом подходе, при котором не учитывается подтопление, дается предварительный показатель чувствиительности на основе разницы в напоре в верхнем и нижнем бьефе.

Трудности, связанные с близостью регуляторов, могут быть результатом их взаимного влияния. Контрольная точка в нижнем бьефе регулятора иногда является следующим регулятором, расположенным ниже по течению. Поэтому, условия потока ниже регулятора могут зависеть от изменений в регулировании и чувствительности ближайшего регулятора.

Регуляторы, которые, по сути, не являются чувствительными, могут стать такими, когда находятся под воздействием. Это означает, что по отдельности, они плохо реагируют на изменения по уровню воды при изменении расхода. Однако, в случае расположения на кривой подпора очень чувствительного регулятора ниже по течению, они могут среагировать, трансформируя колебания уровня ниже по течению от них ($\Delta H_{НБ}$) в колебания уровня выше по течению ($\Delta H_{ВБ}$).

В примере, представленном на рисунке А2.5, волна возмущения вначале движется вниз по каналу и пересекает регуляторы 1 и 2 (низко чувствительные), не вызывая больших колебаний в отметке уровня воды верхнего бьефа. Однако на регуляторе 3 (очень чувствительном), создаются сильные колебания в отметке уровня воды верхнего бьефа, и эти повышения происходят вверх по каналу настолько, что провоцируют аналогичные изменения в амплитуде на регуляторах 2 (сначала) и 1 (позже).

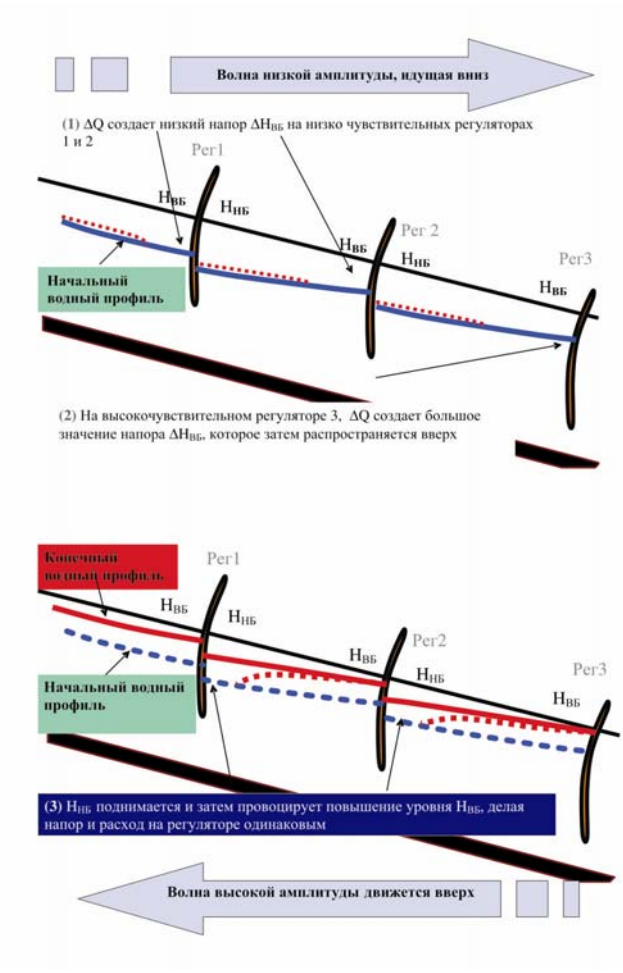


Рис А2.5 Влияние чувствительного регулятора, расположенного ниже по течению, на регуляторы выше по течению

Прямое измерение чувствительности

Для водовыпуска прямое измерение заключается в создании колебаний уровня воды в старшем канале, и измерении получающихся в результате колебаний расходов на водовыпуске. Таким образом, этот показатель рассчитывается непосредственно по формуле уравнения 1.

Для регулятора уровня, измерение заключается в обратном: создать колебания расхода на магистральном канале и измерить изменение напора в верхнем бьефе регулятора; показатель, таким образом, вычисляется по уравнению 2.

Влияние подтопления сооружения со стороны нижнего бъефа на чувствительность

Точное выражение показателей через гидравлические формулы подразумевает обратный эффект подтопления на чувствительность через выражение H_E (уравнение 13). При аналогичном напоре (разница между верхним и нижним бьефом), подтопление, как правило, снижает чувствительность сооружения по сравнению с сооружением, работающим в свободном режиме течения воды.

Для водовыпускающих сооружений, этим эффектом можно изначально пренебречь рассчитав простой показатель (Таблица А 2.2) при разнице в напоре ($H_{ВБ} – H_{НБ}$). Только сооружения с высоким показателем чувствительности (>1.5) должны рассчитываться более точно, учитывая эффект подтопления.

Обработка данных по регистрируемым отметкам

Обработка часто регистрируемых данных расходов по отметкам $H_{ВБ}$ и $H_{НБ}$ позволяет оценить их динамику. В условиях, когда положение открытия затвора не изменяется, также можно вывести принцип работы сооружения. В частности, потом можно эмпирическим путем определить гидравлические законы Стадии 2 (водозабор в нижнем течении канала), которые трудно установить, и определить значения для $H_{контр}$ и β. Затем производится расчет показателя, начиная с гидравлических формул.

Точность в оценке поведения сооружений на канале

Для полной оценки статической характеристики, такой как пропускная способность, требуется высокая степень точности. Однако для оценки поведения вполне достаточно низкой степени точности.

Необходимо знать, является ли чувствительность части системы, участка подсистемы или отдельного сооружения: очень низкой, низкой, средневысокой или очень высокой. Поэтому, знание значений этих параметров в пределах плюс-минус 25 процентов является приемлемым.

СОВОКУПНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА УРОВНЕ УЧАСТКА И ПОДСИСТЕМЫ

Изучение чувствительности водовыпусков и регуляторов, по существу, имеет важное значение для понимания поведения сооружений. Однако еще важнее изучить сочетание водовыпуск-регулятор. На самом деле, чувствительный водовыпуск может не вызывать никаких проблем в случае, если его контролирует регулятор. Однако неэффективный регулятор уровня, который вызывает значительные колебания напора в канале, может повлиять на низко чувствительные водовыпуски.

Комбинированная чувствительность регуляторов и водовыпусков

Под влиянием входящих колебаний расхода ($\Delta Q_{вх}$), участок будет реагировать поглощением части изменения потока через свои водовыпуски и распространением оставшейся части после стабилизации потока. Баланс между поглощением и

распространением является показателем поведения этого участка, в знании которого заинтересованы управляющие.

Простой случай пары водовыпуск-регулятор

На рисунке А2.6 показан пример, в котором участок рассматривается как бассейн между двумя регуляторами и показано возмущение на входе ($\Delta Q_{вх}$). После переходного периода, вызванного изменениями уровня воды в пределах участка, входящие возмущения будут равны доле, поглощенной самим участком и переданной в водовыпуск ($\Delta Q_{отв}$), и передающейся вниз на регулятор в нижнем течении ($\Delta Q_{вых}$). Доли обеих частей зависят от:

- чувствительности регулятора, отображаемой через изменение глубины воды *(ΔНВБ)*;
- чувствительности водовыпусков в пределах участка;
- отношения расхода, забираемого в пределах участка, по сравнению с основным расходом.

Система может быть проанализирована в несколько этапов. Во-первых, возмущение ($\Delta Q_{вх}$), поступающее на участок в верхнем течении в результате приводит к изменению уровня воды в пределах участка (ΔH), который зависит от чувствительности как регулятора, так и водовыпуска. Например, если ($\Delta Q_{вх}$) является положительным, то уровень воды будет повышаться, вызывая увеличение в отводимом потоке на водовыпуске ($\Delta Q_{отв}$), а также на регуляторе ($\Delta Q_{вых}$). Ситуация стабилизируется, когда возмущения компенсируют друг друга, а именно:

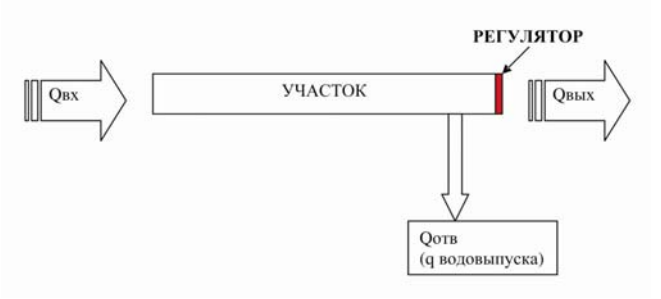


Рис А2.6 Схема участка с сооружениями в нижнем течении: регулятор & водовыпуск

$$\Delta Q_{вх} = \Delta Q_{отв} + \Delta Q_{вх} \qquad (22)$$

На регуляторе уравнение чувствительности представляет собой:

$$S_{рег} = \frac{\Delta H}{\Delta Q_{вых} / Q_{вых}} \qquad (23)$$

из которого может быть получено значение $\Delta Q_{вых}$.

$$\Delta Q_{вых} = \frac{Q_{вых} \Delta H}{S_{рег}} \qquad (24)$$

Аналогично, водовыпуск, находящийся под влиянием регулятора, будет испытывать изменение напора, соответствующее ΔH, которое затем будет преоб-

разовываться в колебание расхода ($\Delta Q_{отв}$), зависящее от чувствительности водовыпуска:

$$S_{водоотвода} = \frac{\Delta Q_{отв} / Q_{отв}}{\Delta H} \qquad (25)$$

из которого может быть получено значение $\Delta Q_{отв}$.

Замена рассчитанных значений $\Delta Q_{отв}$ и $\Delta Q_{вых}$ в уравнении баланса (уравнение 22) позволяет вычислить искомое значение ΔH:

$$\Delta H = \left[\frac{\Delta Q_{вх}}{S_{водоотвода} Q_{отв} + \frac{Q_{вых}}{S_{регулятора}}} \right] \qquad (26)$$

Далее это значение используется в уравнениях 23 и 25 для вычисления изменения расхода, которое поглощается $\Delta Q_{отв}$ и которое распространяется $\Delta Q_{вых}$.

Определяя чувствительность участка для водоподачи, S_{RD}, как отношение поглощенного возмущения - $\Delta Q_{отв}$, к входящему - $\Delta Q_{вх}$:

$$S_{RD} = \frac{\Delta Q_{отв}}{\Delta Q_{вх}} \qquad (27)$$

затем заменяя $\Delta Q_{отв}$ и $\Delta Q_{вх}$ из их выражений в уравнениях 25 и 26, получаем S_{RD}:

$$S_{RD} = \frac{Q_{отв}}{Q_{вх}} S_{водоотвода} S_{регулятора} \left[\frac{1}{1 + \left(S_{водоотвода} S_{регулятора} - 1 \right) \frac{Q_{отв}}{Q_{вх}}} \right] \qquad (28)$$

и для значения отведенного q (или $Q_{отв}$), которое является небольшим по сравнению с $Q_{вх}$,, допустимое упрощение вышепредставленного решения представляется в виде:

$$S_{RD} = \frac{Q_{отв}}{Q_{вх}} S_{водоотвода} S_{регулятора} \qquad (29)$$

Чувствительность водоподачи на участке зависит от произведения показателей чувствительности двух сооружений и удельного значения водозабора q/Q [$Q_{отв}/Q_{вх}$] на участке.

Данный показатель S_{RD} иногда может помочь в понимании поведения каналов в условиях возмущений.

Совокупность водовыпусков в пределах участка

Простой случай, описанный выше, относится к водовыпуску, контролируемому близлежащим регулятором. На практике, часто необходимо рассматривать несколько водовыпусков, а также тот факт, что некоторые водовыпуски могут не быть расположены близко к регулятору (рисунок А2.7), и, следовательно, иметь сниженный контроль и колебания глубины воды от регулятора.

В общем случае предполагается, что бассейн между двумя последовательными контрольными поперечными сооружениями обслуживает "*n*" водовыпусков, которые в общем случае не имеют одинаковые значения чувствительности и расхода.

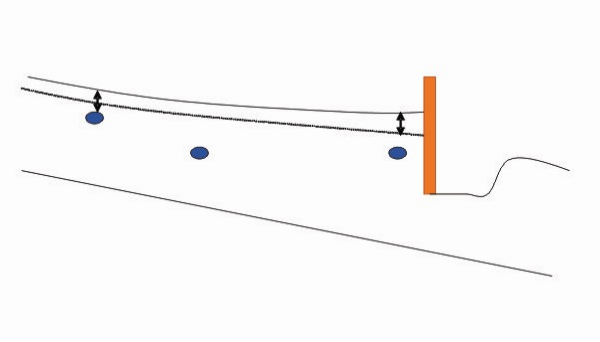


Рис А2.7 Совокупность водовыпусков на одном участке

Как и в случае, описанном выше, $\Delta Q_{вх}$ входящий на участок будет разделен на $\Delta Q_{отв}$ и $\Delta Q_{вых}$, для которых можно использовать одни и те же уравнения баланса и отклонения потока (уравнения 22 и 24).

Тогда необходимо сложить отклонения в водозаборе на водовыпусках. На каждом водовыпуске участка, изменения водозабора могут быть представлены как функция чувствительности и отклонения уровня воды, ΔH_i:

$$\Delta q_{\mathrm{i}} = q_{\mathrm{i}}\, \mathrm{S}_{водоотвода}(i)\Delta H_{\mathrm{i}} \qquad (30)$$

Тогда, общее отклонение расхода $\Delta Q_{отв}$, поданного в пределах участка вычисляется путем суммирования отклонений на водовыпусках:

$$\Delta Q_{\text{отв}} = \sum_{i=1}^{n} q_{\mathrm{i}}\ S_{\text{водоотвода}}(i)\ \Delta H_{\mathrm{i}} \qquad (31)$$

Если водовыпуски расположены к регулятору сравнительно близко, то колебание уровня воды следует считать постоянным и равным колебаниям на регуляторе, ΔH. В этом случае, уравнение упрощается как:

$$\Delta Q_{\text{отв}} = \Delta H_{\text{рег}} \sum_{i=1}^{n} q_{\mathrm{i}}\ S_{\text{водоотвода}}(i) \qquad (32)$$

Однако для более отдаленных водовыпусков, отклонение в уровне воды будет только частью отклонения на регуляторе. В этом случае, легко может быть введен фиксированный параметр [0,1] для каждого водовыпуска, допуская, что изменение уровня воды в месте расположения водовыпуска (i) [$\Delta H_{водоотвода}(i)$] линейно связано с изменением, происходящим на шлюзе-регуляторе ниже по течению [$\Delta H_{рег}$], контролирующим участок через параметр m_i. Это означает:

$$\Delta H_{\text{водоотвода}}(i) = m_{\text{i}} \Delta H_{\text{рег}} \qquad (33)$$

Коэффициент m_i изменяется с текущим расходом, но является относительно независимым от обычных отклонений глубины воды. Его можно рассматривать в качестве типичного для местности параметра ($0 < m_i < 1$) и считать постоянным для каждого водовыпуска в пределах ограниченного диапазона изменения расхода. Его значение зависит от положения точки на кривой подпора и должно быть определено путем гидравлического расчета или экспериментальных измерений. Значение m_i варьирует в диапазоне от 1 для водовыпусков вблизи регулятора до 0 для водовыпусков, получающих воду от участка канала при нормальном движении потока. В последнем случае, на водовыпуске всё ещё происходят колебания уровня воды как результат изменений в условиях нормального движения потока.

Линейное приближение, выраженное в уравнении 33, было проверено результатами гидравлического моделирования для типичных условий Шри-Ланки. Это также подтверждается результатами исследований Strelkoff *et al.* (1998г.) по устойчивости кривых подпора, представленных в безразмерном виде.

Чувствительность и эффективность работы

Чувствительность является показателем того, как реагируют сооружения, когда они оставлены без присмотра - чем выше чувствительность, тем быстрее и выше реакция. Это влияет на эффективность работы. Подающие воду чувствительные сооружения имеют тенденцию отклоняться от исходных установочных параметров. Если предположить, что исходный установочный параметр является идеальным для расхода, то можно оценить последствия отклонения в плане эксплуатационных характеристик.

Как правило, общая задача управления каналом заключается в поддержании постоянного напора со стороны верхнего течения подающих сооружений (водовыпуски - водоотводы), в целях поддержания требуемого расхода в допустимых пределах. Регулирование напора в канале обеспечивается перегораживающими сооружениями, которые также называются шлюзами-регуляторами, расположенными в стратегически важных точках вдоль канала. Степень и масштабы регулирования, осуществляемого перегораживающим сооружением, зависят как от возможности регулировать локальную глубину воды (точность) на самом сооружении, так и от распространения (воздействие) эффекта кривой водоподпора в пределах регулируемого участка (в большинстве случаев по верхнему бьефу). Таким образом, эффективность какого-либо конкретного регулирующего сооружения и всей системы, может быть выражена через два понятия: точность и воздействие.

Точность является параметром, находящимся под контролем управляющего. Точность, обеспечиваемая оператором, может оцениваться по колебаниям уровня воды (ΔH_R), которые происходят на регуляторе. Воздействие является более постоянным свойством и зависит от плотности регулирующих сооружений и гидравлических характеристик канала.

Другие сооружения, водовыпуски и водоотводы вдоль канала нацелены на обеспечение подачи заданного расхода. Их роль заключается в преобразовании входа, глубины воды в канале старшего порядка, в выход, серию расходов, поступающих в канал младшего порядка. Для подающих воду сооружений, чувствительность водоподачи выражается через связь между изменением глубины воды (ΔH_{off}) в канале старшего порядка и результирующим отклонением в расходе (Δq) в канале младшего порядка. Высокочувствительное сооружение создаёт сильные изменения в расходе при незначительном отклонении в уровне воды, и наоборот.

Путем управления регулирующими сооружениями вдоль канала, управляющие пытаются достичь и поддержать водный профиль близко к заданному, чтобы достичь

данного уровня эксплуатационных характеристик. Таким образом, оценка эффективности эксплуатации может быть сформулирована в концептуальную зависимость:

$$\text{Эффективность работы} = \textit{Функция}\left\{\begin{matrix}\text{ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ} \\ \text{подающих} \\ \text{сооружений}\end{matrix} \quad \textit{и} \quad \begin{matrix}\text{КОНТРОЛЬ} \\ \text{по} \\ \text{глубиневоды}\end{matrix}\right\}$$

Здесь задача состоит в том, чтобы установить и проверить аналитические зависимости между внутренними показателями эффективности работы, которые связаны с качеством услуг по водоподаче (выполнение), физическими характеристиками водоподающих сооружений (чувствительность), и уровнем регулирования (контроль) глубины воды в канале старшего порядка.

Достаточность и эффективность при одинаковой точности

Для локальных зависимостей, при водовыпуске с начальным расходом, соответствующим заданному, последствия изменений глубины воды ($\Delta H_{off(i)}$) в канале старшего порядка могут рассматриваться с точки зрения изменения расхода (dq_i) на водовыпуске. Для возмущенного состояния, показателем работы относительно достаточности является:

$$p_{A(\mathrm{i})} = \frac{q_{\mathrm{i}} + dq_{\mathrm{i}}}{q_{\mathrm{i}}} = 1 + \frac{dq_{\mathrm{i}}}{q_{\mathrm{i}}} \quad \text{(если } dq_{\mathrm{i}} \text{ отрицательное, и 1.0 в остальных случаях)} \qquad (34)$$

Показатель работы с точки зрения эффективности определяется аналогично, как:

$$p_{F(\mathrm{i})} = \frac{q_{\mathrm{i}}}{q_{\mathrm{i}} + dq_{\mathrm{i}}} \quad \text{(если } dq_{\mathrm{i}} \text{ отрицательное, и 1.0 в остальных случаях)} \qquad (35)$$

и упрощается до:

$$p_{F(\mathrm{i})} \approx 1 - \frac{dq_{\mathrm{i}}}{q_{\mathrm{i}}} \qquad (36)$$

Чувствительность подачи для водовыпуска (i) определяется из уравнения 1 как:

$$S_{(\mathrm{i})} = \frac{dq_{\mathrm{i}} / q_{\mathrm{i}}}{\Delta H} \qquad (37)$$

которое при подстановке в уравнение 34 приводит к следующей локальной зависимости:

$$p_{(\mathrm{i})} = 1 \pm \Delta H_{\mathrm{Off(i)}} S_{(\mathrm{i})} \qquad \left(p_{(\mathrm{i})} \le 1.0\right) \qquad (38)$$

В уравнении 38, знак минус применяется для достаточности, когда ($\Delta H_{off(i)}$) является положительным, а знак плюс применяется для эффективности, когда ($\Delta H_{off(i)}$) является отрицательным. Уравнение 38 четко показывает связь между показателем

достаточности или эффективности, чувствительностью и контролем, осуществляемым по глубине воды на локальном уровне.

Для совокупных зависимостей, цель заключается в том, чтобы получить аналогичную в уравнении 38 зависимость на совокупном уровне, чтобы можно было сравнить работу подсистем или даже всей системы, с учетом одинаковой точности (ΔH_R). Должно быть принято отдельное допущение относительно того, как отклонения в глубине воды оказывают влияние на систему. Здесь предлагается рассматривать систему, в которой положительные и отрицательные отклонения полностью сбалансированы. Таким образом, это допущение называется колебанием с переменным знаком (+/- ΔH_R). Другой возможный вариант заключается в том, чтобы рассмотреть колебания с постоянным знаком (ΔH_R) на каждом регуляторе (или +, или -).

Процесс агрегирования, при колебаниях с переменным знаком, соответствует полностью сбалансированной системе. Поэтому, допускается, что число водовыпусков (*n*) рассматриваемого участка можно сгруппировать в две аналогичные подгруппы (*n/2*) водовыпусков. Сходство между двумя подгруппами основывается на подаваемых расходах и чувствительности водовыпусков. Участки одной подгруппы испытывают положительное колебания (+ ΔH_R), в то время как другие испытывают отрицательные колебания (- ΔH_R), создавая равновесие в общем расходе.

Показатели достаточности и эффективности работы, по определению Molden and Gates (1990), складываются используя приём «взвешивания», где весовой коэффициент, k_i, является относительным расходом водовыпуска:

$$q_i \Big/ \sum_{j=1}^{n} q_j \ .$$

В этой оценке рассматриваются только мгновенные значения, а работа всей системы представляет собой сумму показателей двух подгрупп, полученных из уравнения 38, а именно:

$$P = \sum_{i=1}^{n/2} k_i \left(1 - \Delta H_R \ S_{(i)}\right) + \sum_{i=n/2+1}^{n} k_i \qquad (39)$$

Для показателя достаточности, первое слагаемое в уравнении 39 соответствует группе водовыпусков, получающих недостаточный расход, а второе слагаемое соответствует группе водоовыпусков с избыточным расходом. Для показателя эффективности, первое слагаемое соответствует водоовыпускам с избыточным расходом, а второе слагаемое водовыпускам. получающим недостаточный расход. Зная, что сумма взвешенных коэффициентов k_i по всей группе равна 1, по определению, и включая уравнение 33 в уравнение 39, имеем:

$$P = 1 - \Delta H_R \sum_{i=1}^{n/2} k_i \, m_i \ S_{(i)} \qquad (40)$$

Допуская сходство в расходах и чувствительности двух подгрупп водовыпусков, уравнение 40 переписывается как:

$$P = 1 - \frac{1}{2} \Delta H_R \sum_{i=1}^{n} k_i m_i \ S_{(i)} \qquad (41)$$

Уравнение 41 установлено для колебаний с переменным знаком в идеальном исходном состоянии. Аналогичными расчетами можно показать, что эта зависимость (уравнение 41) справедлива при любом исходном состоянии $P_{(O)}$, при условии, что работа водовыпусков не переходит из одного состояния в другое (избыточный/недостаточный расход), в этом случае, $P_{(O)}$ заменяет 1 в уравнении 41.

Уравнение 41 устанавливает зависимость между работой, точностью и влиянием регулирования, и чувствительностью водопроводящих сооружений вдоль канала. Тогда относительно достаточности и эффективности, показатель чувствительности системы (S_S) может быть записан в виде:

$$S_S = \sum_{i=1}^{n} k_i \, m_i S_{(i)} \qquad (42)$$

и показатель эффективности работы (уравнение 41) записывается как:

$$P = 1 - \frac{1}{2} \Delta H_R \, S_S \qquad (43)$$

Для подсетей можно определить показатели чувствительности, которые позволят лучше увязать эффективность услуг водоподачи, эффективность регулирования отметок воды и показатели чувствительности, агрегированные на уровне подсети:

$$S_S = \sum_{i=1}^{n} k_i \, m_i S_{(i)} \qquad (44)$$

где:

- k_i = вклад водовыпуска во всю группу (весовой коэффициент), равен $1/n$, если весовой коэффициент идентичен для всех водовыпусков, или $q_i/\sum q_i$ при взвешивании по расходу;
- m_i = показатель контроля регулятора на водовыпуске, m_i = 1, когда водовыпуск расположен очень близко к регулятору, и становится равным нулю, если водовыпуск находится далеко от него.

Эффективность работы, ожидаемая от ирригационной системы, является произведением двух элементов: возможности регулирования по уровню воды (устойчивость по глубине воды *H*) и чувствительности системы. Это позволяет управляющим оценить проводимое управление [уст. (*H*)] с учетом рабочих требований по оказанию услуг и физических свойств системы. Относительно достаточности, эффективности и справедливости работы были разработаны различные общие показатели чувствительности на уровне системы (Renault, 1999).

Достаточность и эффективность работы связаны с точностью и влиянием регулирования. Показатель чувствительности системы вдоль канала может быть записан в следующем виде:

$$P = 1 - \frac{1}{2} \Delta H_R \, S_S \qquad (45)$$

в котором S_S является показателем чувствительности системы, равным:

$$S_S = \sum_{i=1}^{n} k_i \, m_i S_{(i)} \qquad (46)$$

Используя метод вариации коэффициента, показатель чувствительности системы относительно справедливости (S_{se1}) может быть рассчитан как квадратный корень от среднего арифметического произведения квадрата локальной чувствиительности и фактора воздействия:

$$S_{Se1} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} m_i S_{(i)}^2} \qquad (47)$$

Этот показатель общей чувствительности связан с показателем работы в отношении справедливости следующим уравнением:

$$P_E = \Delta H \, S_{Se1} \qquad (48)$$

Для анализа на основе индекса Тейла, показатель чувствительности системы относительно справедливости (S_{SE2}) также может быть представлен в следующем виде:

$$S_{Se2} = \sum_{i=1}^{n} \frac{q_i}{Q_D} m_i^2 S_{(i)}^2 \qquad (49)$$

Этот показатель системы связан с показателем справедливости следующей зависимостью:

$$\mathrm{Thi} = \frac{1}{2} (\Delta H_R)^2 S_{Se2} \qquad (50)$$

В таблице А2.4 обобщены показатели чувствительности, описанные в данном приложении.

Таблица А2.4
Сводная таблица показателей чувствительности

Сооружение	Исследуемая переменная	Определение	Геометрическая формула	Приблизительная формула, не учитывающая подтопление
Водовыпуск (отверстие)	Расход через водовыпуск *q* как функция изменения уровня поверхности воды	$S = \frac{\Delta q / q}{\Delta H}$	$S = \frac{0.5}{H_E}$	$S = \frac{0.5}{\text{напор}}$ Переменная “напор” является разницей в напоре, который действует на сооружение ($H_{ВБ} - H_{НБ}$)
Регулятор (отверстие)	Отметка уровня воды как функция текущего расхода *Q*	$S = \frac{\Delta H}{\Delta Q / Q}$	$S = 2.H_E$	$S = 2\text{Напор}$ Переменная “напор” является разницей в напоре, который действует на сооружение ($H_{ВБ} - H_{НБ}$)
Регулятор с донным порогом	Отметка поверхности воды как функция текущего расхода *Q*	$S = \frac{\Delta H}{\Delta Q / Q}$	$S = 0.66\,h$ *h* = отметка воды на пороге	
Поперечное сечение канала	Отметка уровня воды как функция текущего расхода *Q*	$S = \frac{\Delta H}{\Delta Q / Q}$	*S* колеблется от 0,5 до 0,8 D, в соответствии с геометрией канала (D= отметка течения)	$S = \frac{3}{5} D$ для очень большого канала с сечением прямоугольной формы
Вододелитель	Относительная величина расхода q ответвления в зависимости от поступающего расхода	$P = \frac{\Delta q / q}{\Delta Q / Q}$	$P = S_{\text{водоотвода}} . S_{\text{регулятора}}$	

ССЫЛКИ

Molden, D.J. & Gates, T.K. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation-water delivery systems. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 116(6): 804–823.

Renault, D. 1999. Offtake sensitivity, operation effectiveness and performance of irrigation systems. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 125(3).

Strelkoff, T.S., Deltour, J.L., Burt, C.M., Clemmens, A.J. & Baume, J.P. 1998. Influence of canal geometry and dynamics of controllability. *J. Irrig. Drain. Eng.*, January.

Приложение 3

Процедура экспресс-оценки

ПРЕАМБУЛА

Процедура экспресс-оценки (ПЭО) позволяет квалифицированному персоналу систематически и быстро определять ключевые показатели ирригационных проектов. ПЭО обычно можно выполнить в течение двух недель полевых и камеральных работ при условии, что до проведения ПЭО, от руководства проекта получены некоторые легко доступные данные по проекту.

Ключевые показатели ПЭО помогают при организации предположений и фактов, тем самым способствуя принятию решений на основе полной имеющейся информации в отношении:

- потенциала водосбережения в пределах проекта;
- конкретных слабых мест в эксплуатации, управлении, ресурсах и технике проекта;
- конкретных действий по модернизации, которые могут быть предприняты с целью повышения эффективности работы проекта.

Деятельность, параллельная ПЭО, называется сравнительным анализом. По определению, данному в предварительных документах Международной программой по технологиям и исследованиям в области ирригации и дренажа (IPTRID), сравнительный анализ представляет собой систематический процесс для обеспечения непрерывного улучшения через сравнение с уместными и достижимыми внутренними и внешними нормами и стандартами. Общей целью сравнительного анализа является улучшение эффективности работы организации по отношению к ее цели и задачам. Этот анализ подразумевает сравнение - либо внутреннее с прежними показателями работы и будущими желаемыми целями, либо внешнее по отношению к аналогичным организациям или организациям, выполняющим похожие функции. Сравнительный анализ используется как в государственном, так и частном секторах.

Сравнительный анализ включает различные показатели, многие из которых разрабатываются в ПЭО. Как ПЭО, так и сравнительный анализ IPTRID все еще находятся в процессе развития. Поэтому показатели в этом приложении не всегда будут идентичны показателям, используемым в документах IPTRID. В данном приложении также отражены текущие усилия Всемирного Банка по объединению этих процессов.

ПЭО для ирригационных проектов было введено в совместной публикации ФАО/IPTRID/Всемирного Банка под названием «Современные методы контроля и управления водой в ирригации - воздействие на эффективность работы» (ФАО, 1999). В отчете приводится объяснение ПЭО, а также результаты ПЭО по 16 международным ирригационным проектам.

В ПЭО используются электронные таблицы (Excel) с 12 внутренними рабочими листами. Исследователи вводят в эти рабочие листы собранные данные.

Charles Burt
Центр тренинга по ирригации и научным исследованиям (ITRC)
Калифорнийский Государственный Политехнический Университет
Сан Луис Обиспо, Калифорния, США

ПРОЦЕДУРА ЭКСПРЕСС ОЦЕНКИ

ПЭО для ирригационных проектов занимает 1-2 недели сбора данных в поле и их анализа в офисе. В ходе данного процесса изучаются входные параметры, такие как водоснабжение, и выходные, такие как на что используется вода (эвапотранспирация, поверхностный сток и т.д.). Она обеспечивает методичное обследование технического обеспечения и процессов, используемых для подачи и распределения воды внутри проекта (от источника до поля). Разрабатываются внешние и внутренние показатели, чтобы обеспечить: (i) базовую информацию для сравнения с будущей эффективностью работы после модернизации; (ii) сравнительный анализ для сравнения с другими ирригационными проектами; и (iii) основу для подготовки конкретных рекомендаций по модернизации и улучшению услуг по водоподаче.

ПЭО только недавно стала использоваться для диагностики международных ирригационных проектов. Однако некоторые разновидности ПЭО, представленные здесь, с 1989 года применялись во множестве проектов по модернизации орошения на западе Соединенных Штатов Америки Тренинговым и научно-исследовательским центром по ирригации (ITRC) при Калифорнийском политехническом университете.

С помощью традиционных методов диагностики и исследования обычно изучают часть проекта, будь то развитие ассоциаций водопользователей (АВП) или колебания расхода на одной ветке канала. Подобные научно-исследовательские проекты обычно требуют сбора большого объема полевых данных за продолжительный период времени.

Время и бюджетные требования подобных стандартных исследовательских процедур значительны. В работе Kloezen and Garces-Restrepo (1998) отмечается, что: «три инженера на основе полной занятости работали более года по сбору первичных данных и проведению замеров, чтобы применить технологические показатели на уровне выбранных каналов и полей» только для одного проекта. Более того, авторы утверждают, что «в дополнение, в Сальватьерра помощь в работе оказывал студент-магистрант… Помимо этого, много времени было потрачено на посещение выбранного поля и проведение нескольких замеров расхода на одно поле на каждый полив… Еще пять месяцев было потрачено на ввод, чистку и обработку данных». Хотя трудоемкие исследования могут обеспечить ценную информацию об орошении, решения по модернизации должны приниматься быстрее и должны быть более полными.

Необходимым условием успешного применения ПЭО является тренинг экспертов по оценке. Опыт показал, что для успешной программы ПЭО требуются: (i) эксперты по оценке, которые прошли предварительное обучение в области ирригации; (ii) специальный тренинг по методике ПЭО; (iii) последующая поддержка и критика, когда эксперты по оценке начинают свою полевую работу.

ПЭО не будет успешной, если необходимые файлы с электронным таблицами для заполнения будут просто отсылаться в местные ирригационные проекты. Эксперты по оценке должны понимать суть всех вопросов и они должны понимать/видеть неочевидные данные. В идеале, если два квалифицированных лица заполняют ПЭО по одному и тому же ирригационному проекту, показатели, которые рассчитываются ими, будут почти одинаковыми.

Типичные базовые данные для внешних показателей (такие как водные балансы и КПД орошения) являются либо легко доступными, либо нет. Каждый ирригационный проект отличается по легкости доступа к типичным базовым данным по подкомандной

зоне (ПЗ), климатическим данным, водоснабжению и т.д. В некоторых проектах эти данные можно собрать за день, а в других на это могут уйти недели. Обычно задержки в получении данных связаны с тем, чтобы найти время, чтобы вытащить эти данные из папок и организовать их. Если данных ещё нет, то, потратив еще три месяца на участке, вы их не создадите.

Быстрое и сфокусированное обследование ирригационных проектов может дать довольно точное и прагматичное описание состояния проекта, а также процессов и техники, которые влияют на это состояние. Это позволяет определить основные действия, которые можно быстро предпринять, чтобы улучшить качество услуг по водоподаче – особенно, если ПЭО проведена в сотрудничестве с местными водохозяйственными управлениями.

Вопрос, что подразумевается под выражением «довольно точные» при сборе данных и расчетах всегда можно обсудить. Интервалы достоверности должны быть назначены для большей части данных водного баланса, отражая тот факт, что всегда имеются неточности в данных и при расчетах. Что касается орошения, то в исследованиях рассматриваемые диапазоны точности составляют 5-10%, а не 0.5-1% (Clemmens and Burt, 1997). Проблемы, с которыми сталкиваются в ирригационных проектах, обычно бывают столь явными и очевидными для тренированного взгляда, что нет необходимости стремиться к предельной точности при диагностике ирригационного проекта. Более того, обычно проекты имеют такие уникальные наборы характеристик, что результаты более детального исследования лишь нескольких элементов по одному проекту не могут быть перенесены в полной мере на другие проекты. К тому же, даже при очень сложном и детальном исследовании сложно достичь более высокую точность, чем 5-10% по некоторым ключевым величинам, таким как эвапотранспирация оросительной воды культурами.

Для ПЭО необходимо начать с предварительного запроса информации, которая может быть собрана администрацией ирригационного проекта, например, посевные площади, расходы воды в проекте, климатические данные, бюджеты, персонал. По прибытию на место проекта, эксперты по оценке систематизируют эти данные и опрашивают руководителей проекта на предмет сбора недостающей информации и вопросам понимания функционирования проекта. Затем эксперты осматривают ирригационную сеть, беседуют с операторами и фермерами, проводят наблюдения и фиксируют методы и технику, которые используются для регулирования водой. Вследствие этой систематической диагностики проекта, выявляются многие технические и эксплуатационные аспекты.

Опыт показал, что ПЭО не подходит для сбора некоторых экономических данных. Такие данные как общая стоимость проекта, доход на душу населения и размер типичных подразделений хозяйства не были легкодоступными в большинстве проектов, описанных в публикации ФАО (1999).

В заключение, при правильном выполнении работы квалифицированным персоналом, ПЭО может обеспечить быстрое и ценное понимание многих аспектов проектирования и эксплуатации ирригационных проектов. Более того, его структура обеспечивает систематический обзор проекта, который позволяет эксперту по оценке дать практические рекомендации по улучшению.

Некоторые данные, собранные во время ПЭО, также помогают в количественной оценке различных эталонных показателей, установленных IPTRID. Большинство эталонных показателей IPTRID подпадают под категорию «внешних показателей», в то время как показатели ПЭО включают как «внешние», так и «внутренние» показатели. Как обсуждается далее, внутренние показатели необходимы для понимания процессов, происходящих в ирригационном проекте, и качества услуг по водоподаче в проекте. Они также помогают эксперту по оценке сформулировать план действий, который в итоге приведет к улучшению внешних показателей. Внешние показатели и

традиционные эталонные показатели дают мало сведений о том, что должно быть сделано, чтобы достичь улучшений. Они только указывают на то, что необходимы улучшения.

ВНЕШНИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОДОИСТОЧНИКОВ И ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ ВОДЫ

Внешние показатели

Внешними показателями для ирригационных проектов являются соотношения или процентные отношения следующего вида:

$$\frac{\text{Требуемая Вода}}{\text{Общая доступная вода}}$$

или

$$\frac{\text{Урожай Культуры}}{\text{Поданная на поле оросительная вода}}$$

Эталонные показатели IPTRID подпадают под категорию внешних показателей, и в ПЭО также создается большой список внешних показателей.

Общим атрибутом внешних показателей является тот факт, что они исследуют входные данные (средства и ресурсы вкладываемые) и выходные данные (результаты) проекта. Внешними показателями являются выражения эффективности в различных формах - относится ли эффективность к бюджету, воде или урожаю культуры. Более того, они требуют только знания вводных и выходных данных проекта. Сами по себе, внешние показатели не дают детальной информации о том, что должно быть сделано в целях повышения эффективности. Те действия, которые должны быть предприняты для улучшения этих внешних показателей, могут быть определены на основе изучения внутренних показателей, которые в свою очередь исследуют процессы и технические средства, используемые в проекте.

Однако внешние показатели устанавливают ключевые значения - например, есть ли возможность для водосбережения (без определения, как это можно выполнить). Как таковые, малые значения внешних показателей зачастую дают обоснование для модернизации проектов - с ожиданием, что модернизация или вмешательство улучшит значения этих внешних показателей.

Внешние показатели ПЭО сосредоточены на статьях типичного водного баланса. Необходимо получить такие значения, как эвапотранспирация культуры, эффективные осадки и водные ресурсы. Главной целью рабочих листов 1-3 в файле, прилагаемом к пакету ПЭО, является оценка внешних показателей, относящихся к воде.

Интервалы достоверности

Во всех процессах измерения или оценки существует определенная величина ошибки или неточности. Поэтому верные или правильные значения объемов воды, необходимые для расчета таких величин как «коэффициент полезного действия (КПД) орошения», неизвестны. Исходя из замеров или расчетов, необходимо выполнить оценку составных частей объема.

В отчетах, которые дают оценки элементов, таких как соотношение урожайности культур и водного баланса, «КПД орошения» и «относительной водообеспеченности», неточности, связанные с этими оценками, должны быть признаны и измерены. В противном случае, плановики могут не знать, в каких пределах находится истинное значение заявленного КПД в 70% - между 65% и 75% или между 50% и 90%.

Один из методов выражения неточности в виде однозначной оценки заключается в определении интервала достоверности (CI) для этой оценки. Если считать, что приемлемая оценка данных показывает что правильная величина лежит в пределах 5 единиц от 70, то следует указать, что количество равно 70±5. Более конкретно, при обсуждении оцениваемого количества значение CI должно рассматриваться следующим образом: «Исследователи на 95% уверены, что их оценка орошаемой площади проекта лежит в пределах ±7% от 500000 га (между 465000 и 535000 га)».

Статистически CI связан с коэффициентом вариации (CV), где CV=(среднее)/(среднее квадратическое отклонение); CV - это безразмерная величина. Кроме того, CI=±2×CV, где CI выражается как доля (%/100) оцениваемой величины. Иначе говоря, если CI равно 0.10, это означает, что среднеквадратические отклонения ±2 охватывают диапазон равный ±10% от указанной величины.

Если допустить нормальное распределение данных, то примерно в 68% случаев истинное значение будет находиться в пределах плюс или минус одного среднеквадратического отклонения от оцениваемой величины. Аналогично, примерно в 95% случаев (из которых выводится утверждение «с 95-процентной достоверностью»), истинное значение будет находиться в пределах плюс или минус двух среднеквадратических отклонений от оцениваемой величины.

Логично спросить: «Насколько вы уверены в выбранном CI?». Ответом для ПЭО будет: «CI не является точным, но, тем не менее, он дает хорошее представление о восприятии экспертом по оценке точности различных величин». Лучше дать относительную величину неточности в виде некоторого значения, чем игнорировать неточность и предоставлять людям эти оценки как если бы они были абсолютными значениями.

В ПЭО эксперты по оценке должны давать оценки CI для разного объема данных. Эти оценки CI вручную вводятся в пустые ячейки рабочего листа 4 (Внешние показатели). Затем в электронной таблице автоматически рассчитываются оценки CI для показателей, которые используют эти данные.

Имеются два распространенных метода для вычисления расчетной величины (результата) CI. Если сложить две независимо оцененные величины, то CI будут связаны следующей формулой:

$$CI_r = \frac{\sqrt{m_1^2 CI_1^2 + m_2^2 CI_2^2}}{m_1 + m_2}$$

Где

- CI_r = CI результата;
- CI_1 = CI первой величины, добавленной для формирования результата;
- CI_2 = CI второй величины, добавленной для формирования результата;
- m_1 = рассчитанное значение первой величины;
- m_2 = рассчитанное значение второй величины.

Если перемножить две независимо оцененные величины, то CI будут связаны следующей формулой:

$$CI_r = \sqrt{CI_1^2 + CI_2^2 + \frac{CI_1^2 CI_2^2}{4}}$$

Грубая оценка CI потребует ввода значений CI по исходным данным в трех первых рабочих листах «входных данных» в электронной таблице, используемой для ПЭО.

Однако, для типичной ПЭО не стоит пытаться получить большую точность, чем ту, которая может быть получена путём ввода оценок CI в рабочий лист «Сводная таблица показателей». Для удобства эксперта по оценке в рабочем листе «Сводная таблица показателей» автоматически рассчитывается CI_r для нескольких величин, используя различные значения CI, предоставленные экспертом.

ВНУТРЕННИЕ ПРОЦЕССЫ И ВНУТРЕННИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

В широком смысле, цели, преследуемые при модернизации, включают:

- улучшение эффективности орошения (внешний показатель);
- повышение урожайности культур (другой внешний показатель, который здесь не используется);
- уменьшение ущерба каналу от неконтролируемых уровней воды;
- более продуктивный труд;
- социальная гармония;
- улучшение состояния окружающей среды за счет снижения водозаборов или улучшения качества возвратных стоков.

В общем, этих целей можно достичь, только уделяя внимание внутренним деталям. Конкретные элементы, затрагиваемые ПЭО, включают: (i) улучшение контроля воды по всему проекту; (ii) улучшение услуг водоподачи для пользователей.

Поэтому, Рабочие листы 5-11 предназначены для следующего:

- выявить ключевые факторы, связанные с контролем воды в проекте;
- определить уровень услуг водоподачи, предоставляемых пользователям;
- обследовать оборудование и конкретные методы и процессы управления, применяемые при управлении и распределении водных ресурсов.

Многие из этих элементов описаны в форме «внутренние показатели», с указанными величинами от 0 до 4 (0 указывает на менее желательный, а 4 на наиболее желательный показатель).

Сводная таблица внутренних показателей представлена в рабочем листе 12. Большинство внутренних показателей имеет под-компоненты, называемые «субпоказателями». В конце электронной таблицы каждому из субпоказателей присваивается «весовой коэффициент».

В качестве примера использования внутренних показателей приведен Главный показатель I-1 для описания фактических услуг водоподачи для единиц личной собственности (таблица A3.1). Главный показатель I-1 имеет четыре субпоказателя:

- I-1A. Измерение объемов воды, подаваемой на поле;
- I-1B. Гибкость подачи воды на поле;
- I-1C. Надежность подачи воды на поле;
- I-1D. Явная равномерность.

Каждый из субпоказателей (н-р, I-1A) имеет максимальное потенциальное значение 4.0 (наилучшее) и минимально возможное значение 0.0 (наихудшее).

Значение каждого Главного показателя (н-р, I-1) рассчитывается автоматически в рабочем листе «Внутренние показатели» следующим образом:

1. Применяя относительный весовой коэффициент к каждой величине субпоказателя. Весовые коэффициенты относительны только по отношению друг к другу

внутри группы показателей; одна группа может иметь максимальное значение 4, а у другой максимальным значением может быть 2. Единственным важным фактором являются относительные весовые коэффициенты субпоказателей внутри группы.

2. Суммируя взвешенные значения субпоказателя.

3. Подгоняя окончательное значение на основе возможной шкалы 0-4 (4 указывает на наиболее позитивные условия).

Таблица А3.1
Информация по плавному показателю I-1

No.	Главный показатель	Субпоказатель	Критерии ранжирования	Вес
I-1	Фактические услуги водоподачи для единиц личной собственности (н-р, поле или хозяйство)			
I-1A		Измерение объемов воды, поданных на индивидуальн. единицы (0–4)	4 – Великолепные приборы для измерения и учета, которые надлежащим образом эксплуатируются и регистрируются. 3 – Надежные приборы для измерения и учета, эксплуатация на среднем уровне. 2 – Пригодное, но слабое измерение объемов и расходов. 1 – Приемлемое измерение расходов, но не объемов. 0 – Измерение объемов или расходов отсутствует.	1
I-1B		Гибкость подачи воды на индивид. единицы (0–4)	4 – Неограниченная частота, расход и продолжительность, но организованная пользователями в течение нескольких дней. 3 – Фиксированная частота, расход или продолжительность, но организованная. 2 – Диктуемая очередность, но она приблизительно соответствует требованиям культур в воде. 1 – Подача воды на основе очередности, но по несколько неопределенному графику. 0 – Нет установленных правил.	2
I-1C		Надежность подачи воды на индивид. единицы (0–4)	4 – Вода всегда доставляется с обещанной частотой, расходом и длительностью. Объем известен. 3 – Очень надежная относительно расхода и продолжительности, но изредка есть задержка в несколько дней. Объем известен. 2 – Вода доставляется примерно тогда, когда она необходима и в надлежащем количестве. Объем неизвестен. 1 – Объем неизвестен, а подача воды в некоторой степени ненадежна, но менее чем на протяжении 50% времени. 0 – Ненадежная частота, расход, продолжительность, более 50% времени и подаваемый объем неизвестен.	4
I-1D		Явная равномерность подачи воды на индивид. единицы (0–4)	4 – Все поля проекта и близлежащие территории получают одинаковые услуги по водоподаче. 3 – Площади проекта получают одинаковое количество воды, но в пределах площади обслуживания подача воды неравномерна. 2 – Площади проекта получают в некоторой степени разные объемы воды (непреднамеренно), но в пределах площади подача воды равномерна. 1 – Неравномерность на среднем уровне между площадями и внутри площадей. 0 – Имеется разница более чем на 50% по всему проекту.	4

ЭЛЕКТРОННЫЕ ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ПЭО

В таблице А3.2 приводятся рабочие листы ПЭО.

ОБЩЕЕ РУКОВОДСТВО ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РАБОЧИХ ЛИСТОВ

Название и типы

Названия рабочих листов в файлах Экселя приводятся внизу экрана. Их не надо изменять.

Файл Excel имеет два общих типа рабочих листов:

- Вводные рабочие листы. В этих листах запрашиваются данные:
  - На первом рабочем листе проводят обработку данных и/или их используют в расчетах на крайней правой стороне листов данных, за пределами обзора страниц входных данных. (Некоторые расчеты можно увидеть, прокручивая содержимое окна в горизонтальном направлении вправо)
  - На рабочих листах 5-11 вертикально расположены несколько внутренних расчетов, согласующихся с входными данными.
- Сводные рабочие листы. Это листы 4, 12, 13 и 14. Два важных рабочих листа 12 и 14. На Рабочих листах 4 и 12 требуется ограниченное число входных величин, но главной функцией этих листов является обобщение различных данных, расчетных значений и показателей.

Цвет ячеек и условные обозначения

Цветовые условные обозначения для первого рабочего листа Ввод - Год «х»:

- Бесцветная ячейка - указывает на место для ввода данных.
- Затененная ячейка - содержит значение по умолчанию или расчетное, либо объяснение, либо указывает, что ввод данных не требуется. В общем, любые значения в затененных ячейках не следует изменять, если вы не разбираетесь в программировании.
- Красные символы - указывают на расчетные значения.
- Голубые цифры - указывают на значения, которые были импортированы в файл. Они могут быть рассчитаны или введены в другом месте.

Цветовые условные обозначения для Рабочего листа 4 - Внешние показатели:

- Бесцветная ячейка - только в столбце «Оцен.CI» - требует ручного ввода значения.
- Затененная ячейка - указывает на значения, которые связаны с предыдущими рабочими листами или вычислены в этом рабочем листе.
- Красные символы - указывают на значения, вычисленные в этом рабочем листе.
- Голубые цифры - указывают на значения, которые были импортированы в файл.

Условные обозначения для Рабочих листов 5-13:

- Бесцветная ячейка со светлой границей требует ввода.
- Бесцветная ячейка с темной границей указывает, что необходимо значение, но для этого требуется информация, которая может быть доступна только позднее.
- В любую ячейку, заполненную шаблоном или затененную, нельзя вводить данные.
- Затененные ячейки содержат формулы и будут показывать результаты автоматических расчетов.
- Ячейки с шаблонами являются лишь разделителями между секциями или указывают, что данные не нужны.

Таблица А3.2
Обзор рабочих листов, которые будут составляться как часть ПЭО

Рабочие листы в файле	Описание рабочего листа
1. Ввод – год 1	Для среднего водохозяйственного года требуется ввод следующих (в основном месячных) данных: - название культур - минерализация оросительной воды - значения порога солеустойчивости ECe культур - полевые коэффициенты культур, по месяцам - площади культур - водоснабжение - осадки - повторный оборот воды и откачка подземных вод - специальные агротехнические требования.
4. Внешние показатели (пропустите их, за исключением ввода необходимых значений "CI")	Автоматический расчет месячных и годовых значений различных показателей водоснабжения. Это временные значения - за исключением значений "CI", которые должен ввести пользователь. Окончательные важные значения можно найти на Рабочем листе 14 “Технические эталонные показатели (BMIT) Всемирного Банка”.
5. Вопросы к администрации проекта	Большинство данных для этого листа получено от администрации проекта. Они включают: - общие условия проекта - расположение источника водоснабжения - собственность на землю и воду - валюта - бюджет - работа проекта из описания сотрудников администрации - заявленные услуги водоподачи на различных уровнях в системе.
6. Работники проекта	Запрашивается информация по тренингу, мотивации, увольнению и описанию работы работников проекта.
7. АВП	Данные для АВП, которые не были получены в графе «Вопросы к администрации проекта», собираются здесь. При этом вопросы задаются к администрации проекта, а также проводятся интервью с АВП. Вопросы относятся к: - размеру АВП - численному составу организации - функциям - бюджету - плате за воду.
8. Магистральный канал	Данные для магистрального канала, включая: - контроль стока - общие характеристики канала - шлюзы-регуляторы - общие условия - правила эксплуатации - водовыпуски - средства связи - регулирующие водохранилища - уровень услуг, предоставляемых следующему, нижнему порядку.
9. Каналы второго порядка	То же, что и для магистрального канала.
10. Каналы третьего порядка	То же, что и для каналов второго порядка.
11. Подача к месту назначения	Информация по уровню услуг водоподачи для единиц личной собственности и в конечной точке эксплуатации, обеспечиваемая оплачиваемыми работниками.
12. Внутренние показатели	В этом рабочем листе обобщаются внутренние показатели, которые были вычислены в предыдущих листах, плюс запрашивается ввод данных по нескольким дополнительным показателям. Взвешенные показатели рассчитываются для группы субпоказателей.

13. Эталонные показатели	Этот рабочий лист содержит промежуточные расчетные значения. Пропустите эту страницу.
14. Показатели ВМІТ Всемирного Банка	Этот лист плюс Рабочий лист 12 дает заключительный обзор упражнения.

Первый вводный рабочий лист требует данные для одного года, но важно ввести данные для нескольких лет (т.е. запускать программу несколько раз с новыми данными), так как изучение только одного года может быть дезориентирующим для многих проектов, в которых имеются большие колебания по климатическим условиям и водоснабжению.

ОПИСАНИЕ РАБОЧИХ ЛИСТОВ

Рабочий лист 1. Ввод - Год 1

Данный рабочий лист содержит десять таблиц, для которых требуются данные, а также разные отдельные ячейки для специальной информации. Информационные запросы описаны ниже.

До таблицы 1

Общая площадь проекта: это валовая площадь проекта (в га), включая поля, которые поддерживаются ирригационной инфраструктурой проекта («подвешенные») и поля, которые не обслуживаются этой инфраструктурой.

Общая полевая площадь в ПЗ: это количество гектаров, которые поддерживает ирригационная инфраструктура проекта. Могут быть некоторые области в ПЗ, которые никогда не получают воду из-за повреждения инфраструктуры, дефицита воды и т.д.

Расчетный КПД водоподводящей части оросительной системы, когда вода получается из внешних источников:

$$\text{КПДтранспорирования} = \frac{\text{Объем орос.воды поданной извнешних источников}}{\text{Объем орос.водывовнешнем источнике}} \times 100$$

где, в этом случае, «точка доставки» - место, где фермеры берут на себя управление водой, т.е. где АВП и управление проекта передают контроль над водными ресурсами. Иногда отвод (водовыпуск) представляет конечную точку доставки воды ирригационными управлениями, к тому же этот отвод снабжает водой 100 полей. Потери при транспортировке включают потери на фильтрацию, сброс, воду, теряемую при наполнении и опорожнении каналов, испарение с каналов и эвапотранспирацию сорняков, растущих вдоль каналов. КПД водоподводящей части оросительной системы включает потери, которые происходят между точкой исходного водозабора и входом в ПЗ, который в некоторых случаях может быть удален на несколько километров.

Расчетный КПД водоподводящей части оросительной системы для внутренней рециркуляции воды в проекте: это КПД транспортировки воды внутри проекта, осуществляемой управлением проекта. То есть, сюда относится вода, которая откачивается из скважин или дрен или других внутренних источников. Сюда не включаются водные ресурсы, которые доставляются к границам проекта.

Расчетная скорость фильтрации под полями с рисом-падди: ответ будет только в том случае, если в проекте выращивается рис падди. Это процент воды, поданной на поля, которая просачивается за пределы корневой зоны риса. Скорость фильтрации часто выражается в миллиметрах в сутки, и в этом случае она должна быть преобразована в долю оросительной воды, поданной на поле. Во многих исследованиях «фильтрация» объединяется вместе с «эвапотранспирацией» риса, чтобы прийти к общему «безвозвратному водопотреблению». Эта концепция не используется в ПЭО, потому что в результате подобного объединения очень сложно отделить эвапотранспирацию (которая не может быть повторно использована или снижена) от

фильтрационной воды (которую можно повторно использовать из скважины или дрены). Более того, подобная концепция игнорирует тот факт, что глубинная фильтрация неизбежна для всех культур, а не только для риса падди. Поэтому данная концепция будет применяться ко всем культурам, а не только к рису падди.

Расчетные поверхностные потери (сброс в дрены) при выращивании риса падди: в случае, если в проекте выращивается рис падди. Это доля оросительной воды, поданной на поля или группы полей, которая сбрасывается с полей в открытые дрены. Сюда не относится вода, которая сбрасывается с одного затопляемого рисового поля на другое, пока она, в конечном счете, не попадет в открытую дрену.

Расчетная эффективность орошения поля для других культур: это оценка для культур, отличных от риса. Элементы неэффективности для риса падди (потери на Глубинную фильтрацию и поверхностный сброс) уже были рассмотрены. Термин «эффективность орошения» имеет точное определение (Burt *et al*., 1997). Однако характер ПЭО таков, что величины, требуемые для строгого применения этого определения, не будут доступными. Поэтому для целей ПЭО:

$$\text{Эффективность орошения поля} = \frac{\text{Оросительная вода используемая на ET и спец. цели}}{\text{Оросительная вода, поданная на поле}} \times 100$$

Где

- В числителе и знаменателе рассматривается только «оросительная» вода. Вода, поступающая из атмосферных осадков не учитывается, так как вышеприведённый показатель является мерой эффективности использования оросительной воды.
- «Специальные цели» включают воду на промывку солей, подготовку земель и контроль климата. Однако для каждой из этих категорий имеется верхний предел на объем, который принимается в качестве выгодного использования (и который может быть включен в числитель). Расчеты ПЭО включают оценку фактических требований на промывку. Вода, выделяемая на подготовку земель для риса, не должна включать излишние потери на глубинную фильтрацию (вызванную слишком длительным удержанием воды на поверхности поля) или воду, которая сбрасывается с поля (поверхностный сброс).
- Для таких культур, как рис, которые часто возделываются как объект, включающий несколько полей, причем вода сбрасывается с одного поля на другое, «полевая» эффективность может базироваться на более крупном объекте управления, состоящего из мелких полевых участков.

В общем, эта величина является приблизительной оценкой. В электронной таблице, на рабочем листе 4 Внешние показатели (Показатель №31) рассчитывается точное значение «эффективности орошения поля», которое должно быть сопоставлено с принятой величиной. Эта величина используется в таблице только с единственной целью - для оценки подпитки грунтовых вод за счет потерь на глубинную фильтрацию на поле. Если, по завершении ПЭО, эта оценка отличается от расчетного значения, пользователь ПЭО должен откорректировать эту принятую величину (и/или потери на глубинную фильтрацию при выращивании риса и поверхностный сброс), до тех пор, пока Показатель 2 не будет приблизительно равен Показателю 31.

Пропускная способность магистрального канала (или каналов) в точке (или точках) водовыдела: эта величина должна отражать сумму фактических (в отличие от «плановых») максимальных пропускных способностей от каждой точки водовыдела. Иногда эти фактические величины выше, чем первоначальная расчетная величина, а в других случаях они занижены в результате заиления или по другим причинам.

Фактический пиковый расход в магистральный канал (или каналы) в точке (или точках) водовыдела: целью является определение максимального расхода оросительной воды, поступающей на границы проекта. Сюда не следует включать внутреннюю откачку или повторное использование воды.

Средняя минерализация (EC_e) оросительной воды: если возможно, это «среднее» значение должно быть годовым средневзвешенным значением, рассчитанным на основе солевой нагрузки (ppm × расход × время). Она должна рассчитываться, учитывая воду из скважин и поверхностную воду.

Таблица 1 - Полевые коэффициенты и порог солеустойчивости EC_e для культуры

Месяц водохозяйственного года

В таблице имеется 12 ячеек вверху раздела «Полевые коэффициенты», в которые вписываются все 12 месяцев. Хотя в первой ячейке таблицы по умолчанию мог бы стоять месяц «январь», во многих проектах «водохозяйственный год» начинается в другие месяцы, например в Юго-Восточной Азии - апрель, в Мексике - октябрь или ноябрь. Введите соответствующий месяц в выделенную пустую ячейку, чтобы начать учет водохозяйственного года.

Название орошаемой культуры

В этом столбце пользователь может вводить названия орошаемых культур в ПЗ. Всего можно ввести 17 культур, хотя первые три ячейки уже отведены под «Рис падди», оставляя 14 пустых ячеек для пользователя. В ПЗ может быть более 17 культур. Однако многие из этих культур имеют небольшую посевную площадь и из практических соображений они могут быть сведены вместе в одну категорию культуры. Если какая-либо культура выращивается повторно, то она должна быть введена дважды. В таблице уже есть названия по умолчанию для трех сортов риса падди, так как в очень многих проектах выращиваются три или более сорта риса в год. Невозможно не принимать во внимание рис падди, также невозможно заменить эти три названия в ячейках, поскольку в некоторых расчетах используются данные по рису из этих ячеек. Названия культур вводятся только один раз - в таблице 1. Далее они автоматически переносятся во все другие таблицы, где требуется ввод названий культур. Это обеспечивает согласованность таблиц.

Минерализация

Имеются две величины для оценки минерализации (засоленности):

- Средняя минерализация оросительной воды (EC_w), dS/m. Средняя минерализация оросительной воды, поступающей в проект. Единицы dS/m эквивалентны mmho/cm.
- Порог солеустойчивости EC_e, dS/m. Это минерализация экстракта из влагонасыщенного почвенного образца, при которой урожай культуры начинает снижаться.

Таблица А3.3
Солеустойчивость всходов различных культур

Культура	Порог солеустойчивости ECe (ECe при начальном снижении урожая) dS/m	Культура	Порог солеустойчивости ECe (ECe при начальном снижении урожая) dS/m
Люцерна	2.0	Лук	1.2
Миндаль	1.5	Апельсин	1.7
Абрикос	1.6	Газоны	1.5
Авокадо	1.3	Персик	1.7
Ячмень (зерно)	8.0	Арахис	3.2
Фасоль	1.0	Перец	1.5
Свекла, садовая	4.0	Слива	1.5
Бермудская трава	6.9	Картофель	1.7
Кормовые бобы	1.6	Рис, падди	3.0
Брокколи	2.8	Плевел многолетний	5.6
Капуста	1.8	Сесбания	2.3
Морковь	1.0	Соя	5.0
Клевер	1.5	Шпинат	2.0
Кукуруза (силос и зерно)	1.8	Клубника	1.0
Кукуруза, сладкая	1.7	Суданская трава	2.8
Вигна китайская	1.3	Сахарная свекла	7.0
Огурец	2.5	Сахарный тростник	1.7
Финик	4.0	Батат	1.5
Овсяница, высокая	3.9	Томаты	2.5
Flax	1.7	Пшеница	6.0
Виноград	1.5	Пырей гребенчатый	3.5
Грейпфрут	1.8	Пырей высокий	7.5
Салат-латук	1.3		

Источник: Maas and Hoffman (1977).

Требования на промывку (LR) по каждой культуре рассчитываются в электронной таблице по формуле:

$$LR = \frac{ECiw}{(5 \times ECe) - ECiw}$$

где: EC_{iw} = EC оросительной воды (dS/m); EC_e =пороговые значения минерализации экстракта из влагонасыщенного почвенного образца (dS/m). Например, если EC_{iw} = 1.0 dS/m, а возделываемая культура - кукуруза на зерно (табл.А3.3), то

$$LR = \frac{1}{(5 \times 1.8) - 1} = .125$$

Тогда дополнительный объем воды, требуемый на культуру для устранения солей, поступающих с оросительной водой, рассчитывается как

$$\text{Доп. объем воды для контроля засоления} = ET\ \text{орос.воды} \times \frac{LR}{1 - LR}$$

Например, если для конкретной культуры ET оросительной воды = 100 000 млн.м^3, а LR = 0.125, то объем воды, необходимый для контроля засоления, равен 14 286 млн.м^3. Однако глубинная фильтрация дождевой воды будет выполнять ту же задачу (она вымывает соли из корневой зоны). Поэтому ПЭО аппроксимирует

требования на оросительную воду как: объем оросительной воды, необходимый для контроля засоления = объем воды, необходимый для контроля засоления - глубинная фильтрация дождевой воды.

Полевые коэффициенты

Большинство специалистов по ирригации знакомо с термином «коэффициент культуры». С середины 70-х коэффициенты культур широко используются в оценках эвапотранспирации культуры (ET). Общая формула записывается как: $ET_{crop} = K_c \times ET_o$, где K_c – коэффициент культуры, ET_o - эвапотранспирация эталонной культуры. Руководство по определению ET и ET_o приведено в публикации ФАО (1998).

Иногда используются «эталонные» значения, отличные от ET_o, но они быстро заменяются метеостанциями, которые обеспечивают почасовые данные, необходимые для расчета ET_o. В данной электронной таблице используется ET_o, рассчитываемая по методике ФАО (1998), так как:

- ET_o является стандартной «эталонной» величиной,
- В большинстве успешных исследований по ET ряда культур используется ET_o эталонной культуры,
- Оценки по ET_o являются более точными, чем другие эталонные методы, например с использованием эвапорометров.

Если имеются локальные данные только с эвапорометров, желательно свериться с публикацией ФАО (1998), чтобы определить надлежащий коэффициент при переводе месячных значений $E_{эвап}$ в месячные значения ET_o. В таблице А3.4 $ET_o = K_p \times E_{эвап}$.

В данной электронной таблице используется термин «полевой коэффициент», поскольку часто «коэффициент культуры» используется только в течение Вегетационного периода культуры и зачастую при общепринятом использовании «коэффициента культуры» не учитывается влияние содержания почвенной влажности.

На практике, «полевой коэффициент, K_c» совпадает с «коэффициентом культуры, K_c», если коэффициент культуры надлежащим образом откорректирован - с помощью пособия ФАО (1998) - с учетом таких факторов, как:

- стресс (сниженная транспирация), вызванная сухой корневой зоной;
- испарение с поверхности почвы в результате осадков или полива.

Правильный выбор полевых коэффициентов зависит от хорошего понимания таблицы 8 в электронных таблицах с входными данными (осадки, эффективные осадки, глубинная фильтрация осадков). Процедура расчета, используемая в электронной таблице, включает следующее:

- эффективные осадки и оросительная вода рассматриваются как единственные внешние источники воды при расчёте полевой ET;
- полевая ET рассчитывается на месячной основе как: $ET = K_c \times ET_o$.

Эффективные осадки включают все осадки, которые потеряны либо на испарение (с почвы или растения), либо на транспирацию, вычисляемую по формуле, приведенной выше. Поэтому, для учета испарения с почвы в течение месяцев, когда она не покрыта культурой, необходимо одновременно выполнить две вещи:

- эффективные осадки должны быть рассчитаны для учета этого испарения;
- в течение этих месяцев должен быть применен полевой коэффициент (K_c) больше 0.0.

Таблица А3.4
Коэффициенты испарителя (*Kp*) класса А для различных случаев установки прибора и окружающих условий, а также различных уровней средней относительной влажности (Rh) и скорости ветра

Описание испарителя класса А → RH среднее (%) → Скорость ветра (м/с)	Случай А: прибор установлен на площадке засаженной короткой зеленой сельхозкультурой				Случай В: прибор установлен на сухих землях под паром			
		низкая (< 40)	средняя (40–70)	высокая (> 70)		низкая (< 40)	средняя (40–70)	высокая (> 70)
	Расстояние от зеленой культуры с подветренной стороны (м)				Расстояние от земель под паром с подветренной стороны (м)			
Слабый (< 2)	1	.55	.65	.75	1	.7	.8	.85
	10	.65	.75	.85	10	.6	.7	.8
	100	.7	.8	.85	100	.55	.65	.75
	1 000	.75	.85	.85	1 000	.5	.6	.7
Умеренный (2–5)	1	.5	.6	.65	1	.65	.75	.8
	10	.6	.7	.75	10	.55	.65	.7
	100	.65	.75	.8	100	.5	.6	.65
	1 000	.7	.8	.8	1 000	.45	.55	.6
Сильный (5–8)	1	.45	.5	.6	1	.6	.65	.7
	10	.55	.6	.65	10	.5	.55	.65
	100	.6	.65	.7	100	.45	.5	.6
	1 000	.65	.7	.75	1 000	.4	.45	.55
Очень сильный (> 8)	1	.4	.45	.5	1	.5	.6	.65
	10	.45	.55	.6	10	.45	.5	.55
	100	.5	.6	.65	100	.4	.45	.5
	1 000	.55	.6	.65	1 000	.34	.4	.45

Источник: ФАО, 1998.

Следующая процедура рекомендуется для ПЭО:

- В случае культур, для которых не проводятся предпосевные поливы. Если в некоторый месяц культура еще не посеяна или она не покрывает поле, допускаем, что в этот месяц:
  - коэффициент культуры = 0.0;
  - эффективные осадки, которые зафиксированы для этого месяца, при расчёте ET будут включать только ту воду, которая находится в корневой зоне после посева семян.
- В случае культур, для которых проводятся предпосевные поливы (например, подготовка поля под посев риса, предпосевные поливы хлопка). Здесь применяется та же процедура, что и выше, только до момента, когда выполняется первый полив. Затем для каждого месяца выполняются следующие шаги, до тех пор пока культура не посеяна или пересажена:
  - коэффициент культуры > 0 для учета испарения с почвы как оросительной воды, так и эффективных осадков;

- эффективные осадки, которые зафиксированы для этого месяца, при расчёте ET будут включать воду, которая содержится в почве после посева, плюс вклад осадков в испарение с поверхности почвы до посадки растений.

Например, можно рассмотреть случай, в котором:

- предпосевной полив проведён в первый день месяца.
- культура будет посажена в следующем месяце.
- земля остается незасеянной и свободной от сорняков в этом месяце.
- после инфильтрации оросительной воды, поданной на предпосевной полив, почва остается «тёмной» в течение трех дней.

В таблице А3.5 показано, как правильно вычислять среднемесячные значения K_c, с учётом испарения с почвы. При этом необходимо соблюдать следующие правила:

- Минимальное значение K_c обычно равно 0.15.
- Когда поверхность почвы ещё тёмная от влажности, даже при отсутствии культур, используется коэффициент культуры равный 1.05.
- У менее подверженных стрессу полевых культур (хлопок, рис и кукуруза) после достижения 100% растительного покрова коэффициент культуры равен 1.1.

Таблица а3.5
Пример расчета среднемесячных значений *kc* в период от предпосевного полива до посадки культуры

День	*Kc*	Пояснение
1	1.05	Полив – увлажненная поверхность почвы.
2	1.05	2-й день полива - увлажненная поверхность почвы.
3	1.05	1-й день после полива. Нет луж на поверхности почвы, но почва еще мокрая.
4	1.05	2-й день после полива. Поверхность почвы еще мокрая (тёмная).
5	1.05	3-й день после полива. Поверхность почвы еще мокрая (тёмная).
6	0.70	4-й день после полива.
7	0.50	5-й день после полива.
8	0.30	6-й день после полива.
9	0.15	7-й день после полива.
10	0.15	8-й день после полива.
11	1.05	Дождь – увлажненная поверхность почвы.
12	1.05	2-й день дождя – увлажненная поверхность почвы.
13	1.05	1-й день после дождя. Поверхность почвы еще мокрая (тёмная).
14	1.05	2-й день после дождя. Поверхность почвы еще мокрая (тёмная).
15	1.05	3-й день после дождя. Поверхность почвы еще мокрая (тёмная).
16	0.70	4-й день после дождя.
17	0.50	5-й день после дождя.
18	0.30	6-й день после дождя.
19	0.15	7-й день после дождя.
20	0.15	8-й день после дождя.
21	1.05	Дождь – увлажненная поверхность почвы.
22	1.05	2-й день дождя – увлажненная поверхность почвы.
23	1.05	1-й день после дождя. Поверхность почвы еще мокрая (тёмная).
24	1.05	2-й день после дождя. Поверхность почвы еще мокрая (тёмная).
25	1.05	3-й день после дождя. Поверхность почвы еще мокрая (тёмная).
26	0.70	4-й день после дождя.
27	0.50	5-й день после дождя.
28	0.30	6-й день после дождя.
29	0.15	7-й день после дождя.
30	0.15	8-й день после дождя.
Среднее *Kc* =	0.71	для данного месяца из 30 дней.

Таблица 2 –
Месячные значения ET_o

В эту таблицу вводятся значения ET_o (в мм) по месяцам. Выше смотрите объяснение по коэффициентам культур. В идеале, ET_o должны рассчитываться на почасовой основе по методу Пенмана-Монтейта (ФАО, 1998).

Таблица 3 –
Поверхностная вода, поступающая к границам подкомандной зоны (млн.м^3)

Все значения в этой таблице должны измеряться в миллионах кубических метров (млн.м^3) и включать только ту воду, которая может использоваться на орошение. Другими словами, вода из реки, проходящая через ПЗ, в которой не имеется водозаборных сооружений или насосов, учитываться не будет. В таблице учитываются три категории поступающей поверхностной воды:

- Оросительная вода, поступающая извне ПЗ. Объем (млн.м^{3}должен быть суммарным объемом (млн.м^3) в исходной точке (или точках) водозабора. Поэтому, технически, это не будет объемом, поступающим в ПЗ. Эта категория «оросительной воды» представляет «официально отби раемую воду» для водоподачи на орошение.
- Другие притоки воды из внешнего источника №2. Этот источник может быть определен пользователем ПЭО и может представлять сочетание нескольких физических источников - но все они помещаются в одну категорию. Однако доступ пользователей к этим притокам в рамках ПЗ должен обеспечиваться в виде водоподачи на орошение - либо через водовыпуск либо путем откачки воды из рек насосами.
- Другие притоки воды из внешнего источника №3. То же, что и для источника №2.
-

Ключевые принципы для таблицы 3:

- Таблица 3 включает только объемы поверхностных вод, которые поступают к границам ПЗ извне.
- Объемы поверхностных вод включаются, только если это объемы воды, используемой на орошение. Для целей ПЭО внешние источники № 2 и №3 рассматриваются как источники оросительной воды, если вода из них отбирается в точках водозабора или откачивается насосами отдельными фермерами или группой фермеров. Во многих проектах есть подобное дополнительное водоснабжение, при котором вода поступает в ПЗ не через спроектированные обслуживаемые каналы, но тем не менее, оно составляет важную часть от общей водоподачи на орошение в ПЗ.

Важной величиной здесь является объем воды, который поступает в ПЗ, а не объем воды, который откачивается из дрен (так как сюда может также входить повторное использование водосброса и поверхностного сброса с полей).

Таблица 4 –
Внутренние источники поверхностной воды (млн.м^3)

Величины таблицы 4 не представляют исходное водоснабжение (т.к. поверхностные источники уже были учтены в таблице 3). Скорее, это объем воды, которая повторно используется или откачивается из поверхностных источников на территории

проекта. Это может быть вода из оросительного канала, которая была сброшена из канала, потеряна на инфильтрацию из канала, или сброшена с полей. Информация об источнике воды в таблице 4 не имеет значения. Важной информацией в этой таблице являются данные о том, какой объект забирает или откачивает эту воду, которая берется не из канала.

Таблица 5

Площадь под каждой культурой в подкомандной зоне, по месяцам

Таблица 5 предоставляет информацию о том, какая площадь используется под каждую культуру в каждом месяце.

Значения K_c для каждой культуры находятся в строке, сразу над той строкой, в которую необходимо ввести площадь (в гектарах) под каждой культурой. Если в месяце для данной культуры значение K_c больше 0.0, то необходимо ввести количество гектаров, занятых этой культурой в этом месяце.

Таблица 6 –

данные о грунтовых водах

На эти вопросы отвечают только в том случае, если грунтовые воды исПользуются фермерами или участниками проекта.

При учете грунтовых вод в ирригационных проектах зачастую игнорируются внешние источники грунтовых вод и тот факт, что большая часть грунтовых вод может просто представлять повторно используемые поверхностные воды. ПЭО исключает двойной учет повторно используемой воды, что случается, когда грунтовые воды рассматриваются как независимый источник водоснабжения.

В таблице 6 учитывается, что водоносный горизонт может выходить далеко за пределы ПЗ.

Вопросы разделены на две категории: откачка из водоносного горизонта в пределах ПЗ; и откачка из водоносного горизонта, но за пределами ПЗ. При надлежащем изучении водоносного горизонта необходимо рассматривать обе области . Во внешних и эталонных показателях не используется информация по откачке воды за пределами ПЗ. Однако зачастую откачка за пределами ПЗ полностью зависит от инфильтрации из каналов и потерь на глубинную фильтрацию на территории ПЗ. В таком случае, для сведения потерь на инфильтрацию к минимуму, программа «водосбережения» в пределах ПЗ может фактически ликвидировать источник воды для тех, кто откачивает грунтовые воды за пределами ПЗ. Здесь можно также рассмотреть загрязнение грунтовых вод, если они проходят через старые морские отложения - увеличение минерализации грунтовых вод по сравнению с поверхностными водами.

Откачка грунтовых вод «нетто» в пределах ПЗ может быть только больше или равна нулю (так разработана электронная таблица). Для расчетов:

- оцениваются потери на глубинную фильтрацию с полей;
- оценивается инфильтрация из каналов.

При объединении этих оценок получается подпитка водоносного слоя за счет оросительной воды извне.

Затем выполняется оценка по откачке грунтовых вод, которая происходит на территории ПЗ - либо участниками проекта, либо отдельными фермерами. Затем из этого объема откачанной грунтовой воды вычитаются потери, которые уже были определены. В результате мы будем иметь оценку фактического вклада грунтовых вод в эвапотранспирацию.

Объем грунтовых вод, использованный на ЕТ, сравнивается с подпиткой от поверхностного водоснабжения. Если подпитка больше ЕТ грунтовых вод, то откачка

грунтовых вод «нетто» равна 0.0. Если ЕТ грунтовых вод больше подпитки, то полученная разница представляет собой откачку грунтовых вод «нетто». В большинстве проектов откачка грунтовых вод «нетто» будет равна нулю, поскольку обычно подпитка водоносного горизонта происходит за счет поверхностной оросительной воды, поступаемой извне.

Хотя откачка грунтовых вод является важным аспектом повторного использования оросительной воды, она не более «новый» источник воды, чем повторное использование поверхностных вод. Повторное использование воды любого типа повысит эффективность орошения в проекте. Однако оно не будет иметь какое-либо влияние на эффективность орошения поля, только если повторное использование воды не будет происходить на самих полях.

Таблица 7

Осадки, эффективные осадки и глубинная фильтрация осадков

Валовые месячные осадки (в мм) требуется ввести в верхней строчке таблицы. В целом эти величины легко получить.

Другие величины могут быть немного непонятными для большинства Пользователей, хотя понятия об эффективных осадках и глубинной фильтрации широко распространены. Проблема для пользователей будет заключаться в определении правильных значений. Простые допущения относительно глубинной фильтрации и доли осадков, которые являются эффективными, не работают в подобных электронных таблицах, которые разработаны для применения в разных географических регионах, имеющих сильный разброс по климату и культурам.

Эффективные осадки определяются как осадки, которые предназначены для ЕТ (испарения или транспирации) либо в этом месяце, либо в будущем.

Данные по эффективным осадкам и глубинной фильтрации можно вводить в эту таблицу по отдельному месяцу или для всех месяцев, не зависимо от того, растет ли культура на поле в этом месяце. Глубинная фильтрация осадков используется только с одной целью в расчетах: как расчетное сокращение объема воды на промывные поливы, необходимые для вымывания солей из корневой зоны.

В общем, значения по «эффективным осадкам» и «глубинной фильтрации» не доступны в виде месячных величин и они почти никогда не известны для каждой отдельной культуры. Тем не менее, важно выполнить оценку этих величин.

В помощь пользователям электронных таблиц, расчетные значения ЕТ поля (в мм) переносятся из предыдущих таблиц (эти таблицы находятся на правой стороне страниц рабочего листа и включают расчеты с использованием значений ET_o и K_c). Как только пользователь введет оценку доли эффективных осадков, в следующей строке появится соответствующее значение глубины эффективных осадков.

В общем, если в некоторый месяц выпадает небольшое количество осадков, а ЕТ поля высокая, то величина глубинной фильтрации осадков будет очень маленькой. И наоборот, при выпадении большого количества осадков и очень низкой ЕТ поля, можно ожидать увеличения глубинной фильтрации. Глубинная фильтрация также зависит от типа почвы (в песчаных почвах величина глубинной фильтрации более высокая, чем в глинистых почвах). Глубинная фильтрация не может превышать следующую разность: Осадки - Эффективные осадки.

Таблица 8

Специальные агротехнические требования (мм)

В этой таблице будут значения только для нескольких культур. Наиболее заметной культурой является рис-падди.

В следующем примере для риса делается допущение, что рисовое поле должно быть затоплено до посадки:

- затопление - 1 марта,
- посадка - 15 марта.

Поле остается покрытым под неглубоким слоем воды все время или, по крайней мере, почва сильно увлажнена в течение всего времени. Поэтому, «полевой коэффициент, K_c» равен 1,05. Далее предполагается, что месячная ET_o в марте равна 120 мм.

Кроме того, предполагается, что полевой коэффициент K_c был вычислен по примеру, приведенному в начале приложения. Разница между данным примером и приведенным раннее состоит в том, что данный пример очень простой - почва всегда увлажнена, поэтому K_c всегда равен 1,05.

Если для марта было введено значение коэффициента культуры 1.05, то ET для всего этого месяца будет вычисляться отдельно. Поэтому в таблицу 9 не будут включены значения ET за период между 1 и 15 марта.

Однако если для марта был введен коэффициент культуры 1.05/2 = 0.53, то это будет означать, что пользователь хотел учесть только ET как «ET культуры» начиная с 15 марта, а ET в период между 1 и 15 марта будет включено в таблицу 8. Рекомендуется использовать первый подход (при K_c = 1.05 для этого месяца).

Допустим, что используется первый подход (при K_c = 1.05 для марта), тогда значение в таблице 8 должно включать только две вещи:

- объем на глубинную фильтрацию из поданной оросительной воды;
- объем оросительной воды, которая сбрасывается с поля или группы полей в открытые дрены.

Если в марте шел дождь, то некоторую долю поверхностного стока и глубинной фильтрации будет составлять дождевая вода. В таблице 8 включаются объемы только оросительной воды, поэтому дождевая вода должна вычитаться из общей инфильтрации и поверхностного сброса (стока).

Таблица 9 –
Урожайность культур и цены

Здесь необходимы три вида входных данных:

- местный обменный курс (долл.США/местная валюта);
- типичная средняя урожайность культуры (в тоннах на гектар);
- цена франко-ферма (оптовая цена, устанавливаемая производителем с.-х. продукции, не включающая в себя расходы на транспортировку товара с фермы) по каждой культуре, выраженная в местной валюте на тонну.

Рабочий лист 4. Внешние показатели

Этот лист является временным, здесь находятся некоторые значения и расчеты. Для пользователя основное использование этого рабочего листа состоит в вводе значений интервала достоверности (CI).

РАЗДЕЛ ВНУТРЕННИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Для заполнения рабочих листов 5-12 требуются выезды квалифицированных экспертов по оценке проекта. Здесь основное внимание уделяется фактической работе проекта - каковы правила, как вода физически перемещается по системе каналов/трубопроводов, каково восприятие и реальность, и прочие моменты, как укомплектованность персоналом, бюджет и связь. При экспресс-анализе (экспресс-оценке)

этих пунктов сразу выявятся слабые и сильные стороны проекта. Аспекты, связанные с работой, практически всегда легко видны после выполнения систематической ПЭО.

Рабочие листы 5-12 содержат большое количество страниц. Однако только 25% строк требуют ответа (другие строки содержат пояснения или пустые), а расчеты необходимы только по нескольким пунктам, например по бюджету. Более того, вопросы по магистральному каналу аналогичны вопросам по каналам второго и третьего порядков. Как только эксперт овладеет вопросами по магистральному каналу, по оставшимся страницам он сможет легко дать ответы после выезда на поле.

Рабочий лист 5. Вопросы к офису управления проектом

Большинство ответов на вопросы в данном рабочем листе должно быть заполнено персоналом ирригационного проекта до визита эксперта по оценке, так как сюда включено много простых данных, таких как зарплата, количество работников, зафиксированные правила проекта.

Тем не менее, эксперт по оценке должен ответить на некоторые вопросы во время своего визита.

В этот рабочий лист включены вопросы, которые касаются возможности возникновения беспорядка, существующего в любом проекте. «Беспорядок» происходит тогда, когда восприятие администрацией проекта хода вещей в проекте не соответствует тому, что происходит в реальности. Поэтому, эксперт должен задать следующие вопросы администрации проекта: уровень работы магистрального канала по обеспечению услуг по водоподаче, что делают различные операторы, как вода доходит до отдельных фермеров. Эти «заявленные» условия затем сравниваются с теми, что эксперт фактически наблюдает в поле.

В целом, легче всего модернизировать ирригационные проекты, в которых минимум беспорядка. В случае, если администрация проекта либо не осведомлена о фактическом состоянии, либо она отказывается признавать определенные проблемы, проводить изменения очень сложно.

В этом рабочем листе также вводится концепция оценочных характеристик проекта от 0 до 4, где 0 - это наихудшая оценка, а 4 - наилучшая. В большинстве случаев эксперт читает ряд описаний и определяет уровень каждого из «внутренних показателей», которые позже обобщаются в Рабочем листе 12 (Внутренние показатели).

Некоторые значения показателей (например, «Соответствие Э&ТО») рассчитываются автоматически из предыдущих ответов. Шкалу оценки для этих значений можно найти, выделив расчетное значение и прочитав формулу в ячейке.

В самом конце на этом рабочем листе есть несколько вопросов по дренажу и засолению. Они используются в различных эталонных показателях.

Когда имеется «пилотная» АВП (выбираемая небольшими АВП), которой управляет проект, то эта АВП рассматривается как часть «офиса проекта».

Рабочий лист 6. Персонал проекта

Большинство этих вопросов требуют качественной оценки условий в проекте, при этом эксперт по каждому вопросу дает оценку. Тематика следующая:

- соответствие тренинга работников;
- наличие правил работы в письменном виде;
- полномочия работников принимать независимые решения;
- возможности в проекте увольнять работников с указанием оснований;
- поощрение работников за хорошую работу.

Рабочий лист 7. АВП

В рабочих листах АВП расшифровывается как Ассоциация Водопользователей. Некоторые ирригационные проекты имеют крупные АВП, которые используют всю ирригационную систему проекта, но конечное водораспределение выполняется множеством мелких АВП. В этой ситуации вопросы по АВП относятся только к этим мелким АВП.

Большинство вопросов аналогичны вопросам из Рабочего листа 5 (вопросы к офису управления проектом).

Ответы должны отражать средние условия по всему ирригационному проекту, а не по одной единственной АВП. Поэтому необходимо посетить несколько АВП, чтобы правильно ответить на вопросы.

Рабочий лист 8. Магистральный канал

Этот рабочий лист начинается с шести вопросов об общих условиях в проекте. Ответы будут иметь большой CI (определенный раньше в разделе по внешним показателям). Однако из-за больших отличий между различными проектами, ответы будут иметь большое значение.

Оставшиеся вопросы аналогичны тем, которые относятся к каналам второго и третьего порядков. Хотя большинство вопросов ясны для понимания, некоторые моменты требуют специального пояснения.

Время перемещения волны - это время задержки между внесением изменения в расход воды в одной точке канала и стабилизацией этого изменения в другой точке ниже по течению.

Относительно функциональности различных сооружений и правил, эксперты по оценке должны всегда рассматривать эксплуатацию с позиций оператора и спрашивать себя: «Если я должен подойти к этому сооружению, откуда я узнаю, что делать, и что будет легче сделать?» Например, если задачей является поддержание постоянного уровня воды на сооружении:

- Что означает «постоянный» - в пределах 1 или 5 см?
- Сколько раз в день нужно приводить в движение сооружение, и при таком движении возможно ли будет достичь желаемого результата?
- Является ли сооружение опасным или сложным в эксплуатации?

Если оператору надо направить определенный расход воды в канал, а устройства, измеряющего расход, нет (или оно неточное, неверно обслуживается, неправильно расположено или требует много времени для стабилизации), то тогда почти невозможно аккуратно достичь желаемого результата.

Поэтому, эксперт по оценке должен не просто слушать объяснения, он должен поставить себя на место оператора. Недостаточно знать, что оператор манипулирует чем-то и затем проверяет что-то, эксперты по оценке должны понимать, дают ли действительно эти «чем-то и что-то» правильный ответ.

Формат таблицы 8 следующий:

- Записываются общие наблюдения.
- Дается оценка различным аспектам эксплуатации, техобслуживания и технологического процесса. Некоторые из этих оценок зависят от общих наблюдений, которые записываются в этом же листе. Другие оценки выполняются независимо.

Может показаться, что некоторые из общих наблюдений не являются обязательными, так как они затрагиваются позже в форме оценок. Тем не менее, они были включены, чтобы заставить экспертов выполнить систематичное обследование различных характеристик, которые обобщаются в последующих оценках.

Вопросы о фактических услугах играют ключевую роль. Эксперты ПЭО должны понимать, что ПЭО разработана при допущении, что все работники ирригационного проекта имеют свою работу только по одной причине - чтобы обеспечить соответствующую услугу клиентам.

Анализируя проект по «уровням» (офис управления, магистральный канал, канал второго порядка, канал третьего порядка, распределители и поле), крупный проект можно понять простым образом. У операторов магистрального канала одна цель - все, что они делают, должно быть выполнено для обеспечения хорошей услуги водоподачи для своих клиентов, каналов второго порядка (и возможно нескольких прямых водоотводов из магистрального канала). Эта «концепция обслуживания» должна быть понята и принята каждым, от главного инженера до простого оператора. Если она принята, то управление системой становится очень простым. Персонал на каждом уровне отвечает только за работу этого уровня.

Операторам магистрального канала нет необходимости понимать детали суточных требований по расходу воды на каждое поле. Чтобы присоединиться к концепции обслуживания, операторам, как правило, необходимо знать, что их конечным клиентом является фермер. Однако детали ежедневных расходов необязательно знать на всех уровнях. Вернее, операторы магистрального канала должны выполнять одну задачу - подавать расход в определенные отводы с высокой степенью обслуживания. Обслуживание описывается в ПЭО тремя показателями:

- гибкость, состоящая из:
  - частоты,
  - расхода,
  - длительности,
- надежность;
- справедливость.

При очень простой технике орошения на поле, надежность и справедливость имеют решающее значение. При отсутствии хорошей надежности и справедливости обычно возникают социальные проблемы, такие как вандализм и неоплата счетов за водоподачу. Таким образом, надежность и справедливость являются краеугольными камнями проектов, в которых есть хороший социальный порядок.

Для эффективности практики орошения на поле требуется некоторый минимальный уровень гибкости. Даже при самых элементарных методах орошения, например в случае риса падди, расходы воды совершенно отличаются в начале сезона (для подготовки земель) от тех, когда рисовая культура уже выросла. Более того, не все проводят посевы в одно и то же время, и это означает, что ирригационный проект должен иметь некоторую встроенную гибкость.

Чтобы достичь высокой эффективности проекта, ирригационная система должна иметь достаточную встроенную гибкость, чтобы можно было часто менять расходы в ответ на постоянно меняющиеся требования и погоду. Однако большинство ирригационных проектов не очень гибкие. Более того, большинство проектов имеют низкую эффективность.

Наконец, экспертам по оценке необходимо учесть, что главная цель ПЭО заключается в определении того, что можно сделать, чтобы улучшить работу проекта. Современные методы орошения, например, дождевание и капельное орошение, требуют намного более высокой гибкости и надежности, чем традиционные методы

поверхностного орошения. Эксперты должны всегда задавать себе вопрос во время проведения ПЭО: «Я не только хочу рекомендовать, как реконструировать проект - я хочу рекомендовать шаги, которые приблизят проект к более высокой эффективности и лучшему управлению водой как потребует будущее. Способны ли будут эти сооружения и правила эксплуатации, а также персонал, отвечать этим новым требованиям, а если нет, какую корректировку необходимо выполнить?»

Поэтому, необходимо тщательно обследовать магистральный канал. Эксперты по оценке должны начать с источника и двигаться вниз по каналу. Это не означает, что следует анализировать каждое отдельное сооружение. Тем не менее, эксперты должны обследовать главные сооружения по всей длине канала.

Общие проблемы, которые эксперты по оценке должны преодолеть:

- Администрация проекта хочет потратить непропорциональное количество времени на плотину, обсуждая вопросы поддержания плотины, площади водосбора и политики. Фактически, единственными аспектами, представляющими интерес на плотине, являются: (i) хранение воды; (ii) как рассчитываются, фактически производятся и измеряются сбросы.
- Экспертов будут уверять, что «канал везде один и тот же». Подразумеваемый вывод, что экспертам необходимо обследовать только часть канала рядом с головным сооружением. Может быть верно, что канал действительно Одинаковый по всей его длине. Однако, в общем, имеются большие различия в техобслуживании, уклоне, сооружениях и т.п. по длине канала. Только путём непосредственного осмотра всего канала эксперты узнают об этих различиях.
- Администрация проекта, сопровождающая экспертов, будет объяснять эксплуатацию. Это сложная проблема. Посещение офиса (рабочий лист 5) запланировано для получения информации о работе системы от персонала офиса и начальников. Цель полевого визита заключается в разговоре с операторами сооружений и просмотре их записей - без вмешательства их начальства и получения «официального» ответа с их стороны. Во многих случаях необходимо отделить начальство от операторов, чтобы операторы могли свободно отвечать на вопросы. Поэтому, необходимо разъяснить «правила игры» до выезда на поле.

Другая проблема возникает при выборе каналов для посещения. Иногда проект имеет два и более магистральных канала и множество каналов «второго порядка». Однако, в общем, правила эксплуатации, техника и техобслуживание будут одинаковыми на всех каналах определенного порядка. Поэтому посещение большого числа каналов полезно, но необязательно выезжать на все каналы проекта.

Различные магистральные каналы имеют некоторые специфические технические/гидравлические проблемы. Один канал может иметь узкое место (сужение) на пересечении реки, а другой канал может иметь особенную проблему с контролем - даже если все остальное кажется одинаковым. Если эксперты ПЭО могут дать хорошие рекомендации по таким специфическим гидравлическим проблемам (которые не затрагиваются отдельно в формах ПЭО), то доверие к экспертам по оценке повысится, и рекомендации ПЭО будут иметь больше шансов быть принятыми. Поэтому экспертам следует снимать как можно больше фотографий и делать записей во время выездов.

Элементарные советы для экспертов по оценке во время их тура по каналам (магистральным, второго, третьего порядка и т.д.) обобщены в боксе А3.1.

Рабочий лист 9. Каналы второго порядка

См. описание рабочего листа 8. Каналы второго порядка - это каналы, получающие воду из магистральных каналов. Как правило, эксплуатация каналов второго порядка отличается от эксплуатации магистральных каналов.

Рабочий лист 10. Каналы третьего порядка

См. описание рабочего листа 8. Во многих проектах среднего размера, «третий уровень» не существует, поэтому в этих случаях рабочий лист не заполняется.

Рабочий лист 11. Подача воды потребителю

В этом рабочем листе рассматриваются две возможные точки. Одна из них - Объекты индивидуальной собственности - наименьшая единица, которая находится в собственности отдельного лица (там, где разрешена частная собственность), или которая управляется фермером. Объекты индивидуальной собственности могут быть больше одного отдельного поля, где один фермер получает воду и затем распределяет ее по нескольким полям из одного отвода (распространено в США). Главной особенностью Объекта индивидуальной собственности является тот факт, что здесь не требуется сотрудничество между отдельными фермерами.

Бокс А3.1

Советы для экспертов по оценке

Разбираться во всем. Понимать видение операторов относительно того, как должны работать сооружения. Спрашивать все. Если вы не понимаете объяснений, продолжать задавать вопросы, пока вы не поймете видение операторов. Но нужно идти еще дальше. Каждое сооружение имеет свою функцию. Не ограничивайтесь попыткой визуализировать, как эта функция может выполняться более легко или лучше; ставьте вопрос о самой причине, почему это сооружение выполняет именно эту конкретную функцию. Возможно в плане модернизации, сооружению, которое в настоящее время работает в условиях контроля расхода, следует работать в условиях контроля уровня воды по верхнему бьефу. Другими словами, задавайте вопросы относительно самого характера стратегий эксплуатации - а не только об отдельных сооружениях. ПЭО не является обследованием отдельных сооружений - это комплексное изучение всего процесса ... в котором сооружения выполняют свои функции. Нужно понимать отдельные элементы (операторов, правила и сооружения), чтобы понять процесс, но ПЭО также ставит вопросы относительно допущений, которые принимаются по самим процессам. Для ПЭО требуются эксперты, которые могут видеть за рамками отдельных элементов; для нее требуются эксперты, которые могут представить, как можно манипулировать и перестраивать отдельные элементы как части полного процесса, который обеспечивает хорошее обслуживание и высокую эффективность.

Вторая точка - это Пункт передачи управления. В проектах с большой плотностью водоотводов, Пункт передачи управления может совпадать с точкой Объекта индивидуальной собственности. Другими словами, работник администрации ирригационного проекта (или АВП) подает воду по всей длине до уровня поля. Пункт передачи управления - это точка передачи управления от оплачиваемого работника к волонтерам или фермерам.

В некоторых проектах водохозяйственные управления уделяют большое внимание числу фермеров на территории проекта. Необходимо выйти за рамки этой статистики при изучении текущей эксплуатации, так как администрация проекта может передать контроль за водой группам из 200 фермеров - от которых ожидается, что они как-нибудь обеспечат справедливое и надежное распределение воды между собой. Поэтому, здесь имеются два важных показателя:

- Количество полей (Объектов индивидуальной собственности) ниже Пункта передачи управления. Чем больше это число, тем хуже надежность, справед-

ливость и гибкость услуг по водоподаче. Более того, любое число больше 1 или 2 указывает на то, что здесь почти невозможно поддерживать дождевание или капельное орошение.

- Количество водоотводов на одного работника. Это намного более важный показатель, чем «число фермеров на работника», поскольку работники могут никогда не доставлять воду напрямую отдельным фермерам.

Рабочий лист 12. Внутренние показатели

Этот лист содержит три типа величин:

- Итоговые значения различных внутренних подпоказателей, которые были оценены в предыдущих рабочих листах и по которым затем рассчитаны взвешенные значения каждого основного показателя. Затененные столбцы на правой стороне дают информацию о величинах, весовых коэффициентах и нахождении рабочего листа для получения детальных критериев оценки подпоказателей. Всем этим величинам дана оценка от 0 до 4, где 4 - это самая высокая и наиболее желательная оценка.
- Подпоказатели и основные показатели, значения которых вводятся непосредственно в этот рабочий лист (а не переносятся из предыдущих рабочих листов). Это показатели I-32, I-33 и I-34. Эти значения оцениваются от 0 до 4.
- Несколько показателей (I-35+), которые не оцениваются по шкале от 0 до 4. Вернее, это прямые отношения величин или отдельные величины, которые имеют особое значение.

Рабочий лист 13. Показатели IPTRID

Это рабочий лист является промежуточным, который не используется. Поэтому перейдите к Рабочему листу 14, который описан ниже.

Рабочий лист 14. Показатели BMTI Всемирного Банка

Это рабочий лист содержит «Эталонные технические показатели» или значения BMTI на момент времени октябрь 2002 года для описываемого водохозяйственного года. Определения различных показателей BMTI приведены в таблицах А3.6-А3.9.

Таблица А3.6
Определение эталонных технических показателей: показатели водного баланса

Показатель	Определение	Описание данных
Общий годовой объем оросительной воды, имеющейся в наличии на уровне пользователя (млн.м^3) (также "поданная оросительная вода").	Общий объем оросительной воды (поверхностные воды + грунтовые воды), непосредственно доступный для пользователей, млн.м^3 – используя заявленную эффективность транспортировки поверхностных и грунтовых водных ресурсов. Он включает воду, подаваемую администрацией проекта, а также воду, откачиваемую самими пользователями. В данном случае, водопользователи являются получателями услуги по подаче оросительной воды; это могут быть отдельные ирригаторы или группы или ирригаторы, организованные в группы водопользователей. Эта величина используется для оценки эффективности орошения поля, но не для оценки эффективности орошения на уровне проекта.	Рассчитываются из заявленного значения эффективности подачи воды в системе (из плотины или точки водозабора к точке потребления воды работником проекта). Сюда включена откачка воды фермером, так как это представляет «подачу» в том смысле, что это оросительная вода, которая доступна для хозяйства/поля.
Общий годовой объем водоподачи на орошение к трехмерным границам подкомандной зоны (млн.м^3).	Это оросительная вода, которая подводится к границам проекта, включая водозабор из реки, попуски из водохранилища и отбор грунтовых вод нетто из водоносного горизонта. Эта величина используется для оценки эффективности орошения на уровне проекта, но не для расчета эффективности орошения поля.	Для определения этой величины требуется детальный водный баланс, в который включена откачка грунтовых вод, так как необходимо оценить отбор грунтовых вод нетто.
Общий годовой объем оросительной воды под управлением администрации проекта (млн.м^3).	Это оросительная вода, которая подводится к границам проекта администрацией проекта, плюс любые внутренние грунтовые воды, откачанные проектом. Эта величина не используется для расчета показателей эффективности, так как некоторую часть внутренней откачки может представлять повторный оборот воды из исходного источника. Тем не менее, это объем воды, которым управляет администрация проекта, поэтому он используется для расчетов, связанных с затратами.	
Общий годовой объем водоснабжения (млн.м^3).	Общий годовой объем отбора поверхностных вод и грунтовых вод нетто, плюс суммарное количество осадков, исключая любую рециркуляцию через внутренний дренаж в пределах массива.	Это оросительная вода, которая подводится к границам проекта, включая водозабор из реки, попуски из водохранилища и отбор грунтовых вод нетто из водоносного горизонта. Кроме того, сюда относится общее количество осадков.

Показатель	Определение	Описание данных
Общий годовой объем оросительной воды, поданной пользователям администрацией проекта.	Общий объем воды, поданный водопользователям администрацией проекта в течение года непосредственно из точек водозабора и из насосов, находящихся в ведении администрации (включая АВП). В данном случае, водопользователи являются получателями услуги по подаче оросительной воды; это могут быть отдельные ирригаторы или группы ирригаторов, организованных в группы водопользователей. Сюда не относятся насосы фермеров или отбор воды из дрен фермерами.	Может измеряться напрямую или дается общая оценка, на основании предполагаемой эффективности транспортировки.
Общий годовой объем грунтовых вод, откачанных в пределах/в подкомадную зону (млн.м^3).	Общий годовой объем грунтовых вод, откачанных администрацией проекта или фермерами, который предназначен для орошения полей в пределах подкомандной зоны. Эти грунтовые воды могут брать начало за пределами этой зоны.	Ответ необходимо дать, даже если пользователь не знает точно объем откачанных грунтовых вод. Если необходимо, неопределенность можно компенсировать за счет назначения большого интервала достоверности.
Общий годовой объем ET поля на орошаемых полях (млн.м^3).	Общий годовой объем ET культуры. Сюда включается испарение с почвы, а также транспирация культурой. В зависимости от того, как пользователь ввел эти данные, здесь может быть включено испарение с почвы в межвегетацию.	Это значение рассчитывается на основе коэффициентов культуры и значений ETo.
Общий годовой объем ET – эффективные осадки (млн.м^3).	Объем эвапотранспирации, который должен быть обеспечен за счет оросительной воды. Независимо от того, как вводятся данные для ET (см.выше), если следовать данному руководству, получится тот же окончательный ответ (ET – эффек. осадки) – а именно требования на орошение нетто.	Пользователь дает оценку эффективных осадков по месяцам и культурам. Эффективные осадки участвуют в ET.
Пиковые требования ET на оросительную воду нетто (м^3/с).	Пиковые суточные требования на орошение нетто (ET – эффективные осадки) для подкомандной зоны, основанные из фактической структуры распределения посевных площадей для данного года (м^3/с).	Рассчитывается как пиковое месячное значение (ET – эффективные осадки), поделенное на количество дней в этом месяце.
Общая подкомандная площадь системы (га).	Фактические гектары полей в проекте, которые обеспечены ирригационной сетью и/или скважинами.	
Орошаемая площадь, включая многократное возделывание культур (га).	Гектары посевной земли, которые получают полив. Если на поле площадью 1 га выращиваются две орошаемые культуры в год, то фиксируемой орошаемой площадью будут 2.0 га.	
Годовая водоподача на орошение на единицу подкомандной зоны (м^3/га)	(Общий годовой объем подачи оросительной воды в подкомандную зону) / (Общая подкомандная площадь системы)	Общий годовой объем подачи оросительной воды в подкомандную зону: см. определение выше. Общая подкомандная площадь системы: см. определение выше.

Показатель	Определение	Описание данных
Годовая водоподача на орошение на единицу орошаемой площади (м^3/га)	(Общий годовой объем водоподачи на орошение) / (Общая годовая орошаемая посевная площадь)	Общий годовой объем водоподачи на орошение: см. определение выше. Общая годовая орошаемая посевная площадь: см. определение выше. Включает многократное возделывание культур.
Эффективность транспортировки воды, подаваемой проектом (%). (Взвешенное значение, с использованием заявленных значений)	(Объем оросительной воды, поданной администрацией проекта) / (Общий годовой объем водоподачи на орошение администрацией проекта)	Объем оросительной воды, поданной администрацией из внешних источников: общий объем водоподачи на орошение, обеспечиваемый водопользователям администрацией проекта в течение года. В данном случае, водопользователи являются получателями услуги по подаче оросительной воды; это могут быть отдельные ирригаторы или группы ирригаторов, организованных в группы водопользователей. Общий годовой объем водоподачи на орошение администрацией проекта: см. определение выше.
Расчетная эффективность транспортировки грунтовых вод в проекте (%).	(Годовой объем грунтовых вод, поданных пользователям проектом × 100) / (Годовой объем грунтовых вод, откачанных администрацией проекта)	Годовой объем грунтовых вод, поданных пользователям проектом: это относится к взвешенному значению эффективности транспортировки грунтовых вод, которые откачиваются администрацией проекта из скважин как вне, так и внутри подкомандной зоны, но которые подаются внутри подкомандной зоны. Годовой объем грунтовых вод, откачанных администрацией проекта: не требует объяснений.
Годовое относительное водоснабжение (ОВС).	(Общий годовой объем водоснабжения) / (Общий годовой объем ET поля на орошаемых полях)	Общий годовой объем водоснабжения: см. определение выше. Общий годовой объем ET поля на орошаемых полях: см. определение выше.
Годовая относительная водоподача на орошение (ОПО).	(Общий годовой объем водоподачи на орошение к трехмерным границам) / (Общий годовой объем ET – эффективные осадки)	Общий годовой объем водоподачи на орошение к трехмерным границам: см. определение выше. Общий годовой объем ET – эффективные осадки: см. определение выше.

Показатель	Определение	Описание данных
Потенциал подачи воды	(Пропускная способность канала для подачи воды в голове системы) / (Пиковые требования ET на оросительную воду)	Пропускная способность канала для подачи воды в голове системы: фактическая валовая пропускная способность магистрального канала (каналов) во всех точках водозабора ($м^3/с$). Пиковые требования ET на оросительную воду: см. определение выше ($м^3/с$).
Надежность обеспеченности прав на воду (%).	Частота, с которой водохозяйственная организация способна обеспечивать установленные права на воду в системе.	Право на воду в системе: суммарный объем ($млн.м^3$) или суммарный расход воды ($м^3/с$), на который массив имеет право в год.
Средняя эффективность орошения поля (%).	((ET - Эффективные осадки + требования на промывку) × 100) / (Общий объем воды, поданной на поля из государственных и частных источников)	Все величины выражаются в годовых объемах.
Эффективность орошения подкомандной зоны (%).	((ET + Потребности в промывке - Эфф.осадки) × 100) / (Подаваемая поверх.вода + грунтовые воды нетто)	Все величины выражаются в годовых объемах.

Таблица А3.7
Определение эталонных технических показателей: финансовые показатели

Показатель	Определение	Описание данных
Коэффициент возмещения издержек.	(Валовой полученный доход) / (Общая стоимость УЭТО)	Валовой полученный доход: общие доходы, полученные от сбора платы за услуги, предоставленные водопользователям. Общая стоимость УЭТО: общая стоимость управления, эксплуатации и техобслуживания для обеспечения ирригационных и дренажных услуг, исключая капиталовложения и износ/восстановление.
Отношение стоимости техобслуживания к доходу.	(Стоимость техобслуживания) / (Валовой полученный доход)	Стоимость техобслуживания: общий расход на техобслуживание системы. Валовой полученный доход: общие доходы, полученные от сбора платы за услуги, предоставленные водопользователям.
Общая стоимость УЭТО на единицу площади ($/га).	(Общая стоимость УЭТО) / (общая подкомандная площадь, обслуживаемая системой)	Общая стоимость УЭТО: см. определение выше. Общая подкомандная площадь, обслуживаемая системой: см. определение выше.
Общие расходы на штатного сотрудника ($/чел).	(Общие расходы на персонал) / (Общее число работников)	Общие расходы на персонал: общие расходы на персонал, занятый в обеспечении ирригационных и дренажных услуг, либо на поле, либо в офисе (включая секретариат и административный персонал). Включает работников АВП и проекта. Общее число работников, занятых в обеспечении ирригационных и дренажных услуг: общее число работников, занятых в обеспечении ирригационных и дренажных услуг, либо на поле, либо в офисе (включая секретарей, администраторов). Сюда включены работники АВП и проекта.
Эффективность получения доходов.	(Валовой полученный доход) / (Валовой плановый доход)	Валовой полученный доход: суммарные доходы, полученные от сбора платы за услуги водопользователям. Валовой плановый доход: общий доход, который должен быть собран от водопользователей за предоставление ирригационных и дренажных услуг.

Показатель	Определение	Описание данных
Штатные сотрудники на единицу орошаемой площади (чел/га).	(Общее число работников, занятых в обеспечении ирригационных и дренажных услуг) / (Общая орошаемая площадь, обслуживаемая системой)	Общее число работников, занятых в обеспечении ирригационных и дренажных услуг: общее число работников, занятых в обеспечении ирригационных и дренажных услуг, включая секретариат и административный персонал –АВП плюс занятость в проекте. Общая орошаемая площадь (га): см. определение выше.
Количество водовыпусков на полевого оператора.	(Общее число водовыпусков [водозаборов]) / (Общее число работников, занятых на поливе и обеспечении дренажных услуг на поле)	Общее число работнико, занятых в обеспечении ирригационных и дренажных услуг: общее число работников, нанятых для обеспечения ирригационных и дренажных услуг, включая контролеров. Общее число водовыпусков [водозаборов] на поля, хозяйства или группы хозяйств, плюс водозаборы в боковые каналы и их подчиненные каналы, физическая эксплуатация которых осуществляется полевыми работниками.
Средний доход на кубометр оросительной воды, поданной водопользователям администрацией проекта ($/м^3).	(Валовой полученный доход) / (Общий годовой объем воды, поданной на орошение в проекте)	Валовой полученный доход: суммарные доходы, полученные от сбора платы за услуги водопользователям. Общий годовой объем воды, поданной на орошение в проекте: см. определение выше.
Общая стоимость УЭТО на кубометр оросительной воды, поданной водопользователям администрацией проекта ($/м^3).	(Общая стоимость УЭТО) / (Общий годовой объем оросительной воды, поданной проектом)	Общая стоимость УЭТО: общая стоимость управления, эксплуатации и техобслуживания для обеспечения ирригационных и дренажных услуг, исключая капиталовложения и износ/восстановление. Общий годовой объем воды, поданной на орошение в проекте: см. определение выше.

Таблица A3.8
Определение эталонных технических показателей: продуктивность сельского хозяйства и экономические показатели

Показатель	Определение	Описание данных
Общая годовая стоимость сельскохозяйственной продукции ($).	Общая годовая стоимость сельскохозяйственной продукции, полученной производителями.	
Выработка на единицу подкомандной площади ($/га).	(Общая годовая стоимость сельскохозяйственной продукции) / (Общая подкомандная площадь системы)	Общая годовая стоимость сельскохозяйственной продукции: общая годовая стоимость сельскохозяйственной продукции, полученной производителями. Общая подкомандная площадь системы: подкомандная площадь – это номинальная или расчетная площадь, обеспеченная ирригационной инфраструктурой, и которая может орошаться.
Выработка на единицу орошаемой площади, включая многократное возделывание культур ($/га).	(Общая годовая стоимость сельскохозяйственной продукции) / (Общая годовая орошаемая посевная площадь)	Общая годовая стоимость сельскохозяйственной продукции: см. определение выше. Общая подкомандная площадь системы: см. определение выше.
Выработка на единицу водоподачи на орошение ($/м^3).	(Общая годовая стоимость сельскохозяйственной продукции) / (Общий годовой объем водоподачи на орошение к трехмерным границам подкомандной площади)	Общая годовая стоимость сельскохозяйственной продукции: см. определение выше. Общая годовая орошаемая посевная площадь: см. определение выше.
Выработка на единицу водоснабжения ($/м^3).	(Общая годовая стоимость сельскохозяйственной продукции) / (Общий годовой объем водоснабжения)	Общая годовая стоимость сельскохозяйственной продукции: см. определение выше. Общий годовой объем водоснабжения: см. определение выше.
Выработка на единицу ET поля ($/м^3).	(Общая годовая стоимость сельскохозяйственной продукции) / (Общий годовой объем ET поля)	Общая годовая стоимость сельскохозяйственной продукции: см. определение выше. Общий годовой объем ET поля: см. определение выше.

Таблица А3.9
Определение эталонных технических показателей: экологические показатели

Показатель	Определение	Описание данных
Качество воды: средняя минерализация оросительной воды (dS/m).	Минерализация (электрическая проводимость) оросительной воды.	Взвешенное (по объему) значение, используя месячные данные. Должно включать как поверхностные, так и грунтовые воды.
Качество воды: средняя минерализация дренажной воды (dS/m).	Минерализация (электрическая проводимость) дренажной воды, которая стекает за пределы подкомандной площади.	Взвешенное (по объему) значение, используя месячные данные.
Качество воды: средняя биохимическая потребность в кислороде (БПК) оросительной воды (мг/л).	Биологическая нагрузка оросительной воды, выраженная в БПК.	Взвешенное (по объему) значение, используя месячные данные. Должно включать как поверхностные, так и грунтовые воды.
Качество воды: средняя БПК дренажной воды (мг/л).	Биологическая нагрузка дренажной воды, выраженная в БПК.	Взвешенное (по объему) значение, используя месячные данные.
Качество воды: средняя химическая потребность в кислороде (ХПК) оросительной воды (мг/л).	Химическая нагрузка оросительной воды, выраженная в ХПК.	Взвешенное (по объему) значение, используя месячные данные. Должно включать как поверхностные, так и грунтовые воды.
Качество воды: средняя ХПК дренажной воды (мг/л).	Химическая нагрузка дренажной воды, выраженная в ХПК.	Взвешенное (по объему) значение, используя месячные данные.
Средняя глубина до зеркала грунтовых вод (м).	Средняя годовая глубина залегания грунтовых вод, рассчитанная из наблюдений за уровнем грунтовых вод по площади орошения.	Это среднее значение для площади с неглубоким (от поверхности земли) залеганием грунтовых вод.
Изменение глубины залегания грунтовых вод с течением времени (м) (+ указывает на поднятие уровня).	Изменение глубины залегания грунтовых вод за последние пять лет.	Это среднее значение для площади с неглубоким (от поверхности земли) залеганием грунтовых вод.

КАК ИНТЕРПРЕТИРОВАТЬ РЕЗУЛЬТАТЫ ПЭО

Сама по себе ПЭО является только инструментом для диагностики. Она позволяет квалифицированному эксперту методично обследовать ирригационный проект, чтобы определить внешние и внутренние показатели.

Внешние показатели подсказывают, возможно ли сэкономить воду или улучшить окружающую среду посредством улучшения управления водой. Внутренние показатели дают подробное представление о том, как система фактически работает, и об услугах по водоподаче, предоставляемых на всех уровнях.

Для интерпретации результатов требуются один или несколько специалистов по ирригации, которые имеют четкое понимание вариантов модернизации. Без глубоких знаний этих вариантов рекомендации могут оказаться неэффективными и даже привести к обратным результатам.

Основные правила включают следующее:

- Почти во всех проектах для модернизации требуются изменения как в техническом обеспечении, так и в управлении;
- В целом, вполне возможно обеспечить высокий уровень услуг по подаче воды в водоотводы без наличия хорошего регулирования воды, если система достаточно неэффективна и очень хорошо обеспечена водой. Однако если система также должна быть эффективной, единственный способ обеспечения хорошего обслуживания – это превосходное регулирование воды.
- Почти во всех проектах необходимо улучшить услуги по водоподаче, чтобы достичь основных целей по сокращению трудозатрат, снижения сбросов, повышения урожайности и нанесения меньшего вреда окружающей среде. Процесс ПЭО позволяет эксперту по оценке наметить в качестве цели надлежащий уровень (или уровни), с которого начинать модернизацию.
- Обычно можно внести очень много простых изменений в процедуры эксплуатации, а множество прочих изменений требуют лишь умеренных инвестиций в технические средства.
- Все изменения должны сопровождаться контролем качества и превосходным тренингом.
- Нужно четко понимать разницу между эффективностью орошения на уровне ПЗ и эффективностью орошения на поле. В проектах без внутреннего повторного использования воды эффективность орошения на уровне ПЗ обычно ниже, чем эффективность орошения поля. Однако в проектах с повторным оборотом эффективность орошения на уровне ПЗ может быть выше, чем на уровне поля.

Эталонный показатель эффективности орошения на уровне ПЗ объединяет в себе множество предыдущих показателей:

$$\frac{\text{ЕТ культуры- Эффективные осадки} + \text{Орос.вода на промывку}}{\text{Поверхностная орос.вода для проекта} + \text{Откачка грунтов.вод нетто}} \times 100$$

Это выражение эффективности орошения не соответствует точным требованиям, определенным в работе Burt *et al.* (1997), но оно достаточно близко к приемлемой оценке эффективности орошения на уровне ПЗ.

100% эффективность орошения на уровне ПЗ невозможна. Обычно для более чем 60% эффективности требуется внутренний повторный оборот воды, ушедшей на потери – либо в виде повторного использования поверхностных вод, либо через откачку грунтовых вод, либо и то и другое.

Вкратце, улучшение эффективности орошения подкомандной зоны можно достичь двумя путями: (i) сокращая первичные потери; (ii) обеспечивая повторный оборот первичных потерь.

Первичные потери имеют место в следующих случаях:

- Потери при транспортировке. Они включают:
  - сброс воды из каналов и трубопроводов;
  - фильтрация воды из каналов;
  - потребление воды фреатофитами.
- Потери на поле. Они включают:
  - потери при транспортировке воды в полевых оросителях;
  - поверхностный сброс с полей;

- глубинная фильтрация на полях, вызванная: стоячей водой на рисовых полях, неравномерным поливом и излишне длительным поливом.

Сокращение первичных потерь имеет огромное значение, так как оно может оказать непосредственное влияние на требуемую пропускную способность канала, потери удобрений, потери пестицидов, заболачивание и т.д. В большинстве проектов фильтрации воды из каналов уделяют большое внимание, хотя зачастую другие первичные потери более важны и наносят больший ущерб окружающей среде.

Варианты повторного оборота первичных потерь:

- Поверхностная рециркуляция. Открытые дрены, ручьи и реки принимают первичные потери, которые возникают в виде:
  - фильтрации или глубинного просачивания, которые возвращаются в ручьи из близкозалегающих грунтовых вод;
  - поверхностного стока с полей;
  - сброса из каналов.
- Откачка из грунтовых вод. При этом происходит рециркуляция первичных потерь, которые возникают в виде:
  - фильтрации;
  - глубинной фильтрации на полях.

В некоторых случаях повторное использование воды является самым дешевым и быстрым вариантом повышения эффективности орошения в проекте.

Общая ошибка, совершаемая при модернизации – это исключение первичных потерь, полагая, что это поможет улучшить эффективность орошения в проекте. Однако если эти первичные потери уже повторно используются в проекте, то может случиться, что никакого водосбережения не будет.

Тем не менее, можно получить другие выгоды от устранения первичных потерь:

- более легкую эксплуатацию распределительной системы в результате облицовки каналов;
- повышение урожайности культур через лучшее первичное управление водой;
- меньшее загрязнение воды удобрениями и пестицидами.

В начале таблиц входных данных пользователь ПЭО должен дать оценки эффективности орошения риса и других культур на уровне поля. Эти оценки должны учитывать все потери при транспортировке, полевые потери на глубинную фильтрацию и поверхностный сброс ниже точки подачи воды от администрации проекта. Однако в рабочем листе 14 (Показатели ВМТІ Всемирного банка) дается более точная оценка эффективности орошения поля – на основе водного баланса проекта. Эта величина должна быть сопоставлена с заявленным значением в рабочем листе 1, чтобы проверить, соответствует ли заявленное значение тем, что показаны в водном балансе. Обычно значения, представленные в водном балансе, намного ближе к истине.

Как использовать значения эффективности орошения поля

Если эффективность орошения поля низкая, не следует сделать вывод, что фермеры нуждаются в дополнительном обучении о том, как проводить поливы. Во многих проектах подобный тренинг бесполезен, так как администрация проекта диктует график и объемы водоподачи, и фермеры почти не имеют выбора.

Низкая эффективность орошения обычно является признаком ненадежной, несправедливой и/или негибкой водоподводящей системы. В целом, в первую очередь

должна быть улучшена водоподводящая система до того, как можно будет значительно повысить эффективность на поле.

Однако, имеется один способ, который можно реализовать сразу без изменения водоподводящей системы. Это планировка земель. В большинстве ирригационных проектов мира используется поверхностное орошение, и хорошая планировка земель важна для равномерного распределения воды на поле.

Если эффективность орошения в проекте выше, чем на поле, значит, в проекте имеет место существенное повторное использование воды.

Эффективность орошения на уровне проекта является ключевым показателем возможности водосбережения. Эффективность орошения поля сама по себе не указывает на это, поскольку большая часть потерь с поля зачастую участвует в повторном обороте воды.

«Водосбережения» в гидрологическом бассейне (в отличие от конкретного ирригационного проекта) можно достичь только при одном из следующих условий:

- исключен сток воды в солевые приемники (океан, локализованные минерализованные грунтовые воды).
- снижена избыточная эвапотранспирация (ET) (снижена ET сорняков, фреатофитов и дрен).

Даже если рациональное управление водой не позволяет сберечь воду в бассейне, оно приносит ощутимую выгоду, включая:

- улучшение качества воды в нижнем течении;
- улучшение водопользования во времени;
- снижение требований по расходу воды в проект;
- уменьшение откачки (иногда);
- повышение урожайности через улучшение графика поливов и уменьшение вымывания минеральных удобрений;
- улучшение качества и увеличение количества воды в реках и водотоках непосредственно ниже точек забора оросительной воды.

Обзор процесса интерпретации

В целом, процесс интерпретации выглядит следующим образом:

- Исследуется эффективность орошения поля. Высокие показатели эффективности зависят от получения хороших услуг по водоподаче на поле.
- Исследуется эффективность орошения на уровне проекта. Широко распространено, когда участники ирригационного проекта желают получить более высокие расходы воды в проект, хотя неэффективность при этом может быть очень высокой. Важной альтернативой улучшения водообеспеченности является повышение эффективности.
- Отмечается эффективность транспортировки и сопоставляется с эффективностью орошения поля. Оба показателя рассматриваются в свете возможности любого повторного водопользования (грунтовые или поверхностные воды). Сравнение позволяет определить, где можно предпринимать какие-либо шаги.
- На каждом уровне исследуются характеристики услуг по водоподаче.
- Рассматривается пригодность технического обеспечения и правильность инструкций по эксплуатации.
- Отмечается наличие систем повторного использования воды. Во многих проектах установка систем рециркуляции поверхностной воды в стратегических районах представляет собой простой способ улучшения качества услуг по водоподаче.
- Изменения целесообразно проводить в тех процессах, которые требуют наибольших затрат труда. Например, многие проекты имеют большой штат гидрометров, которые постоянно снимают показания гидрометрической вертушкой во многих точках магистральных каналов. Обычно, этой неточной работы (из-за самой

природы нестационарного потока и одномоментных измерений) можно полностью избежать, если принять новую стратегию для водоподачи.

С модернизацией некоторые действия можно проводить параллельно с другими, а некоторые действия требуют подготовки базы. Например, автоматизация с установкой электронных программируемых логических контроллеров (ПЛК), во-первых, потребует отличного доступа к участкам канала, превосходной связи и сильной инфраструктуры для устранения неисправностей и ремонта электроники. Они также требуют, чтобы в проекте велась отличная документация по техническому обслуживанию. Другими словами, автоматизация с ПЛК требует серьезной базы, которая зачастую отсутствует в ирригационных проектах. Внедрение ПЛК при отсутствии соответствующей базы почти гарантировано на провал.

Обычно, ключевые шаги модернизации включают следующее:

1. Устранить расхождения между «фактическими» и «заявленными» услугами. Если управляющие проекта отказываются принять реальность, лучше потратить время и деньги на другие проекты.

2. Персонал на всех уровнях должен понимать и принимать «психологию» услуг. Хотя это не осознается за один день, но концепции модернизации основываются на этой «психологии». Без этого, попытки модернизировать проект обычно будут производить минимальный положительный эффект.

3. Изучить инструкции, которые даются операторам и модифицировать их, если необходимо. Классический пример наблюдается во многих проектах в Азии - когда задача шлюзов-регуляторов заключается в поддержании уровня воды в верхнем бьефе, а операторы затворов должны приводить в движение регуляторы строго по инструкциям (конкретных движений затворов) из офиса - на основе компьютерных программ или электронных таблиц. Простая проверка на поле покажет, что уровни воды не поддерживаются должным образом. Инструкции для операторов надо изменить, и они очень просты: «Поддерживать уровень воды в верхнем бьефе в пределах допустимого отклонения от заданной целевой отметки».

4. Первые три пункта являются самыми легкими, но они также могут быть и самыми сложными из-за помех со стороны некоторого старшего персонала. Если первых трех пунктов невозможно достичь, то лучше либо оставить проект, либо уволить старший персонал. Изменения в трех первых пунктах могут потребовать некоторого тренинга, ознакомительных поездок и т.д.

5. Следующие шаги, более или менее в порядке очередности, направлены на улучшение следующих областей:

- Понимание того, что фактически происходит в системе. Эксперты могут оценить проект быстро и, благодаря своей квалификации, понять почти сразу причинно-следственные связи и возможный уровень услуг. Операторы и контролеры зачастую по-разному видят вещи. Весьма полезно установить простые регистраторы данных и датчики уровня воды в ключевых точках, чтобы фиксировать сбросы, колебания расхода и уровня воды. Полученные данные почти всегда являются открытием для операторов, которые могут посещать эти точки только один раз в день.
- Средства связи на всех уровнях, начиная с межперсональной связи (часто по радио).
- Мобильность персонала. Обычно небольшой, но мобильный персонал намного более эффективен, чем большой и стационарный персонал. Это объясняется тем, что небольшой мобильный персонал не отвечает только за одно или два сооружения, он должен понимать как различные сооружения и действия влияют на другие области. Мобильность можно повысить за счет улучшения дорог, покупки мотоциклов, грузовиков и т.д.
- Контроль и измерение расхода в ключевых точках бифуркации (деление потока на два и более русла). «Измерение» и «контроль» это не одно и то же.

Необходимы оба действия. Существует много комбинаций сооружений и методов, которые обеспечивают быстрый и точный контроль и измерение расходов. Обычно это слабое место в большинстве ирригационных проектов.

- Наличие точек рециркуляции или резервных водохранилищ в магистральной системе. «Свободный» контроль воды может быть очень подходящим в магистральной системе - при условии наличия места для контррегулирования около 70% пути ниже по каналу.

— Улучшение контроля уровня воды по всему проекту. Контроль и измерение расхода (см.выше) относится только к головной части каналов и трубопроводов. Ниже от головной части важно иметь возможность легко поддерживать достаточно постоянные уровни воды, чтобы расходы в водоотводах не менялись со временем и чтобы берега канала не повреждались. На подходящих типах сооружений это легко выполнить без больших трудозатрат.

- Преобразование процедур оформления заказов на воду и распределения воды. В большинстве современных проектов одна группа отвечает за эксплуатацию магистрального канала, другая за каналы второго порядка и т.д. Затем, каждая группа имеет очень узкие задачи обслуживания. Если магистральный канал разбить на «зоны» с разными офисами, контролирующими разные «зоны», то эти зоны почти всегда будут конфликтовать. Обычно необходима реорганизация операторов. Кроме того, вся процедура получения оперативной информации с поля и быстрого реагирования на заявки, как правило, должна быть обновлена для большинства проектов.
- Дистанционный мониторинг стратегических точек. Такими точками, как правило, являются резервные водохранилища, дрены и хвостовые части каналов.
- Ручной дистанционный контроль расходов в стратегических точках. Это в головной части магистрального канала и голове основных водоотводов (водовыпусков) из магистрального канала.
- Необходимо предусмотреть сбросы и перехват этих сбросов с концов всех небольших каналов.

В перечисленных выше пунктах не отмечены облицовка каналов и оборудование для технического обслуживания. Оборудование для технического обслуживания должно быть подходящим, а облицовка каналов может сократить затраты на техобслуживание и фильтрацию воды из каналов. Однако эта тема обсуждается на протяжении многих десятилетий и огромные суммы, потраченные на облицовку, обычно не приводили к модернизации. Это объясняется тем, что модернизация - это не просто одно единственное действие. Все, что перечислено под пунктом 5, представляет отход от традиционного мышления «инженеров-строителей» и сосредоточение на эксплуатации.

Другой «пропущенный» пункт - это обсуждение контроля в нижнем бьефе и сложные алгоритмы контроля на канале. Он пропущен, поскольку любой ирригационный проект должен «научиться очень хорошо ходить, прежде чем бежать», а эти технологии можно рассматривать как «большой риск». Сложный контроль можно выбрать только после того, как другие варианты будут исключены, и никогда до того как установлена адекватная инфраструктура. Нет «волшебной пилюли» для модернизации и улучшения работы оросительных систем, а простые варианты зачастую приносят великолепные результаты.

Полезно прислушиваться к операторам и попытаться обнаружить несколько вещей, которые доставляют им много проблем. Иногда возможно решить некоторые из этих проблем быстро. Решив эти проблемы для операторов, последние могут стать сторонниками дальнейшей модернизации.

ВЫВОДЫ

При проведении и анализе квалифицированным инженером-гидротехником, ПЭО дает показатели, которые объясняют результаты и процессы ирригационного проекта. Многие из этих показателей можно использовать как эталонные, что позволит сравнивать проекты и работу систем до и после модернизации. За короткий период всего в несколько недель, ПЭО обеспечивает достаточно информации для определения ключевых действий для модернизации. Поэтому, для стран она служит ценным инструментом для определения первоочередности инвестиций в разные проекты и определения приоритетов конкретных действий в рамках отдельных ирригационных проектов.

ССЫЛКИ

Burt, C.M., Clemmens, A.J., Strelkoff, T.S., Solomon, K.H., Bliesner, R.D., Hardy, L.A., Howell, T.A. & Eisenhauer, D.E. 1997. Irrigation performance measures - efficiency and uniformity. *J. Irrig. Drain. Eng*., 123(6): 423–442.

Clemmens, A.J. & Burt, C.M. 1997. Accuracy of irrigation efficiency estimates. *J. Irrig. Drain. Eng*., 123(6).

FAO. 1998. *Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements*, by R.G. Allen, L.S. Pereira, D. Raes & M. Smith. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome. 300 pp.

FAO. 1999. *Modern water control and management practices in irrigation: impact on performance*, by C.M. Burt & S.W. Styles. FAO Water Report No. 19. Rome. 224 pp.

Kloezen, W.H. & Garcés-Restrepo, C. 1998. *Assessing irrigation performance with comparative indicators: the case of Alto Rio Lerma Irrigation District, Mexico*. IWMI Research Report 22.

Maas, E.V. & Hoffman, G.J. 1977. Crop salt tolerance - current assessment. *Proc. Irrig. Drain. J*., 103(IR2): 115–134.

Plusquellec, H., Burt, C.M. & Wolter, H.W. 1994. *Modern water control in irrigation - concepts, issues, and applications*. World Bank Technical Paper No. 246. Irrigation and Drainage Series. Washington, DC, World Bank. 104 pp.