

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области сельского хозяйства в качестве
учебно-методического пособия для студентов учреждений,
обеспечивающих получение высшего образования II ступени
по специальности 1-74 80 02 Мелиорация, рекультивация
и охрана земель*

Горки
БГСХА
2021

УДК 631.672.2+628.1(075.8)
ББК 38.761.1(я73)
С56

*Рекомендовано методической комиссией
мелиоративно-строительного факультета
26.04.2021 (протокол № 8)
и Научно-методическим советом БГСХА
28.04.2021 (протокол № 8)*

Авторы:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Ю. Н. Дуброва*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *А. С. Кукреш*;
аспирант УО БГАТУ *Д. Е. Афанасенко*;
старший преподаватель *О. В. Тишкович*

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент *О. П. Мешик*;
директор ГП «Витебскгипроводхоз» *М. С. Самохвалов*

**С56 Совершенствование мелиоративных и водохозяйственных систем : учебно-методическое пособие / Ю. Н. Дуброва [и др.]. – Горки : БГСХА, 2021. – 359 с.
ISBN 978-985-882-121-0.**

В пособии изложены основные проблемы, возникающие при эксплуатации водохозяйственных систем. Совершенствование мелиоративных и водохозяйственных систем направлено на улучшение эксплуатационных характеристик наиболее распространенных систем в области мелиорации и водного хозяйства. Одним из эффективных путей, служащих достижению этой цели, является автоматизация технологических процессов, протекающих на мелиорируемых и водохозяйственных объектах.

Для студентов учреждений, обеспечивающих получение высшего образования II ступени по специальности 1-74 80 02 Мелиорация, рекультивация и охрана земель.

**УДК 631.672.2+628.1(075.8)
ББК 38.761.1(я73)**

ISBN 978-985-882-121-0

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2021

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость интенсификации мелиорации в Беларуси определяется мировыми тенденциями, связанными с ростом населения планеты и грозящим голодом. Республика Беларусь по своему природному потенциалу одна из стран, которая может не только обеспечить себя полностью качественными продуктами питания, но и экспортировать их в другие страны. Важнейшее направление в осуществлении этой задачи – восстановление и дальнейшее развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения как основного фактора интенсификации и устойчивости производства растениеводческой продукции страны.

В современных экономических условиях дорогостоящие мероприятия по ремонту и реконструкции мелиоративных систем должны планироваться на основании обследований, изысканий, экономической и социальной значимости объектов. А ремонт отдельных объектов следует проводить на основании достоверных данных об их техническом состоянии и способности выполнять свои функции.

Самым простым и в то же время экономически эффективным мероприятием по снижению затрат на эксплуатацию мелиоративных объектов является исключение из ремонта и реконструкции исправных элементов и своевременное восстановление неисправных.

В значительной степени общепринятый подход к оценке состояния труднодоступных сооружений на мелиоративной сети вызван отсутствием широкого распространения специализированного диагностического оборудования и технологий, позволяющих проводить эффективную диагностику с малыми затратами без разрушения исследуемых объектов.

Одним из признаков технического совершенства мелиоративной системы является ее автоматизация, в той или иной степени позволяющая производить измерения, контроль и регулирование основных параметров мелиорируемого объекта с тем, чтобы способствовать получению высоких, устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур.

Предложенные направления развития сельскохозяйственных мелиораций ориентированы на инновационное развитие, которое базируется на достижениях фундаментальных и приоритетно-прикладных научных исследований и разработок. Первоочередной задачей, определяющей жизнеспособность и будущее мелиорации земель сельскохозяйственного назначения, становится готовность науки и практики к созданию, внедрению и эксплуатации систем комплексных мелиора-

ций нового поколения, основанных на энергоэффективных, ресурсосберегающих инновационных технологиях, использовании новых материалов и конструкций, направленных на максимально приемлемую интенсификацию использования природно-ресурсного потенциала агроландшафта при соблюдении требований к его экологической безопасности.

Все эти технологии относятся к наукоемким технологиям, отражающим связь с фундаментальными и приоритетно-прикладными научными исследованиями и разработками. Что же касается готовности науки, то можно констатировать, что ученые-мелиораторы подошли к решению проблемы создания высокопродуктивных и устойчивых мелиорируемых агроландшафтов средствами комплексной мелиорации на новой энергетической основе. Разработаны теоретические основы создания и эксплуатации мелиоративных систем нового поколения, модели их функционирования и управления. При этом обеспечивается не только высокая урожайность сельскохозяйственных культур, превышающая более чем в 5 раз урожайность в богарных условиях, экономия природных, энергетических и материальных ресурсов, но и устойчивость ландшафта к проявлению деградационных процессов.

В пособии рассмотрены вопросы оценки текущего состояния сельского хозяйства и мелиорации земель в Республике Беларусь, даны основные стратегические направления увеличения сельскохозяйственной продукции за счет развития комплексных мелиораций в условиях возможного изменения климата. Предложена методология управления продукционным потенциалом сельскохозяйственных угодий, базирующаяся на энергетическом подходе, которая позволяет оценить необходимость увеличения орошаемых и осушаемых земель Беларуси для обеспечения ее продовольственной безопасности и устойчивости сельского хозяйства с учетом имеющихся природных ресурсов.

1. РАЗВИТИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕЛИОРАЦИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

1.1. Состояние и перспективы развития мелиорации в Республике Беларусь в условиях изменяющегося климата

По данным белорусских метеорологов, климатические условия существенно меняются, и тенденции этих изменений сохранятся на ближайшую перспективу. Так, в 2019 году средняя годовая температура воздуха составила +8,8 °С, что на 2,1 °С выше климатической нормы и оказалась самой высокой по данным наблюдений, начиная с 1881 года. Изменению подвержена зимняя температура, увеличивается испаряемость при уменьшении атмосферных осадков за теплый период года, все чаще проявляют себя засухи. Перечисленные изменения климата оказывают существенные воздействия не только на аграрный бизнес, активируя адаптацию сельскохозяйственного производства, но и на социально-экономическую деятельность регионов.

В результате потепления произошло изменение границ климатических поясов. В 70-х годах двадцатого века начала использоваться система зонирования территории Беларуси, в которой использованы суммы температур выше 10 °С в течение года для выделения агроклиматических областей (рис. 1.1). В исследовании, проведенном В. И. Мельником, границы всех зон (Северная, Центральная и Южная) смещены на север и дополнительно выделена четвертая агроклиматическая область, не проявлявшаяся в Беларуси ранее.

Возникает необходимость корректировки границ агроклиматических областей, так как данные распределения сумм температур последних лет отличаются от результатов исследований В. И. Мельника. Большое увеличение сумм температур отмечено на западе Беларуси, в восточной части Полесья.

Различные части Республики Беларусь отличаются по условиям сельскохозяйственного производства, эти различия базируются на использовании различных почв. Характерными особенностями в условиях Республики Беларусь выделяются системы земледелия на легких, связных и торфяных почвах.

Северная агроклиматическая область занимает крайний север и юго-запад Витебской, северо-запад Минской областей, где сформированы хорошо увлажненные и переувлажненные почвы.

Характерными особенностями Центральной агроклиматической зоны являются умеренная зима, теплый вегетационный период, умеренное увлажнение.

Мягкая непродолжительная зима, теплый и продолжительный вегетационный период, неустойчивое увлажнение являются отличитель-

ными признаками Южной агроклиматической зоны. Новая климатическая территория характеризуется коротким и теплым зимним периодом, продолжительным вегетационным сроком, неустойчивым увлажнением. Новая агроклиматическая область за период потепления увеличила свои границы и занимает южную часть Полесья. В административном отношении это южные районы Брестской и Гомельской областей.

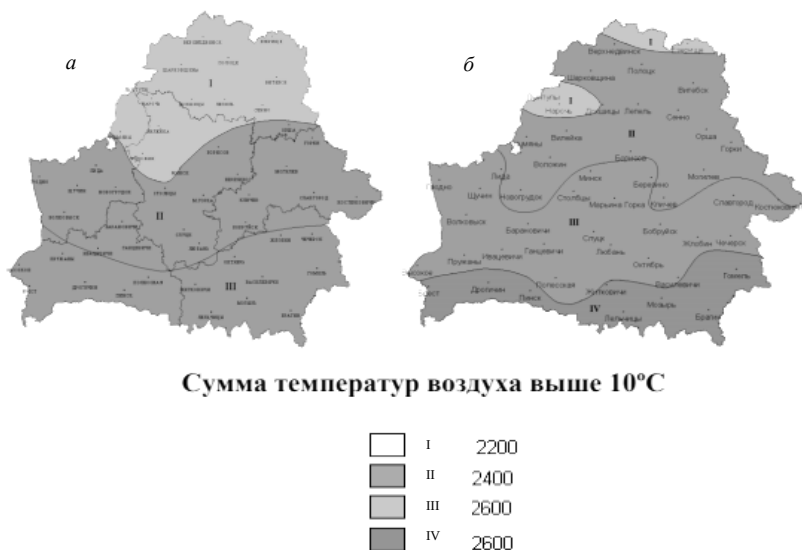


Рис. 1.1. Перемещение агроклиматических зон: *а* – Границы агроклиматических областей по А. Х. Шкляру (1973 г.); *б* – Границы агроклиматических областей за период потепления 1989–2015 гг.; I – Северная, II – Центральная, III – Южная, IV – Новая

Изменения климата, влияя на ход сельскохозяйственного производства, будут иметь как положительный, так и отрицательный эффект. Увеличение теплообеспеченности способствует расширению структуры растениеводства, но при дальнейшем росте показателя сельскохозяйственные производители в южных регионах Беларуси все чаще будут сталкиваться с засухами (рис. 1.2).

По данным метеорологических наблюдений, в первой и второй декадах июня 2019 года из-за дефицита осадков практически на всей территории Беларуси наблюдалось уменьшение влагозапасов в почве. Площади с недостатком почвенной влаги в юго-восточной части, по востоку и западу страны расширились.



Рис. 1.2. Воздействия климата на сельскохозяйственное производство

За последние годы температура почвы на глубине залегания корневого узла озимых зерновых в основном находится в положительном диапазоне. При таких агрометеорологических условиях растения утрачивают резистентность. А в случае понижения почвенной температуры возможно наступление гибели растений. В этом проявлении потепление климата имеет отрицательное влияние на сельскохозяйственное производство.

Отрицательные последствия связаны с сопровождающимися частыми засухами, повышением вероятности других неблагоприятных погодных условий, которые затрудняют получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Эффективность применения мероприятий мелиоративного характера в засушливые годы на не резистивных к засухам и засушливым явлениям дерново-подзолистых автоморфных песчаных и супесчаных почвах резко возрастает. Очевидна необходимость расширения оросительной сети, реконструкции и модернизации ее инфраструктуры. Аналогично потребуются модернизация систем отведения избытка вод для предотвращения и снижения ущерба от учащающихся паводков и наводнений.

Получение урожая на орошаемых землях может быть в 2–5 раз выше, чем на обычных, эффективность использования природных и материально-технических ресурсов увеличивается в 2–3 раза. Кроме того, орошение способствует накоплению в почве гумуса, что поддерживает плодородие земель в долгосрочной перспективе.

Очевидна эффективность применения орошения при строгом соблюдении технологической дисциплины производства растениеводческой продукции. В хозяйствах, где учитываются эти особенности орошения, получают в среднем урожайность капусты поздней – 500–600 ц/га, моркови – 380–420 ц/га, яблоневого сада – 380–420 ц/га. Выращивание овощных культур на орошаемых землях при соблюдении рекомендуемой системы земледелия позволяет по северной зоне республики дополнительно получить: капусты поздней 10 т/га, капусты ранней 6 т/га, картофеля позднего – 4,5 т/га, картофеля раннего – 3 т/га, свеклы столовой – 8 т/га, моркови – 8 т/га, по южной зоне – соответственно 14, 8, 6, 5, 5, 10, 10 т/га.

Хорошим резервом для увеличения сельскохозяйственной продукции ученые института мелиорации НАН Республики Беларусь считают более увлажненные, обогащенные гумусом мелиорированные земли, которые необходимо перевести под травяные корма, которые, по оценкам экспертов, составляют до 60 % в себестоимости молока и мяса. Имеющиеся более 20 видов многолетних трав, более 50 % из которых – бобовые, могут использоваться для целей пастбищного луговодства, 30 % из них созданы НПЦ по земледелию Национальной академии наук [1].

Для формирования укосов многолетних трав на корма, ученые рекомендуют организовать орошение пастбищных травостоев, максимально задействовать ирригационные системы на поливе овощных и кормовых культур. В среднем для территории Беларуси прибавка урожая сеяных трав от орошения составляет 2,5 т/га сухого вещества. При наличии системы капельного полива рекомендуется подавать к растениям комплексные жидкие удобрения с микроэлементами вместе с поливной водой.

Однако орошаемые сельскохозяйственные земли в Беларуси составляют не более 0,1 % от площади всех мелиорированных угодий. Согласно данным табл. 1, площадь орошаемых земель за период с 2014 года не изменилась, несмотря на потепление климата и появление Новой агроклиматической области.

Площади орошаемых земель на территории Беларуси в 2019 году составили 30,3 тыс. га, при этом все орошаемые земли относятся к сельскохозяйственным (табл. 1.1). Наибольшие площади орошаемых земель приходятся на Могилевскую область (52,4 % всех орошаемых земель), наименьшие – на Гродненскую и Минскую соответственно 5,4 и 6,4 %. В разрезе областей эти земли занимают менее 1 % от площади административной области.

Таблица 1.1. Наличие мелиорированных сельскохозяйственных угодий

Показатели	Годы						
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Общая площадь мелиорированных сельскохозяйственных земель, га	2 944,9	2 940,5	2 910,1	2 908,1	2 904,7	2 902,0	2 895,9
Из них: осушаемые, га	2 914,4	2 910,9	2 880,4	2 877,9	2 874,4	2 871,7	2 865,6
орошаемые, га	30,5	29,6	29,7	30,2	30,3	30,3	30,3

Значительная часть орошаемых площадей приходится на Белорусское Полесье – регион с прекрасными условиями для ведения сельского хозяйства (плодородные земли, наличие водных ресурсов, теплый климат), но все чаще подвергающийся засухам. В этом регионе возникают риски для ведения сельского хозяйства, а расширение ирригации может быть одним из благоприятных условий для будущего развития региона.

Одним из сдерживающих факторов развития интенсивных технологий в растениеводстве является отсутствие в республике прогрессивной автоматизированной ирригационной техники, что в свою очередь ведет к значительному недобору ожидаемого урожая. На сегодняшний день большая часть дождевальной техники в Беларуси произведена в 70–90-х годах прошлого столетия и считается морально и физически устаревшей. Она не может применяться из соображений экологической безопасности и больших энергетических затрат при орошении.

Причина незначительного использования орошения в сельскохозяйственном производстве заключается не только в устаревшем оборудовании, но и в сложном финансовом положении большинства производителей сельскохозяйственной продукции, которые не в состоянии не только заменить на новое, но и отремонтировать имеющиеся оросительные системы и дождевальную технику. Медленное распространение оросительных мелиораций связано с необходимостью высоких капитальных затрат, на которые способно только государство. До сих пор имущественные активы государства в общем объеме мелиоративных систем и гидротехнических сооружений составляют 60 % и более.

Существует разрыв в производственном направлении и научно обоснованном применении оросительных мелиораций. Не все руководители сельскохозяйственных предприятий всех форм собственности

могут перестроить себя на использование современных способов орошения, полагая, что культуры в достаточной степени обеспечены влагой, несмотря на значительное потепление климата.

Основная тенденция при разработке и внедрении наиболее эффективных технологий и технических средств – создание автоматизированных производительных технических средств для ирригации, при минимизации материально-технических, трудовых ресурсов и максимизации критериев безопасности, значительной экономической отдаче и быстрой окупаемости затрат на их введение.

Белорусскими учеными разработаны и запущены в серийное производство современные передвижные дождевальные машины барабанного типа, которые предназначены для полива полей с овощными, кормовыми, техническими культурами и посевов многолетних трав. Производительность полива передвижных дождевальных машин ПДМ-2500 и ПДМ-3000 находится в прямой зависимости в зависимости от интенсивности дождя и находится в пределах от 0,2 до 2 га/ч. Машина по климатическому исполнению предназначена для эксплуатации в районах с умеренным климатом на открытом воздухе. Данная машина агрегируется с тракторами класса не ниже, чем 1,4 (МТЗ–80/82). Существенным недостатком данных машин является большая стоимость.

Использование данных машин предполагает наличие гарантированных источников воды, а при их отсутствии необходимо разрабатывать технические решения позволяющие организовать такой источник.

С целью аккумуляирования весенних вод на юге Гомельской и Брестской областей построены водохранилища, заполняемые водой весенних паводков. В течение вегетационного периода вода из прудов использовалась для целей орошения, вода подавалась в каналы осушительно-увлажнительных систем для поднятия уровня грунтовых вод. На сегодняшний момент аккумуляирование воды в подобных прудах, а также модернизация мелиоративных систем и сооружений по ряду причин (высокая стоимость электроэнергии, энергоемкое и физически устаревшее оборудование) не осуществляется.

В изменяющихся погодных условиях требуется оперативно адаптировать биологические требования растений к почвенно-гидрологическим условиям и состоянию почвенного покрова с целью создания благоприятного водного режима. В постановлении Совета Министров Республики Беларусь от 10 июля 2009 г. № 920 отдельное внимание отводится регулированию водного режима почв путем закрытия или открытия затворов подпорных сооружений. Данная рабочая операция является действенным механизмом для создания благоприятного водного режима. Вместе с тем остается проблемой практическая реализация данного мероприятия [6]. Далеко не все хозяйствен-

ники используют маневрирование затворов гидротехнических сооружений. Как показывает практика эксплуатации мелиоративных систем, часть шлюзов и затворов находятся в неудовлетворительном состоянии.

Принципиально обозначить, что бесконтрольное и чрезмерное орошение может быть источником деградации почв, засоления почв. В долгосрочном периоде это не только снижает урожайность, но и истощает почвы, которые становятся непригодными для ведения хозяйственной деятельности. В связи с этим необходимо следить за количеством используемой воды в сельскохозяйственном производстве и проводить регулярный мониторинг кислотности почв.

Исходя из вышесказанного, главные направления использования природных ландшафтов в изменяющихся климатических условиях должны трансформироваться в направлении расширения площадей орошаемого земледелия, в том числе орошения пастбищ. Это позволит создать источники гарантированного производства кормовых, овощных и других сельскохозяйственных культур, увеличить выход продукции с единицы площади, снизить её себестоимость. Немаловажную роль играют использование технологий, поддерживающих почвенный потенциал и благоприятно влияющих на содержание влаги, что позволит создать автоматизированные средства орошения.

1.2. Проблемы и перспективы использования мелиорированных земель южной части Республики Беларусь

В производстве сельскохозяйственной продукции в Беларуси особое место принадлежит осушенным землям. Отношение к мелиорации земель на современном этапе развития сельскохозяйственного производства со стороны государства четко отражено в государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы, подпрограмме «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения». Процесс мелиорации земель не является абсолютной гарантией повышения качества и уровня сельскохозяйственного производства, он лишь создает условия для их реализации.

В Республике Беларусь осушенные сельскохозяйственные земли занимают более одной третьей от общего наличия сельскохозяйственных угодий. В некоторых районах южной части республики площади осушенных сельскохозяйственных земель занимают более 50 % всех сельскохозяйственных земель и у ряда районов от 30 до 50 % сельскохозяйственных земель.

Опыт в мелиорации земель в республике показывает, чего можно добиться за счет комплексной мелиорации и рационального ведения

сельскохозяйственного производства в природных условиях, свойственных стране.

Значительную часть мелиорированных сельскохозяйственных земель занимают земли, требующие применения культуртехнических мероприятий и значительных затрат на их проведение. Основная доля таких земель приходится на Брестскую и Гомельскую области.

На Брестскую область приходится почти 700 тыс. га мелиорированных земель, которые используются в сельскохозяйственном производстве, а это более 50 % от общего количества (рис. 1.3). Эти земли определяют развитие сельскохозяйственной направленности большинства районов, которая полностью зависит от состояния мелиоративных систем. Осушенные земли для них являются основным средством производства, жизнеобеспечения огромного производственной и социальной составляющей [2].

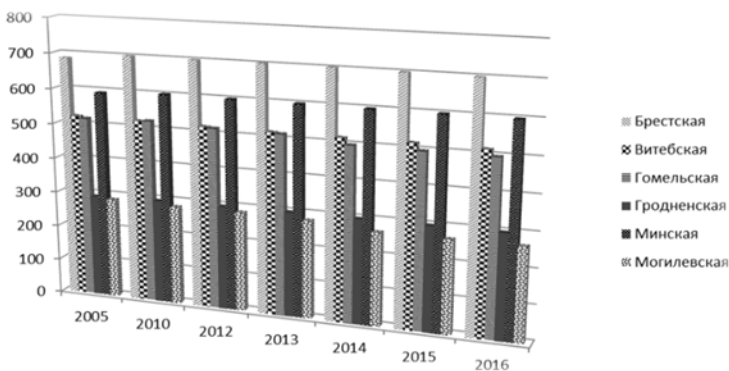


Рис. 1.3. Распределение мелиорированных земель в разрезе областей Республики Беларусь по годам, тыс. га

С 2010 года наметилась тенденция к уменьшению площадей мелиорированных земель, находящихся в сельскохозяйственном использовании. Причем сокращение площадей произошло в пяти областях. Существенное уменьшение площадей осушенных сельскохозяйственных земель в период с 2010 года по 2016 год произошло в Гомельской области и Могилевской областях. Процесс вывода мелиорированных земель из сельскохозяйственного оборота происходит по причине их неудовлетворительного состояния по водному режиму, водной и ветровой эрозии, а также отвода земель под строительства различных объектов и сооружений.

Основными причинами деградации земель, свойственными для условий Беларуси, могут быть водная и ветровая эрозии, химическое от воздействия полигонов промышленных и коммунальных отходов, выработка осушенных торфяных почв и дерново-подзолистых почв в результате длительного использования, а также в результате добычи полезных ископаемых, нерационального использования земель лесного фонда.

Процессы водной эрозии характерны для центральной части Беларуси в районах, где преобладает холмистый рельеф. Проявление дефляции наиболее типично для южной части Республики Беларусь, Полесья, где широко распространены мелиорированные земли и преобладают песчаные и супесчаные почвы с хорошей водопроницаемостью, а также осушенные торфяники.

Площадь дефляционно-опасных земель на территории Беларуси составляет около 1010 тыс. га, земель с потенциально возможным смывом почвы – около 1443 тыс. га.

По имеющимся данным, водная эрозия может проявить себя на 556 тысячах гектаров почвы, от ветровой может пострадать до миллиона гектаров. За последние 40 лет ученые зафиксировали 339 пылевых бурь, около 70 % – на территории Белорусского Полесья.

По полученным данным крупномасштабного агрохимического обследования почв, средний показатель кислотности – 5,8 pH, запасы подвижного фосфора – 198,2 миллиграмма на килограмм, калия – 215 миллиграмма на килограмм. Эти показатели свидетельствуют об установившемся балансе этих элементов. Вместе с тем следует отметить отрицательную динамику по внесению минеральных удобрений в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь. Так, внесение минеральных удобрений в Брестской области в действующем веществе значительно снизилось в расчете на один гектар пахотных земель и составило 200 килограмм в 2016 году по сравнению с 305 килограммами в 2010 году. Аналогичная тенденция наблюдалась и при внесении минеральных удобрений под кормовые культуры, где количество вносимых минеральных удобрений снизилось почти в два раза за период с 2010 по 2016 годы.

Следует предположить, что при дальнейшей отрицательной динамике по внесению минеральных удобрений, в том числе на мелиорированные площади, удержать положительный агрохимический баланс по запасам питательных веществ в почве будет крайне сложно.

В валовом сборе зерновых и зернобобовых культур в Брестской области при относительно одинаковой посевной площади под эти культуры наметилась тенденция к его снижению в период с 2014 по 2016 годы. Аналогичная тенденция наблюдается при валовых сборах

других основных культур области. Увеличение валового сбора кормовых культур объясняется значительным увеличением посевных площадей под эти культуры (рис. 1.4). Одной из причин снижения валового сбора сельскохозяйственных культур явилось снижение доз вносимых минеральных удобрений. Следовательно, уменьшение доз вносимых удобрений приведет к снижению плодородия почвы.

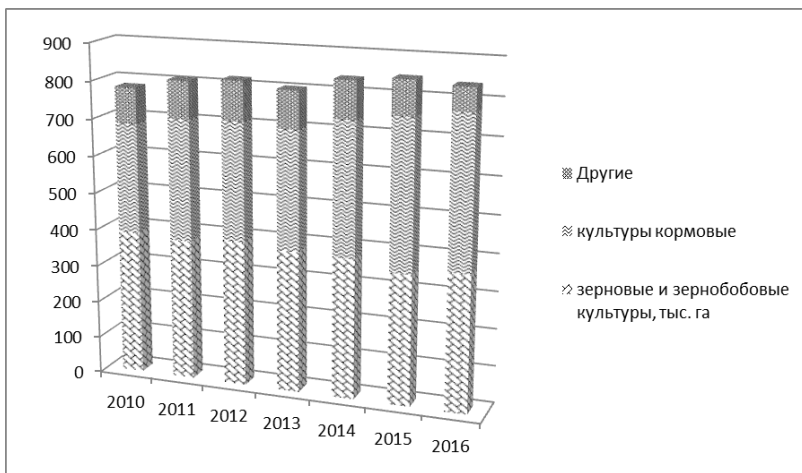


Рис. 1.4. Посевные площади сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственных организациях Брестской области, тыс. га

Уменьшение площадей осушенных сельскохозяйственных земель сопровождалось увеличением посевных площадей сельскохозяйственных культур во всех категориях хозяйств. В целом по республике Беларусь посевные площади увеличились на 4,4 %. В Брестской области посевные площади сельскохозяйственных культур увеличились на 5,5 % (48,2 тыс. га), в Гомельской области увеличение произошло на 18,8 % (162,2 тыс. га, рис. 1.5). Значительное увеличение посевных площадей произошло под кормовые культуры.

Одной из причин уменьшения использования мелиорированных сельскохозяйственных земель является снижение их продуктивности. В южной части Республики Беларусь происходит постепенное сокращение продуктивности осушенных земель, а в районах и сельскохозяйственных организациях, где преобладают осушенные земли, этот показатель еще ниже. Помимо недостатков в агротехнике возделывания сельскохозяйственных культур, на снижение продуктивности этих земель влияет неудовлетворительное состояние самих мелиоративных систем.

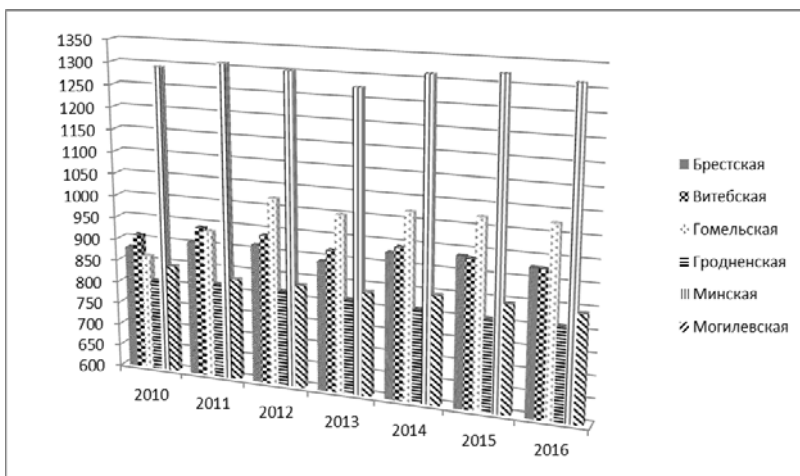


Рис. 1.5. Посевные площади сельскохозяйственных культур во всех категориях хозяйств, тыс. га

Среди осушенных сельскохозяйственных земель земли с торфяными почвами занимают около 900 тыс. га. Важной причиной уменьшения использования мелиорированных сельскохозяйственных земель является сокращение использования земель с торфяными почвами в качестве пахотных. Вместе с тем продолжается интенсивное использование мелиорированных торфяных земель для выращивания сельскохозяйственных культур.

Особую чувствительность к внешним воздействиям проявляют торфяники. Осушение болот вызвало обезвоживание части автоморфных песчаных и супесчаных почв, расположенных на прилегающих территориях (особенно в Полесье). Некогда плодородные, казавшиеся неисчерпаемым источником высоких урожаев, торфяные почвы начали трансформироваться в сторону ухудшения водно-физических свойств и структуры почвенного покрова. На мелиорированных землях наблюдается деградация торфяных почв, обусловленная их постепенным уплотнением, аэробным разложением органического вещества торфа, снижением водоудерживающей способности и высокой подверженности эрозии.

Почвы осушенных болот, полученные в результате мелиорации (которая переводится с латинского как «улучшение»), составляют более 200 тыс. га и на данный момент относятся к категории выработанных торфяников. Земли с выработанными торфяниками практически не используются. Вернуть к жизни деградированные земли можно при помощи повторного заболачивания. На площади около 50 тыс. га эта

процедура уже проведена. Мероприятия по повторному заболачиванию поддерживаются и международными организациями.

В условиях длительной эксплуатации мелиоративные системы и их элементы выходят из строя. Происходят изменения продольного и поперечного профилей каналов за счет заиливания, размыва, обрушения откосов и дна каналов, осадки грунта, зарастания их травяной и древесной растительностью, заиливание, зарастание, разрушение дренажных линий, уменьшение их глубины в связи с разложением торфа, разрушение водорегулирующих и других сооружений, их креплений и облицовок, изменяются состояние поверхности и структура почвы в результате уплотнения ее сельскохозяйственной техникой.

В результате нарушаются оптимальные агротехнические сроки посева и уборки сельскохозяйственных культур, снижается их урожайность, уменьшается продуктивность мелиорированных земель.

Нуждаются в реконструкции мелиоративные системы на площади 356,6 тыс. га, в том числе в Брестской области – 95,3 тыс. га. В связи с ограниченным финансированием, выполняются наиболее значимые виды ремонтно-эксплуатационных работ, обеспечивающие безопасную эксплуатацию мелиоративных систем, создающие условия, необходимые для нормальной культивации сельскохозяйственных культур.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что в течение продолжительного периода времени в южной части Республики Беларусь проводились мелиоративные работы, направленные на повышение плодородия сельскохозяйственных почв и улучшения состояния малопродуктивных земель. В настоящее время площадь осушенных земель, используемых в сельскохозяйственном производстве, сокращается в связи с ухудшением их плодородия, что требует реконструкции мелиоративных систем, сокращение использования земель с торфяными почвами в качестве пахотных, повторного заболачивания части деградированных земель, внесения необходимого количества минеральных удобрений.

1.3. Проблемы природных ландшафтов, используемых в сельскохозяйственном производстве

Мелиорированные земли, на которых производится более трети продукции растениеводства, в условиях длительной и недостаточной эксплуатации из-за, размыва, обрушения откосов каналов, зарастания их травяной и древесной растительностью, выхода из строя мелиоративных систем, дренажных линий, насосно-силового оборудования, их элементов пришли в неудовлетворительное состояние. Одной из причин неудовлетворительного состояния послужило резкое сокращение средств на реконструкцию мелиоративных систем. В данный момент

реализуется Государственная программа «Аграрный бизнес на 2021–2025 годы», где подпрограммой «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения» предусмотрено восстановление потребительских качеств мелиоративных систем, которые были утрачены за продолжительный период эксплуатации, и вовлечение мелиорированных земель в сельскохозяйственный оборот. В результате реализации мероприятий вводятся в сельскохозяйственный оборот обновленные мелиоративные системы и вновь мелиорированные сельскохозяйственные земли.

По данным ученых Института мелиорации НАН Республики Беларусь, своевременное выполнение ремонтно-эксплуатационных работ на мелиоративных системах дает прибавку 9 центнеров кормовых единиц с гектара. После реконструкции мелиоративных систем урожайность возрастает в 1,3–3 раза по сравнению с первоначальной.

Анализ статистических данных показывает, что общая площадь осушенных земель за последние годы незначительно увеличилась. На начало 2018 года площадь осушенных земель, используемых в сельскохозяйственном производстве, снизилась на 2,7 тыс. и составила 2871,7 тыс. га [2].

Основная часть мелиорированных земель (62 %) приходится на Брестскую, Гомельскую и Минскую области. В 15 районах республики мелиорированные земли составляют более 50 процентов площади сельскохозяйственных земель и обеспечивают производство основной доли продукции растениеводства. В Гомельской, Минской и Могилевской областях мелиорированные сельскохозяйственные земли отличаются высокой распаханностью, что является недостатком высокопродуктивных луговых земель. В этих областях доля улучшенных луговых земель меньше, чем в среднем по республике. Более половины мелиорированных сельскохозяйственных земель занимают земли с песчаными и супесчаными почвами, что требует реализации культуртехнических мероприятий и значительных затрат на их проведение. Основная доля таких земель приходится на Брестскую и Гомельскую области [15].

В Республике Беларусь наблюдается устойчивая многолетняя тенденция сокращения площади сельскохозяйственных земель и увеличения площади, занятой лесными землями и землями под древесно-кустарниковой растительностью. Начиная с 2014 г., общая площадь лесных земель превышает площадь сельскохозяйственных земель. По данным на 01.01.2018 площадь лесных земель в республике составляет 42,3 % и превышает площадь сельскохозяйственных земель на 1,4 %.

Процесс вывода мелиорированных земель из сельскохозяйственного оборота происходит по причине их неудовлетворительного состоя-

ния по водному режиму, деградации земель. Для природных условий, свойственных Беларуси, деградация земель может проявляться в виде водной и ветровой эрозии, химического воздействия от полигонов промышленных и коммунальных отходов, выработки осушенных торфяных почв и дерново-подзолистых почв в результате длительного использования, а также в результате добычи полезных ископаемых, нерационального использования земель лесного фонда.

Следует отметить, что будущее состояние мелиоративных систем и в целом эффективность ведения земледелия напрямую зависит от состояния и экономической эффективности функционирования предприятий, проводящих работы на выбранных под мелиорацию объектах. В свою очередь продуктивность деятельности растениеводческих и животноводческих предприятий напрямую зависит от качества сельскохозяйственных земель.

На сегодняшний день наблюдается тенденция к ухудшению финансового состояния мелиоративных предприятий. Причин такого состояния может быть много. Но основной причиной является монополистская система мелиорации земель, которая имеет слабые стороны.

Работы по мелиорации выполняются и одновременно контролируются одними и тем же ведомством. В мелиоративных объединениях сконцентрированы функции распорядителя и получателя бюджетных средств, проектировщика, заказчика и одновременно авторского и технического надзора. Такая система на практике не обеспечивает должного контроля расходования средств, иногда нецелесообразности их планирования. Сложившаяся система распределения финансирования мелиорации земель не способствует стимулированию развития других направлений деятельности мелиоративных предприятий. При этом из республиканского и областного бюджетов на мелиорацию выделяются значительные средства, но не всегда способные в полной мере удовлетворить требования земельных ресурсов и имеющихся на них мелиоративных систем в восстановлении.

Недостаток финансирования, выделяемого на содержание мелиоративных сетей, сказывается и на работе открытой сети. Чтобы обеспечить регулярный сток с полей излишней влаги, их надо постоянно откашивать, не менее двух раз за сезон, а также очищать от ила. У большинства предприятий имеющийся парк автомобилей не позволяет выполнить этот вид работ в полном объеме. В результате на некоторых объектах работы не проводятся по несколько лет, и они зарастают древесно-кустарниковой растительностью. При отсутствии должного финансирования в первую очередь проводятся культуртехнические работы по уборке растительности со значимых каналов: вблизи населенных пунктов, вдоль важнейших дорог, а также тех, через которые проходит наибольший поток воды. На землях, не включенных в программу ме-

лиорации, значительно ухудшается пропускная способность систем, влага остается на полях, идет повторное заболачивание. И для того, чтобы земли вернуть в сельскохозяйственный оборот потребуются значительно большие капитальные вложения.

Главным вектором деятельности мелиоративных предприятий юга Республики является сдерживание напора грунтовых вод и отвод излишков с помощью гидротехнических сооружений в виде насосных станций. На электроэнергию для работы насосных станций приходится большая часть средств, выделяемых на поддержание мелиорированных земель. При недостаточном государственном финансировании обслуживающие организации располагают сейчас 17 долларами, при необходимости расходовать в год 25–28 долларов на поддержание в нормальном состоянии каждого мелиорированного гектара земель.

В северной части Республики Беларусь применимы технологии, включающие использование современных геоинформационных систем, с помощью которых можно моделировать стоки.

Следует отметить, что нарушение технологии мелиоративных и водохозяйственных работ, бесхозяйственное отношение к имеющимся материальным ресурсам, земле зачастую являются причинами неудовлетворительного состояния по водному режиму почвы. В результате нарушаются требования технологии строительства мелиоративных систем и сооружений, некачественно ведутся строительно-монтажные работы, недостаточно проводятся ремонтно-эксплуатационные работы по поддержанию действующих систем в работоспособном состоянии, из-за чего мелиоративные каналы зарастают, а земли заболачиваются.

Одним из приоритетных направлений ведения сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях, в том числе на землях с торфяными почвами является применение безотвальной обработки почвы и точного земледелия. Применение разнообразной энергосберегающей техники, которая построена по принципу бережливого землепользования, позволит соблюдать технологии возделывания сельскохозяйственных культур, повысить экономическую эффективность производства. Для уменьшения плотности пахотного и подпахотного слоев почвы предлагается шире внедрять технологии внутрипочвенного внесения жидкого навоза. Научно доказано применение глубокого рыхления и кротования не только на тяжелых почвах, но и на средних и даже легких (легкие суглинки и супеси). Эффективным мероприятием является глубокое рыхление с одновременным внесением пылевидных известковых материалов с помощью рыхлителей, позволяющего значительно продлить эффективность рыхления.

Для ускорения научно-технического прогресса и повышения качества мелиоративных работ в строительстве дренажа внедряют бестраншейную технологию. Там, где не подходит бестраншейный спо-

соб, и при недостатке оборудования используют узкотраншейную технологию с применением полиэтиленовых труб со специальным фильтрующим материалом.

Следует шире применять и совершенствовать интенсивные технологии выращивания сельскохозяйственных культур. Тогда будут максимально использованы условия, созданные мелиорацией земель, что в свою очередь повысит эффективность мелиоративных работ. В период ограниченного финансирования или ожидания будущей реконструкции или строительства мелиоративных систем важно использовать культуры, устойчивые к периодическим подтоплениям и избыточной влаге. На мелиорированных торфяниках зарекомендовала своей эффективностью бесплужная обработка почвы, при которой растительные остатки не запахиваются, а остаются на поверхности, частично распределяясь во всем гумусовом горизонте. В таком случае применима технология, в основу которой положено мульчирование почвы.

На основании вышесказанного можно сделать вывод о том, что эффективность мелиоративных работ во многом зависит от уровня использования мелиорируемых земель. При высоком уровне их использования в передовых хозяйствах и отдельных районах урожайность сельскохозяйственных культур значительно больше проектной.

1.4. Использование мелиорированных земель в сельскохозяйственном производстве

Причиной вторичного заболачивания полностью выработанных торфяников и деградации земель послужило резкое сокращение средств на реконструкцию мелиоративных систем в результате распада Советского Союза. С 2000 по 2015 годы реализованы три государственные программы по мелиорации земель: очищены тысячи километров каналов, на 140 тыс. гектаров проведены агромелиоративные работы. За 5 лет в сельскохозяйственный оборот возвращено 228,6 тыс. гектаров земель. На сегодняшний день идет реализация Государственной программы «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы, подпрограмме «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения».

Общая площадь осушенных земель в 2017 г. увеличилась на 1,2 тыс. га по сравнению с предыдущим годом и составила 3416,3 тыс. га. Однако площадь осушенных земель, используемых в сельскохозяйственном производстве, снизилась на 2,7 тыс. и составила 2871,7 тыс. га. Тенденция снижения доли используемых мелиорированных земель в сельскохозяйственном производстве наблюдается начиная с 2011 года. За прошедший период площадь мелиорированных земель снизилась на 50,6 тыс. гектаров или на 1,7 %.

По данным государственного земельного кадастра наблюдается устойчивая многолетняя тенденция сокращения площади сельскохозяйственных земель и увеличения площади, занятой лесными землями и землями под древесно-кустарниковой растительностью. Начиная с 2014 г., общая площадь лесных земель превышает площадь сельскохозяйственных земель. По данным на 01.01.2018, площадь лесных земель в республике составляет 42,3 % и превышает площадь сельскохозяйственных земель на 1,4 %.

Процесс вывода мелиорированных земель из сельскохозяйственного оборота происходит по причине их неудовлетворительного состояния по водному режиму, деградации земель. Для природных условий, свойственных Беларуси, деградация земель может проявляться в виде водной и ветровой эрозии, химического воздействия от полигонов промышленных и коммунальных отходов, выработки осушенных торфяных почв и дерново-подзолистых почв в результате длительного использования, а также в результате добычи полезных ископаемых, нерационального использования земель лесного фонда.

Реализация запланированных мероприятий по реконструкции мелиоративных систем требует больших финансовых вложений. Работки ученых в области технической эксплуатации мелиоративных систем способны уменьшить расходы на обслуживание и ремонт мелиоративного комплекса. Восстановление работоспособности дренажа при реконструкции выборочно, без вскрытия всей магистрали с помощью системы теле инспекции позволяет находить дефект, определить точку с помощью встроенного датчика места положения частотой 512 Гц и локатора с дальнейшим проведением ремонтных работ. Экономия на земляных работах и промывке составляет от 20 % и более. Система телеинспекции трубопроводов позволяет в режиме реального времени обследовать внутреннюю поверхность трубопроводов различных назначений, оценить повреждения, локализовать место засора, чтобы провести чистку точно. Инспекционная цветная видеосистема оснащена самовыравнивающейся головкой видеокамеры, которая постоянно поддерживает ровное изображение на мониторе относительно горизонта. Данное устройство снабжено колесными универсальными центрами вращения, позволяющими производить исследования труб диаметром до 600 мм.

Использование подобного оборудования в эксплуатации мелиоративных систем позволяет не только получить реальные данные о местах засорения и повреждения, но и способно предоставить необходимую информацию о процессах, происходящих внутри мелиоративной системы с целью дальнейшего планирования и проведения уходовых и ремонтных работ, а также оценке целесообразности их проведения. Кроме того, система телеинспекции может быть успешно использова-

на при проведении текущего контроля качества выполнения работ при укладке дренажа, оценке качества соединения мест дрен с коллекторами, обследовании гидротехнических сооружений. Использование данного устройства позволяет сократить затраты на промывку дренажа (определяются конкретные участки и объемы промывки). Проведение такого обследования во время проектирования позволяет экономить средства, выделяемые на ремонт и восстановление работоспособности дренажа, за счет исключения из планового ремонта работоспособных участков.

По данным Института мелиорации, экономический эффект от применения подобной системы теле инспекции перед промывкой дренажа при ежегодном количестве дренажа, промываемого в год – 1750 км и затратах на стандартную механизированную промывку в год около 78 тысяч долларов, эффект от применения предлагаемой методики составляет более 55 тысяч долларов.

При реконструкции и эксплуатации мелиоративных систем широко используется промывка закрытого дренажа. Установка для промывки дренажа, выпускаемая на ОАО «Пинский завод средств малой механизации», предназначена к применению в агропромышленном комплексе для промывки сильно загрязненных дренажных систем на мелиорированных землях и не имеет аналогов на постсоветском пространстве. Разработанное белорусскими учеными устройство для оценки внутреннего состояния и очистки коллекторно-дренажной сети ОД-100 предназначено для очистки устьевой части коллекторов от заилиenia и корней растений, оценки внутреннего состояния коллекторной сети, очистки дренажных трубопроводов от заилиenia и железистых соединений при наличии дренажного стока. Установка промывки устьевой части коллектора УПК-30 предназначена для промывки устьевой части коллектора на расстояние до 30 м и очистки от заилиenia линейных гидротехнических сооружений при наличии воды в канале.

На снижение продуктивности мелиорированных земель влияет снижение доз вносимых минеральных удобрений в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь. Отрицательная тенденция наблюдалась при внесении минеральных удобрений на пахотных землях, где количество вносимых минеральных удобрений снизилось почти в два раза за период с 2010 по 2016 годы. Следует предположить, что при дальнейшей отрицательной динамике по внесению минеральных удобрений, в том числе на мелиорированные земли, удерживать положительный агрохимический баланс по запасам питательных веществ в почве будет крайне сложно. Помимо недостатков в агротехнике возделывания сельскохозяйственных культур, на снижение продуктивности этих земель влияет неудовлетворительное состояние самих мелиоративных систем.

Следует отметить, что зачастую деградация почвы проявляет себя там, где сельхозпроизводители нарушают культуру земледелия и служат «научным» обоснованием для оправдания нерадивому землепользователю бесхозяйственного отношения к остающейся достаточно плодородной земле. В результате нарушаются оптимальные агротехнические сроки посева и уборки сельскохозяйственных культур, снижается их урожайность, уменьшается продуктивность мелиорированных земель.

Одним из приоритетных направлений ведения сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях, в том числе на землях с торфяными почвами является применение безотвальной обработки почвы и точного земледелия. Применение разнообразной энергосберегающей техники, которая построена по принципу бережливого землепользования, позволит соблюдать технологии возделывания сельскохозяйственных культур, повысить экономическую эффективность производства.

В связи с этим выполняются наиболее значимые виды ремонтно-эксплуатационных работ, обеспечивающие безопасную эксплуатацию мелиоративных систем, создающие условия, необходимые для нормальной культивации сельскохозяйственных культур.

В период ограниченного финансирования или ожидания будущей реконструкции или строительства мелиоративных систем важно использовать культуры, устойчивые к периодическим подтоплениям и избыточной влаге. На мелиорированных торфяниках зарекомендовала своей эффективностью бесплужная обработка почвы, при которой растительные остатки не запахиваются, а остаются на поверхности, частично распределяясь во всем гумусовом горизонте. В таком случае применима технология, в основу которой положено мульчирование почвы [3].

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что в течение продолжительного периода времени на территории Республики Беларусь проводились мелиоративные работы, направленные на повышение плодородия сельскохозяйственных почв и улучшения состояния малопродуктивных земель. В настоящее время площадь осушенных земель, используемых в сельскохозяйственном производстве, сокращается в связи с ухудшением их плодородия, что требует реконструкции мелиоративных систем, внесения необходимого количества минеральных и органических удобрений, а также применение современных технологий и оборудования при эксплуатации и ремонте мелиоративных систем.

2. ЭТАПЫ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕЛИОРАТИВНЫХ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ

2.1. Обследование мелиоративных и водохозяйственных систем

Положение о порядке обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений (далее – Положение) разработано в соответствии с Законом Республики Беларусь от 23 июля 2008 года «О мелиорации земель» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г., № 184, 2/1520) и определяет порядок ежегодного проведения обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

Объектами обследования являются мелиоративные системы и отдельно расположенные гидротехнические сооружения, состоящие на государственном учете мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

Обследование мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений проводится комиссиями, в состав которых включаются уполномоченные должностные лица управлений (отделов) сельского хозяйства и продовольствия районных исполнительных комитетов, государственного производственного объединения по строительству и эксплуатации мелиоративных и водохозяйственных систем «Белмелиоводхоз» (далее – ГО «Белводхоз»), организаций по строительству и эксплуатации мелиоративных систем и других заинтересованных.

Персональный состав комиссий по обследованию мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений (далее – комиссии) утверждается районными исполнительными и распорядительными органами по представлению государственных органов и иных организаций.

Комиссии проводят обследование мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений с определением их технического состояния, рассматривают материалы обследования, составляют и подписывают акты обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений (далее – акты обследования) по форме согласно прил. 1.

Исходными материалами для обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений являются:

- акты прошлых лет по обследованию мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений;
- акты приемки в эксплуатацию законченных строительством мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений;

- решения о выводе из эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений;
- паспорта мелиоративных систем, технические паспорта гидротехнических сооружений и иные документы, необходимые для проведения обследования.

Обследование мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений проводится ежегодно по состоянию на 1 декабря.

Акты обследования составляются комиссиями и утверждаются районными исполнительными и распорядительными органами или уполномоченными ими организациями.

Копии утвержденных актов обследования не позднее 5 декабря направляются районными исполнительными и распорядительными органами или уполномоченными ими организациями в комитеты по сельскому хозяйству и продовольствию областных исполнительных комитетов или уполномоченные ими организации, а также в областные государственные производственные лесохозяйственные объединения.

Оформленные и подписанные, согласно приложению, 2 сводные ведомости по результатам обследования технического состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений ежегодно не позднее 15 декабря представляются на утверждение:

комитетами по сельскому хозяйству и продовольствию областных исполнительных комитетов или уполномоченными ими организациями – в ГО «Белводхоз»;

областными государственными производственными лесохозяйственными объединениями – в Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь или уполномоченную им организацию.

ГО «Белводхоз» и Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь или уполномоченная им организация ежегодно не позднее 25 декабря утверждают сводные ведомости по результатам обследования технического состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

Утвержденные ГО «Белводхоз» и Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь или уполномоченной им организацией сводные ведомости по результатам обследования технического состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений являются исходными данными для разработки проектов ежегодных планов работ по строительству, эксплуатации (обслуживанию) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

2.2. Очередность проведения обследования и технического обслуживания мелиоративной системы

Процесс *восстановления* мелиоративных систем после спада 90-х годов частично преодолен и к концу 2013 года большая их часть должна быть полностью восстановлена и приближена к проектным показателям. Большое внимание Президент Беларуси уделил поддержанию мелиорированных земель в хорошем состоянии. Нам нужны эти площади, это неплохая земля, и мы должны выхватить такие поля с хорошими землями.

После восстановления наиболее актуальными для отрасли станут вопросы, связанные с эксплуатацией мелиоративных систем. Правильная эксплуатация позволяет увеличить межремонтные сроки службы для элементов мелиоративных систем, сгладить влияние природных факторов на мелиорированные земли.

Основой эксплуатации являются периодические обследования, технический уход и текущие ремонтные работы – те составляющие эксплуатационных работ, которые объединены общим понятием – техническое обслуживание и позволяют существенно сократить выход из строя элементов мелиоративных систем и правильно распределить затраты на их ремонты. Причем для максимального эффекта от выполнения обследования и технического ухода на мелиоративных системах требуется четкая очередность выполнения данных мероприятий, основанная на принципах комплексности выполнения работ, учета значимости технических объектов системы в обеспечении ее общего устойчивого функционирования.

В настоящее время нормативные документы не задают четкую очередность проведения эксплуатационных работ на объектах. Они устанавливают, что при сдаче объектов (МС, ГТС) в эксплуатацию на них заводятся паспорта, содержащие общую информацию об объекте, информацию о техническом состоянии объекта и его основных элементов (конструктивных элементов сооружения) и по ним проводится первичный учет [4].

При выборе объектов для проведения эксплуатационных работ организация должна руководствоваться рядом положений, определяющих приоритетные объекты для проведения РЭР:

- гидротехнические сооружения водохозяйственных комплексов с целью обеспечения безопасной их эксплуатации, инженерные защитные сооружения, реки водоприемники мелиоративных систем в паводковых районах. Мелиорированные земли, по которым проходит граница Республики Беларусь с сопредельными государствами, а также земли сельскохозяйственных организаций:

– базовых по наращиванию объемов выпуска сельскохозяйственной продукции, повышению экономической эффективности хозяйственной деятельности;

– имеющих крупные животноводческие фермы и комплексы по оснащению их кормами;

– имеющих в пользовании более 50 % мелиорированных земель.

При выборе объектов РЭР учитывается наличие высокого потенциального плодородия почв, показатели кадастровой оценки земель, материалы инвентаризации МС и оптимизации землепользований [4].

Планирование конкретных видов техухода осуществляется в соответствии с классификацией работ и состоянием объекта.

Контроль выбора объектов РЭР на районном уровне проводится районными исполнительными комитетами.

Если проанализировать существующий подход к планированию очередности и распределению средств на выполнение технического ухода по его видам, то определенно ясно, что в первую очередь будут выполняться работы на наименее затратных объектах что и происходит сейчас. При этом требования и рекомендации по выбору объектов будут соблюдены, план выполнен, но отремонтированы не всегда самые значимые для мелиоративной системы элементы.

Техническое состояние – показатель динамичный и меняется во времени. Каналы заиливаются, зарастают, сооружения ломаются. На одних и тех же элементах требуется периодическое проведение обследования, уходов и ремонтных работ. Физические объемы этих работ по району весьма велики и не могут быть выполнены за один год на всех объектах под выделенные средства. Требуется система планирования, направленная на установление четкой очередности проведения работ по обслуживанию и техническому уходу в зависимости от значения элементов внутри системы. Существующая система планирования этого не учитывает.

При строительстве, реконструкции и ремонте принято при больших объемах работ разделять все работы по пусковым комплексам – участкам выполнения работ, и ввода земель в сельхоз оборот. Этот подход дает возможность сосредоточить технику на объектах, выполнять работы под определенное финансирование, не нарушать режим работы сельхозпредприятий.

Технический уход и обследование имеют специфику. Они должны проводиться на всех подлежащих техуходу системах и элементах ежегодно. В то же время ясно, что невозможно выполнить требуемые работы на всех мелиоративных системах и сооружениях. Так, если рассматривать Гомельскую область, то на 2009 год планировалось затратить на РЭР 38 290 млн. руб. Эти средства в соответствии с заданием по области распределены на ремонт – 13 045 млн. руб., технический уход – 25 245 млн. руб.

При этом по области подлежат обслуживанию 25 932,4 км каналов. План работ на год по обкашиванию каналов – 23 750 км (92 % от подлежащих). Более сложная картина с очисткой от заиления и ДКР. Это показывает, что под выделенные средства и возможности предприятий приходится выбирать первоочередные объекты проведения технического ухода, распределять виды работ на объектах.

За единичный объект исследований и анализа с целью планирования эксплуатационных мероприятий принят *участок технического обслуживания (участок ТО)*. Участком ТО называется участок мелиоративной системы, включая расположенные на нем отдельные каналы, закрытый дренаж и гидротехнические сооружения, функционально взаимно связанные и непосредственно влияющие на водный режим почв данного участка. Предполагается, что поддержание в работоспособном состоянии всех элементов, составляющих участок ТО, обеспечивает условия для отвода избыточных вод не только с данного участка, но и со всей площади в границах МС, с которой вода поступает к нижнему створу участка ТО. *(Ремонт ключевых сооружений участка позволит, а ремонт сооружений, находящихся на второстепенных каналах, обеспечит возможности прохода техники на поля, определит состояние земель на данном участке и позволит проводить контроль).*

Выделение участков ТО проводится на стадии проектирования нового строительства, реконструкции мелиоративных систем проектной организацией по *специальной* методике (А. П. Лихачевич, Е. А. Лукьянова, С. Е. Страхов). Аналогом участка ТО являются пусковой комплекс (в строительстве) и ремонтный комплекс (в эксплуатации). *Различия в выборе границ.* На осушительно-увлажнительных системах участки ТО идентичны зонам влияния головных подпорных сооружений, расположенных на магистральной и проводящей сети.

Исходя из методики определения зон влияния участков ТО их можно выстроить в порядке приоритетности для МС с позиции обеспечения своевременного сброса избыточных вод (весеннего половодья, летнее осенних дождевых паводков) с максимальной площади в границах данной МС. Критерием в этой иерархии является численное значение показателя влияния участка ТО, который определяется по отношению:

$$f_i = \frac{F_i}{F}, \quad (2.1)$$

где f_i – площадь зоны влияния i -го участка ТО, которая состоит из водосборной площади (в границах МС) нижнего створа i -го участка ТО, га;

F – площадь МС, га.

Таким образом, согласно (2.1), чем больше численное значение показателя влияния участка ТО, тем больший ущерб может принести неудовлетворительное состояние данного участка при наступлении критических периодов с экстремальной водностью (весеннее половодье, летне-осенний дождевой паводок). Именно этим и следует руководствоваться при установлении очередности обследования и проведения технического ухода на МС.

$$f_{i+1} \leq f_i \leq f_{i-1}. \quad (2.2)$$

Внутри участка ТО очередность обследования устанавливается по кратчайшему маршруту, обеспечивающему доступ ко всем сооружениям данного участка. При прокладке данного маршрута используются элементы логистики, что позволяет минимизировать число устраиваемых переходов и мостов. Логистический подход используется и при установлении очередности проведения технического ухода, который, кроме того, увязывается с видом проводимых работ, применяемыми механизмами и наличием переездных сооружений через открытую сеть участка ТО.

При установлении очередности работ по техническому уходу на участке ТО необходимо, кроме того, учесть для каждого сооружения, входящего в участок ТО, функциональную ответственность обеспечения работоспособности всей МС. Для этого служит показатель функционального назначения сооружения.

По своему назначению гидротехнические сооружения можно разделить на следующие группы: В первую, наиболее ответственную группу ($B = 1$), включают сооружения, которые необходимы для сопряжения водотоков. К ним относят дренажные устья, воронки стока, колонки и колодцы-поглотители, быстротоки, перепады и др. Вторую группу ($B = 2$) составляют сооружения, с помощью которых обеспечивается управление водным режимом на межхозяйственной части мелиоративной системы, – открытые каналы, шлюзы-регуляторы, трубы-регуляторы и др. Третья группа ($B = 3$) включает сооружения, с помощью которых обеспечивается управление водным режимом на внутрихозяйственной части мелиоративной системы. Это открытые каналы, шлюзы-регуляторы, трубы-регуляторы, колодцы с регулируемыми устройствами, наблюдательные колодцы и др. Четвертая группа ($B = 4$) состоит из сооружений, обеспечивающих переезд техники, прогон скота, переход людей через каналы. Это мосты, трубы-переезды, броды, скотопрогоны, пешеходные мостики. К пятой ($B = 5$) можно отнести средства крепления каналов от размыва и деформаций: хворостяной канат, плетневую (хворостяную) стенку, фашины, одерновку, бетонные и железобетонные покрытия, посев трав, биоковры и др. И, наконец, к шестой группе сооружений ($B = 6$) относят эксплу-

атационные и рекреационные сооружения – дороги, гидрометрические створы, береговую обстановку, водоемы-копани, пляжи, места для отдыха и др.

Некоторые сооружения могут выполнять несколько функций. Например, труба-регулятор может использоваться одновременно для регулирования уровней воды в водотоке и служить переездным средством. Водоем-копань может принимать воду с осушаемых полей, т. е. являться регулирующим сооружением для некоторой части мелиоративной системы и одновременно выполнять функцию экологической ниши. Подобные сооружения следует относить к верхней группе их функциональной принадлежности.

С использованием установленных показателей функционального назначения выстраивается иерархия проведения технического ухода за сооружениями на i -м участке ТО.

$$B_{i(j-1)} \leq B_{ij} \leq B_{i(j+1)}, \quad (2.3)$$

где B_{ij} – показатель функционального назначения j -го сооружения на i -м участке ТО.

При появлении на МС дефектов, устранение которых невозможно при проведении технического ухода, возникает необходимость выполнения регламентных работ, и соответствующего установления их очередности. Для этой цели используется показатель технического состояния сооружения. Данный показатель в отличие от предыдущих (2.1) и (2.3) устанавливается на основе результатов изысканий и соответствующей проектно-сметной документации, разрабатываемой проектной организацией по материалам обследования и проекта ремонта данного сооружения.

Считаем очевидным, что наибольшего внимания требуют сооружения с максимальными дефектами, наиболее функционально ответственные и имеющие наибольшие зоны влияния. Поэтому в качестве показателя технического состояния предлагается отношение стоимости необходимых ремонтных работ к балансовой стоимости данного сооружения:

$$s_{ij} = \frac{D_{ij}}{S_{ij}}, \quad (2.4)$$

где D_{ij} – стоимость устранения дефекта j -го сооружения на i -м участке ТО;

S_{ij} – балансовая стоимость j -го сооружения на i -м участке ТО.

Зону влияния j -го сооружения по аналогии с (2.1) можно представить в виде отношения:

$$f_{ij} = \frac{F_{ij}}{F}, \quad (2.5)$$

где F_{ij} – водосборная площадь (в границах МС) в нижнем створе j -го сооружения на i -м участке ТО.

При установлении очередности проведения ремонта сооружения необходимо объединить в один показатель все характеристики: техническое состояние, функциональное назначение и зону влияния.

Учитывая направленность изменения данных характеристик (2.4) и (2.5) комплексный показатель необходимости ремонта, можно представить в виде функции:

$$R_{ij} = \frac{s_{ij} f_{ij}}{B_{ij}}, \quad (2.6)$$

где R_{ij} – комплексный показатель необходимости ремонта j -го сооружения на i -м участке ТО.

Очередность выполнения ремонтов сооружений выстраивается по численным величинам комплексных показателей необходимости ремонта (2.6) в порядке:

$$R_{i(j+1)} \leq R_{ij} \leq R_{i(j-1)}. \quad (2.7)$$

Анализ иерархий (2.5), (2.6) и (2.7) показывает, что очередность выполнения ремонтов сооружений на МС может не совпадать с очередностью проведения обследования и технического ухода. Это связано с тем, что очередность ремонта устанавливается с учетом всех характеристик данного сооружения: его зоны влияния, технического состояния и функционального назначения.

Для установления очередности проведения обследования и технического ухода на мелиоративных системах выделяются участки технического обслуживания, устанавливаются зоны их влияния и изучается логистика маршрута обследования и технического ухода. При определении очередности ремонтов учитывается функциональная принадлежность конкретного сооружения, его зона влияния и техническое состояние. Все эти показатели определяются с использованием объективных данных, контроль которых увязан с действующими правилами эксплуатации мелиоративных систем.

2.3. Использование георадарного оборудования для обследования мелиоративных систем

Нарушение технологии мелиоративных и водохозяйственных работ, бесхозяйственное отношение к материальным ресурсам, земле часто являются причинами неудовлетворительного состояния водного

режима почвы. В результате нарушаются требования технологии строительства мелиоративных систем и сооружений, некачественно ведутся строительно-монтажные работы, недостаточно проводятся ремонтно-эксплуатационные работы по поддержанию действующих систем в работоспособном состоянии, из-за чего мелиоративные каналы зарастают, а земли заболачиваются.

В территории Республики Беларусь наметилась тенденция вывода мелиорированных земель с расположенными на них объектами мелиорации из сельскохозяйственного оборота по причине их зарастания дикорастущей растительностью, отсутствия должной инвентаризации мелиоративных систем и гидротехнических сооружений с учетом имеющихся мелиоративных объектов, в том числе расположенных на землях лесного фонда. Так, в Витебской обл. не находились на техническом обслуживании мелиоративные предприятия, в сельскохозяйственном обороте не использовалось 62 тыс. га, подлежащих реконструкции мелиорированных сельскохозяйственных земель.

Инструментом учета мелиоративных систем и гидротехнических сооружений могут и должны стать современные информационные технологии, вырабатывающие рекомендации для лиц, принимающих решения по сохранению природного потенциала мелиорированных земель, в том числе орошаемых, на базе результатов комплексного ландшафтного мониторинга, опыта специалистов и всего комплекса научных разработок отрасли.

Большая часть мелиоративных систем построена в 70–80 годах минувшего столетия. С течением времени, по причине естественного старения и накопления повреждений, сложность и энергоемкость обслуживания гидротехнических сооружений мелиоративных систем, закрытой мелиоративной сети возрастает, вплоть до необходимости реконструкции. Обладая достоверной информацией о месте и виде повреждений, можно планировать и проектировать ремонтно-обслуживающие работы необходимого объема.

На данный момент особенно актуальны диагностические технологии, позволяющие, без разрушения, своевременно и точно определять места и вид неисправностей труднодоступных элементов мелиоративной сети, таких как подземные коллекторы, а также железобетонные элементы гидротехнических сооружений. При этом только беспроводные устройства (поисковые головки, видеоголовки, георадары) позволяют эффективно вести диагностику с использованием имеющегося на предприятиях мелиоративных систем оборудования УПД-120, ОД-100, а также с учетом перспективного научно-обоснованного и имеющегося уже в производстве и на рынке диагностического оборудования Республики Беларусь.

Обслуживание закрытой мелиоративной сети, от которого напрямую зависит продолжительность ее работы без дорогостоящей реконструкции, требует точного определения местоположения таких элементов, как дренажное устье, поворот коллектора, примыкание дрен, место установки поглощающей колонки и колодца-поглотителя. Маркирование механическими средствами (флажки, вешки, сигнальные столбики) имеет ряд ограничений связанных с необходимостью повышать коэффициента земельного использования, затратами на демонтаж и возвращение маркеров при обслуживании систем, сносом сельскохозяйственной техникой, смывом в паводки, человеческим фактором.

В Республике Беларусь с конца XX века георадары начали в опытном порядке применяться при обследовании автомобильных дорог. В начале использования геофизического оборудования было очень много противников, потому что результаты георадарной съемки трактовались не всегда однозначно. Основными причинами были: недостаточный опыт выполнения геофизических работ, несовершенство конструкций георадарного оборудования и слабое программного обеспечение.

Более того, в республике существует устоявшаяся процедура выполнения ремонтных работ по дефектным ведомостям и материалам комиссионного обследования.

Внутреннее строение и состояние мелиоративных систем, инженерных конструкций гидротехнических сооружений может быть определено (наряду с упомянутым выше работами) с помощью метода подповерхностного сканирования с применением георадарных технологий. Реконструкция и капитальный ремонт гидротехнических конструкций водохозяйственных систем, мелиоративных систем могут быть эффективными только в том случае, если будут определены истинные причины повреждений.

Работа радиолокационного прибора подповерхностного зондирования основана на использовании классических принципов радиолокации. Передающей антенной прибора излучаются сверхкороткие электромагнитные импульсы (единицы и доли наносекунды), имеющие 1,0–1,5 периода квазигармонического сигнала и достаточно широкий спектр излучения. Центральная частота сигнала определяется типом антенны.

Выбор длительности импульса определяется необходимой глубиной зондирования и разрешающей способностью прибора. Для формирования зондирующих импульсов используется возбуждение широкополосной передающей антенны перепадом напряжения (ударный метод возбуждения).

Метод базируется на излучении поля высокочастотных электромагнитных волн (используются частоты от первых десятков МГц до

первых единиц ГГц). Основой метода является различие горных пород по диэлектрической проницаемости.

Достоинством метода является высокая производительность и высокая разрешающая способность как в плане, так и по глубине. Глубинность исследования составляет от первых десятков сантиметров (при детальном мало глубинном исследовании) до первых десятков метров (при решении геологических задач). Разрешающая способность и глубинность исследования зависят от частоты, на которой ведутся работы и характера изучаемого разреза (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Зависимость глубины проникновения электромагнитной волны от рабочей частоты

Рабочая частота, МГц	Максимальная глубина зондирования, м*	Разрешающая способность по глубине, м
50	20	0,5-2
90	16	0,5
150	12	0,35
250	8	0,25
400	5	0,15
700	3	0,1
1000	1,5	0,05
1200	1,3	0,05
1700	1,0	0,03

*Данные представлены для сред с малым затуханием волн (сухой песок, лед).

Георадар российского производства, широко представленный на Белорусском рынке «ОКО-3» (рис. 2.1), состоит из двух составных частей: базового комплекта и антенного блока. Базовый комплект включает все необходимые для работы элементы: блок управления, блок питания, зарядное устройство, комплекты кабелей. Антенные блоки могут быть сменные и заменяемые и их конструкция зависит от решаемой задачи. Использование антенного блока с меньшей частотой (250 МГц) позволяет увеличивать глубину исследования. Если необходима высокая детальность верхнего слоя геологического разреза следует использовать высокочастотные антенные блоки (700 МГц). Могут применяться двухчастотные георадарные комплексы, позволяющие проводить синхронные зондирования сразу двумя антенными блоками. Это дает возможность при одном проходе получить два результата: профили с максимальной глубиной зондирования; радарограмму верхней части разреза с лучшим разрешением. Все это сокращает время обследования в два раза.



Рис. 2.1. Внешний вид георадара ОКО 3

Георадар действует по следующему принципу. Комплект перемещается вдоль изучаемого профиля. Передающей антенной прибора в исследуемую среду излучаются сверхкороткие электромагнитные импульсы (единицы и доли наносекунды), имеющие 1.0–1.5 периода квазигармонического сигнала и достаточно широкий спектр излучения. Центральная частота сигнала определяется типом антенны. Георадар позволяет контролировать сооружения из бетона толщиной от 0,01 м до 1,5 м, разрешающая способность от 0,03 м до 0,05 м.

Излучаемый в исследуемую среду импульс отражается от находящихся в ней предметов или неоднородностей среды, имеющих отличную от среды диэлектрическую проницаемость или проводимость, принимается приемной антенной, усиливается в широкополосном усилителе, преобразуется в цифровой вид при помощи аналого-цифрового преобразователя и запоминается для последующей обработки. После обработки полученная информация отображается на дисплее компьютера в виде так называемых радарограмм. Регистрация, обработка и интерпретация данных георадиолокации осуществляется программой обработки георадиолокационных данных «GeoScan32» или другой подобной, которая устанавливается на ноутбук. Данная программа позволяет не только визуализировать видеоданные во время съемки, определить глубины залегания локальных объектов, провести послойную обработку, но и построить трехмерную модель полученных данных.

На мелиорированных землях (торфяниках) при помощи георадара наиболее достоверно могут быть зафиксированы границы торфа и подстилающих его отложений, т. е. граница минерального дна болотного массива, а также границы раздела других отложений и зон

разной влагонасыщенности, в том числе УГВ. Торф, как и другие среды, в электромагнитном поле характеризуется диэлектрической проницаемостью ϵ , скоростью распространения волн V , затуханием электромагнитных волн и коэффициентами поглощения и отражения. Все перечисленные параметры зависят от степени разложения, химического состава торфа, влагосодержания, плотности, температуры и частоты приложенного поля.

Для определения реального положения границ на радарной записи по глубине необходимо знать скорость распространения электромагнитной волны в среде V . В георадиолокации она связана с вещественной частью диэлектрической проницаемости ϵ через скорость света приближенной формулой:

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}, \quad (2.8)$$

где c – скорость распространения электромагнитной волны в вакууме (скорость света). В георадиолокации принято измерять скорость в см/нс (сантиметры в наносекунду, $1 \text{ нс} = 10^{-9} \text{ с}$). Таким образом, формула для расчета скорости выглядит следующим образом:

$$V = \frac{30}{\sqrt{\epsilon}} \quad (2.9)$$

Белорусские ученые используют возможности российского георадара «ОКО-3» для поиска пролегания дренажных систем, для почвенных исследований (определение толщины слоя торфа и т. д.), для обнаружения повреждений бетонных конструкций, для определения глубины наносов в каналах и водоемах, составления продольных и поперечных профилей водоприемников и мелиоративных каналов и т. д. Использование геофизических приборов в сельском хозяйстве возможно, например, для картирования подземных коммуникаций на полях, уточнение особенностей строения плодородного слоя поля и подстилающих пород, что дает достоверную информацию для проектирования эффективных мелиоративных систем (рис. 2.2).

С помощью георадара возможно определение зон разной влагонасыщенности (вымочек на поверхности), например на одном поле, уровень грунтовых вод, в месте, где проходит подземная коммуникация, дренажный коллектор, что позволит выявить место и причину неправильной работы закрытого дренажа.

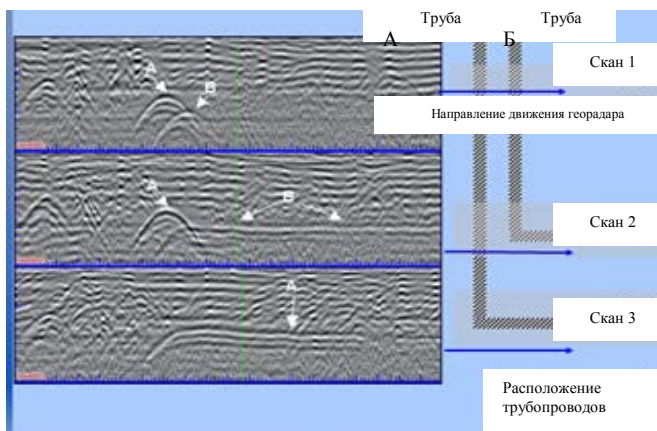


Рис. 2.2. Пример радарограмм для нахождения подземных трубопроводов А, Б

Одним из приоритетных направлений повышения плодородия легких почв Республики Беларусь является создание и использование мелиорантов на основе потенциала местных природных источников (торф, сапропель) и современных технологий переработки эффективных грунтов, сапропелевых удобрений, биологически активных препаратов для ведения органического сельского хозяйства.

В республике в настоящее время сапропель добывается из девяти озер. Общий объем добычи составляет около 200 тыс. т, что несопоставимо мало по сравнению с огромными ресурсами, которые составляют более 4 млрд. м³ (1,6 млрд. т). Из них 2,8 млрд. м³ сосредоточено в озерах и 1,2 млрд. м³ – под торфом. Ресурсы торфа в республике в 2,5 раза больше, чем сапропеля и составляют около 4 млрд. т.

При помощи георадара наиболее достоверно можно зафиксировать границы сапропелевых массивов и границы раздела других отложений. Картирование мощности придонных отложений позволит более детально оценить ресурсы природного мелиоранта, а также исходя из геологических условий подобрать экономически выгодную технологию добычи и переработки сырья.

Максимальная амплитуда сигнала георадара, как правило, проявляется на границе грунтовых вод, в виде резко выраженной толстой линии синфазной. Это объясняется тем, что вода имеет диэлектрическую проницаемость 81, в то время как грунты – в пределах от 4 до 25 (в зависимости от влажности); в связи с чем, при резком изменении диэлектрической проницаемости положение уровня грунтовых вод, достаточно хорошо читается по радарограмме.

Переувлажненные зоны, как правило, характеризуются низкими частотами. При обработке данных раскраска георадиолокационного профиля подбирается таким образом, чтобы с уменьшением частоты отраженного сигнала цвет становился более темным, при этом максимальная влажность грунта должна быть прямо пропорционально интенсивности синего цвета. Зоны, раскрашенные синим цветом, – это зоны низкой частоты и избыточно увлажненного грунта земляного полотна и подстилающего основания.

Георадары нашли применение для определения качества и состояния железобетонных гидротехнических конструкций, труб-регуляторов, мостов, состояния железобетонных и грунтовых плотин, дамб, выявления оползневых зон, месторасположения инженерных сетей (металлических и пластиковых труб, кабелей и других объектов коммунального хозяйства).

Обследование зданий и сооружений. Для этих задач используют высокочастотные антенны (2000 МГц). Высокая частота позволяет анализировать состояние арматурной решетки, пустоты в конструкциях, трещины.

Для георадаров характерна универсальность, позволяющая использовать данные прибора в геологии, транспортном строительстве, в мелиорации, в промышленном и гражданском строительстве, экологии, археологии, оборонной промышленности и т. д.

Георадарное оборудование и методы обследований, обработки и интерпретации радарограмм постоянно совершенствуются, на основе их информации можно назначать и выполнять эффективные работы по реконструкции и капитальным ремонтам гидротехнических сооружений водохозяйственных систем, мелиоративных систем, промышленном и гражданском строительстве.

2.4. Эксплуатационная диагностика мелиоративных систем

Самым простым и в то же время экономически эффективным мероприятием по снижению затрат на эксплуатацию мелиоративных объектов является исключение из ремонта и реконструкции исправных элементов и своевременное восстановление неисправных.

На макроуровне (масштаб отдельных мелиоративных систем) вопрос обоснования восстановительных работ достаточно глубоко проработан в ТКП 45-3.04-176-2009 «Ремонт мелиоративных систем» и ТКП 45-3.04-177-2009 (02250) «Реконструкция осушительных систем. Правила проектирования» [5, 6].

На микроуровне (масштаб отдельных мелиоративных сооружений, особенно труднодоступных), если повреждения не носят явный открытый характер, принятие решений базируется либо на укрупненных

нормативных сроках службы конструкций, либо на косвенных признаках, таких как переувлажнение участка, уменьшение дренажного стока, снижение производительности насосных станций и т. п.

В значительной степени общепринятый укрупненный и косвенный подход к оценке состояния труднодоступных сооружений на мелиоративной сети вызван отсутствием широкого распространения специализированного диагностического оборудования и технологий, позволяющих проводить эффективную диагностику с малыми затратами без разрушения исследуемых объектов.

Основной целью диагностики мелиоративных объектов является определение их действительного эксплуатационного состояния – способности обеспечивать нормальную эксплуатацию мелиорированных земель. Обычно при диагностике выявляют дефекты конструкций, отклонения от проекта и действующих в настоящее время норм и технических условий.

Диагностирование мелиоративных систем функционально подразделяется на:

- оценку технического состояния;
- оценку эксплуатационного состояния;
- обнаружение и определение места локализации неисправностей;
- прогнозирование остаточного ресурса;
- мониторинг технического состояния.

По сложившейся практике, техническое диагностирование проводится в процессе обследования мелиоративных систем в основном неразрушающими (деструктивными) методами, информативность которых в отдельных случаях дополняется результатами разрушающих исследований: шурфованием, анализом образцов материала (кернов) обследуемых конструкций, вскрытием либо частичной разборкой сооружений.

Деструктивные методы исследования мелиоративных конструкций имеют долговременные последствия, особенно негативные при отсутствии необходимости ремонта объекта. Качественное восстановление закрытой дренажной линии после нарушения ее шурфом требует значительных материальных (муфты, переходники, ЗФМ) и временных затрат. Зачастую работы по восстановлению выполняются не в полном объеме. Бурение бетонных сооружений ослабляет их конструкцию. При этом сооружения продолжают эксплуатироваться в течение ряда лет.

Эксплуатационное диагностирование зачастую основано на косвенных признаках, таких как наличие вымочек, сроки отвода поверхностных вод, урожайность, возможность проезда сельскохозяйственной техники.

Техническую диагностику ГОСТ 20911-89 определяет как область знаний, охватывающую теорию, методы и средства оценки техниче-

ского состояния объектов. В общем случае под техническим диагностированием понимается определение технического состояния объектов.

Применительно к мелиоративным системам:

Техническое диагностирование – мероприятия, направленные на определение технического состояния элементов мелиоративных систем, выявление имеющихся дефектов, повреждений.

Эксплуатационное диагностирование – мероприятия, направленные на определение эксплуатационного и (или) технического состояния элементов мелиоративных систем, выявление имеющихся дефектов, повреждений, причин их возникновения, пригодность к дальнейшей эксплуатации – способности обеспечить удовлетворительный водный режим.

Труднодоступные сооружения – сооружения, эксплуатационное диагностирование которых невозможно без частичной разборки, разрушения, затратных подготовительных мероприятий либо сопряжено с риском для жизни и здоровья из-за высоты, глубины, течения и т. п. К таким сооружениям относятся: дренажные коллекторы и подземные трубопроводы, подводные элементы шлюзов, мостов, дамб и плотин, негабаритные места насосных станций, шахтные водосбросы, сооружения высотой более 5 м и др.

Разрушающая диагностика – техническое и (или) эксплуатационное диагностирование, сопряженное с нарушением целостности обследуемого объекта, нарушающее его пригодность к применению.

Неразрушающая диагностика – техническое и (или) эксплуатационное диагностирование, не влияющее на работоспособность обследуемого объекта.

Виды диагностирования, проводимые непосредственно на мелиоративной системе, разделяются по поставленным задачам:

- техническое – проверка соответствия элементов объекта проектным параметрам, техническим требованиям. Например: соответствие глубины канала проектной, прочности бетона сооружения, несущей способности переезда, относительного сдвига нормативам и др.;

- эксплуатационное – определение соответствия параметров предельным значениям, допускающим эксплуатацию объекта. Например: прохождение контрольной головки по коллектору, наличие стока, физическая возможность закрытия задвижки, отсутствие горизонтальных трещин в сопрягающих сооружениях и др.;

- качественное – определение качественных и (или) количественных характеристик объекта. Например: процент заилиenia дренажной трубы, величина коллекторного стока, расход просачивающейся воды через закрытый шлюз, ширина и глубина трещин и др.;

- фиксирующее – получение данных для последующей камеральной обработки. Например: фото- и видеофиксация конструкций, георадарограммы, аэросъемка и т. п.

На техническое и качественное диагностирование распространяется терминология ГОСТ 16504-81 [7].

Техническое обслуживание мелиоративных систем представляет собой запланированный комплекс организационно-хозяйственных мероприятий и ремонтно-эксплуатационных работ по обеспечению работоспособности и сохранению проектных и технических параметров мелиоративных систем, находящихся в эксплуатации. Для принятия решения о проведении, видах и объеме обслуживания необходима достоверная информация о состоянии объекта, то есть предварительная диагностика (техническая и (или) эксплуатационная).

Основное отличие эксплуатационного диагностирования мелиоративных систем от технического заключается в соотношении определяемых параметров не с изначальными техническими параметрами (такими, как глубина канала, глубина заложения дрен, точные геометрические размеры конструкций и т. п.), а с возможностью обеспечить удовлетворительный водный режим на мелиорированном участке.

Для проведения эффективного неразрушающего диагностирования мелиоративных систем в Институте мелиорации разработан ряд технологий и средств малой механизации, позволяющих оперативно и с малыми затратами определять техническое состояние сооружений, в том числе труднодоступных.

Для диагностики внутреннего состояния закрытых коллекторов и частичной очистки их от заиления в Институте мелиорации разработано устройство ОД-100 (рис. 2.3) [8] (патент ВУ 7219) с рядом диагностических и очистных головок. По данным исследований Н. Н. Погодина, В. А. Болбышко на мелиоративных системах, подлежащих реконструкции, выявлено 12 % трубопроводов, закупоренных корнями растений, с недостаточной глубиной заложения, отдельные участки характеризуются полным заилением сечения. Степень заиления 14 % коллекторов не превышает 15 % сечения, 54 % заилены менее чем на 35 % сечения и пригодны к малозатратной механической очистке при наличии дренажного стока, например, тем же устройством ОД-100 с применением специальных очистных головок.

Экономия от диагностирования мелиоративных коллекторов, только в результате исключения исправных и полностью выведенных из строя элементов из промывки, составляет порядка 26 %.



Рис. 2.3. Внешний вид устройства ОД-100

Применение современных радиоэлектронных поисковых устройств, например ПУ-2, разработанного Институтом мелиорации, или распространенного комплекта Traska позволяет оперативно и с высокой точностью определить место непроходимого затора. По данным В. П. Закржевского, обнаружение точного места неисправности подземного сооружения экономит до 10 и более куб. метров земляных работ и снижает количество поврежденных участков в несколько раз.

При отсутствии поискового оборудования, расположение непроходимого участка коллектора можно обнаружить относительно точно по счетчику выхода прутка, установленному на ОД-100.

Для визуального контроля внутреннего состояния закрытых коллекторов и трубопроводов разработан комплекс средств диагностики КСД-160 (рис. 2.4). Опыт применения данного оборудования показал возможность получения достоверной информации о внутреннем состоянии трубопроводов, технически и экономически обоснованного выбора мероприятий по восстановлению его работоспособности.

Так, на объекте «Ремонт водоподающего трубопровода ОАО «Рыбхоз Солы», в результате обследования трубопровода из труб РТНС диаметрами 500 и 300 мм, длиной 322 м, которое проводилось с применением КСД-160, исключено строительство нового трубопровода и сопутствующей инфраструктуры. Вместо указанных мероприятий проведена успешная промывка заиленного трубопровода и тем самым сэкономлено более 80 тыс. рублей в ценах 2016 г.

Для контроля труднодоступных частей гидротехнических сооружений, в том числе подводных, разработана модификация КСД-160У (рис. 2.5).



Рис. 2.4. Комплект средств диагностики КСД-160

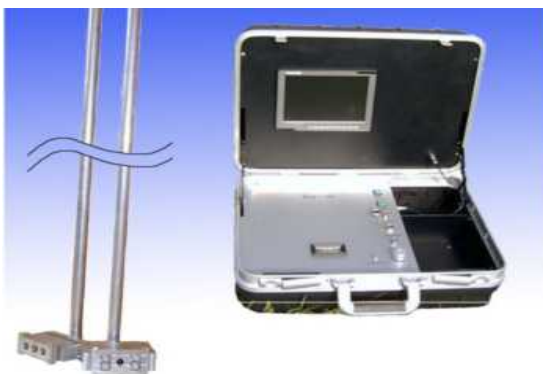


Рис. 2.5. Модификация комплекта средств диагностики КСД-160У

Диагностика-поисковое оборудование предназначено для обнаружения дефектов в элементах гидротехнических сооружений (ГТС) при оценке состояния их труднодоступных и подводных частей. КСД- 160У позволяет проводить осмотр подводных частей ГТС с помощью видеокамеры на глубине до 4 м.

Например, диагностика труб-регуляторов и шлюзов включает контроль:

- состояния стыков железобетонных труб;
- наличия в теле железобетонной трубы трещин;
- выщелачивания железобетона и тела трубы;

- мест сопряжения входного и выходного оголовка с телом трубы;
- состояния элементов металлоконструкций и проч.

Диагностика насосных станций включает: обследование аванкамер на предмет заиливания и засорения посторонними предметами; контроль за состоянием решеток; контроль за герметичностью затворов; контроль за элементами всасывающей части насоса и проч.

Например, обследование шахтного водосброса на р. Цепра позволило своевременно выявить частичное разрушение его свода и поставить сооружение на реконструкцию до аварийного разрушения.

Для экономии и рационального использования средств, выделяемых на эксплуатацию мелиоративных систем, необходима обязательная эксплуатационная диагностика сооружений, в том числе труднодоступных.

Разработанное устройство ОД-100 позволяет производить диагностику закрытых коллекторов и исключать из промывки до 26 % трубопроводов – исправных, заросших корнями и разрушенных.

Поисковые устройства позволяют уменьшить объем земляных работ до 10 м³ на один шурф и количество поврежденных участков коллектора.

Разработанный комплекс КСД-160 позволяет проводить техническую диагностику трубопроводов, в том числе большого диаметра, и исключать из перекладки исправные участки.

Разработанный комплекс КСД-160У позволяет проводить диагностику подводных сооружений, шлюзов, шахтных водосбросов и исключать из ремонта исправные, а также своевременно обнаруживать критические неисправности.

2.4.1. Система телеинспекции трубопроводов

Система телеинспекции трубопроводов (аналог КСД-160) с кабелем 120 м, диаметром 9,5 мм в барабане, цветной камерой, клавиатурой и блоком управления, аккумулятором, кейсом позволяет в режиме реального времени обследовать внутреннюю поверхность трубопроводов различных назначений, оценить повреждения, локализовать место засора (рис. 2.6).

Телеинспекция – это обследование трубопроводов с помощью видеооборудования. Проталкиваемая в трубопроводе камера фиксирует все, что видит ее зоркий много мегапиксельный глаз. Картинка сразу же транслируется на экран – так в режиме реального времени в высоком разрешении видны все трещины, пробоины, наслоения на стенках, состояние дна трубопроводов, других закрытых полостей. Система

телеинспекции – это лучший способ узнать, где проблемное место в трубопроводе.



Рис. 2.6. Система телеинспекции трубопроводов

Она состоит из комплекса оборудования, главным из которых является видеорегистратор. С его помощью проходит телеинспекция трубопроводов без их вскрытия. Прибор опускается во внутреннюю полость канализационной трубы.

Технические характеристики:

- диаметр исследуемых труб – до 600 мм;
- длина исследуемых труб – 120 м;
- камера поворотная – диаметр 50 мм;
- управление – запись на SD, клавиатура, счетчик расстояния;
- передатчик – 512 Гц;
- длина прутка – 120 м;
- диаметр прутка – 9,5 мм;
- счетчик метража – есть;
- габариты/масса – 770×371×820 мм/40 кг.

Проведение видеодиагностики трубопроводов различных назначений направлено на быстрое выявление слабых мест в трубах. Изучение состояния внутренних полостей труб, без их разбора, с помощью видеорегистратора позволяет выявить образовавшиеся дефекты. В дальнейшем совершается их устранение методиками с наружной стороны, либо применяя устройства для работы изнутри.

Телеинспекция трубопроводов может потребоваться в следующих случаях:

- при возникновении нужды в подключении к действующей системе канализации, дренажной линии. В этом случае использование системы теледиагностики понадобится для оценки состояния места планируемого подключения нового водостока;

– для локализации места повреждения и дальнейшего его ремонта в конкретном узле. Это приводит к снижению затрат на полную раскопку или выемку из общего стояка. Такие работы проводятся для раннего выявления износа стенок, который проявляется при плановом старении оборудования или в аварийных режимах. При образовании больших пробоев в канализационных трубах, могут возникнуть проблемы с просадкой грунта или заливанием стен по стояку, в зависимости от способа прокладки. Эти факторы несут существенный вред экологическому состоянию окружающей среды. Поэтому использование указанной аппаратуры является актуальным;

– диагностирование состояния канализационных труб. Процедура является нужной при работах устройств с использованием системы телеизмерений. Она направлена на выявление вероятных дефектов на ранней стадии формирования. Это позволяет значительно снизить расходы на проведение плановых работ. Не потребуются демонтировать изношенные участки канализации. Для устранения выявленных дефектов используются роботы, которые укрепляют ослабшие участки;

– при образовании заторов в системе канализации частных и общественных зданиях. С оборудованием можно быстро определить место образования затора. Это позволит принять соответствующие меры по восстановлению нормального прохода внутри канализации. С видео инспекцией при плановых проверках, можно определить места вероятного образования наростов, которые могут привести к затору;

– для анализа состояния вновь смонтированных труб, подлежащих к сдаче в эксплуатацию. Процедура является обязательной к исполнению. В процессе приемки трубопроводов канализации, система теле инспекции способна определить проведенные монтажные работы. При необходимости устраняются выявленные дефекты. Как правило, все расходы ложатся на подрядную организацию, проводившую монтажные работы.

Для передачи изображения в системах видеодиагностики используются оптоволоконные кабели со значительной длиной, которые позволяют обследовать труднодоступные места. Специальные барабаны помогают осуществлять сматывание или разматывание кабеля. Практически любой монитор можно подключить к такому виду оборудования: от самого простого до моделей с высокой четкостью, которые имеют большое количество функций. Режим реального времени используют самые простые мониторы при трансляции картинки. Функцию записи имеют более сложные модели (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Изучение системы телеинспекции трубопроводов во время занятий

Система телеинспекции трубопроводов используется в учебном процессе для подготовки специалистов по специальностям 1-74 05 01 Мелиорация и водное хозяйство», 1-74 04 01 Сельское строительство и обустройство территорий, 1-74 80 02 Мелиорация, рекультивация и охрана земель на дневной и заочной формах обучения.

2.5. Приемы регулирования водного режима почвы

Для регулирования водного режима почвы применяют разные методы. Отвод избыточных вод осуществляют методом ускорения стока поверхностных вод, понижения уровня грунтовых вод, перехвата поверхностных и грунтовых вод, стекающих со смежных водосборов. Увлажнение почвы проводят подпочвенным способом (шлюзованием) и дождеванием. Осушительные и увлажнительные мероприятия эксплуатационная служба проводит с использованием таких элементов мелиоративной системы, как каналы, дрены, водоподпорные сооружения, насосные станции, напорные трубопроводы, дождевальная техника, водоприемник, источник воды для увлажнения почвы. Все элементы поддерживают в исправном состоянии, а устройства с коротким сроком службы своевременно обновляют [9].

После пропуска весеннего паводка осушительно-увлажнительную и оросительную системы готовят к регулированию водного режима почвы, на протяжении вегетационного периода. Для этого осматривают все каналы, сооружения, оросительные трубопроводы и арматуру на них, поливную технику, определяют виды и объемы деформаций. Проводят опробование работы насосной станции, водоподпорных со-

оружений и оросительной системы. По результатам осмотра намечают сроки и мероприятия по ликвидации повреждений. Все дальнейшие операции с водой (сброс или подача на увлажнение) осуществляют в соответствии с хозяйственными планами водопользования и системными планами водораспределения.

Приемы регулирования водного режима зависят от источников формирования влагозапасов за декаду в расчетном слое почвы и конструкции мелиоративной системы. На участках с атмосферным водным питанием в период избытка применяют ускорение стока поверхностных вод. Этот метод применим на почвах тяжелого гранулометрического состава на плоских водоразделах, пологих склонах. В дополнение к осушительной сети (каналы, дрены) используют мероприятия, обеспечивающие ускорение отвода избыточной воды по поверхности почвы и частично по пахотному слою. К ним относятся ложбины, планировка (выравнивание) поверхности, узкозагонная вспашка, профилирование поверхности, выборочное бороздование, гребневание и грядование. На тяжелых почвах атмосферного водного питания в засушливые периоды наблюдается недостаток влаги в верхних слоях. Для увеличения влагоемкости и создания дополнительных запасов продуктивной влаги в подпахотном слое проводят глубокое безотвальное рыхление, глубокую вспашку, щелевание и кротование. Глубокое рыхление позволяет снизить объемную массу подпахотных слоев в среднем на 10 %, а в первый год проведения – на 20 %. Разрыхленный слой содержит, как правило, на 5...10 % влаги больше, чем не разрыхленный.

В связи с тем, что срок действия агромелиоративных мероприятий составляет 1...3 года, служба эксплуатации должна контролировать своевременное их восстановление.

На участках с грунтовым водным питанием регулирование водного режима почвы проводят отводом избыточной влаги и понижением уровней грунтовых вод или прекращением сброса и задержанием стока в мелиоративной сети в засушливый период. Требуемое понижение уровня грунтовых вод более оперативно достигается на почвах легкого гранулометрического состава и на торфяно-болотных почвах. На связных почвах этот процесс затрудняется и требуется применение дополнительных мероприятий, которые включают глубокое рыхление, кротование и щелевание почвы. Эти мероприятия целесообразны на фоне закрытого дренажа.

При глубоком рыхлении увеличивается водопроницаемость почвы. В начальный период после рыхления водопроницаемость пахотного слоя увеличивается в 2...4 раза, а подпахотного на глубине 50 см – более чем в 25 раз. Однако через 3...4 года водопроницаемость приближается к исходной. Направление движения рыхлителя желательно

поперек дренажных линий. Глубокое рыхление повышает действие дренажа при отводе избыточных вод и подаче воды на увлажнение.

При кротовании создают полости-кротовины на глубине 35...40 см от поверхности с расположением их поперек дрен-осушителей. Кротование обеспечивает хорошую гидравлическую связь пахотного слоя с дренами, позволяя ускорить отвод из него избыточных вод. Проводить его рекомендуется на торфяно-болотных и связных минеральных почвах через 3...4 года.

Щелевание способствует увеличению осушительного действия дренажа. Его также применяют на склонах местности для перехвата поверхностного стока и перераспределения его по почвенному профилю. Щелевание способствует выравниванию водного режима по элементам рельефа, является противоэрозионным мероприятием.

Подача воды в почву в засушливые периоды может осуществляться подпочвенным увлажнением и дождеванием. Подпочвенное увлажнение более эффективно при достаточно высокой капиллярной водопрониимости почвогрунтов. Поверхность увлажняемого участка должна быть ровной в естественном состоянии или спланированной, чтобы не происходило переувлажнение почвы в пониженных местах и недоувлажнение на повышенных. Приемы управления водным режимом шлюзованием зависят от вида водоисточника, который может быть использован для увлажнения. Если используют только местный сток, то применяют предупредительное шлюзование. В этом случае щиты водоподпорных сооружений закрывают на фазе спада половодья, когда уровни грунтовых вод (УГВ) на середине между осушителями понизятся до 35...40 см от поверхности почвы. В дальнейшем нужно следить, чтобы УГВ не поднимался выше указанного предела и обеспечивать постепенное его опускание с учетом развития корневой системы растений. Когда корневая система разовьется полностью, то УГВ поддерживают на глубине нормы осушения. Увлажнение почвы с использованием местного стока может быть надежным, если водосборная площадь в 15...20 раз превышает площадь увлажнения.

При использовании для подпочвенного увлажнения воды из гарантированного водоисточника (река, пруд, водохранилище) регулирование водного режима почвы ведут с применением увлажнительного шлюзования. Во время подачи воды на увлажнение сначала заполняют водоподводящие и магистральные каналы, после чего заполняют проводящую и регулирующую сеть мелиоративного объекта. Наполнение каналов должно быть постепенным с расходом воды не более 25 % от пропускной способности канала. При наполненных каналах расход на увлажнение пропускают при уровнях не менее 0,3...0,4 м ниже бровки. В нижних бьефах водоподпорных сооружений поток должен быть спокойным.

Заполнение регулирующей сети начинают с пониженных по рельефу участков, переходя постепенно на другие участки вверх против течения воды в распределительных каналах. После установления на поле оптимального уровня воды затворами водорегулирующих сооружений в головах распределительных каналов, а также по их длине обеспечивают подачу расхода, равного потреблению на впитывание почвой. При выпадении обильных осадков мелиоративную систему переводят в режим сброса избыточных вод. К началу уборки урожая грунтовые воды необходимо понизить до глубины, обеспечивающей проходимость сельскохозяйственной техники.

При подпочвенном регулировании влажности корнеобитаемого слоя следует знать, что интенсивный подъем УГВ в засушливый период часто приводит к переувлажнению нижней части корневой системы, практически не меняя влажности в верхней ее части. Циклические подъемы и снижения УГВ в течение вегетационного периода не позволяют в должной мере обеспечить оптимальный водно-воздушный режим для сельскохозяйственных культур. При возделывании на мелиорируемом участке нескольких культур, наличии развитого микро- и мезорельефа и сложной структуры почвенного покрова грунтовые воды следует поддерживать в наиболее безопасном диапазоне.

Для обеспечения нормальных условий произрастания сельскохозяйственных растений необходимо, чтобы в период затяжных дождей на нижней границе корнеобитаемого слоя содержание воздуха в почве было не менее 15 % от объема. Это требование можно выполнить при поддержании УГВ на торфяных и песчаных почвах на 0,25...0,30 м, а на супесчаных и суглинистых – на 0,4...0,5 м глубже нижней границы корнеобитаемого слоя. Известно, что в пахотном слое содержится основное количество питательных веществ. Для более интенсивного использования этих веществ желательно обеспечить поглощение растениями воды из пахотного слоя не менее 30 % от общего объема транспирации. Это условие можно выполнить ограничением максимального удаления УГВ на торфяных и песчаных почвах на 0,4...0,5 м, на супесчаных почвах и пылеватых суглинках – на 0,6...0,7 м, на легкосуглинистых почвах – на 0,7...0,8 м от нижней границы корнеобитаемого слоя. Следует отметить, что на связных почвах, обладающих низкой водопроницаемостью, пахотный и подпахотный слои могут переувлажняться в период затяжных дождей и дополнительное понижение УГВ не дает должного эффекта.

Орошение дождеванием применяют на участках, предназначенных в основном под овощные, кормовые культуры, под сенокосы и пастбища. Для этой цели устраивают осушительно-оросительные или оросительные системы. При дождевании вода подается в корнеобитаемый слой сверху, что делает его похожим на естественное увлажнение поч-

вы атмосферными осадками. Дождевание положительно влияет на микроклимат приземного слоя воздуха.

Основное внимание при проведении поливов необходимо уделять правильности выдачи поливной нормы и суточной загрузке дождевальной техники. Отклонение поливной нормы от расчетной может привести к недополиву культур или вызвать переувлажнение и эрозию поверхностного слоя почвы, вымывание удобрений, пестицидов и других химических элементов, привести к загрязнению ими поверхностных водных объектов и грунтовых вод. Режим орошения становится экономически оптимальным, когда при поливах обеспечивают благоприятные условия для развития сельскохозяйственных культур с минимальными затратами для данной конструкции оросительной системы. Экологически обоснованным становится такой режим поливов, при котором не возникает нежелательных последствий [9].

В качестве предварительных предложений по биологически оптимальному режиму дождевания, получившему эколого-технологическое обоснование, можно использовать рекомендации, которые сводятся к следующему:

- при назначении режима дождевания прежде всего следует учитывать, что биологически оптимальной и экологически обоснованной будет поливная норма, не превышающая в среднем за полив половины объема воды, удерживаемой корнеобитаемым слоем почвы при насыщении от нижнего до верхнего оптимального предела;

- при осуществлении дождевания на крупных оросительных системах, включающих большей частью стационарную технику и дождевальные машины (ДМ), работающие по кругу (типа «Фрегат»), норму полива на площади, обслуживаемой одной насосной станцией, следует назначить по минимальной технологически возможной норме полива наиболее крупной модификации ДМ, работающей от данной станции;

- при проведении полива следует соблюдать условие приоритетной очередности дождевания неоднородных (по почвам) сельскохозяйственных угодий – полив следует начинать с наименее влагоемких почв и завершать на почвах с наибольшей водоудерживающей способностью;

- контроль за поливом и оперативное управление орошением следует вести по уровню влажности участка, дождевание которого при текущем поливе будет проводиться в последнюю очередь;

- своевременный полив всей обслуживаемой одной насосной станцией площади возможен только при требуемой (плановой) суточной загрузке дождевальной техники;

- в случае отказа части оросительной системы (напорного трубопровода, дождевальной машины и т. п.) следует немедленно подклю-

чить к работе исправную часть системы, чтобы исключить холостую работу и обеспечить плановую суточную загрузку насосной станции.

Приведенные положения в основном справедливы для всех оросительных систем, однако каждая осушительно-оросительная и оросительная система имеет свои особенности. Поэтому для получения максимально положительного эффекта необходима разработка конкретных рекомендаций для каждого объекта орошения. Эти рекомендации выражаются в виде объектных технологических карт на полив. Карту составляют с учетом биологических особенностей культур, почвенных и метеорологических условий, типа дождевальной техники, ее производительности и сезонной нагрузки. Выполнение поливов в соответствии с технологической картой позволит избежать экологически вредных последствий орошения и получить максимально положительный эффект.

2.6. Эксплуатационные работы на осушительных системах

2.6.1. Правила эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений

Правилами эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений (далее Правила) определяется порядок эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, осуществляемый пользователями мелиоративных систем и организациями по строительству и эксплуатации мелиоративных систем [10].

Для настоящих Правил применяются термины и определения, установленные Водным кодексом Республики Беларусь, Законом Республики Беларусь от 24 июня 1999 года «О питьевом водоснабжении» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 1999 г., № 50, 2/46), Законом Республики Беларусь от 23 июля 2008 года «О мелиорации земель» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г., № 184, 2/1520), Кодексом Республики Беларусь о земле, а также следующие основные термины и их определения:

– мелиоративное состояние земель – система показателей, характеризующих соответствие почвенно-гидрологических условий и состояния почвенного покрова созданию благоприятного водного режима для сельскохозяйственных культур, лесов и иных насаждений требованиям своевременного и качественного проведения сельскохозяйственных работ и лесохозяйственных мероприятий (закустаренность, заочкаренность, каменистость, наличие вымочек, подтопления, за-

топления, глубина грунтовых вод и их минерализация, пестрота почвенного покрова и наличие переуплотненных прослоек, пересеченность рельефа, контурности полей);

- оросительная система – мелиоративная система, предназначенная для орошения определенного земельного участка;

- осушительная система – мелиоративная система, предназначенная для осушения определенного земельного участка;

- осушительно-оросительная система – мелиоративная система, предназначенная для осушения и орошения определенного земельного участка;

- осушительно-увлажнительная система – мелиоративная система, предназначенная для осушения и увлажнения определенного земельного участка.

Эксплуатация (обслуживание) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений – это поддержание их в технически исправном, работоспособном состоянии, обеспечение функционирования в режиме, установленном проектом мелиорации земель, путем оказания услуг по ремонту, устранению мелких повреждений, профилактике разрушений и поддержанию в исправном состоянии (технический уход) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

Порядок организации эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений определяется настоящими Правилами, нормативными правовыми актами, техническими нормативными правовыми актами и проектами мелиорации земель.

Началом эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений является дата утверждения акта приемки их в эксплуатацию с передачей пользователям мелиоративных систем, организациям по строительству и эксплуатации мелиоративных систем следующей технической документации:

- проектной документации по мелиорации земель;
- исполнительных чертежей по всем сооружениям;
- актов приемки скрытых работ;
- актов приемки и пусковых испытаний отдельных сооружений, оборудования и контрольно-измерительной аппаратуры;
- актов приемки мелиоративных систем и сооружений в эксплуатацию;
- генерального плана мелиоративной системы;
- данных испытаний контрольных образцов бетона, арматуры, грунтов;

– ведомости постоянных реперов, актов геодезической разбивки сооружений.

Эксплуатация (обслуживание) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений осуществляется пользователями мелиоративных систем или организациями по строительству и эксплуатации мелиоративных систем на основании договора на оказание услуг по эксплуатации (обслуживанию) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

Оказание услуг по эксплуатации (обслуживанию) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений осуществляется в соответствии с настоящими Правилами, проектами мелиорации земель, сметами и техническими нормативными правовыми актами.

При выборе объектов мелиорации земель для ремонта мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений учитываются:

– материалы инвентаризации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений;

– данные обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, выполнения услуг по техническому обслуживанию;

– соответствие уровней воды в осушительной сети уровням, заданным проектом мелиорации земель;

– наличие подтоплений и неудовлетворительного водного режима осушенных земель;

– результаты ежегодных обследований;

– фактические отметки водоприемников, магистральных, проводящих каналов и регулирующей сети;

– эффективность использования мелиорированных земель.

На мелиоративных системах и отдельно расположенных гидротехнических сооружениях ремонт их отдельных элементов производится в порядке очередности, установленной проектной документацией по мелиорации земель.

Услуги по ремонту (аварийному ремонту) и техническому уходу на мелиоративных системах и отдельно расположенных гидротехнических сооружениях оказываются в целях устранения мелких повреждений и неисправностей, препятствующих выполнению заданных проектом мелиорации земель функций.

При аварийном ремонте мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений выполняются предупредительные и неотложно-восстановительные услуги:

- срочный предупредительный ремонт (повышение надежности функционирования элементов мелиоративной системы) при возникновении опасности аварийных ситуаций;
- срочное восстановление их элементов, разрушенных в результате стихийных явлений или нарушений настоящих Правил.

Периодичность оказания услуг по техническому уходу на мелиоративных системах и отдельно расположенных гидротехнических сооружениях осуществляется согласно прил. 4.

Периодичность оказания услуг по ремонту мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений осуществляется в соответствии с техническими нормативными правовыми актами.

2.6.2. Деформации осушительных систем и сооружений

Деформация элементов осушительных систем происходит под воздействием природных (естественных) и искусственных факторов. К природным относятся физико-химические и биологические процессы, протекающие в почвогрунтах осушаемых территорий и материалах сооружений; климатические и гидрологические (колебания температуры и влажности, действие ветра, льда, паводковых вод, ливней и т. п.); жизнедеятельность различных животных и насекомых. К искусственным факторам относят недостатки изысканий, проектирования, строительства, эксплуатации систем и хозяйственного использования осушаемых почв [9].

Осушительные каналы при деформации изменяют форму и размеры по продольному и поперечному профилям. На протяжении года каналы работают в разных условиях и подвергаются различным естественным деформациям. Весной в конце снеготаяния уровни воды в канале опускаются быстрее, чем грунтовые воды. За счет разницы уровней происходит фильтрация грунтовых вод в канал и создается давление на откос. Грунт в зоне фильтрации приобретает неустойчивое положение и оплывает. Верхние массы грунта проседают, растрескиваются и тоже сползают в канал, отлагаясь на дне в виде перемычек. В летний период откосы и дно зарастают травяной и кустарниковой растительностью. В пересыхающих каналах летом поселяются землеройные животные, образуются муравейники, в результате их жизнедеятельности происходит деформация откосов и дна. На осушительно-увлажнительных системах в летний период проводят мероприятия по увлажнению почвы и открытые каналы работают в условиях увлажнения – высыхания. Опасность оползания откосов возникает при сбросе воды после увлажнения. В целях предотвращения этого повреждения откосов необходимо воду сбрасывать с таким расчетом, чтобы уровни

воды в канале и уровни грунтовых вод опускались одновременно или с минимальным перепадом.

В осенний период в каналах имеется сток избыточных вод и с наступлением низких температур образуется лед. Лед, скрепившийся с откосами и креплениями каналов, при понижении уровней воды разрушает их. Поэтому службе эксплуатации систем при замерзании воды в каналах необходимо проводить скалывание льда на протяжении всего периода до установления постоянного уровня.

Значительно деформируются каналы из-за заилиenia и размыва. Заилиение происходит за счет наносов, приносимых поверхностными водами с прилегающей местности, смытых с откосов каналов, принесенных потоком воды из других мест по руслу этих же каналов.

Наиболее радикальными мерами предупреждения заилиenia каналов и водоприемника осушительной системы являются противоэрозионные мероприятия, проводимые на мелиорированной территории и на склонах прилегающей местности, а также закрепление откосов водотоков для предотвращения смыва, оплывания и обрушения грунта на дно. В местах наибольшего поступления мутных вод с прилегающих склонов целесообразно провести мероприятия по перехвату их и направлению на сброс в мелиоративную сеть через отстойник.

Каналы, проложенные в торфяных грунтах, в дополнение к перечисленным подвергаются еще и специфическим деформациям. Новые каналы и водоприемники в первые 1...3 года усиленно заилиются измелченными при строительстве остатками торфяной массы, которая стекает с откосов под воздействием воды и давления уплотняющегося торфа. Смесь воды и торфа (буза) продвигается по уклону русла и при встрече с препятствием накапливается, создавая подпор для сброса избыточных вод.

При осушении торфяная масса сильно сокращается в объеме. В результате грунт откосов растрескивается, принимает ячеистую структуру и сыпается в канал. Следствием осушения является общая осадка торфяной залежи, в результате которой уменьшается глубина сети, из откосов начинает выступать погребенная древесина, увеличивая шероховатость русла, деформируется продольный и поперечный профили водотока, на контакте с сооружениями образуются щели, изменяется рельеф поверхности мелиорируемой территории.

Осушительные каналы и водоприемники также подвержены деформациям в результате воздействия ряда искусственных причин, возникающих из-за недостатков проектирования, строительства и эксплуатации систем. Так, например, часть повреждений возникает в результате ошибок, допускаемых при проектировании (не всегда учитывают все условия, в которых будут работать каналы). Бывают случаи, когда в необходимых местах не предусматривают водозаборы, водопои, пе-

регоны скота, места для стирки, противопожарные устройства, дороги, переходные мостики и т. п.

От качества строительства открытой сети во многом зависит ее состояние. При отрывке каналов или регулировании русла водоприемника нарушаются проектные размеры поперечного и продольного профилей. Строительные недоборы и переборы по глубине водотоков приводят к искажению продольных профилей, застою воды на отдельных участках.

Часто грунт, вынутый при отрывке каналов, укладывают близко к бровке, и он легко смывается в русло. Грунт кавальеров оказывает дополнительное давление на откосы, в результате чего они могут деформироваться.

При строительстве не всегда укрепляют каналы в местах пересечения ими текучих (слабых) грунтов, а также в местах высокого впадения водопропускных воронок или каналов низшего порядка, что приводит к разрушению каналов.

Большой вред осушительным каналам наносят при неправильной их эксплуатации. Свободная пастьба скота на осушенных землях, перегон его через каналы ведут к разрушению откосов, дна, кавальеров, устьев дрен, креплений. Нередко на тракторах, автомобилях и гужевом транспорте переезжают каналы в произвольных местах, вызывая серьезные деформации. Иногда для организации переезда канал засыпают грунтом, хворостом, соломой и другими предметами, что выводит его из строя. Часто каналы засоряют камнями, убранными с полей, сорняками, послеуборочными отходами, старыми ящиками для овощей и шинami от автомобилей, негодными частями от сельскохозяйственной техники, устраивают запруды для забора воды на поливы, ловли рыбы.

Деформация дренажа происходит под воздействием естественных и искусственных причин. Наиболее распространенный естественный вид деформации – заиливание илистыми и железистыми отложениями. Заиливание зависит от вида грунта, скорости течения воды, качества строительных и эксплуатационных работ. Отложение наносов в трубках происходит неравномерно. Более интенсивно они откладываются во время строительства при высоком уровне стояния грунтовых вод на осушаемом участке и в первое время после строительства. Затем положение стабилизируется. Опытами установлено, что прекращению заиливания гончарных трубок после некоторого периода их эксплуатации способствуют фильтры-сводики вокруг стыков между трубками, которые образуются из более крупных фракций грунта. Быстрее фильтры-сводики образуются на дренах с минимальными щелями в стыках между трубками (не более 1...2 мм). Радикальные меры борьбы с заиливанием – обкладка стыков фильтрующим материалом и обеспечение самоочистки дрен. Самоочистка происходит при скорости движения

воды в трубках 0,30...0,35 м/с и более, что обеспечивается при уклонах дренажной линии 0,008...0,01.

Для предупреждения заилиenia дрен применяют фильтрующий защитный материал. Опытами установлено, что наносы в дрены поступают по всему периметру стыков и, следовательно, защищать фильтрующим материалом необходимо весь стык. В практике строительства это положение не всегда выдерживается. Было также установлено, что на больших стыковых зазорах при засыпке траншеи происходит разрыв рулонных защитных фильтрующих материалов и поступление наносов увеличивается.

Заилиение дрен железистыми соединениями (заохривание) происходит в результате осаждения их из грунтовых вод в результате химических реакций и жизнедеятельности железобактерий. Борьбу с отложениями железистых наносов нужно вести на стадиях проектирования дренажной системы, ее строительства и эксплуатации. Во время эксплуатации осушенных почв, где существует опасность заохривания дрен, необходимо периодически проводить поверхностное известкование с глубоким рыхлением или кротованием почвы. Если не предпринять профилактических мер, то при содержании в грунтовой воде закисного железа более 4 мг/л и скорости воды в дрене менее 0,35 м/с закупорка стыков и заохривание труб наступают через 4...5 лет.

Недостатками строительства, от которых зависит надежность работы дренажа, являются некачественное соединение дрен-осушителей с закрытым коллектором и коллекторов со смотровыми колодцами и устьями. Под первый стык трубок дрены-осушителя не подкладывают прочную опору (гравий, битые трубки, камень), в результате чего под давлением грунта сверху трубка проседает и стыки соединений, как правило, раскрываются (рис. 2.8).

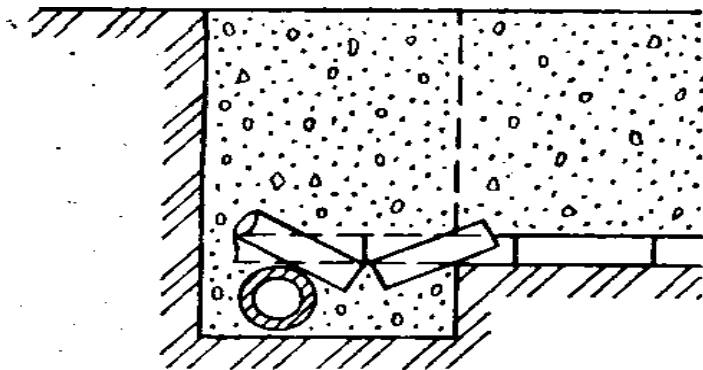


Рис. 2.8. Повреждение сопряжения дрены с коллектором

В месте присоединения коллектора к колодцу часть гончарных труб попадает на рыхлую засыпку. Со временем грунт проседает и стыки труб открываются. Для предотвращения такой деформации на всем промежутке от колодца до прочного (не разрыхленного) грунта траншеи коллектора нужно укладывать асбестоцементную трубу.

При обследовании дренажных систем было установлено, что наиболее распространены следующие недостатки строительства, вызывающие различные дефекты: некачественная укладка дренажных труб; недостаточная защита стыков; не выдержаны проектные уклоны дрен; мелкая укладка дрен, из-за которой не обеспечено достаточное осушение; неприсоединение осушительных дрен к коллекторам и отсутствие отдельных труб на дренажных линиях. При мелкой закладке дренажа трубы разрушаются от промерзания, от прохода тяжелой техники, от выпаживания плугами после частичной сработки поверхности территории. Дренажные системы значительно деформируются в результате осадки торфяной залежи при осушении.

Одним из видов деформации дренажа является закупорка корнями фруктовых и лесных деревьев, кустарников, сорной растительности и корнеплодов. Обычно более интенсивно дренаж начинает зарастать через 10...20 лет после строительства. Корни фруктовых деревьев могут проникать в дренаж при удалении от нее на расстояние 4...5 м и при глубине закладки 1,5...2 м. Корни ивы достигали дренажа при удалении от нее на расстояние до 30 м и при глубине более 2 м. Среди древесных растений имеются такие, корни которых наиболее интенсивно проникают в дренажные трубки. К ним относятся тополь серебристый и обыкновенный, ольха черная, ива. Корни хвоща болотного и щавеля конского проникают в дренажи, заложенные на глубине 1,5...2 м.

Чтобы предупредить закупорку дрен корнями растений, стыки между трубками обсыпают гравием, щебнем, обрабатывают смолой или карболовой кислотой, обвертывают просмоленным толем.

Дренажные системы часто выходят из строя в результате деформации устьев коллекторов. Устья в процессе службы проседают, сдвигаются под воздействием замерзания воды и грунта и отсоединяются от труб коллектора. В образовавшуюся в соединении щель устремляется вода в обход устья, подмывает и разрушает его. Когда устье не закрыто предохранительной сеткой или клапаном, то оно забивается мусором, наносами, животными (лягушки, крысы, ежи и т. п.). Сильно выступающие устья разрушаются льдом, скотом, машинами при уходе за каналами. Для предохранения дренажных устьев от деформаций необходимо их осматривать и вовремя ремонтировать.

Значительное влияние на устойчивость работы дренажа и его деформацию оказывают недостатки в проектировании и эксплуатации осушительных дренажных систем. К группе недостатков проектно-

изыскательских работ относится недооценка регулирования поверхностного стока, особенно при осушении пониженных мест. Иногда не учитывается дополнительное напорное питание, занижается пропускная способность дренажных коллекторов, бывают завышены расстояния между дренажами.

При плохой организации эксплуатации дренажных систем возникает ряд характерных и зачастую серьезных деформаций. Так, при неисправности водоприемника (канала) создается подпор воды и дренажные устья оказываются затопленными (рис. 2.9). В зоне подпора происходит осаждение наносов. Зона заиливания одновременно является зоной замерзания в зимний период. Зона подтопления может распространяться на большие расстояния вверх по уклону дренажной линии. Например, при уклоне коллектора 0,002, диаметре 125 мм и затоплении на 10 см выше устья подпор распространится на 112 м.

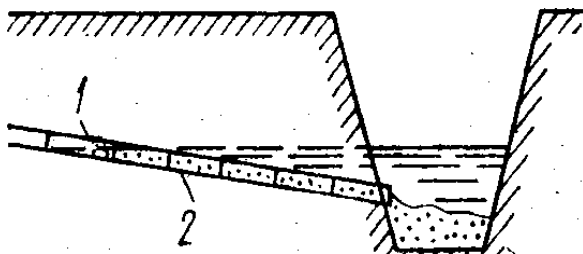


Рис. 2.9. Схема заиливания устьевой части дренажного коллектора:
1 – коллектор; 2 – зона заиливания и замерзания воды

Деформации смотровых и поглопительных колодцев дренажных систем выражаются в разрушении стенок, появлении разрушений в местах входа и выхода дренажных линий, заилинии, захламлении, просадке и т. д. Крышки закрытых (потайных) колодцев могут разрушаться под тяжестью машин. Надземные части колодцев повреждаются сельскохозяйственной техникой. Заилиние колодцев может привести к заилинию выходящих из них дренажных коллекторов. Расстояние между нижней гранью отверстия выходящего коллектора и поверхностью отложений наносов в колодцах не должно быть меньше 10...15 см. Водоотводящая способность выходящих коллекторов значительно понижается из-за закупорки колодца снегом или льдом, если колодцы были оставлены на зиму открытыми.

Земляные защитные дамбы подвержены деформациям, возникающим в результате воздействия травяной и древесно-кустарниковой растительности, землеройных животных, осадки тела дамбы, образования трещин, разрушения откосов и их креплений водой, оползания

низового откоса, фильтрации через тело дамбы, выпучивания грунта в основании низового откоса, организации переездов в неустановленных местах, образования прососов и прорывов дамб.

Землеройные животные проделывают в теле дамбы ходы и образуют пустоты, которые впоследствии могут стать причиной прососа и прорыва. Особенно опасны сквозные ходы поперек тела дамбы. При подъеме уровня воды в верхнем бьефе через такие ходы начинает просачиваться вода, что может привести к прорыву. Необходимо систематически осматривать дамбы, зондировать грунт металлическим щупом, вести борьбу с землеройными животными, не допускать их поселения в земляных сооружениях. Прососы через тело дамбы появляются в местах образования трещин, которые обнаруживают по появлению струек воды или мокрых сочащихся пятен на низовом откосе.

Сплошная осадка дамбы происходит из-за уплотнения грунта в теле сооружения или под ним, местная – из-за образования землероями пустот или выноса грунта.

Откосы и их крепления разрушаются водой в результате волнобоя. Если такое разрушение появляется редко и выражено незначительно, то достаточно ограничиться восстановительным ремонтом. Если разрушения имеют угрожающий характер или часто повторяются и требуют значительных ежегодных затрат, то крепления необходимо усилить.

Оползание низового откоса происходит из-за воздействия напора фильтрационных вод либо неправильного его заложения (размера крутизны). Неустойчивое состояние обнаруживают по внешнему виду откоса, степени влажности грунта и путем зондирования металлическим щупом. При обнаружении оползания откоса дамбы необходимо снять напор воды во избежание прорыва или со стороны мокрого откоса завести под воду пленку на всю площадь выклинивания напорных вод. Затем провести ремонт путем увеличения профиля дамбы или устройства дренажа.

Выпучивание грунта в основании низового откоса свидетельствует о наличии напора фильтрационных вод в грунте под телом дамбы. Обнаруживают это в результате систематического осмотра полосы сопряжения сухого откоса с основанием и зондирования. Выпучивание глинистых грунтов возможно под воздействием замерзания. Такое явление не свидетельствует о подвижности грунта в основании под дамбой. Ремонт на участках выпучивания грунта сводят к устройству дренажа.

Дороги на осушительных системах подразделяются на межхозяйственные, внутрихозяйственные, эксплуатационные и полевые. Плохие дорожные условия затрудняют проезд машин во время весенних и осенних полевых работ, снижают скорость и производительность

транспорта, ведут к повышенному расходу топлива, сокращают срок службы техники.

Гидротехнические сооружения под воздействием естественных и искусственных причин со временем деформируются и разрушаются. Для наблюдений за состоянием отдельных элементов сооружений нужно оснащать их соответствующими знаками и отметками. В качестве таких знаков и отметок служат горизонтальные и вертикальные линии, реперные марки, реперы, закрепленные створы. По этим меткам визуально или с применением прибора (нивелир, теодолит и др.) можно проверить состояние частей сооружения – просадки, сдвиги в плане, отклонения от вертикального положения, нарушения в основании и др.

В период эксплуатации сооружения в его отдельных частях могут появляться трещины. Различают трещины в наружной облицовке, сквозные вертикальные и сквозные горизонтальные. Трещины в облицовке не представляют опасности для сохранности сооружения: их затирают цементным раствором. Сквозные вертикальные трещины свидетельствуют о деформации в основании сооружения и, прежде всего, о неравномерной осадке отдельных его частей.

Деформация устоев и подпорных стенок проявляется в отклонении их от вертикального положения. При небольших деформациях укрепляют основание под устоем или стенкой: забивают сваи или цементируют, а при значительных – проводят капитальный ремонт. Деформации понурной части сооружения (просадка, раскрытие швов, образование трещин) обнаруживают, промеряя глубину воды на понуре и путем обследования.

Искривление фронтальной линии сооружения свидетельствует о неустойчивости его на сдвиг в горизонтальном направлении. Необходимо срочно освободить сооружение от сдвигающей нагрузки, установить причины и провести ремонт по усилению сцепления его с основанием.

На водобойной и водосливной частях появляются такие деформации, как выбоины, ямы, размывы, выпучивание водобойной части, вынос грунта из-под водобойного пола и др.

Деформация рисбермы проявляется в размывах креплений и заносе песчаными наносами. При часто повторяющихся размывах нужно усилить крепление.

По контуру сооружений в результате осадки грунта образуются щели, которые становятся местами просачивания воды и образования промывов. Нередко образовавшаяся по контуру сооружений поверхностная грунтовая корка маскирует произошедшие на глубине просадку и вымыв – опасные очаги деформации. Необходимо периодически

металлическим щупом проверять состояние грунта в местах контакта с сооружением.

Может происходить вымыв грунта из-под сливного пола из-за интенсивной фильтрации под флютбетом. На водобое, у боковых стенок и в других местах появляются фонтанирующие струйки воды. Выход мутной воды указывает на активный процесс размыва. Необходимо срочно установить причину и провести ремонт сооружения.

Металлические и деревянные элементы подвержены коррозии и гниению. Необходимо при осмотре конструкций простукиванием определять состояние сварных и заклепочных соединений, состояние деревянных частей.

На проезжих частях сооружений образуются ямы, происходит истирание бетонной поверхности, разрушаются перила, образуются просадки и ямы при въездах на сооружение. Многие деформации усиливаются из-за недостатков, допущенных при строительстве и эксплуатации сооружений. Несвоевременная подготовка сооружений к пропуску паводка часто приводит к его полному разрушению.

2.6.3. Особенности эксплуатации (обслуживания) осушительных, осушительно-увлажнительных систем

Требование к пользователям мелиоративных систем и организациям по строительству и эксплуатации мелиоративных систем при эксплуатации (обслуживании) осушительной системы – это обеспечение своевременного отвода избыточных поверхностных и грунтовых вод с осушенных земель.

Пользователи мелиоративных систем и организации по строительству и эксплуатации мелиоративных систем по эксплуатации (обслуживанию) осушительно-увлажнительных систем оказывают следующие услуги:

- после спада весеннего половодья и понижения уровня грунтовых вод на мелиорированных землях принимают меры по сохранению влаги в почве;
- обеспечивают задержание части стока путем закрытия затворов подпорных сооружений (мелиоративные системы с предупредительным шлюзованием);
- регулируют водный режим путем закрытия или открытия затворов подпорных сооружений (мелиоративные системы с увлажнительным шлюзованием) в пределах допустимых диапазонов изменения уровней грунтовых вод.

Пользователи мелиоративных систем и организации по строительству и эксплуатации мелиоративных систем для обслуживания осуши-

тельно-увлажнительных систем ведут следующую техническую документацию:

- планы систем с отражением границ пользователей мелиоративных систем, каналов проводящей и регулирующей сети, положения закрытой дренажной сети, сооружений, дорог, линий электропередачи и связи;
- планы систем с отражением границ, участков регулирования водного режима почвы, отдельными подпорными сооружениями;
- ведомости и схемы сооружений, отметки реперов и наблюдательных колодцев, расчетные отметки поверхностей почвы участков регулирования.

Технологические процессы осушения, задержания стока и увлажнения на системах двухстороннего действия обеспечиваются пользователями мелиоративных систем и организациями по строительству и эксплуатации мелиоративных систем путем управления функционированием регулирующих элементов сети.

Наблюдения за уровнями грунтовых вод осуществляют пользователи мелиоративных систем и организации по строительству и эксплуатации мелиоративных систем в местах, оборудованных наблюдательными колодцами, на которых обозначается расчетная отметка поверхности соответствующих участков регулирования.

На польдерных системах двухстороннего действия с машинным водоотводом, в аванкамере (устье магистрального канала) пользователи мелиоративных систем и организации по строительству и эксплуатации мелиоративных систем поддерживают режим откачки.

2.7. Особенности эксплуатации (обслуживания) оросительных систем, осушительно-оросительных систем

Водными объектами для целей орошения сельскохозяйственных культур являются водохранилища, озера, пруды, реки и специально созданные водоналивные водохранилища, подземные воды.

Пользователи мелиоративных систем и организации по строительству и эксплуатации мелиоративных систем по эксплуатации (обслуживанию) оросительных систем оказывают услуги по:

Расконсервации оросительных систем, поливной техники, оборудования и пробному поливу:

- снятию утепления с сетевой арматуры, удалению зимней смазки;
- откачке воды из колодцев (при ее наличии), наполнению трубопроводов водой, проверке работы арматуры;
- испытанию линий трубопроводов на давление, установленное проектом мелиорации земель (пробный полив).

Поливу сельскохозяйственных культур:

- разработке календарных планов и технологических карт полива культур на основе водобалансовых расчетов и гидрологического прогноза;

- уточнению сроков и норм полива в зависимости от складывающейся гидромелиоративной обстановки;

- скашиванию и уборке растительности с откосов и гребня дамб, плотин, откосов и бERM подводящих каналов, вокруг сооружений не менее одного раза за сезон;

- очистке от наносов дна водоподводящих каналов, понуров, отверстий и рисберм водоподпорных и водорегулирующих сооружений, а также аванкамер насосных станций;

- содержанию в чистоте и устранению мелких повреждений зданий насосных станций, подсобных помещений, насосных агрегатов, механизмов, систем сигнализации, автоматики и связи, благоустройству территорий насосных станций;

- ремонту и предохранению от ржавчины арматуры на трубопроводах: задвижек, колодцев, гидрантов;

- организации учета объемов воды на орошение;

- охране оросительных систем и поливной техники.

Консервации оросительных систем на зимний период:

- откачке воды из трубопроводов и колодцев, ремонту или замене гидрантов, вантузов и задвижек, очистке их от ржавчины и покраске;

- смазке деталей поливной техники, утеплению сетевой арматурой (гидранты, вантузы, задвижки или узлы переключения, колодцы);

- закрытию колодцев крышками, гидрантов и вантузов полиэтиленовой пленкой;

- перевозке передвижных насосных станций к месту хранения, очистке от грязи, составлению актов обследования и организации ремонта нуждающихся в этом узлов, спуску воды из насосов и двигателей, покрытие металлических поверхностей антикоррозионной смазкой, покраске в необходимых местах, смазке солидолом резиновых и шарнирных соединений;

- очистке от грязи, нумерации резиновых изделий (дождевальных аппаратов, насадок, заглушек, манжет, клиновидных ремней, прокладок и шлангов) и хранению их в помещениях с плюсовой температурой;

- хранению клиновидных ремней в развернутом виде на вешалке;

- демонтажу, очистке от грязи, укладке для хранения, разборке металлических трубопроводов, упаковке их, предварительно промытых в теплой мыльной воде, в деревянные ящики, хранению на складе с плюсовой температурой резиновых манжет.

Осушительно-оросительная система эксплуатируется (обслуживается) в соответствии с настоящими Правилами при эксплуатации (обслуживании) элементов осушительных и оросительных систем.

2.7.1. Перспективы использования дождевальных оросительных систем и оросительной техники

Наиболее перспективным способом орошения сельскохозяйственных культур в зоне неустойчивого увлажнения является дождевание. На территории Беларуси оросительные дождевальные системы строились для увлажнения осушаемых земель (осушительно-оросительные системы) и для орошения суходолов, используемых под овощные и кормовые культуры. В состав элементов системы входят: насосная станция, напорные трубопроводы с запорно-регулирующей и предохранительной арматурой, колодцы опорожнения и смотровые, дождевальная техника [11].

Напорные трубопроводы бывают из металлических, асбестоцементных, полиэтиленовых труб. Металлические трубопроводы оросительных систем в процессе эксплуатации выходят из строя под воздействием коррозии, механических, температурных и других факторов. При недостаточной изоляции поверхности труб от коррозии срок службы их сокращается до 4...5 лет, а в отдельных случаях этот срок еще меньше. Обследованиями установлено, что 20...25 % трубопроводов выходят из строя из-за коррозии. К другим видам повреждений относятся гидравлические удары, температурные напряжения, к которым особенно чувствительны стальные сварные трубопроводы. В раструбных соединениях температурные напряжения не возникают, так как изменение длины труб компенсируется зазорами (5...9 мм) в стыках.

В чугунных трубопроводах со временем появляются трещины, свищи, каверны и разрывы. Деформации возникают также по причине некачественной чеканки, потери эластичности, при неправильном положении манжеты, в случае, когда не до конца вставлена труба в раструб и т. п. При появлении в трубах свищей размером до 25 мм это место рассверливают, нарезают резьбу и отверстие закрывают болтом с уплотнителем. Ремонт трубопровода с трещиной до 30 мм проводят путем высверливания отверстий диаметром 2...3 мм на концах ее с последующей постановкой резиновой уплотнительной накладки, которую прижимают к трубе стяжными хомутами. При появлении трещин по всей длине трубы ее заменяют новой. Замену проще осуществить стальной трубой. При монтаже стальной вставки выполняют следующие операции: отрывают траншею по всей длине трубы с запасом; чугунную деформированную трубу разбивают на середине; части трубы

извлекают на поверхность земли; две части стальной трубы (с гладким концом и раструбом), которые в сумме короче заменяемой примерно на 1 м, монтируют в разрыв трубопровода; подготавливают недостающую часть (1 м) и монтируют в оставленный промежуток; осуществляют сварку стыков; выполняют заделку концевых стыков по общепринятой технологии.

Частыми деформациями чугунных напорных трубопроводов являются течи в стыках. Ликвидацию неисправности выполняют перечеканкой стыков с замоноличиванием их цементным раствором. В целях ускорения ремонта стыка можно применить стяжные муфты.

При строительстве оросительных систем применяют также асбестоцементные трубы. В их работе появляются такие дефекты, как разрывы, каверны, поломы, неправильное положение муфты на стыке, выпирание уплотнительных колец из муфты при повышении давления, потеря эластичности и сплющивание резиновых колец, перекручивание уплотнительных колец при натягивании и образование винтообразных каналов, попадание колец в зазор между торцами труб и т. п.

Порыв трубопровода определяют по падению давления в системе или по появлению воды на поверхности над поврежденным местом. Для ремонта трубопровод отрывают экскаватором на всем протяжении деформации и неисправную трубу извлекают из траншеи. Готовят вставку из новой аналогичной асбестоцементной трубы. На концах соединяемых труб наносят метки, чтобы центр муфты после монтажа находился посередине стыка. Концы трубы очищают от грязи и смазывают мыльным раствором или графитно-глицериновой пастой (графит порошковый 45...50 %, глицерин 30 %, вода 20...25 %). Затем трубы центрируют и надвигают соединительные муфты до соответствующих меток. После этого делается присыпка мягким грунтом с послойной трамбовкой мощностью до 0,5 м, проводится испытание и полная засыпка траншеи.

На трубопроводах оросительной системы устанавливают различную арматуру, которая периодически нуждается в ремонте. В состав арматуры входят задвижки, вентузы, обратные клапаны, регуляторы давления. Все эти устройства необходимо периодически осматривать, очищать и смазывать, а неисправные элементы заменять на новые.

При эксплуатации закрытых оросительных трубопроводов (систем) можно выделить подготовительный, рабочий и нерабочий периоды. В подготовительный период проводят операции по восстановлению работоспособности сети после зимнего хранения, а также заполнения ее водой. Вначале тщательно осматривают трассы трубопроводов, запорно-регулирующую и предохранительную арматуру, гидранты, колодцы; очищают их от загрязнений и консервационной смазки; определяют места возможных повреждений (по просадкам, провалам) и

проводят ремонт; настраивают работу запорной и защитной арматуры, готовят сеть к заполнению водой.

Заполнение системы водой проводят в дневное время. Для выпуска из трубопроводов скоплений воздуха открывают вентузы, а также гидранты в тупиках и на повышенных участках системы. Равномерное истечение воды из гидрантов свидетельствует об окончании заполнения.

Вначале заполняют главный трубопровод, после чего доводят давление до рабочего и проверяют герметичность задвижек. При выявлении неисправности заполнение прекращают и выполняют ремонт. После заполнения главного трубопровода проводят поочередное заполнение остальных трубопроводов с проверкой герметичности соединений арматуры.

В рабочий период основной задачей эксплуатации сети является проведение поливов в соответствии с планами водопользования, проведение технического обслуживания системы. Наиболее ответственным моментом является правильное отключение и включение в работу дождевальных машин во избежание опасных давлений гидравлического удара. Гашение удара осуществляется противоударными устройствами, а также замедленным открытием и закрытием запорной арматуры.

При техническом обслуживании своевременно выявляют места возможных аварий, обеспечивают бесперебойную работу сети в течение оросительного сезона. В конце сезона проводят промывку трубопроводов, детальное обследование сети под напором, составляют дефектную ведомость.

В нерабочий период выполняют ремонт трубопроводов, покраску открытых частей труб, консервацию с покрытием антикоррозийной смазкой шпинделей задвижек, болтовых соединений и других частей имеющейся арматуры.

Дождевальная техника – это специальные машины и установки, с помощью которых оросительная вода под напором выбрасывается в воздух, дробится на капли, падает на растения и почву в виде дождя. Дождевальные машины представляют собой механизмы, оснащенные средствами для самостоятельного передвижения по орошаемой площади за счет энергии двигателя внутреннего сгорания, электромотора, энергии воды в напорном трубопроводе.

Самоходные дождевальные машины, снабженные насосно-силовым оборудованием для подачи воды и создания нужного напора, называют дождевальными агрегатами.

Дождевальная установка представляет собой дождевальное устройство, состоящее из легких разборных трубопроводов и разбрызгивающих воду приспособлений – насадок или аппаратов. Ее собирают (раз-

бирают) вручную и перемещают на орошаемом участке вручную или при помощи средства механизации.

При дождевании обеспечивается возможность строго регулировать поливную норму, поддерживать более равномерный режим влажности в корнеобитаемом слое почвы. Лучшие условия для увлажнения почвы, сохранения ее структуры и для развития растений создаются, когда размер капель дождя не превышает 1...2 мм, а интенсивность для тяжелых почв – 0,1...0,2 мм/мин, средних – 0,2...0,3 мм/мин, легких почв – 0,5...0,8 мм/мин. При таких условиях вода успевает впитываться в почву без образования луж на ее поверхности и возникновения стока.

В Республике Беларусь и близлежащих регионах получила распространение такая дождевальная техника, как ДМ «Фрегат», ДКШ «Волжанка», ДФ-120 «Днепр», ДДН-100, ДДН-70, КИ-50 «Радуга», ДШ-25/300 и др.

Дождевательные аппараты, установки и машины нуждаются в правильном техническом обслуживании и хранении. В основе эксплуатации техники лежит разработанная и апробированная система планово-предупредительного обслуживания и ремонта.

При эксплуатации дождевательной техники следует учитывать такую специфическую особенность, как работа в условиях повышенной влажности воздуха. Необходимо принимать действенные меры по предотвращению коррозии металлических узлов и элементов конструкций, защите деталей из резины от окисления и солнечной радиации.

Характерной особенностью эксплуатации дождевательной техники также является необходимость круглосуточного ее использования на протяжении всего оросительного сезона. Это существенно осложняет обслуживание и обуславливает повышенные требования к ее эксплуатационной надежности. Организуя поливы, необходимо знать, что качество дождевания зависит от скорости ветра. Так, для дальнеструйных дождевательных машин допустимая скорость ветра составляет 2...3 м/с, среднеструйных – 3...5, короткоструйных – 5...7 м/с.

Сравнительно малая мобильность дождевательной техники (особенно широкозахватных машин) из-за больших габаритов, значительная трудоемкость монтажных и демонтажных работ предопределили специфику хранения их непосредственно в поле.

При эксплуатации поливной техники следует руководствоваться общими правилами техники безопасности. При работе с двигателями внутреннего сгорания не допускается разжигание огня. Задвижку на гидрантах напорных трубопроводов и дождевательных машин нужно закрывать и открывать медленно во избежание гидравлических ударов. При монтаже, ремонте и демонтаже дождевательных машин («Фрегат»,

«Волжанка», «Днепр», ДДА-100 М) нельзя работать под фермой и около опор, временно поставленных на домкраты, кирпичи, бревна. Во время движения машины цепные трансмиссии и вращающиеся детали должны быть закрыты кожухом. При ночной работе объекты управления и дождевальная машина должны быть освещены. Не допускается работа поливальщика и монтажника без специнвентаря (плаща с капюшоном или накидки, резиновых сапог, шлема и куртки). При скорости ветра более 10 м/с полив следует прекратить, дождевальную машину дополнительно закрепить на месте. Оператор-машинист не должен находиться впереди движущейся машины, особенно в ночное время. Нельзя проводить дождевание в зоне, где возможно попадание дождя на линию электропередач. Для работы с электрооборудованием дождевальной машины, например «Днепр», оператор или ремонтный рабочий должен иметь соответствующий допуск, необходимое оборудование и специнвентарь, включая резиновые перчатки. Нельзя переключать реверс хода машины при рабочем движении двигателя. К обслуживанию дождевальной машины работник не допускается без тщательного изучения ее технического паспорта, инструкции по эксплуатации и правил техники безопасности.

Каждый вид дождевальной техники из-за разнообразия конструкций и рабочих параметров, а также условий применимости требует специфических правил эксплуатации и хранения.

Анализ многолетнего ряда наблюдений за метеофакторами на рубеже столетий, выполненный в Республике Беларусь по 42-м метеостанциям, выявил устойчивую тенденцию к росту дефицита водопотребления овощных культур и многолетних трав. Например, для овощных культур этот дефицит за последние три десятилетия увеличился на 280–300 м³/га. В вегетационный период атмосферные осадки распределяются крайне неравномерно, поэтому высокий и устойчивый уровень производства сельскохозяйственной продукции, особенно таких влаголюбивых культур, как овощи и корма, может быть обеспечен только на основе развития орошения. В последнее время в Беларуси от засух особенно страдают посевы в Брестской и Гомельской областях. Потери урожая овощных культур от недостатка естественной влагообеспеченности в среднемноголетнем разрезе по южному региону составляют порядка 100–175 ц/га. В засушливые годы потери урожая могут достигать 60–65 %, то есть при средней урожайности овощных культур 400 ц/га, потери могут превышать 250 ц/га. Традиционный способ повышения влагообеспеченности растений в Беларуси – дождевание. Орошение сельскохозяйственных культур дождеванием – дело для нашей республики не новое. Например, в 1991 году в Беларуси насчитывалось порядка 145 тыс. га орошаемых земель. В вопросах орошения был накоплен значительный научный и практический опыт.

Однако, в связи с завершением амортизации большинства оросительного оборудования и резким подорожанием энергоресурсов в конце XX – начале XXI века из эксплуатации было выведено более 100 тыс. га оросительных систем. Редкие хозяйства сохранили в действии дождевальные машины. Вместе с тем понимание последствий роста засушливости климата постепенно возвращает интерес к орошению. В последние годы в Беларуси осуществлено обновление и модернизация материально-технической базы многих овощеводческих хозяйств. Идет реконструкция и новое строительство оросительных систем открытого грунта в ряде ведущих овощеводческих хозяйств. При реконструкции и восстановлении систем производят замену подземных трубопроводов, устройство аккумулирующих водоемов (а при их наличии на ранее построенных системах – ремонт, который может заключаться в углублении водоема, замене пленочного экрана), устройство артезианских скважин, водовыпусков, водозаборов, при необходимости устройство каналов, установку нового оборудования. В качестве дождевальной техники используются как широкозахватные машины, так и получившие большую популярность мобильные барабанно-шланговые дождевальные машины. В настоящее время в Беларуси на ОАО «Гомельский радиозавод» налажен выпуск отечественной дождевальной техники. Производят широкозахватные дождевальные машины МДК с длиной машин от 360 до 480 м и передвижные барабанно-шланговые дождевальные машины ПДМ с рабочей шириной захвата от 350 до 700 м. Прототипом дождевальной машины кругового действия МДК является американская машина «Reineke». МДК представляет собой составной трубопровод длиной несколько сотен метров, поднятый над землей на 2,5–3 м, что позволяет проезжать под ним сельскохозяйственной технике. Специальные дождеватели (спринклеры) свисают к земле на гибких шлангах по всей длине трубопровода (рис. 2.10).

Трубопровод закреплен на нескольких самоходных колесных тележках, приводимых в движение электродвигателями. Один конец трубопровода закреплен на неподвижной центральной опоре. При подаче на центральную опору электроэнергии и воды машина движется вокруг центральной опоры и поливает по кругу площадь, радиусом равным длине машины, обеспечивая при этом высокую равномерность орошения. ОАО «Гомельский радиозавод» выпускает также передвижные барабанно-шланговые дождевальные машины и комплекты водоводов, предназначенные для подачи воды от водоисточника к дождевальным машинам. Конструкция белорусских барабанно-шланговых машин нескольких типоразмеров разработана по аналогу немецкой дождевальной машины «MONSUN». Барабанно-шланговая дождевальная машина состоит из тележки с дождевальным аппаратом

(дождевателем), соединенным через полиэтиленовый шланг с барабаном.



Рис. 2.10. Широкозахватная дождевальная машина в работе
в хозяйстве Гомельской области

Вода подается от насосной установки по напорному водоводу к барабану дождевальной машины и далее в наматываемый на барабан поливной трубопровод и подсоединенный к нему дождеватель (разбрызгиватель). При подаче воды в полиэтиленовый шланг, наматываемый на барабан, подсоединенная к нему тележка с дождевателем подтягивается к барабану, перемещаясь по полю и производя полив (рис. 2.11). Орошение шланговыми дождевальными машинами выполняется полосами.



Рис. 2.11. Передвижная барабанно-шланговая дождевальная машина в работе

За один проход тележка поливает участок поля, по длине равный метражу поливного полиэтиленового шланга, а по ширине – рабочему захвату дождевателя. После завершения прохода по одной полосе дождевальную машину перемещают с помощью трактора на следующую позицию. Агрегатируются передвижные шланговые дождевальные машины с тракторами класса не ниже, чем 1,4 (МТЗ 80/82). Капитальные затраты в 1 га оросительных систем на базе шланговых дождевальных машин составляют около 2400 долл. США. В оросительные системы на базе широкозахватных дождевальных машин инвестиции составляют примерно 2000–3200 долл. США, снижаясь при увеличении орошаемой площади. В условиях Беларуси эффективным является орошение овощей, картофеля, ягодных культур и садов, т. е. культур, которые за счет полива имеют значительный прирост урожайности и повышение коммерческого качества продукции. Однако, орошение – мероприятие достаточно затратное, поэтому применять его рекомендуется прежде в агропредприятиях, достигших достаточного опыта в применении интенсивных агротехнологий и освоении рынка сбыта выращенной сельхозпродукции. В табл. 2.2 дана укрупненная оценка экономической эффективности орошения овощей в Беларуси.

Таблица 2.2. Оценка экономической эффективности орошения овощных культур в условиях Беларуси (в ценах октября 2018 г.)

Гидролого-климатическая зона Беларуси	Среднего-летняя прибавка урожая от орошения, ц/га	Годовой доход от прибавки урожая на орошаемой площади, у. е/га	Эксплуатационные на поливы, доработку, транспортировку и хранение дополнительной продукции, у. е/га	Годовая прибыль от орошения, у. е/га
Северная	100	1500	163	1337
Центральная	125	1875	209	1666
Южная	140	2100	235	1865

Как видим, применять орошение при выращивании овощной продукции в Беларуси достаточно выгодно. Капитальные затраты на строительство оросительных систем для овощных севооборотов имеют высокий шанс окупиться в первые два года эксплуатации. Конечно, для гарантированного получения прибыли в указанных размерах требуется грамотное обслуживание оросительного оборудования, строгое соблюдение технологической дисциплины при орошении, а также гарантированный сбыт произведенной продукции.

По причине наблюдающейся тенденции повышения засушливости климата в Республике Беларусь возрастает актуальность орошения при возделывании овощных культур. Применение орошения обеспечивает

прибавку урожая в среднем на 20–40 % и при существующих ценах на овощную продукцию является весьма выгодным мероприятием.

В Республике Беларусь налажено серийное производство широкозахватных и мобильных барабанно-шланговых дождевальных машин. Барабанно-шланговые машины перспективно применять на небольших площадях с овощными культурами в овоще кормовых севооборотах (25–40 га), а также в фермерских хозяйствах. Для орошения крупных массивов овощных культур наиболее перспективными по причине более низких затрат труда при поливе являются широкозахватные дождевальные машины. Для гарантированного получения прибыли в орошаемом земледелии требуются высокий уровень агротехники, грамотное обслуживание оросительного оборудования, строгое соблюдение технологической дисциплины при орошении, а также обеспечение гарантированного сбыта потребителям произведенной сельскохозяйственными предприятиями растениеводческой продукции.

2.7.2. Оценка эксплуатационной надежности современной дождевальной техники

Наметившаяся в последние два десятилетия тенденция засушливости теплых периодов и крайне неравномерное выпадение и распределение осадков приводят к объективной необходимости восполнения дефицита почвенной влаги практически для всех сельскохозяйственных культур, которые возделываются на автоморфных почвах различного механического состава. Основным мелиоративным мероприятием, восполняющим в течение вегетационного периода недостаток влаги для сельскохозяйственных культур, является орошение дождеванием. Во многих странах возрастает спрос на применение орошения для интенсификации производства различной растениеводческой продукции. С учетом актуальности этой проблемы в Республике Беларусь освоено серийное производство шланговых дождевальных машин УД–2500, которых выпущено более 60 экземпляров. Кроме того, некоторые хозяйства республики закупают импортную дождевальную технику. Вместе с тем до настоящего времени не выполнена оценка эксплуатационных характеристик современной дождевальной техники, ее применимости и надежности в условиях республики, что в определенной мере снижает обоснованность, а в конечном счете и экономическую эффективность орошения [12].

Данное обстоятельство и определило цель научного исследования - изучение эксплуатационных характеристик и надежности работы современной дождевальной техники, установленной на учебно-оросительном комплексе «Гушково-1».

Результаты многочисленных научных и производственных исследований убедительно свидетельствуют о том, что орошение однолетних и многолетних трав, бобово-злаковых травосмесей, овощных и некоторых других сельскохозяйственных культур необходимо и экономически оправдано.

Вместе с тем ситуация, сложившаяся в области использования и развития оросительных систем в республике, не соответствует современным запросам участников сельскохозяйственного производства, на 1 января 2010 г. оросительные системы на площади 8,3 тыс. гектаров находятся в работоспособном состоянии, на площади 7,6 тыс. гектаров – нуждаются в реконструкции и восстановлении. Поскольку поливная техника и сооружения оросительных систем материалоемкие и дорогостоящие, восстанавливать и реконструировать их предлагается только в тех сельскохозяйственных организациях, где применение орошения не прерывалось в последние годы. Используемые ранее классификационные схемы технологии дождевания, дождевальная техника и ее технические характеристики подробно освещены в справочнике. Типовые нормы выработки и обслуживания на полив сельскохозяйственных культур, сенокосов и пастбищ дождевальными машинами и установками «Фрегат», «Волжанка», «Днепр», «Радуга», «Сигма», ДДА-100МА, ДДН-100, ДДН-70 также были разработаны ранее. На основе этих норм и с учетом особенностей дождевания в Беларуси специалистами БелНИИМиВХ были разработаны технологические карты на полив дождевальными машинами и установками, с использованием которых во многих хозяйствах республики, и прежде всего в хозяйствах овощемолочной специализации, успешно осуществлялось орошение трав и овощных культур. Оросительные системы в Республике Беларусь были построены в основном в 1980–1990 гг. Поскольку срок службы поливной техники ограничен, то за последние пять лет площадь орошаемых земель сократилась более чем в два раза. На значительной площади орошаемых земель поливная техника снята с учета по причинам износа и истечения срока амортизации поливного и насосно-силового оборудования, которое производится за пределами Республики Беларусь.

Поскольку развитие орошаемого земледелия в республике не регулируется, то сельхозпроизводители, заинтересованные в применении данного фактора интенсификации производства овощной и другой растениеводческой продукции, стали самостоятельно закупать и применять оросительную технику в основном немецкого и австрийского производства.

Вместе с тем до настоящего времени практический интерес к орошению сельскохозяйственных культур не подкреплён научно обоснованными рекомендациями по выбору техники для дождевания. Учитыв-

вая это, в рамках реализации Постановления бюро Президиума НАН РБ от 11 ноября 2009 г. № 615 для решения актуальных производственных проблем, связанных с орошением сельскохозяйственных культур, на учебно-оросительном комплексе «Тушково-1» Горьковского района изучалось применение современной дождевальной техники.

В процессе исследования применялись методы: абстрактно-логический, анализа и синтеза, аналитический, оценки надежности машин и механизмов и другие. В основу научного поиска положены разработки отечественных и зарубежных ученых, опыт применения дождевальной техники, нормативная и справочная литература.

На опытном оросительном комплексе «Тушково-1» в настоящее время применяются:

- дождевальные машины барабанного типа (шланговые дождеватели) JRRILAND «Raptor» (Италия) и Bauer «Rainstar» T-61 (Австрия);
- дождевальные фронтальные машины Lindsay Greenfield (Mini-Pivot) (США), Lindsay-Eurone Omega S-1/2 05OM SIO «Zimmatik» (Франция), ДМУ-А-140-18 «Фрегат» (Россия).

Наличие на оросительном комплексе «Тушково-1» указанных типов дождевальных машин позволяет в натурных условиях исследовать их надежность, технические и эксплуатационные характеристики, накопить информацию о работе и ремонтпригодности техники и выполнять сравнительные наблюдения за ее техническим состоянием.

При выполнении исследований использовались стандартные методы изучения эксплуатационных характеристик технических устройств. По каждой дождевальной машине установлено общее число сборочных единиц, предназначенное для монтажа и демонтажа при расконсервации и консервации. Определены габариты сборочных единиц и установлены требуемые площади и условия хранения после демонтажа.

Возможные отказы техники в процессе ее эксплуатации фиксировались в специальном журнале с указанием сборочной единицы, дефектной детали, материала ее изготовления, вариантов ее замены на исправную, затрат времени на устранение неисправности, стоимости ремонта, а также выявленные или вероятные причины возникновения неисправности. При установлении ремонтпригодности дождевальной техники изучалось наличие запасных частей и затраты на их доставку или изготовление в условиях республики, продолжительность устранения неисправности, вероятность повторения причин, вызвавших поломку. Оценка затрат энергии на выполнение 1 га полива выполнялась с учетом требуемого напора и расхода воды, ограничений по ее качеству и мощности насосно-силового оборудования.

В течение апреля проводилась работа по расконсервации дождевальных машин, установке дождевальных аппаратов и насадок, проверке отдельных узлов. В течение мая одновременно с проведением

полевых работ продолжилась работа по полной комплектации машин, устранению отдельных мелких незначительных поломок, опробованию в действии отдельных узлов, выполнению комплекса работ по насосной станции, водозабору и проведению первых пробных полньюо

В

вается система управления. Подключаются все энергонесущие кабели, проводка. Крепятся электродвигатели (10 шт.) на опорных тележках и на центральной опоре и подключаются к электросистеме машины. Подсоединяются карданные валы с установкой мягких вставок. На центральной опоре выполняются работы по центрированию электродвигателей с редукторами ведущих колес в количестве 4 штук. При подготовке машины к работе на консольной трубе устанавливается концевой дождеватель и сливной клапан. По всей длине дождевальной машины устанавливаются дождеватели в количестве 93 штук. Проверяется правильность подсоединения электрических двигателей и всей электросистемы. Запускается дизель-генератор и производится пробный пуск машины в движении по фронту вперед и назад и по кругу. При этом в процессе эксплуатации особое внимание нужно обращать на мягкие вставки в карданных передачах. Поскольку они изготовлены из синтетических материалов, то в процессе работы могут расслаиваться и разрушаться. Из-за этого происходит разрушение их металлических крестовин. Часто это возникает неожиданно, так как перед запуском машины все соединения проверяются. Концевой дождеватель очень часто забивается механическими взвесями, подаваемыми насосной станцией с водой. Это приводит к необходимости установки фильтра на напорный трубопровод после насосной станции. При постановке на хранение машина устанавливается в зоне охраны. Производится демонтаж дождевателей (93 шт.) и концевого дождевателя. Снимается сливной клапан с консольной трубы. Демонтируются электродвигатели в количестве 10 штук, а также карданные валы с мягкими вставками (16 шт.). При помощи автокрана демонтируется дизель-генератор. Снимается система управления.

При подготовке к поливному сезону дождевальной машины «Mini-Pivot» от гидранта оросительной сети к центральной опоре подсоединяется водоподающий рукав. Устанавливается дизель-генератор и система управления. По всему трубопроводу укладывается электрокабель. Крепятся три электродвигателя на опорных тележках с установкой карданных валов и мягких вставок. На консольный трубопровод устанавливается концевой дождеватель. Крепятся 16 дождевателей, запускается дизель-генератор. Делается пробный пуск машины и наблюдается движение вперед, назад и по кругу. При эксплуатации машины необходимо вести постоянный контроль за гибкой вставкой, которая разрушается из-за расслоения и выкрашивания. Также наблюдается расслаивание под соединительным шлангом. При консервации машины три тележки устанавливаются на деревянные стеллажи, демонтируются навесные дождеватели в количестве 16 штук и концевой дождеватель. Снимаются электродвигатели в количестве 3 штук и 6 карданных соединений с мягкими вставками. Отсоединяется от гид-

ранта под соединительный шланг. Снимаются системы управления машиной и дистанционного управления. Затем снимаются электрический кабель и дизель-генератор.

Основные характеристики эксплуатируемой УОК «Тушково-1» дождевальной техники приводятся в табл. 2.3. Основные характеристики дождевальной техники, установленной на учебно-оросительном комплексе «Тушково-1».

Таблица 2.3. Общие характеристики дождевальной техники

Дождевальное устройство	Расход, л/с	Напор, м	Длина, м	Площадь орошения, га	Число тележек	Число дождей	Страна
Mini-Pivot	6,9	27	102	4,8	33	16	США
Zimmatik	19,2	40	295	40–50	6	93	Франция
Bauer	5–15	40	350	30–40	–	1	Австрия
IRRILAND	7–11	40	350	30–40	–	20	Италия
Фрегат	18	40	140	8,5	5	21	Россия

В 2010 г. основной целью исследований являлось изучение эксплуатационных характеристик дождевальных машин, указанных в табл. 2.3. Для достижения этой цели контролировались следующие показатели:

- сборочные единицы и трудозатраты при расконсервации и приведении дождевальных машин в работоспособное состояние к началу оросительного периода, а также при консервации техники и подготовке к зимнему хранению;
- отказы техники, полученные в процессе ее эксплуатации;
- ремонтпригодность дождевальных машин.

В течение апреля 2010 г. непосредственные исполнители работ (3 специалиста) были ознакомлены со стандартной методикой проведения исследований, порядком заполнения разработанных форм и таблиц. При расконсервации дождевальных машин, установке дождевальных аппаратов и насадок и проверке отдельных узлов использовались действующие инструкции операторов дождевальных машин.

В течение мая 2010 г., одновременно с проведением полевых работ, продолжилась работа по полной комплектации машин, устранению отдельных поломок, апробированию в действии отдельных узлов, выполнению комплекса работ по насосной станции, водозабору и проведению пробных поливов. Орошение опытных полей и участков проводилось в период с 1 по 21 июля 2010 г. дождевальными машинами «Zimmatik», IRRILAND «Raptor» и Bauer «Rainstar» T-61.

Расконсервация любой дождевальной техники требует от эксплуатационного персонала хороших знаний и практической подготовки, качественного выполнения технических инструкций и технологических регламентов.

Наиболее сложных и трудоемких работ требует консервация (расконсервация) широкозахватных дождевальных машин «Zimmatik» и «Mini-Pivot».

Несколько менее сложные, но также достаточно трудоемкие работы выполняются при консервации (расконсервации) широкозахватной дождевальной машины «Фрегат». Наименее трудоемких действий требует подготовка к поливу после зимнего хранения шланговых дождевальных машин Bauer «Rainstar» и JRRILAND «Raptor». Однако для зимнего хранения шланговых дождевальных машин требуются складские помещения, соответствующие их габаритам.

Отказы наблюдались у всех широкозахватных дождевальных машин («Zimmatik», «Mini-Pivot», «Фрегат»), но наибольшего времени для восстановления потребовали дождевальные машины кругового действия «Фрегат» и «Mini-Pivot», несколько меньше – дождевальная машина «Zimmatik».

Дождевальная машина «Zimmatik» дополнительно нуждается в тщательном устройстве копирной траншеи. У данной машины наблюдается также быстрое засорение микродождевателей, вследствие чего происходит ухудшение структуры искусственного дождя. Для восстановления требуемого качества дождя требуется прекратить полив и провести очистку микродождевателей.

При проведении полива широкозахватными дождевальными машинами требуется затрачивать время и энергию на холостые перемещения широкозахватных дождевальных машин («Mini-Pivot», «Zimmatik», «Фрегат»), создающих помехи при проведении сельскохозяйственных работ. Шланговые дождевальные машины (Bauer «Rainstar», JRRILAND «Raptor») не имеют указанного недостатка.

Изучаемые дождевальные машины учебного оросительного комплекса «Тушково-1» ведут полив под действием напора воды, создаваемого в оросительной сети насосной станцией. Минимальный напор (2,7 МПа) и, соответственно, меньше энергии требуется для работы дождевальной машины кругового действия «Mini-Pivot». Однако данная машина для перемещения по орошаемой площади использует энергию, вырабатываемую дизель-генератором, и на одной позиции обслуживает небольшую площадь (4,8 га). Другая дождевальная техника для работы требует больше энергии, а соответственно и большего напора (в 1,5 раза, т. е. 4 МПа), но обслуживает в течение сезона площадь также больше (например, у «Фрегат» кругового действия пло-

щадь, обслуживаемая на одной позиции, составляет 8,5 га, т. е. в 1,77 раза больше, чем у «Mini-Pivot».

Наибольшую площадь обслуживания имеют дождевальные машины Bauer «Rainstar», JRRILAND «Raptor» и «Zimmatik». Вместе с тем у машины «Zimmatik» наблюдается в течение работы больше отказов, она требует больших затрат времени на консервацию и расконсервацию. Кроме того, следует учесть, что дождевальная машина «Zimmatik» для перемещения по орошаемой площади также использует энергию, вырабатываемую входящим в комплектацию дизель-генератором.

Широкозахватные дождеральные машины «Zimmatik», «Mini-Pivot», «Фрегат» и подобные им по принципу действия требуют для проведения полива устройства стационарной напорной сети, что значительно увеличивает стоимость оросительной системы. Шланговые дождеральные машины Bauer «Rainstar», JRRILAND «Raptor» и т. п. могут работать как со стационарными и передвижными насосными станциями, так и с приводом от вала отбора мощности сельскохозяйственного трактора, что значительно упрощает их применение для полива с ежегодным изменением расположения на месте.

Таким образом, проведенные исследования показали, что барабанно-шланговые дождеральные машины менее подвержены отказам и поломкам при расконсервации и монтаже съемного оборудования к началу оросительного периода, при выполнении орошения сельскохозяйственных культур, а также при консервации техники и ее постановке на зимнее хранение.

2.8. Особенности эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, расположенных на загрязненных радионуклидами землях

Отношения, возникающие при проведении мелиоративных мероприятий на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, регулируются законами Республики Беларусь от 23 июля 2008 года «О мелиорации земель» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г., № 184, 2/1520) и от 26 мая 2012 года «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2012 г., № 63, 2/1937), законодательством о радиационной безопасности и настоящими Правилами.

Пользователи мелиоративных систем, организации по строительству и эксплуатации мелиоративных систем, имеющие в зоне своей деятельности загрязненные радионуклидами земли:

- оказывают услуги согласно плану внутрихозяйственного землеустройства пользователей мелиоративных систем, организаций по строительству и эксплуатации мелиоративных систем с данными об уровнях радиоактивного загрязнения почв;

- обеспечивают минимизацию перехода радионуклидов в продукцию растениеводства и лесного хозяйства до допустимых уровней;

- обеспечивают оптимальные уровни грунтовых вод (0,6–0,8 метра) в многолетних злаковых травах на мелко залежных торфяниках;

- обеспечивают контроль за созданием благоприятного водного режима по данным измерений уровней воды в каналах и на полях;

- обеспечивают регулирование уровня грунтовых вод на основании разработок проектов мелиорации земель.

Пользователи мелиоративных систем и организации по строительству и эксплуатации мелиоративных систем в зависимости от уровня загрязнения земель, расположенных на мелиоративных системах, оказывают следующие услуги:

- при плотности загрязнения ^{137}Cs до 40 Ки/км^2 (1480 кБк/м^2), ^{90}Sr до 3 Ки/км^2 (111 кБк/м^2) производят:

- откашивание берм и откосов каналов 2 раза за сезон, в июне – сентябре;

- очистку каналов от наносов и ила механизированным способом при минимальных уровнях воды в каналах;

- управление уровнями воды в каналах путем маневрирования затворами подпорных сооружений;

- при плотности загрязнения мелиорированных земель ^{137}Cs более 40 Ки/км^2 (1480 кБк/м^2) или ^{90}Sr более 3 Ки/км^2 (111 кБк/м^2) для каждого объекта мелиорации земель разрабатывают индивидуальную технологию и схему оказания услуг.

Для предотвращения выноса радионуклидов за пределы объекта мелиорации земель и поступления на объект мелиорации земель с прилегающей территории устраиваются отстойники на каналах, оградительные сети, дамбы, валики, крепление воронок и торцов каналов, залужение откосов каналов и прибрежных полос.

2.9. Анализ экологических опасностей создания и функционирования мелиоративных систем

Важным моментом при проектировании и строительстве мелиоративных систем нового поколения становится выявление потенциальных экологических опасностей с целью обоснования необходимых эко

мелиоративных мероприятий, являющихся неотъемлемой частью мелиоративного проекта.

Отличительной особенностью воздействия гидромелиоративных систем (ГМС) на окружающую природную среду является практически полный охват всех компонентов ландшафта, включая социумы. Изменению подвергаются факторы, формирующие потоки вещества и энергии, так как именно потоки (преимущественно водный компонент) являются связующим звеном между компонентами ландшафта, биологическим и геологическим кругооборотах веществ. Изменения состояния компонентов ландшафтов происходят постоянно и непрерывно, начиная с момента (периода) начала строительства ГМС до ее ликвидации и в пост мелиоративный период. Характер и степень изменений компонентов ландшафтов обусловлены и связаны с определенными этапами жизнедеятельности ГМС, которые включают этапы:

- проектирования (нулевой);
- строительства и ввода в эксплуатацию;
- функционирования в проектном режиме эксплуатации;
- реконструкции (может повторяться);
- эксплуатации реконструированной ГМС (может повторяться);
- этап ликвидации ГМС и возможной рекультивации (реставрации) земель.

Этап проектирования является важнейшим для будущей ГМС. Но с позиций жизнедеятельности, пока ГМС живет только в «умах» специалистов и на различных носителях информации, ее влияние на изменение состояния компонентов природной среды нулевое или чрезвычайно малое и им можно пренебречь. Влияние оказывают только результаты изыскательских работ (скважины, шурфы, различные опытные полигоны и площадки).

Строительство и ввод в эксплуатацию ГМС является точкой отсчета изменения состояния природной и социальной среды под влиянием мелиоративной деятельности. Направленность, интенсивность и уровень изменения характеристик ландшафтов, происходящих на данном этапе, зависит от конструкции ГМС. По текущему состоянию ландшафтов на момент строительства выделяется два типа начальных условий:

- строительство мелиоративной системы осуществляется на залежных или целинных землях;
- строительство мелиоративной системы осуществляется на землях существующего земледелия, т. е. в пределах функционирующих агроландшафтов.

Для первого типа условий характерно, что в период строительства ГМС и вода их в эксплуатацию в наибольшей степени происходит перестройка естественных ландшафтных комплексов и сбалансирован-

ных природных процессов в антропогенные, то есть происходит «коренное» их преобразование. В результате строительства ГМС и реализации агротехнологий на мелиорируемых землях создается новая организация территории, происходит переформирование мезо- и микро-рельефа, создание искусственных форм рельефа (каналы, внутрисистемные водохранилища, насыпи, выемки и др.), нарезка полей, планировка, распашка земель, приводящая часто к практически полной трансформации микрорельефа. Воздействие только этого этапа обуславливает переход ландшафтов из естественных или слабоизмененных в класс антропогенных. Из экологических факторов наибольшему изменению подвергается биологическая компонента ландшафтов.

Для второго типа начальных условий строительство ГМС осуществляется на существующих агроландшафтах (землях богарного земледелия). При этом трансформация природных и агроприродных процессов происходит с меньшей интенсивностью и более плавно. Трансформации подвергается водный фактор (водопоступление – водоотведение), что сопровождается значительным изменением большого числа природных и природно-мелиоративных процессов (поверхностный сток, аккумуляция и впитывание воды, водный режим почвы, физико-химические процессы в почве, влаго- и солеперенос в зоне аэрации, режим грунтовых вод, подземный сток и др.). Весьма важной особенностью этапа строительства ГМС является его непродолжительность, а тип изменчивости воздействующих факторов носит скачкообразный характер.

Вторым этапом жизнедеятельности ГМС является период ее функционирования в проектном режиме (период эксплуатации). Данный этап характеризуется длительностью действия и постоянством влияния антропогенных факторов на ландшафтообразующие процессы. Характер и интенсивность изменений экологических условий ландшафтов определяется как в целом принятой системой земледелия, так и конструктивными особенностями мелиоративных систем. При этом если в целом система земледелия формирует общую антропогенную нагрузку на ландшафты, то конструктивные особенности систем определяют величину и характер мелиоративных воздействий на отдельные ландшафтообразующие факторы или компоненты ландшафта.

Для выполнения анализа воздействия ГМС на природные условия или взаимодействия ГМС и природной среды, а также масштабы изменений природно-мелиоративных процессов, используются следующие иерархические уровни: сублокальный; локальный; региональный и бассейновый (Л. В. Кирейчева, В. М. Яшин, 2010; В. М. Яшин, 2011).

На сублокальном уровне следует рассматривать процессы в системе «растение-почва – породы зона аэрации – грунтовые воды». В тер-

риториальном плане это сравнительно однородное поле, элементарный почвенный ареал или точка. На этом уровне предполагается однотипность почв и однородность условий на верхней и нижней границах почвенногрунтовой толщи. Именно на этом уровне происходит изменение почвообразовательных процессов, факторов почвенного плодородия, инженерно-геологических свойств грунтов, режима грунтовых вод и др.

На локальном уровне процессы рассматриваются в пределах геоморфологических структур одного порядка. Формирование природно-мелиоративных процессов происходит под воздействием ГМС или их частей. Основными воздействующими факторами являются орошение, осушение, каналы, дренаж и специальные мелиоративные мероприятия, биоценозы. При анализе процессов необходимо учитывать латеральные потоки.

На региональном уровне процессы следует рассматривать в пределах гидрогеологических структур. Анализируется взаимодействие отдельных ГМС, их взаимовлияние и влияние на природные условия региона.

Бассейновый уровень предполагает анализ изменений природных процессов под влиянием всех ГМС, расположенных в пределах бассейнов рек.

Формирование экологических опасностей следует рассматривать как под влиянием конструктивных элементов ГМС, так и мелиоративных агротехнологий.

Водоисточниками для орошения являются водоемы (водохранилища, озера, пруды и др.), водотоки (реки, каналы), подземные и сточные воды. Воздействие гидромелиоративных систем на водоисточник осуществляется путем отбора части воды для нужд орошения и (или) обводнения. Забор воды из водного объекта в оросительную систему обуславливают следующие экологические опасности:

- уменьшение запасов воды в водоисточниках;
- снижение уровня воды в водоисточнике;
- ухудшение качества воды в водоисточнике за счет интенсификации притока подземных вод при понижении уровня поверхностных вод или притока подземных вод из других горизонтов при снижении верхней эксплуатируемого водоносного горизонта;
- ухудшение среды обитания водной и прибрежной флоры и фауны;
- попадание рыб в оросительную сеть;
- активация инженерно-геологических процессов в береговой зоне в районе водозабора или в целом по водоисточнику при значительных изменениях уровня;
- изменение условий гнездования водоплавающих птиц;

- при значительных понижениях уровня воды вероятность обнажения бывшего дна, покрытого загрязненным донными отложениями;
- сработка запасов и изменение качества подземных вод при использовании их в качестве водоисточника.

Масштабность изменений экологических условий под влиянием водозабора определяется количественными соотношениями водности водоисточника и объема водозабора. Отбор воды из водоисточника интенсифицирует гидрологические процессы (изменение гидрографа и качества воды), гидрогеологические процессы (условия формирования подземного стока в водоемы и водотоки, изменение качества и запасов подземных вод) и инженерно-геологические процессы (переработка берегов, оползни и др.). При значительных понижениях уровня воды в поверхностном водоисточнике (как базиса дренирования) гидроморфные условия почвообразования в прибрежной зоне могут изменяться на автоморфные или полуавтоморфные, а обнажение бывшего дна приводит к появлению источников вторичного загрязнения окружающей среды.

Оросительная сеть включает магистральные, межхозяйственные, внутрихозяйственные каналы, временные оросители, лотковую сеть, трубопроводы с соответствующими сооружениями. Основным показателем качества оросительной сети является коэффициент полезного действия, характеризующий долю воды, доставленную от водозабора до потребителя (поля). Воздействие оросительной сети на экологические условия ландшафтов осуществляется путем изменения состояния рельефа территории в зависимости от конструкции сети и дополнительного поступления воды по каналам или трубопроводам (линейным источникам). При наличии водохранилищ внутрисистемного регулирования они оказывают локальное сосредоточенное воздействие на природную среду. Воздействие оросительной сети на природные условия в целом следует рассматривать на бассейновом и (или) региональном уровнях. К детальному анализу влияния отдельных элементов оросительной сети или их частей на компоненты ландшафтов необходимо подходить с позиций локального уровня.

Строительство и эксплуатация оросительной сети вызывают следующие изменения экологических условий ландшафтов:

- изменения состояния мезо- и микрорельефа поверхности, приводящие к образованию пониженных форм, в которых аккумулируются атмосферные осадки и поверхностный сток, положительные формы формируют барьеры на путях поверхностного стока;
- формирование вдоль каналов зон повышенной увлажненности, обуславливающих переувлажнение, заболачивание и (или) вторичное засоление почв, подтопление объектов гражданского и промышленного назначения;

- изменение химического состава и загрязнение грунтовых вод;
- изменение состава биоценозов и, как правило, смена растительных сообществ в приканальной зоне на влаголюбивые виды, а на вторично засоленных почвах – на солеустойчивые.

Роль каналов и внутрисистемных водохранилищ в изменениях условий для человека и животного мира территорий следует рассматривать двояко: с одной стороны они привлекательны как зоны рекреации для населения и места временного или постоянного обитания водоплавающих птиц и источником водопоя для диких животных, а с другой являются препятствием или преградой на путях естественной миграции диких животных.

При эксплуатации ГМС основным фактором, определяющим степень и характер изменений экологических условий ландшафтов в зоне каналов и внутрисистемных водохранилищ, являются дополнительная увлажненность приземного слоя воздуха, почв и пород зоны аэрации, увеличение инфильтрационного питания грунтовых вод, фильтрационные потери из каналов и водохранилищ, аккумуляция и последующая инфильтрация атмосферных осадков и поверхностного стока в приканальных зонах.

Увеличение питания грунтовых вод приводит, как правило, к подъему их уровня от 0,2–0,3 м до 1–1,5 м за сезон (Кац Д. М., 1976; Яшин В. М., 1998). Наблюдения на орошаемых землях показывают, что в приканальных зонах постоянно или регулярно действующих каналов оросительных систем происходит ухудшение экологических условий из-за ежегодного подъема грунтовых вод. Здесь интенсивно развиваются процессы подтопления земель, заболачивания и вторичного засоления почв, происходит деградация почв. Эти участки в пределах ГМС следует считать зонами эколого-мелиоративной напряженности.

Фильтрационные потери из оросительной сети играют значительную роль в питании грунтовых вод. Фильтрационные потери из каналов и с орошаемых полей могут составлять до 70–85 % от приходной части баланса грунтовых вод (Д. М. Кац, 1976). Например, в орошаемых районах юга Украины пополнение грунтовых вод за счет фильтрационных потерь из внутрихозяйственной сети составляло 39 % от общей величины ирригационного питания (Р. А. Баер, А. А. Грыза и др., 1978). По результатам исследований в Сыртовом Заволжье питание грунтовых вод за счет потерь из временных оросителей достигало 20–60 м³/га за сезон, а инфильтрация на полях до 90–120 м³/га (И. А. Кузник, Ю. М. Нестеренко, 1972). Абсолютные значения питания грунтовых вод за счет потерь из временной сети сравнительно невелики, но в общей величине ирригационного питания достигают 30–35 %. В Прикаспийской низменности (Волгоградское Заволжье)

величина фильтрационных потерь из временных оросителей при орошении агрегатами ДДА-100 М составляла 1250–1350 м³/га за сезон или 25 % от оросительной нормы и до 70 % от общей величины инфильтрационного питания грунтовых вод (В. М. Яшин, 1979; В. М. Яшин 1998). Фильтрационные потери из открытой оросительной сети при орошении дождеванием имеют доминирующее значение в питании грунтовых вод.

Дополнительная подача оросительной воды на мелиорируемые агроландшафты приводит к увеличению водности территории, что существенно нарушает сбалансированный в естественных условиях водный режим. Это приводит к переформированию гидрологических, почвенных, гидрогеологических и др. процессов, к изменению биогеохимической обстановки в целом.

Вода, являясь одним из наиболее подвижных компонентов природной среды, служит носителем и транспортным средством, перераспределяющим во времени и в пространстве результаты воздействия мелиоративных агротехнологий (орошаемого земледелия). Если воздействие мелиорации ограничивается местом непосредственной реализации технологических мероприятий (сублокальный и локальный уровни), то изменения гидросферы, сопровождаемые вторичными почвенными и другими процессами, могут распространяться на региональный и/или бассейновый уровни. Поверхностные и грунтовые (подземные) воды, изменив свое состояние непосредственно на месте локализации мелиорации (изменение уровня и напоров, увеличение минерализации, загрязнение и др.), переносят влияние по потоку, вызывая развитие неблагоприятных инженерно-геологических процессов (затопление территорий, подтопление, активизация оползневых процессов, ухудшение прочностных свойств грунта и др.), и таким образом оказывают влияние на функционирование ландшафтов в пределах значительных территорий.

Следует отметить, что именно увеличение инфильтрационного питания грунтовых вод в условиях орошения инициирует развитие большинства природно-мелиоративных процессов, приводящих к неблагоприятным экологическим последствиям, основными из которых является подъем грунтовых вод и уменьшение мощности зоны аэрации, что приводит к снижению ассимиляционной емкости ландшафтов (В. М. Яшин, 1998).

Водосборная и сбросная сети служат для отвода избытков или технических сбросов воды. Воздействие сбросной сети на ландшафты аналогично влиянию оросительной, однако может осложняться сбросом вод неудовлетворительного качества в водоприемник. Самыми неблагоприятными в экологическом аспекте свойствами обладают сбросные воды с рисовых систем.

Водосбросная сеть оказывает влияние на:

- условия формирования поверхностного стока с ГМС, а также перераспределение его внутри системы;
- величину ирригационного питания грунтовых вод и изменение их качества;
- подтопление нижерасположенных земель;
- изменение качества воды в водоприемниках.

Осушительная или коллекторно-дренажная система оказывает воздействие на природные условия ландшафтов путем отбора части потока грунтовых вод (в ряде случаев – напорных), снижения (или поддержание на определенной глубине) их уровня и переводе его в поверхностный сток (сброс в водоприемник, орошение) или использование на хозяйственные нужды. В результате строительства и эксплуатации систем дренажа их влияние на компоненты ландшафтов выражаются:

- в изменении поверхности сельхозугодий;
- в изменении состояния грунтовых вод на орошаемых и прилегающих к ГМС землях (понижение, интенсификация потоков, изменение качества и др.);
- в интенсификации влагооборот и связанных с ним процессов массопереноса веществ в биологическом круговороте и их поступление в геологический круговорот;
- в увеличении объема вод поверхностного стока за пределами ГМС и изменение их качества.

Наиболее глубокое воздействие на подземные воды оказывают вертикальный и комбинированный дренажи. Здесь, наряду со снижением уровня грунтовых вод, существует опасность вовлечения в активный оборот минерализованных вод смежных водоносных горизонтов и запасов солей в зоне аэрации. При наличии открытой проводящей сети (коллекторы), проходящей за пределами ГМС, влияние ее на элементы ландшафтов аналогично влиянию линейных источников и стоков – при малой глубине грунтовых вод происходит их дренирование, т. е. понижение их уровня, а при большой глубине имеет место питание грунтовых вод и подъем их уровня. Воздействие открытых коллекторов на биологические компоненты ландшафта аналогично влиянию каналов. В тоже время создание искусственных водных объектов может оказывать положительную роль в ландшафтах степей и полупустынь.

Строительство и функционирование осушительной или системы двойного регулирования на переувлажненных или заболоченных землях в существенной мере изменяет сложившиеся естественные режимы функционирования ландшафтов.

Осушительные системы оказывают влияние на изменения природных условий непосредственно на объекте мелиорации – это удаление избыточной влаги и оказывает косвенное воздействие, в том числе, и на прилегающие земли (Б. С. Маслов, И. В. Минаев, 1985). Опыт экс-

плуатации осушительных систем позволяет выделить следующие экологические опасности, возникающие в результате их строительства и эксплуатации:

- изменение теплового режима осушаемых почв;
- осадка и сработка торфа;
- минерализация торфяных почв;
- ветровая эрозия;
- снижение расходов и ухудшение качества вод речного стока;
- ухудшение условий местообитания животного мира на осушаемых и прилегающих землях;
- смена растительных сообществ на осушаемых и прилегающих землях;
- усиление пожароопасности торфяников.

Многочисленный опыт эксплуатации ГМС показывает, что особую опасность для экологической ситуации регионов или речных бассейнов в целом представляют сбрасываемые за пределы ГМС коллекторно-дренажные воды. Они являются фактически отходами ГМС. Как правило, коллекторно-дренажные воды характеризуются повышенной минерализацией и наличием токсичных ингредиентов (Л. В. Кирейчева, 1999).

Водоприемник. Последним крупным звеном технологической цепочки ГМС является водоприемник. Анализ изменений экологических условий, формирующихся под влиянием водоприемников, отводимых с ГМС вод, следует выполнять с двух позиций – изменения, происходящие в водоприемнике и анализ влияния водоприемника на экологические условия ландшафтов. Водоприемниками отводимых с ГМС вод могут быть поверхностные водоемы (моря, озера, водохранилища), водотоки (реки, каналы, ручьи и др.), понижения земной поверхности, а также свободная емкость зоны аэрации и водовмещающие породы.

Изменения экологических условий водоприемников осуществляются за счет поступления дополнительного объема сбросных и коллекторно-дренажных вод. Если в качестве водоприемников используются существующие водоемы, то изменения экологических условий территории обуславливают следующие последствия:

- ухудшение качества воды в водоеме. В зависимости от объемов вод, поступающих с ГМС, воздействие может носить локальный или бассейновый характер;
- подъем уровня воды в водоеме, сопровождающийся в ряде случаев ростом площади его зеркала;
- интенсификация инженерно-геологических процессов на прилегающих территориях;
- изменение условий проживания человека и обитания водной и прибрежной флоры и фауны.

При использовании в качестве водоприемников водотоков изменения экологических условий проявляются обычно в ухудшении качества вод поверхностного стока и соответственно условий проживания человека и обитания водной флоры и фауны. Изменения носят локальный, региональный или бассейновый характер. При значительных колебаниях уровня воды в водотоке могут интенсифицироваться гидрогеологические (питание и разгрузка грунтовых вод) и инженерно-геологические процессы в береговой зоне. В случае обустройства водоприемников в имеющихся понижениях земной поверхности или при строительстве специальных емкостей для аккумуляции в них сбрасываемых вод происходят кардинальные изменения экологических условий ландшафтов. Они включают в себя:

- затопление некоторой части территории, т. е. превращение ее из суши в водоем;
- изменение в целом водного режима территории и геохимической обстановки;
- возникновение инженерно-геологических процессов (подтопление, заболачивание, просадки и т. д.) на прилегающих территориях;
- переформирование типов режима грунтовых вод (увеличение питания, изменение химического состава, загрязнение);
- полная смена биоценозов в районе водоприемника;
- изменение условий проживания человека и обитания животного мира.

На практике существует множество примеров, когда превращение понижений рельефа в водоприемники сбрасываемых с ГМС вод изменяет коренным образом географическую обстановку в целом. Использование в качестве водоприемников водовмещающих пород (закачивание в глубокие водоносные горизонты) или водоемких пород зоны аэрации может привести к следующим последствиям:

- ухудшение качества грунтовых вод и вод более глубоких горизонтов;
- интенсификация подземного стока и возможного подъема уровня грунтовых вод;
- ухудшение инженерно-геологических условий ниже расположенных земель (развитие оползней, подтопление, заболачивание, вторичное засоление почв и т. д.).

Многочисленными исследованиями функционирования мелиоративных систем в различных регионах установлено, что вопреки тому, что цели мелиорации включают сохранение и увеличение плодородия почв, опыт эксплуатации мелиоративных систем показывает, что воздействие указанных выше факторов на природную среду может привести и часто приводит к снижению экологической устойчивости агроландшафтов и развитию негативных экологических последствий.

3. РОЖДЕНИЕ НОВОЙ НАУЧНОЙ ИДЕИ, СПОСОБНОЙ РЕШИТЬ ПРОБЛЕМУ

3.1. Измерение давления и разности давления

Единицей измерения давления в системе СИ является паскаль (Па). Паскаль – это давление силы в 1 Н на площадь в 1 м² (Н/м²). При применении этой единицы могут использоваться приставки для преобразования кратных и дольных единиц, в первую очередь с целью сокращения числа значащих цифр в записываемом значении (например, 5,8 МПа, вместо 5 800 000 Па) [13, 14].

Измерения давления отечественными приборами производится в кгс/см² (килограмм-силы на сантиметр квадратный). При использовании для измерения давления жидкостных приборов с видимым мениском применяют в качестве единицы давления миллиметр водяного или ртутного столба. Кроме перечисленных единиц измерения, применяют физическую атмосферу, равную нормальному давлению атмосферного воздуха 760 мм рт. ст. при 0 °С и нормальном ускорении свободного падения 760 мм рт. ст. = 101,325 кПа = 1,0332 кгс/см².

При измерении давления различают абсолютное, избыточное и вакуумметрическое давление. Под термином абсолютное давление подразумевается полное давление p , под которым находится жидкость или газ. Оно равно сумме давлений избыточного p_u и атмосферного p_a :

$$p = p_u + p_a. \quad (3.1)$$

Избыточное давление равно разности между абсолютным давлением, большим атмосферного, и атмосферным давлением.

Под термином *вакуумметрическое давление* (разрежение или вакуум) p_v понимается разность между атмосферным давлением и абсолютным давлением, меньшем атмосферного:

$$p_v = p_a - p. \quad (3.2)$$

Устройства для измерения давления и разности (перепада) давлений получили общее название *манометры*. Их классифицируют следующим образом:

барометры – для измерения атмосферного (или барометрического) давления;

манометры абсолютного давления – для измерения абсолютного давления;

манометры избыточного давления – для измерения избыточного давления (в практике называют манометрами);

вакуумметры – для измерения вакуумметрического давления, т. е. давления ниже атмосферного (в практике применяют термин «разрежение»);

напорометры и тягометры – для измерения малых (до 40 кПа) избыточного давления и вакуумметрического давления (разрежения) газовых сред;

мановакуумметры – для измерения избыточного и вакуумметрического давлений одновременно;

тягонапорометры – для измерения малых (до 40 кПа) давлений и разрежений газовых сред одновременно;

дифференциальные манометры (диафанометры) – для измерения разности (перепада) давлений;

микроманометры – для измерения очень малых давлений (ниже и выше барометрического) и незначительной разности давлений.

Чувствительные элементы всех манометров воспринимают два давления p_1 и p_2 и вырабатывают сигнал, пропорциональный их разности. У манометров избыточного давления, вакуумметров, тягометров и напорометров давление p_2 обычно равно атмосферному. Диафанометры также могут использоваться для измерения как избыточного, так и вакуумметрического давления, если один из двух штуцеров для подвода давления соединить с атмосферой.

По принципу действия манометры делят на две основные группы: жидкостные и деформационные (с упругими чувствительными элементами).

Жидкостные манометры (рис. 3.1) всех систем заполняются жидкостью таким образом, чтобы над жидкостью были образованы две полости, воспринимающие давления p_1 и p_2 . В этих манометрах величина измеряемого давления определяется по высоте столба жидкости h или по силе, образующейся за счет действия давления на поверхность сосудов. К приборам первой группы относятся U-образные (двухтрубные), чашечные (однотрубные) и поплавковые манометры, к приборам второй группы – колокольные.

U-образный (двухтрубный) манометр (рис. 3.1, а) состоит из одной прозрачной трубки, согнутой в виде латинской буквы U (или двух трубок, соединенных в нижней части). Трубки вертикально укреплены на основании, и по всей их высоте нанесена двухсторонняя шкала с нулем посередине. Трубки заливают жидкостью (обычно водой или ртутью, а иногда спиртом или трансформаторным маслом) до нулевой отметки. При применении U-образный манометр должен устанавливаться вертикально по отвесу. Отсчет производят по разности уровней жидкости A в обеих трубках, что не всегда удобно.

Обычно с помощью U-образного манометра давление, разрежение или разность давлений измеряют в миллиметрах водяного или ртутного столба.

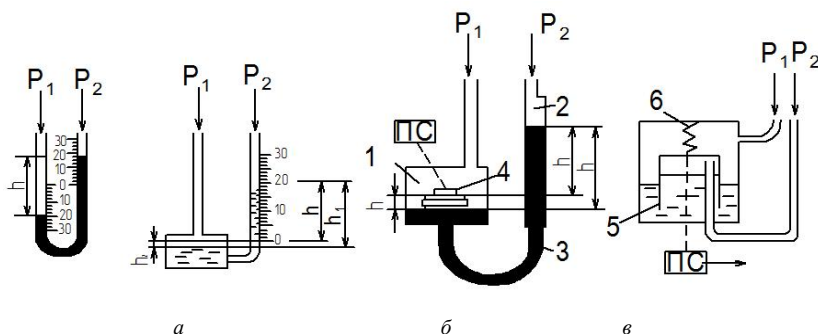


Рис. 3.1. Жидкостные манометры: а – U-образный (двухтрубный); б – чашечный (однотрубный); в – поплавковый; г – колокольный

Если отсчет высоты столба жидкости h по U-образному манометру производят невооруженным глазом, то при цене деления шкалы прибора в 1 мм при отсчете в двух коленях пределы допускаемой основной погрешности измерения давления, разрежения или разности давлений не превышают ± 2 мм столба рабочей жидкости. Для увеличения точности отсчета высоты столба рабочей жидкости U-образные приборы снабжают зеркальной шкалой. В этом случае пределы допускаемой основной погрешности показаний не превышают ± 1 мм столба рабочей жидкости. Отечественная промышленность выпускает двухтрубные манометры типа ДТ-5 и ДТ-6.

Чашечный (однотрубный) манометр (рис. 3.1, б) состоит из цилиндрического сосуда и сообщаемой с ним измерительной стеклянной трубки. При этом диаметр сосуда D значительно больше диаметра трубки d (обычно отношение $d^2/D^2 > 1/400$). При измерении давления в объекте его соединяют с атмосферой. При изменении разрежения с объектом соединяют измерительную трубку, а с атмосферой – сосуд. При измерении разности (перепада) давлений большее давление подается в сосуд, а меньшее – в измерительную трубку.

Когда под действием давления или разрежения жидкость в измерительной трубке поднимется на высоту h_1 , а в широком сосуда опустится на высоту h_2 , то высота столба h , соответствующая значению измеряемой величины, будет равна:

$$h = h_1 + h_2. \quad (3.3)$$

Если F_t – площадь сечения измерительной трубки, а F_2 – широкого сосуда, то

$$F_t h_1 = F_2 h_2. \quad (3.4)$$

Поскольку объем жидкости $F_t h_1$ в измерительной трубке равен объему $F_2 h_2$ жидкости, вытесненной из широкого сосуда то, решив уравнения (3.3) и (3.4) относительно h , получим:

$$h = h_1(1 + F_t/F_2) = h_1(1 + d^2/D^2). \quad (3.5)$$

Величиной $d^2/D^2 > 1/400$ ввиду ее малости на практике пренебрегают, и отсчет ведут по столбу жидкости h , только в одной измерительной трубке, что упрощает измерение по сравнению с U-образным манометром. При цене деления шкалы в 1 мм отсчет высоты столба в измерительной трубке может быть произведен с погрешностью, не превышающей ± 1 мм столба рабочей жидкости. Промышленностью нашей страны выпускаются однотрубные манометры типа ДТЖ и ММН-240.

Поплавковые манометры (рис. 3.1, в) работают по принципу рассмотренных выше чашечных манометров. В поплавковом манометре имеется два U-образных сосуда 1 и 2, соединенных трубкой 3. Большее давление подводится к широкому сосуду, в котором на поверхности рабочей жидкости (ртути или трансформаторного масла) находится поплавок 4. Перемещение поплавка, зависящее от величины разности (перепада) давлений, передается стрелке отсчетного П или регистрирующего ПС устройства прибора. Поплавковые манометры сегодня уже не выпускаются, хотя в эксплуатации еще имеются.

В колокольных манометрах (рис. 3.1, г) чувствительным элементом является тонкостенный стальной колокол 5, подвешенный на винтовой пружине 6. Колокол свободно плавает в разделительной жидкости (трансформаторное масло), будучи частично погруженным в нее. Разделительная жидкость отделяет камеру большого давления («плюсовую») под колоколом от камеры меньшего давления («минусовой») над колоколом. Под действием разности давлений колокол и кинематически связанная с ним подвижная часть передающего преобразователя P_p перемещаются до тех пор, пока усилие от приложенной к колоколу разности давлений не уравновесится упругими силами винтовой пружины. Перемещение подвижной части передающего преобразователя приводит к изменению выходного сигнала. В настоящее время выпускаются колокольные манометры типа ДКО.

Действие *деформационных манометров* основано на использовании деформации или изгибающего момента упругих чувствительных элементов, воспринимающих измеряемое давление и преобразующих

его в перемещение или усилие. Манометры этого типа широко применяют в диапазоне измерений от 50 Па (5 кгс/м²) до 1000 МПа (10 000 кгс/м²). Они выпускаются в виде тягомеров, напорометров, манометров, вакуумметров. В качестве упругих чувствительных элементов в них используются трубчатые пружины, мембраны, сильфоны и вялые мембраны.

Одними из наиболее распространенных являются трубчато-пружинные манометры с одновитковой трубчатой пружиной (рис. 3.2, *а*). Трубчатая пружина (трубка Бурдона) представляет собой изогнутую трубку, имеющую эллиптическое или плоскоовальное поперечное сечение.

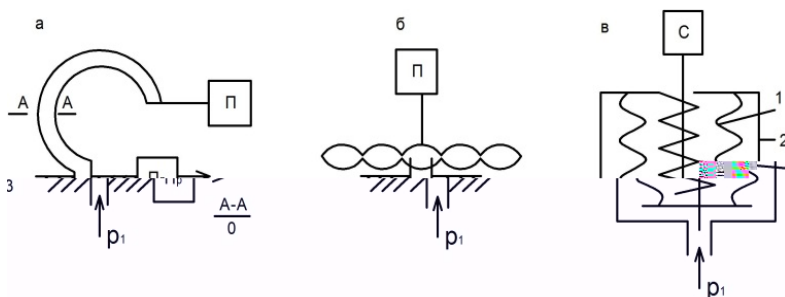


Рис. 3.2. Манометры с упругими чувствительными элементами (деформационные): *а* – трубчато-пружинный; *б* – мембранный; *в* – сильфонный

Трубка Бурдона представляет собой первичный преобразователь давления и является основным конструктивным элементом современного манометра, его чувствительным элементом.

Один конец трубчатой пружины, сообщающийся с измеряемой средой, закрепляют неподвижно, а другой – свободный, закрытый пробкой и запаянный – соединяют с механизмом показаний прибора, передающим преобразователем или другим устройством.

Под действием внутреннего давления пружина стремится уменьшить свою кривизну, вследствие чего ее свободный (запаянный) конец перемещается. Это перемещение передается на отсчетное или регистрирующее устройство манометра либо воспринимается передающим преобразователем (на рис. 3.2 изображен показывающий прибор П, имеющий передающий преобразователь Пр).

Наиболее востребованными среди потребителей на территории Республики Беларусь являются манометры, оснащенные трубкой Бурдона (и мановакуумметры) с осевым (тыловым), радиальным подключением и с креплением переднего кольца, диаметром корпуса 50, 63,

80, 100, 160 мм, диапазоном рабочего давления от – 1 до 2000 бар (рис. 3.3).

Некоторые модификации манометров снабжаются контактным устройством, срабатывающим при достижении измеряемой величиной заданного значения. Такие приборы называются электроконтактными манометрами. Промышленностью выпускаются трубчато-пружинные манометры типа ОБМ, МТП, ЭКМ.



Рис. 3.3. Манометры: *а* – с осевым (тыловым) подключением; *б* – с радиальным подключением; *в* – с креплением переднего кольца

В мембранных манометрах упругий чувствительный элемент выполняется в виде мембранной коробки (рис. 3.4, *б*), состоящей из двух спаянных по периметру дисковых металлических гофрированных мембран. Внутренняя полость коробки сообщается со средой с большим давлением.

Под воздействием разности атмосферного и измеряемого давлений мембранная коробка сжимается или разжимается, что передается стрелке отсчетного устройства манометра П.

В сильфонных манометрах (рис. 3.4, *в*) упругий чувствительный элемент выполнен в виде сильфона 7, представляющего собой гофрированную тонкостенную металлическую трубку, открытую с одной стороны. Сильфон помещается в камеру 2, в которую подводится измеряемое давление.

Изменение величины этого давления вызывает упругую деформацию сильфона и находящейся в нем винтовой пружины 3. Перемещение дна сильфона передается регистрирующему устройству прибора Пр. Сильфонные манометры в настоящее время уже не выпускаются, хотя в эксплуатации они ещё встречаются (типа МСС).

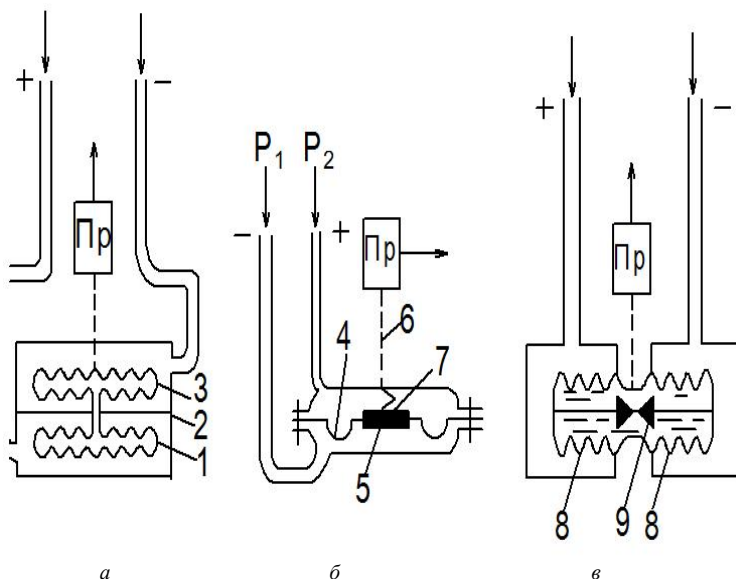


Рис. 3.4. Дифференциальные манометры с упругими чувствительными элементами (деформационные): *а* – мембранный; *б* – с вялой мембраной; *в* – сифонный

У мембранного диафанометра (типа ДМ) упругим чувствительным элементом является мембранный блок (рис. 3.5, *а*), состоящий из двух заполненных дистиллированной водой мембранных коробок 1 и 3, закрепленных с обеих сторон в основании 2. Основание с верхней и нижней крышками корпуса образуют две камеры: нижнюю – плюсовую и верхнюю – минусовую. Внутренние полости мембранных коробок сообщаются через отверстие в перегородке. Большее давление подводится к нижней камере, а меньшее – к верхней. Под действием разности давлений нижняя мембранная коробка сжимается, вытесняя находящуюся в ней воду в верхнюю коробку 2. Последняя расширяется, что воспринимается передающим преобразователем Пр.

Устройство диафанометра мембранного типа ДМЭ (или ДМЭР) состоит из измерительного блока диафанометра с чувствительным элементом, состоящим из двух мембранных коробок 1 и 3, выполненных аналогично измерительному блоку диафанометра ДМ (рис. 3.5, *б*).

С центром верхней мембранной коробки 3 с помощью немагнитного штока жестко связан магнитный плунжер 10. Он может перемещаться внутри разделительной трубки 7 из немагнитной нержавеющей стали. На разделительной трубке 7 установлен передающий преобразователь с магнитной компенсацией. Преобразователь снабжен коррек-

тором нуля. Рядом с преобразователем расположен полупроводниковый усилитель 4. В диафанометрах ДМЭ применяют усилитель, а в диафанометрах-расходомерах ДМЭР – усилитель. У диафанометров ДМЭР выходной сигнал постоянного тока пропорционален расходу, а у диафанометров перепаду давления.

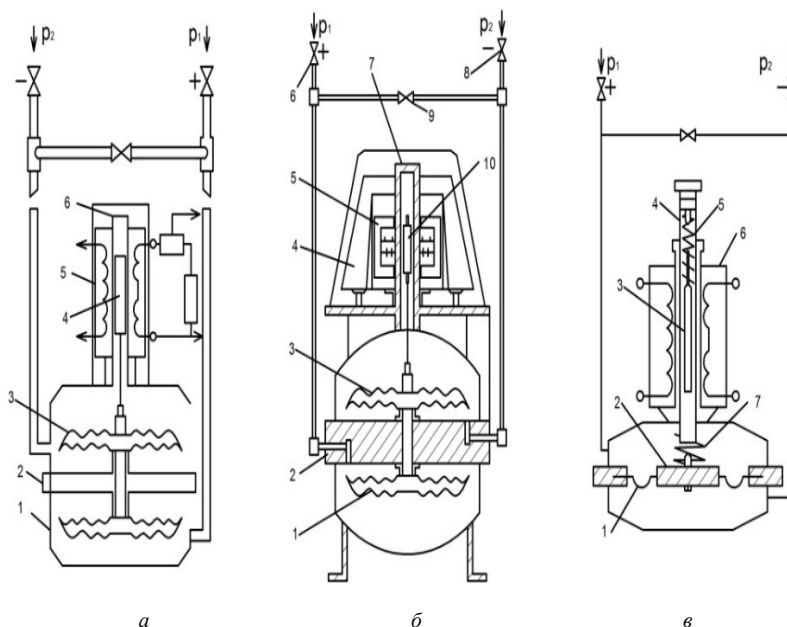


Рис. 3.5. Конструкция дифманометров мембранных:

- а* – тип ДМ; 1, 3 – мембранные коробки; 2 – основание; 4 – сердечник;
 5 – дифференциально-трансформаторный преобразователь; 6 – немагнитная
 разделительная трубка; *б* – тип ДМЭ (или ДМЭР): 1, 3 – мембранные коробки;
 2 – основание; 4 – полупроводниковый усилитель; 5 – передающий преобразователь
 с магнитной компенсацией; 6, 8 – запорные вентили; 9 – регулирующий вентиль;
 10 – магнитный плунжер; *в* – тип ДМИ: 1 – вyalая (неметаллическая) мембрана;
 2 – жесткий центр; 3 – сердечник; 4 – разделительная трубка; 5 – винтовая
 цилиндрическая пружина; 6 – дифференциально-трансформаторный преобразователь;
 7 – дополнительная пружина

Подвод давлений в камеры диафанометра осуществляется через две трубки и каналы в перегородке – 2. На трубках установлены два запорных (6 и 8) и один уравнивающий вентиль 9. Устройство диафанометра мембранного типа ДМЭ (или ДМЭР) состоит из измерительный блока диафанометра с чувствительным элементом, состоящим из двух мембранных коробок 1 и 3, выполненных аналогично измерительному

блоку диафанометра ДМ (рис. 3.5, б). С центром верхней мембранной коробки 3 с помощью немагнитного штока жестко связан магнитный плунжер 10. Он может перемещаться внутри разделительной трубки 7 из немагнитной нержавеющей стали. На разделительной трубке 7 установлен передающий преобразователь с магнитной компенсацией. Преобразователь снабжен корректором нуля. Рядом с преобразователем расположен полупроводниковый усилитель 4. В диафанометрах ДМЭ применяют усилитель, а в диафанометрах-расходомерах ДМЭР – усилитель. У диафанометров ДМЭР выходной сигнал постоянного тока пропорционален расходу, а у диафанометров перепада давления. Подвод давлений в камеры диафанометра осуществляется через две трубки и каналы в перегородке – 2. На трубках установлены два запорных (6 и 8) и один уравнивающий вентиль 9.

На рис. 3.5 приведена упрощенная схема устройства диафанометра типа ДМИ. Чувствительным элементом прибора является вялая (неметаллическая) мембрана 1 с жестким центром 2, работающая совместно с винтовой цилиндрической пружиной 5. Мембрана, укрепленная между двумя крышками корпуса прибора, образует две камеры, в которые подводятся давления. Снаружи разделительной трубки 4, изготовленной из немагнитной нержавеющей стали, находится дифференциально-трансформаторный преобразователь 6. Для обеспечения устойчивости нуля прибора между жестким центром мембраны и корпусом установлена дополнительная пружина 7, создающая предварительное натяжение основной измерительной пружины 5.

Под действием разности давлений жесткий центр мембраны и связанный с ним полый сердечник 3 дифференциально-трансформаторного преобразователя перемещаются до тех пор, пока сила, вызываемая разностью давлений, не уравновесится силой упругости винтовой пружины. Перемещение сердечника изменяет взаимную индуктивность между обмотками преобразователя, а вместе с тем и напряжение (э. д. с.) на выходе прибора. Выходной сигнал диафанометра пропорционален измеряемой разности давлений.

3.2. Измерение расхода и количества вещества

Расход вещества определяется его количеством, проходящим в единицу времени через данное сечение канала (например, трубопровода). Различают массовый расход Q_m и объемный расход, обозначаемый через Q_v .

Массовый расход определяют как массу вещества, проходящего через поперечное сечение потока в единицу времени. В системе СИ единицей массового расхода является килограмм в секунду (кг/с).

Объемный расход определяют как объемное количество вещества в м^3 , проходящее через сечение потока в единицу времени. В системе СИ единицей объемного расхода является кубический метр в секунду ($\text{м}^3/\text{с}$).

Внесистемными единицами, широко распространенными на практике, для массового расхода служат килограмм в час ($\text{кг}/\text{ч}$) и тонна в час ($\text{т}/\text{ч}$), а для объемного – кубический метр в минуту ($\text{м}^3/\text{мин}$), кубический метр в час ($\text{м}^3/\text{ч}$), литр в секунду ($\text{л}/\text{с}$), литр в минуту ($\text{л}/\text{мин}$) и литр в час ($\text{л}/\text{ч}$).

Соотношения между единицами расхода следующие:

массовый – $1 \text{ кг}/\text{с} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{ч} = 3,6 \text{ т}/\text{ч}$;

объемный – $1 \text{ м}^3/\text{с} = 60 \text{ м}^3/\text{мин} = 3,60$;

$10^3 \text{ м}^3/\text{ч} = 10^3 \text{ л}/\text{с} = 3,60 \cdot 10^6 \text{ л}/\text{ч}$.

Для получения сравнимых результатов измерений объемный расход газа приводят к нормальным условиям, которыми при промышленных измерениях считаются: температура – $T_{\text{ном}} = 293,15 \text{ К}$ (или $t_{\text{ном}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$); давление – $p_{\text{ном}} = 101\,325 \text{ Па}$ ($1,0332 \text{ кгс}/\text{см}^2$); относительная влажность – $W = 0 \text{ \%}$.

Устройство для измерения количества вещества, протекающего через данное сечение трубопровода за некоторый промежуток времени (смену, сутки и т. д.), называют *счетчиком количества*. При этом количество вещества определяется как разность двух показаний счетчика в начале и в конце этого промежутка. Показания счетчика выражаются в единицах объема, а иногда в единицах массы.

Устройство для измерения расхода, т. е. количества вещества, протекающего через данное сечение трубопровода в единицу времени – час (ч), называют *расходомером*, а для измерения расхода и количества вещества одновременно – *расходомером со счетчиком*. Счетчики (интегрирующие устройства) могут быть встроены практически во все приборы, измеряющие расход.

Для измерения расхода и количества жидкостей и воздуха применяются расходомеры, которые можно разделить на следующие группы: переменного перепада давления в сужающем устройстве; постоянного перепада давления (обтекания); электромагнитные и переменного уровня. При напорном движении измеряемой среды, когда поток со всех сторон ограничен жесткими стенками, применяют первые две группы расходомеров.

Работа *расходомеров переменного перепада давления* основана на зависимости перепада давления, создаваемого установленным в трубопроводе неподвижным сужающим устройством, от расхода вещества. Принцип измерения по методу переменного перепада давления основан на известном в физике принципе неразрывности установившегося движения жидкости и уравнении Бернулли для жидкости:

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha V^2}{2g} = \text{const}, \quad (3.6)$$

где $\frac{\alpha V^2}{2g}$ – удельная кинетическая (скоростная) энергия жидкости;
 $z + \frac{p}{\rho g}$ – удельная потенциальная энергия (давление) жидкости.

Согласно принципу неразрывности, поток протекающего в трубопроводе вещества во всех сечениях одинаков, следовательно, в один и тот же момент времени протекают одинаковые количества этого вещества. Если на каком-то участке сечение сужается, то в этом месте скорость потока должна возрасти.

Согласно уравнению Бернулли, устанавливается постоянство суммы удельных кинетической (скорость) и потенциальной (давление) энергии в любом сечении потока. Следовательно, увеличение скорости вызывает уменьшение статического давления.

Сужающее устройство выполняет функции первичного преобразователя и создает в трубопроводе местное сужение, вследствие чего при протекании через него вещества скорость в суженном сечении повышается по сравнению со скоростью потока до сужения. Увеличение скорости, а следовательно, и кинетической энергии, вызывает уменьшение потенциальной энергии потока в суженном сечении. Соответственно, статическое давление в суженном сечении будет меньше, чем в сечении до сужающего устройства.

Таким образом, при протекании вещества через сужающее устройство создается перепад давления $\Delta p = p_1 - p_2$ (рис. 3.6, *a*), зависящий от скорости потока и, значит, от расхода среды. Следовательно, перепад давления, создаваемый сужающим устройством, может служить мерой расхода вещества, а численное значение этого расхода может быть определено по перепаду давления Δp , измеренному диафанометром. В качестве сужающих устройств для измерения расхода жидкостей, газов и пара применяют стандартные и нестандартные устройства.

К стандартным (нормализованным) сужающим устройствам относятся *диафрагмы, сопла, сопла и трубы Вентури*.

Диафрагма (рис. 3.6, *a*) представляет собой тонкий плоский диск 1 с круглым отверстием, центр которого лежит на оси трубы.

Отверстие имеет цилиндрическую и конусную части. Диафрагма всегда устанавливается цилиндрической частью (острой кромкой) против потока измеряемой среды. Сужение потока начинается до диафрагмы, и на некотором расстоянии за ней поток достигает минимального сечения.

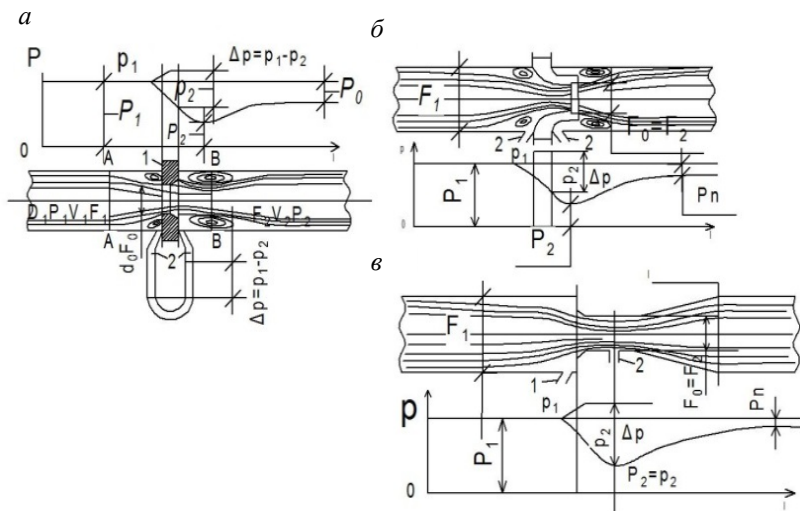


Рис. 3.6. Характер потока и распределение статического давления при установке в трубопроводах диафрагмы (а), сопла (б) и сопла Вентури (в)

Затем поток постепенно расширяется до полного сечения трубопровода. Кривая, характеризующая распределение давлений вдоль стенки трубопровода, представлена сплошной линией (рис. 3.6, а), а кривая распределения давлений по оси трубопровода – штрихпунктирной линией. Как видно, давление за диафрагмой полностью не восстанавливается.

При протекании вещества через диафрагму за ней в углах образуется «мертвая зона», в которой вследствие разности давлений возникает обратное движение жидкости, называемое вторичным потоком. Двигаясь в противоположных направлениях, струйки основного и вторичного потоков вследствие вязкости среды свертываются в виде вихрей. На вихреобразование за диафрагмой затрачивается значительная часть энергии, а следовательно, имеет место и значительная потеря давления. Измерение направления струек перед диафрагмой и сжатие струи после нее оказывают незначительное влияние на величину давления. Отбор давлений p_x и p_2 производится через расположенные непосредственно до и после диска диафрагмы два отдельных отверстия 2 (или специальные камеры), к которым подключаются импульсные соединительные линии, идущие к измерительному прибору.

Сопло (рис. 3.6, б) представляет собой насадку с круглым коническим отверстием, имеющим плавно сужающуюся часть на входе и развитую цилиндрическую часть на выходе. Профиль сопла обеспе-

чивает достаточно полное сжатие струи, поэтому площадь (сечение) цилиндрической части сопла может быть принята равной наименьшему сечению струи ($F_0 = F_2$). Вихреобразование за соплом вызывает меньшую потерю энергии, чем у диафрагмы. Отбор давлений p_x и p_2 осуществляется так же, как и у диафрагмы.

Сопло Вентури (рис. 3.6, в) конструктивно состоит из цилиндрического входного участка, плавно сужающейся части, переходящей в короткий цилиндрический участок, и из расширяющейся конической части – диффузора. При такой форме сужающего устройства в основном благодаря наличию выходного диффузора потеря давления значительно меньше, чем у диафрагмы и сопла. Отбор давлений p_1 и p_2 осуществляется с помощью двух кольцевых камер, каждая из которых соединяется с внутренней полостью сопла Вентури группой равномерно расположенных по окружности отверстий. Труба Вентури отличается от сопла Вентури тем, что входной цилиндрический участок переходит во входной конус, затем идут короткий участок (горловина) и диффузор.

Принцип измерения расхода вещества по перепаду давления, создаваемому сужающим устройством, и основные уравнения одинаковы для всех типов сужающих устройств, различны лишь некоторые коэффициенты в этих уравнениях, определяемые экспериментальным путем.

Для измерения расхода жидкостей, газов и пара по перепаду давления в сужающем устройстве применяются *дифференциальные манометры* (диафанометры), принцип действия которых рассмотрен ранее. По способу выдачи измерительной информации диафанометры подразделяют на показывающие и самопишущие.

Для измерения расхода загрязненных жидкостей (в частности, природных и сточных вод) применяются электромагнитные и щелевые расходомеры. Принцип действия *электромагнитных расходомеров* основан на законе электромагнитной индукции, по которому проведенная в проводнике электродвижущая сила пропорциональна скорости его движения в магнитном поле. Таким движущимся в магнитном поле проводником является электропроводная жидкость, протекающая через первичный электромагнитный преобразователь расхода, установленный в трубопроводе. Измеряя э. д. с., наведенную в электропроводной жидкости, которая при своем движении пересекает магнитное поле первичного преобразователя, можно определить среднюю скорость текущей жидкости, а вместе с ней и объемный расход. При круглом сечении трубопровода величина этой ЭДС (в вольтах) находится по формуле:

$$E = vBd, \quad (3.7)$$

где v – средняя скорость потока жидкости, м/с;

B – индукция магнитного поля, Тл;

d – внутренний диаметр трубопровода, м.

Магнитное поле электромагнитного расходомера типа ИР (рис. 3.7, *а*) внутри участка трубы 7, выполненной из немагнитного материала и покрытой изнутри электроизоляционным слоем, создается электромагнитом 2.

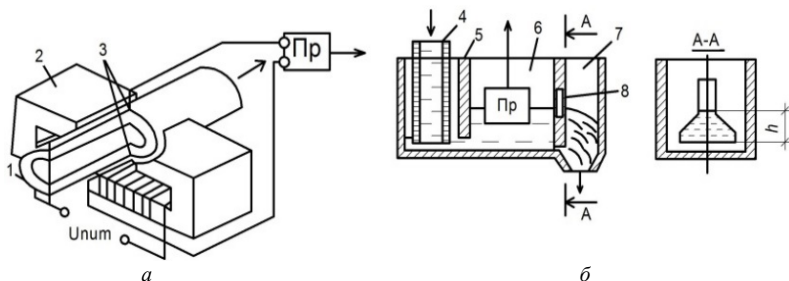


Рис. 3.7. Расходомеры жидкостей и пульп:
а – электромагнитный; *б* – переменного уровня (щелевой)

В пересекающей магнитное поле жидкости наводится э. д. с. В одном поперечном сечении трубопровода диаметрально противоположно установлены два электрода 3. Снимаемая с них разность потенциалов подается на вход промежуточного преобразователя Пр, где преобразуется в выходной сигнал, пропорциональный расходу. Электромагнитные расходомеры могут применяться на жидкостях с удельной электрической проводимостью не менее 10^{-3} См/м.

Отсутствие в измерительном канале каких-либо сужающих устройств и движущихся деталей позволяет измерять расходы как однородных жидкостей, так и суспензий и пульп, твердая фаза которых не содержит ферромагнитных частиц.

Принцип действия щелевых расходомеров переменного уровня со сливом типа ЩРП (рис. 3.7, *б*) основан на зависимости уровня жидкости над сливной стенкой 5 от ее объемного расхода Q_0 .

Для прямоугольного слива с тонкой стенкой справедливо соотношение:

$$Q_0 = mb\sqrt{2g}H^{3/2}, \quad (3.8)$$

где m – коэффициент расхода, учитывающий потерю напора и эффект бокового сжатия струи;

b – ширина сливной стенки, м;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H – напор жидкости на пороге водослива, м.

Расходомер состоит из расходомерной емкости 6 и уровнемера Пр, являющегося измерительным преобразователем расхода. К емкости 6 суспензия подводится по патрубку 4, а отводится в сливную коробку 7 через отверстие 8. Для измерения высоты суспензии в таких расходомерах используются поплавковые, пьезометрические и электроконтактные уровнемеры.

Для измерения расходов воды в закрытых трубопроводах применяются расходомеры постоянного и переменного перепада, а также индукционные.

Принцип действия расходомеров постоянного перепада основан на восприятии динамического давления потока, действующего на чувствительный элемент.

Ротаметр с электрическим преобразователем показан на рис. 3.8. Он состоит из двух основных частей – ротаметрической и электрической, собранных в одном корпусе 1. Основным элементом ротаметрической части является конический поплавок 2, перемещающийся внутри кольцевой диафрагмы 3 в вертикальном направлении.

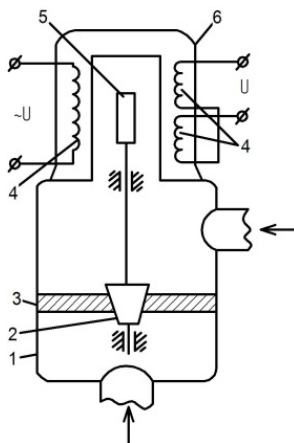


Рис. 3.8. Ротаметр с дифференциально-трансформаторным преобразователем:

1 – корпус; 2 – конический поплавок; 3 – кольцевая диафрагма;
4 – катушка индуктивности; 5 – плунжер; 6 – кожух

Электрическая часть состоит из индуктивных катушек 4 с плунжером 5, жестко связанным с поплавком, и представляет собой дифференциально-трансформаторный преобразователь. Электрическая часть ротаметра снаружи защищена кожухом 6. Ротаметры устанавливаются в вертикальном участке трубопровод.

Поток воды поступает в трубку снизу вверх и, увлекая за собой поплавков, перемещает его вверх. При этом увеличивается зазор между поплавком и стенкой кольцевой диафрагмы, в результате чего уменьшается скорость воды в зазоре и возрастает давление над поплавком. В равновесном состоянии при любом положении поплавка разность давлений, действующих на него с обеих сторон, остается постоянной и определяется силой, необходимой для его уравнивания.

Перемещение поплавка передается плунжеру и преобразуется дифференциально-трансформаторным элементом в напряжении переменного тока, которое изменяется по величине к фазе функционально расходу.

Достоинства ротаметров являются равномерность шкалы, большой диапазон измерения 10:1, малая и постоянная потеря давления, постоянство погрешности во всем диапазоне.

Ротаметры с электрическим выходом типа РЭ выпускаются промышленностью на диаметры условного прохода от 6 до 100 мм и расходы 25–1600 л/ч.

Промышленностью выпускается несколько модификаций индукционных расходомеров. Индукционные расходомеры типа ИР-51 изготавливаются на диаметры условного прохода 10–300 мм и расходы от 0,32 до 2500 м³/ч. Расходомеры типа ЧРИ применяются на трубопроводах с условными диаметрами 400, 600 и 800 мм и расходами до 5000 м³/ч.

Измерительные блоки расходомеров имеют процентную шкалу и унифицированный выход по постоянному току. К нему может подключаться счетная приставка типа С-1 для определения суммарного количества измеряемой среды за любой промежуток времени.

Индукционные расходомеры 5РИ выпускаются с унифицированным пневматическим выходом. Пневмопреобразователь встраивается непосредственно во вторичный прибор. Эти приборы могут устанавливаться на насосных станциях, где имеются компрессорные установки.

Достоинства индукционных расходомеров: они не создают дополнительных сопротивлений протеканию жидкости, позволяют измерять расход загрязненных жидкостей в широких пределах изменения расходов, обладают высокой точностью во всем измеряемом диапазоне (основная погрешность не превышает 1–1,5 %).

К недостаткам относится сравнительно большая масса преобразователя. Так, преобразователь на диаметр условного прохода 300 мм имеет массу около 300 кг.

Этого лишены индукционные расходомеры ИР-56 (рис. 3.9).

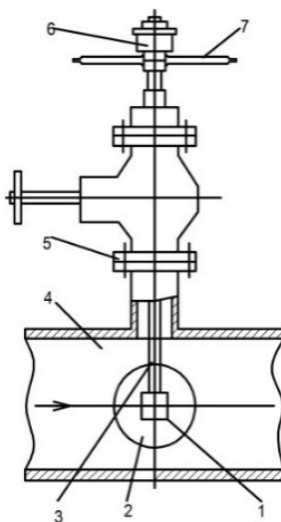


Рис. 3.9. Индукционный расходомер ИР-5Р: 1 – преобразователь;
2 – водяной поток; 3 – штанга; 4 – рабочий трубопровод; 5 – фланец;
6 – клеммная коробка; 7 – рукоятка

Их конструктивной особенностью является расположение преобразователя 1 в середине рабочего трубопровода 4. Крепится преобразователь к трубопроводу с помощью фланца 5. Преобразователь закреплен на стальной металлической штанге 3 и регулируется внутри трубопровода рукояткой 7. Два электрода (на рисунке не показаны) располагаются на боковых поверхностях преобразователя. Исследуемый водяной поток, входящий в зону измерения, представляет собой сферу 5, охватывающую преобразователь. Подключают его ко вторичному измерительному прибору с помощью клеммной коробки 6.

Такая конструкция позволяет уменьшить габариты и массу преобразователя и, что особенно важно, измерять расход в трубопроводах большого диаметра (до 3,6 м).

При измерениях в открытых каналах расход зависит от скорости потока и его сечения. В общем случае методы и приборы измерения расходов в открытых руслах предусматривают контроль указанных параметров и реализацию операции умножения «скорость на сечение». Но выполнение этого достаточно сложно в полевых условиях. Поэтому при измерениях чаще всего исключают один из контролируемых параметров, а расход определяют по значениям второго. Влияние неконтролируемого параметра учитывают методом тарирования или расчетным путем по известным аналитическим зависимостям. Различают

измерения расходов на нерегулируемых участках русел и на регулируемых перегораживающих сооружениях, водосливах.

На нерегулируемых участках каналов в качестве контролируемого параметра принимают уровень воды, а на регулируемых – скорость водяного потока. На нерегулируемых участках измерения выполняются с использованием специальных водомерных сооружений и без них.

При отсутствии специальных водомерных сооружений используется метод тарирования. Он основан на использовании (установленной предварительными измерениями) зависимости расхода от уровня воды $Q = f(H)$. Метод применяется для открытых русел вне зоны подпорного действия перегораживающих сооружений и для нерегулируемых гидротехнических сооружений – быстротоков, перепадов, глухих перегораживающих сооружений и т. д.

Для повышения точности строятся специальные сооружения – водосливы, водомерные лотки и пороги, позволяющие снизить погрешность измерений до 2–3 %. Тип водомерного сооружения выбирается в зависимости от расхода: при расходах до $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ применяются водосливы с тонкой стенкой трапецидальной или треугольной формы и острым заложением откосов; при расходах до $7 \text{ м}^3/\text{с}$ – водомерные лотки; до $30 \text{ м}^3/\text{с}$ – водомерные пороги.

Водомерные сооружения не требуют экспериментальной тарировки, а зависимость $Q = f(H)$ определяется по аналитическим зависимостям, учитывающим геометрические размеры сооружения.

На регулируемых гидротехнических сооружениях для измерения расхода используются водомерные приставки и трубчатые водомеры с сужающими устройствами (ТВС). Принцип измерения основан на контроле скорости водяного потока при постоянном сечении и аналогичен измерениям в закрытых трубопроводах.

Водомерные приставки представляют собой трубы круглого или прямоугольного сечения длиной $L_{\text{пр}}$, в полтора – три раза превышающей диаметр или высоту трубы. Приставка устанавливается перед регулирующим щитом. Величина расхода (в $\text{м}^3/\text{ч}$) определяется по измеряемому перепаду давлений $z_{\text{пр}}$ между верхним бьефом и водомерным сечением, удаленным от выхода на расстояние $l = 0,3\text{--}1,5$ диаметра или высоты приставки:

$$Q = \mu_{\text{пр}} \omega_{\text{пр}} \sqrt{2gz_{\text{пр}}}, \quad (3.9)$$

где $\mu_{\text{пр}}$ – коэффициент расхода приставки;

$\omega_{\text{пр}}$ – площадь сечения;

$z_{\text{пр}}$ – перепад давлений;

g – ускорение свободного падения.

Коэффициент расхода $\mu_{\text{пр}}$ зависит от конструкции и геометрических размеров приставки.

Водомерные приставки используют для измерений расходов до $20 \text{ м}^3/\text{с}$ в диапазоне перепадов 1–6. Ошибка измерений не превышает $\pm 5 \%$. Их достоинством является работа в широком диапазоне изменения перепадов от 2 до 60 см, нечувствительность к изменению режима нижнего бьефа.

Для измерений расходов до 2 л/с применяют трубчатые водомеры с сужающими устройствами (ТВС). Сужающие устройства выполняются в виде конусной насадки, кольца или сегментной диафрагмы.

Диапазон измерений уровня ТВС составляет 1–4, погрешность измерений не превышает $\pm 5 \%$. Для измерения уровня используются самописцы и уровнемеры с преобразующими устройствами для дистанционной передачи. К недостаткам ТВС относится создание дополнительных сопротивлений водяному потоку.

На сооружениях, оборудованных автоматическими затворами-регуляторами, учет воды ведется на основании контроля положения затвора и выполнения операции умножения «сечение на время» с введением поправок на скорость потока. В этом случае не требуется специальных водомерных сооружений.

Большой интерес представляет внедрение в мелиорацию ультразвукового метода измерений, основанного на зависимости величины смещения ультразвуковых колебаний от скорости водяного потока. Достоинством этого метода является его бесконтактность, что не создает препятствий протеканию жидкости.

Для измерения количества вещества в коммунальном хозяйстве применяют тахометрические *счетчики количества*, состоящие из тахометрического преобразователя расхода и счетного суммирующего механизма.

Тахометрическим преобразователем расхода называют первичный преобразователь, в котором скорость движения чувствительного элемента, взаимодействующего с потоком вещества, пропорциональна объемному расходу. По принципу действия тахометрические счетчики разделяют на скоростные и объемные.

В *скоростных счетчиках* (типа УВК, ВК, МС) в качестве рабочего элемента применяют вертушки (крыльчатки, турбинки или другие тела) с вертикальной (рис. 3.10) или горизонтальной осью вращения. Под действием потока вещества вертушка 3 на опорном шипе 4 совершает непрерывное вращательное движение с угловой скоростью, пропорциональной скорости потока, а следовательно, и расходу.

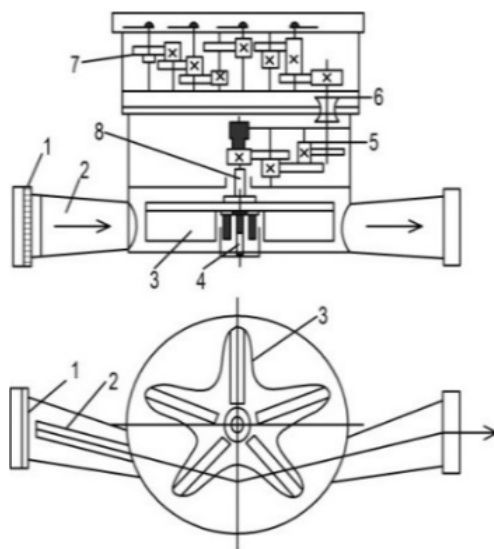


Рис. 3.10. Схема устройства счетчика количества вещества (скоростного с вертикальной осью вращения вертушки)

Число оборотов вращающегося элемента суммируется счетным механизмом 7, с которым вертушка соединяется с помощью передаточного механизма (редуктора) 5. Редуктор и счетный механизм соединены между собой осью с сальниковым уплотнением 6. Счетный механизм отделен от проточной части прибора герметичной перегородкой, в которой установлен сальник передаточной оси 8. На входном патрубке счетчика устанавливается металлическая сетка 1 предохраняющая прибор от попадания в него посторонних тел, и струе выпрямитель 2. В объемных счетчиках вещество измеряется отдельными равными по объему дозами. В поршневом счетчике (рис. 3.11, *а*) жидкость из трубы 1 через распределительный четырехходовой клапан 2 поступает под поршень 3 и поднимает его. Поршень, перемещаясь вверх, вытесняет жидкость, находящуюся в верхней полости цилиндра, через распределительный клапан в трубу 4. Когда поршень достигнет верхнего крайнего положения, четырехходовой кран, связанный специальным механизмом 5 со штоком поршня, перемещается в положение, показанное на рис. 3.11, *б* пунктиром. Вследствие этого, жидкость из трубы 1 будет поступать в верхнюю полость цилиндра, поршень начинает перемещаться вниз и из нижней полости жидкость вытесняется через четырехходовой кран и трубу 4. С момента достижения поршнем крайнего положения цикл повторяется.

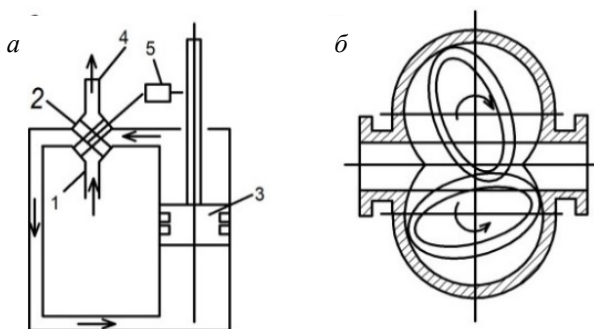


Рис. 3.11. Схема объемных счётчиков: *а* – поршневой счетчик; *б* – счетчик с овальными шестернями

Число доз за определенный промежуток времени суммируется счетным механизмом, связанным со штоком поршня с помощью передаточного механизма, а количество жидкости, равное сумме объемов протекших доз, показывается счетным указателем (на рис. 3.11 счетный механизм и указатель не показаны). В коммунальном хозяйстве применяются счетчики типа СМ для измерения объемного количества жидкостей. Для измерения объемного расхода и учета объемного количества газа используются счетчики типа «Тургас», состоящие из турбинного преобразователя (датчика) объемного расхода ПРГ и электронного блока измерения.

На рис. 3.11, *б* приведена схема объемного счетчика жидкости с овальными шестернями типа ШЖУ. В измерительной камере счетчика имеются две овальные шестерни, которые находятся друг с другом в зацеплении и при вращении под действием потока измеряемой жидкости непрерывно обкатывают друг друга. Измерение объемного количества жидкости происходит путем периодического перемещения определенных ее объемов, заключенных в полостях между цилиндрической поверхностью измерительной камеры и овальными поверхностями шестерен. Вращение шестерен через кинематическую цепь передается счетному механизму.

3.3. Измерение температуры

Температура (от лат. *temperatura* – нормальное состояние) – физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия системы и являющаяся одним из основных параметров в инженерных системах. Она отличается рядом принципиальных особенностей, обусловивших необходимость применения разнообразных методов и технических средств для ее измерения.

Для измерения температуры были предложены различные температурные шкалы, а наибольшее распространение получила 100-градусная температурная шкала Цельсия. По этой шкале за основные (реперные) точки, ограничивающие основной температурный интервал, были приняты точка плавления льда ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) и точка кипения воды ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$) при нормальном атмосферном давлении. Единица температуры, равная одной сотой части основного температурного интервала, получила название градус. По шкале Цельсия градус обозначается прибавлением к числовому значению температуры в градусах символов $^{\circ}\text{C}$, например $94\text{ }^{\circ}\text{C}$. За рубежом наряду с условной температурной шкалой Цельсия используют шкалу Фаренгейта в градусах Фаренгейта – $^{\circ}\text{F}$ и шкалу Реомюра в градусах Реомюра – $^{\circ}\text{R}$: $1\text{ }^{\circ}\text{C} = 1,8\text{ }^{\circ}\text{F} = 0,8\text{ }^{\circ}\text{R}$.

Температурные шкалы строятся на допущении о линейной зависимости между термометрическими (физическими) свойствами тела и температурой. В действительности нет ни одного такого свойства, которое в полной мере могло бы удовлетворить этим требованиям во всем интервале измеряемых температур.

Независимой от свойств термометрического вещества является термодинамическая температурная шкала, предложенная в середине XIX века Кельвином. В этой шкале нижней границей основного температурного интервала служит точка абсолютного нуля ($0\text{ }^{\circ}\text{K}$), а в качестве верхней границы принята «тройная точка воды», лежащая выше точки таяния льда на $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Этой точке было присвоено числовое значение $273,16\text{ }^{\circ}\text{K}$. Тройной точкой воды называется температура равновесия между тремя фазами воды: твердой (лед), жидкой (вода) и газообразной (пары воды).

Единицей термодинамической температуры является кельвин (K) вместо прежнего наименования – градус Кельвина ($^{\circ}\text{K}$). Единица кельвин равна $1/273,16$ части интервала от абсолютного нуля температуры до температуры тройной точки воды. Теоретическая термодинамическая шкала не получила широкого практического применения из-за больших трудностей ее реализации. Более удобной оказалась международная практическая температурная шкала (МПТШ).

Согласно МПТШ и введенному в нашей стране ГОСТ 8.157-75 «Государственная система обеспечения единства измерений. Шкалы температурные практические», предусматривается применение двух температурных шкал: термодинамической температурной шкалы и практической температурной шкалы. Температура по этим шкалам выражается двояко: в Кельвинах (K) и в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$). Градус Цельсия равен кельвину ($1\text{ K} = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$). Между температурой T , выраженной в Кельвинах, и температурой t выраженной в градусах Цельсия, установлено соотношение:

$$t = T - T_0, \quad (3.10)$$

где $T_0 = 273,16$ К (температура тройной точки воды $273,16$ К соответствует, как указывалось выше, $0,01$ °С, следовательно, $273,16$ К – температурный промежуток, на который смещено начало отсчета). Наименование «градус Цельсия» дано в честь шведского астронома и физика А. Цельсия. Наименование «кельвин» дано в честь английского физика Уильяма Томсона-Кельвина.

Существуют контактные и бесконтактные методы измерения температуры. В первом случае необходимо обеспечить надежный тепловой контакт чувствительного элемента прибора с объектом измерения. При отсутствии возможности такого контакта применяют различные бесконтактные методы измерения.

Средство для контактного измерения температуры называется *термометром*. По принципу действия термометры разделены на три группы: *расширения, сопротивления и термоэлектрические*.

Действие термометров расширения основано на тепловом расширении (изменении объема) термометрического вещества (жидкостные, газовые) или линейных размеров твердых тел (дилатометрические, биметаллические) в зависимости от температуры. Пределы измерения этими термометрами составляют от -190 до $+600$ °С.

Жидкостный стеклянный технический термометр (рис. 3.12, а) имеет заполненный жидкостью (обычно ртутью) резервуар 1, тонкостенную капиллярную трубку 2, пластину 3 с нанесенной на ней шкалой, наружную стеклянную оболочку 4. Такие термометры применяются для измерения температуры от -90 до $+30$ °С и от -60 до $+200$ °С. Их изготавливают прямыми (типа П и А) и угловыми – изогнутыми под углом 90 или 135° (типа У и Б). Нижняя часть выполняется различной длины (от 66 до 2000 мм). Для предохранения стеклянной оболочки от повреждения термометры помещают в защитные стальные оправы 5, которые, как и термометры, выполняют прямыми и угловыми. Для сигнализации и измерения температуры в лабораторных и производственных условиях применяют технические термометры – ртутные электроконтактные (типа ТПК или ТЭК).

Их изготавливают с электроконтактами, впаянными к капиллярную трубку термометра. Замыкание или размыкание электрической цепи между контактами происходит вследствие расширения или сжатия ртути при нагревании или охлаждении нижней части термометра.

Принцип действия манометрических термометров (типа ТДГ, ТПГ, ТДЖ, ТПЖ, ТКП и др.) основан на изменении давления рабочего (термометрического) вещества в замкнутой герметичной термосистеме (рис. 3.12, б), состоящей из термобаллона 6, погружаемого в среду, температура которой измеряется, гибкого соединительного капилля-

ра 7 и манометрической трубчатой пружины 8, один конец пружины впаян в держатель 9 канал которого соединяет внутреннюю полость пружины, герметизирован и шарнирно через тягу 10 зубчатый сектор 11 и шестерню 12 связан с показывающей стрелкой прибора 13.

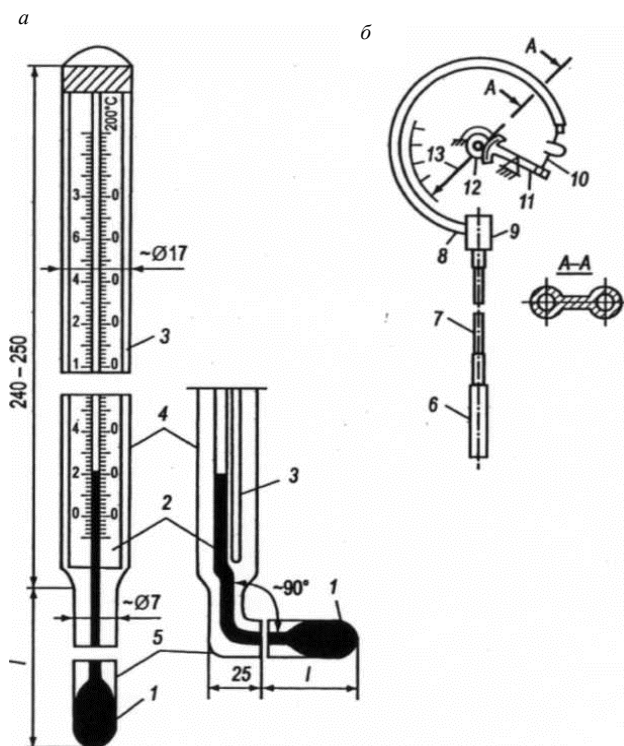


Рис. 3.12. Термометры: *а* – технический жидкостный стеклянный; *б* – показывающий манометрический

Термосистема термометра заполнена рабочим веществом: газом, жидкостью или смесью жидкости с ее насыщенным паром. При нагревании термобаллона увеличивается давление рабочего вещества в замкнутом объеме герметичной термосистемы, вследствие чего пружина 8 деформируется (раскручивается) и ее свободный конец перемещается. Движение свободного конца пружины передаточными механизмами 10, 11, 12 преобразуется в перемещение указателя относительно шкалы прибора, по которой производят отсчет температуры.

Дилатометрические и биметаллические термометры основаны на использовании свойств твердого тела изменять свои линейные размеры при изменении температуры. Действие биметаллического термо-

метра основано на измерении разности линейных расширений при нагревании двух сваренных между собой по всей плоскости соприкосновения разнородных металлов, обладающих различными коэффициентами линейного расширения. При нагревании биметаллического элемента он изгибается в сторону металла с меньшим коэффициентом линейного расширения и при заданной температуре замыкает контакты. Биметаллические температурные реле применяются для интервала температур от -60 до $+300$ °С.

Дилатометрический термометр (типа ТУДЭ, РТ и др.) состоит из металлической трубки, внутри которой имеется связанный с доньшком трубы стержень, причем материал стержня обладает меньшим коэффициентом линейного расширения, чем материал трубки. При измерении трубка должна быть полностью погружена в среду, температура которой измеряется. С повышением температуры среды трубка удлиняется больше, чем стержень, вследствие чего он перемещается вниз. Это перемещение стержня через систему рычагов преобразуется в перемещение стрелки относительно шкалы прибора. Пределы измерения таких термометров составляют от -150 до $+700$ °С.

Принцип действия термометра сопротивления (рис. 3.13) основан на зависимости электрического сопротивления чувствительного элемента от температуры.

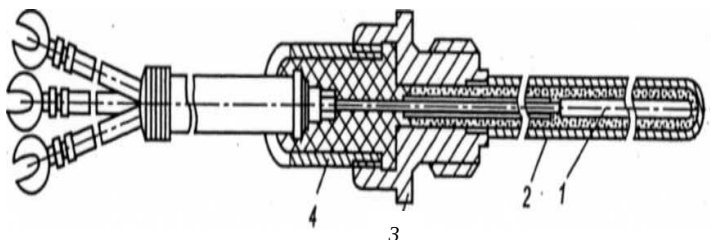


Рис. 3.13. Конструкция термометров сопротивления

Чувствительным элементом термометра сопротивления является тонкая платиновая или медная проволока 1, намотанная на каркас, заключенный в защитную арматуру 2. Концы проволоки в колпачке 4 приварены к выводам, которые соединяются с кабелем для передачи показаний. Штуцер 3 служит для монтажа термометра.

Платиновые термометры сопротивления (ТСП) используются для измерений от -200 до $+650$ °С, медные термометры сопротивления (ТСМ) – для измерений от 50 до $+180$ °С. Наиболее благоприятные для надежной работы этих термометров верхние пределы измерения составляют: 600 °С для ТСП и 100 °С для ТСМ.

Термометры сопротивления, чувствительные элементы которых изготовлены из полупроводниковых материалов, называются *термисторами* или *терморезисторами*. Их применяют для измерения температуры от -90 до $+180$ °С.

Передача информации от термометров сопротивления осуществляется с помощью логометров и мостов, измеряющих изменение электрического сопротивления термометра при изменении температуры контролируемой среды. Логометры сегодня почти не применяются в связи с широким распространением автоматических электронных мостов, имеющих более высокий класс точности.

Принципиальная схема уравновешенного моста с включенным термометром сопротивления R изображена на рис. 3.14 (R_1 и R_3 – резисторы с постоянными известными сопротивлениями, R_2 – реохорд, который является регулируемым плечом моста).

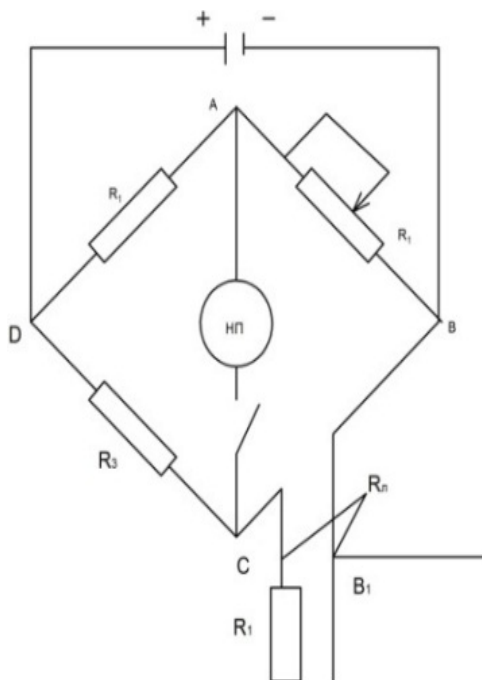


Рис. 3.14. Принципиальная схема уравновешенного моста с термометром сопротивления

Сопротивление двух соединительных линий $2 R_{\text{л}}$ прибавляется к сопротивлению термометра R . К одной из диагоналей моста (BD) под-

ключен внешний источник постоянного тока, к измерительной диагонали AC – чувствительный измерительный прибор (нуль-прибор $НП$).

Изменяя значение сопротивления R_2 путем перемещения движка реохорда, всегда можно добиться такого состояния схемы, при котором при определенном соотношении между сопротивлениями плеч моста потенциалы точек A и C , а следовательно, и ток в нуль-приборе $НП$, равны нулю. Такое состояние обычно называют состоянием равновесия схемы.

При изменении сопротивления термометра R , нарушается равновесие моста. Поскольку мостовая схема приходит в равновесие при равенстве произведений сопротивлений противоположных плеч, то, перемещая движок реохорда R_2 , можно найти положение равновесия схемы по отсутствию отклонения стрелки нуль-прибора. Таким образом, по положению движка реохорда можно определить значение измеряемого сопротивления термометра, а следовательно, и его температуру. Следует отметить, что величина сопротивления $2R_n$ в общем случае может изменяться, так как сопротивление приводам зависит от колебаний температуры окружающей среды. Если возникающие при этом погрешности измерения превышают допустимые пределы, то применяют так называемую техпроводную схему подключения термометра. При этом минус источника питания с помощью дополнительного третьего привода подключается непосредственно к термометру сопротивления R . Кроме того, сопротивления соединительных линий R_n должны быть равны между собой. Для выполнения этого условия в цепь соединительных линий последовательно включают специальные уравнивательные катушки с номинальным сопротивлением 2,5 Ом. Изменением сопротивлений этих катушек можно добиться равенства сопротивлений соединительных линий.

Способ измерения температуры *термоэлектрическими термометрами* основан на существовании определенной зависимости между термо э. д. с., устанавливающейся в цепи, состоящей из разнородных проводников, и температурами мест их соединений. В цепи (рис. 3.15, a), составленной из двух различных термоэлектрически однородных по длине проводников A и B (например, меди и платины), при подогреве спая 1 появляется электрический ток, который в спаях 1 направлен от платины B к меди A , а в холодном спаях 2 – от меди A к платине B .

При подогреве спая 2 ток получает обратное направление. Такие токи называются термоэлектрическими. Электродвижущая сила, обусловленная неодинаковыми температурами мест соединения 1 и 2, называется термо э. д. с., а создающий ее преобразователь – *термоэлектрическим термометром* (старое название – термопара).

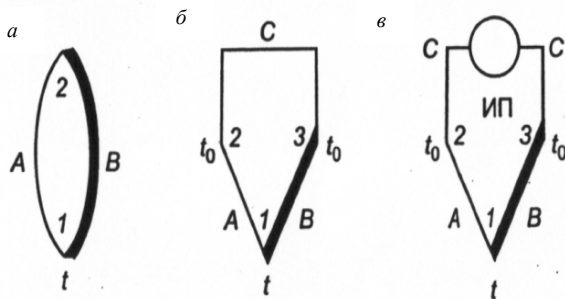


Рис. 3.15. Термоэлектрические цепи термоэлектрических термометров:
а – цепь из двух различных однородных проводников; *б* – с третьим проводом, включенным в разрыв холодного спая; *в* – с включением в свободные концы измерительного прибора ИП

Принцип действия такого термометра состоит в том, что если проводник нагрет по длине неравномерно, то на его нагретом конце повышается концентрация свободных электронов, которые диффундируют к холодному концу. При этом горячий конец заряжается положительно, а холодный – отрицательно. Если замкнутая цепь состоит из двух различных проводников *A* и *B*, то разность термо э. д. с., возникающих в каждом проводнике, зависит от температуры спаев *t*.

Вследствие того, что в различных металлах плотность свободных электронов неодинакова, в месте соприкосновения двух разнородных металлов, например в спаяе (рис. 3.15, *б*), электроны будут диффундировать из металла *A* в металл с меньшей плотностью электронов *B* в количестве большем, чем из металла *B* в металл *A*. Поэтому между металлами *A* и *B* возникает контактная разность потенциалов.

Поскольку плотность электронов в металле зависит также и от температуры спая металлов *A* и *B*, то в месте соприкосновения этих проводников при любых температурах возникает термо э. д. с., значение и знак которой зависят от природы металлов *A* и *B* и температуры места их соприкосновения.

В представленной на рис. 3.16, *б* замкнутой цепи из двух разнородных проводников *A* и *B* появляется термоток. Направление этого тока в спаяе 2 определяет знак как самого проводника, так и термо э. д. с. Поскольку в рассматриваемой цепи ток в спаяе 2 направлен от меди *A* к платине *B* то термоэлектрод *A* – термоположительный, а *B* – термоотрицательный. Общая термо э. д. с. является функцией температур *t* и *t*₀ и зависит от физической природы проводников.

Конструкции термоэлектрических термометров разнообразны и зависят в основном от условий их применения. Типовая конструкция приведена на рис. 3.16.

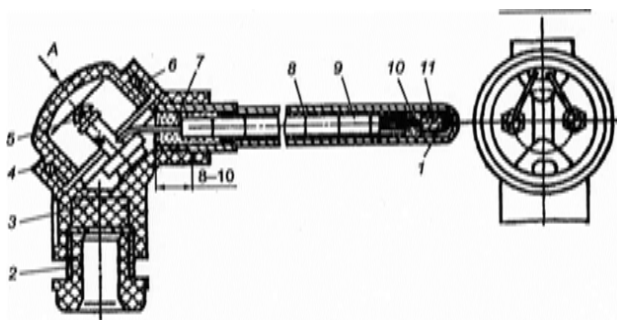


Рис. 3.16. Конструкция термоэлектрических термометров

Концы термоэлектродов 10 сварены между собой и образуют горячий спай 11. По всей длине термоэлектроды изолированы друг от друга керамическими изоляторами 9.

Свободные концы термоэлектродов присоединяются к контактам колодки 5. Контактные зажимы и термоэлектроды помещены в защитную арматуру 8 и герметизированы эпоксидным компаундом 7.

Водозащитная головка термометра 6 закрыта крышкой 4. Сальниковый ввод головки 3 со штуцером 2 допускает использование кабеля наружным диаметром до 11 мм. Горячий спай термопары изолирован от защитной арматуры керамическим наконечником 1.

Термоэлектрические термометры градуируются при температуре свободных концов (холодного спая) $t_0 = 0^\circ\text{C}$. Действительная температура свободных концов может быть постоянной, но отличаться от 0°C . На практике температура свободных концов изменяется в зависимости от режимов работы технологических агрегатов и условий окружающей среды. Поэтому свободные концы термоэлектрического термометра стараются удалить от нагретых поверхностей и вывести в зону относительно низкой постоянной температуры. Для этого не увеличивают длину термоэлектрического термометра, а выполняют продление электродов термометра с помощью гибких удлиняющих проводов, обычно называемых термоэлектродными или компенсационными. Компенсационные провода изготавливают из более дешевых материалов, чем термоэлектроды термометров, что весьма актуально при применении термоэлектрических термометров с электродами из благородных металлов.

Таким образом, при применении компенсационных проводов свободными концами термоэлектрического термометра можно считать места соединения компенсационных проводов с медными жилами или с зажимами измерительного прибора, если компенсационные провода присоединяются к ним непосредственно.

Пределы измерения термоэлектрических термометров зависят от материала термоэлектродов. Термометры типа ТПП с платинородий-платиновыми термоэлектродами применяются для диапазона температур от -20 до $+1300$ °С (допускается до 1600 °С при кратковременных измерениях); типа ТПР с платинородий-платинородиевыми – от -50 до $+1000$ °С (1800 °С кратковременно); типа ТХА с хромель-алюмелевым – от -50 до 1100 °С (1300 °С кратковременно); типа ТХА с хромель-алюмелевыми – от -50 до $+600$ °С (800 °С кратковременно).

Для измерения термо э. д. с. в комплекте с термоэлектрическими термометрами в качестве вторичных приборов применяются магнито-электрические милливольтметры и автоматические потенциометры. Последние, получившие наибольшее распространение, применяются для непрерывного измерения, записи, сигнализации или регулирования температуры в комплекте с термометрами.

3.4. Измерение и визуализация уровня жидкостей в закрытых емкостях и открытых каналах

По характеру выходной величины различают уровнемеры с плавным выходом, предназначенные для непрерывного измерения, и с релейным выходом, называемые уровнемерами-сигнализаторами [15].

Уровнемеры – это датчики, предназначенные для непрерывного измерения уровня жидкостей. Их работа базируется на определённых физических принципах, благодаря которым электронный блок уровнемера преобразует значение уровня жидкости в пропорциональный аналоговый сигнал или в цифровой код.

Сигнализаторы – это датчики, предназначенные для определения заданного положения уровня (заполнение/опустошение) жидкости в ёмкости или трубе. Такие датчики имеют дискретный (релейный или транзисторный) выходной сигнал. Как правило, срабатывание сигнализатора происходит при блокировании или освобождении чувствительного элемента жидкостью.

Датчики уровня жидкостей делятся на два типа: контактные (весь датчик или его часть контактирует с измеряемой средой) и бесконтактные (измерение происходит без контакта с жидкой средой). Каждый из этих типов имеет достоинства и недостатки и находит своё применение в той или иной области.

Все датчики уровня жидкостей различаются по функционалу назначению (уровнемеры, сигнализаторы), типу (контактные, бескон-

тактные), по принципу действия (емкостные, гидростатические, байпасные, магнитострикционные, магнитные, микроволновые рефлексные, буйковые, бесконтактные, микроволновые радарные, радиоизотопные (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Классификация датчиков уровня жидкости

Виды	Уровнемеры	Сигнализаторы
Контактные	Емкостные	Емкостные/Емкостно-частотные (RF)
	Гидростатические	Гидростатические
	Байпасные	Оптические
	Магнитострикционные	Вибрационные
	Магнитные	Поплавковые магнитные
	Микроволновые рефлексные	Поплавковые кабельные
	Буйковые	Кондуктивные
Бесконтактные	Ультразвуковые	Ультразвуковые
	Микроволновые радарные	
	Радиоизотопные	

Емкостные датчики уровня – это экономичное решение для контроля уровня там, где не возникает вспенивания и налипания среды на датчик, а также там, где не требуется высокая точность измерения уровня. Как правило, применяются для измерения уровня жидкости в небольших резервуарах. Для пищевых продуктов и агрессивных сред рекомендованы модели с пластиковым покрытием измерительного зонда. Существенным недостатком является высокая погрешность при измерении жидкостей с низкой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon = 1,5 \dots 3,0$), а также неспособность работать с диэлектрическими жидкостями.

Однако производителям удалось решить проблему обнаружения жидкостей с низкой диэлектрической проницаемостью и проблему определения границы раздела сред с близкими значениями диэлектрической константы. *Емкостно-частотный сигнализатор* в отличие от емкостного, благодаря RF-технологии и тонкой настройке способен детектировать слабопроводящие жидкости и одновременно не реагировать на пену.

Форма электродов может быть различной, чаще всего используют цилиндрические электроды, занимающие весь объем жидкости и газового пространства. Схема емкостного уровнемера приведена на рис. 3.17. Первичный преобразователь емкостного прибора представляет собой электрод 1 (металлический стержень или провод), расположенный в вертикальной металлической трубке 2 (рис. 3.17, а). Стержень вместе с трубой образуют конденсатор. Емкость такого конденсатора зависит от уровня жидкости H и от диэлектрической проницаемости ϵ жидкости, которая может изменяться с увеличением ее температуры и изменением состава.

На рис. 3.17, приведена электрическая схема емкостного уровнемера. Измерение электрической емкости первичного преобразователя C производится неуравновешенным мостом переменного тока, плечами которого являются индуктивности L_1 и L_2 , емкость C_1 и емкость первичного преобразователя C . При изменении уровня изменяется емкость C_x , что приводит к изменению выходного напряжения моста U .

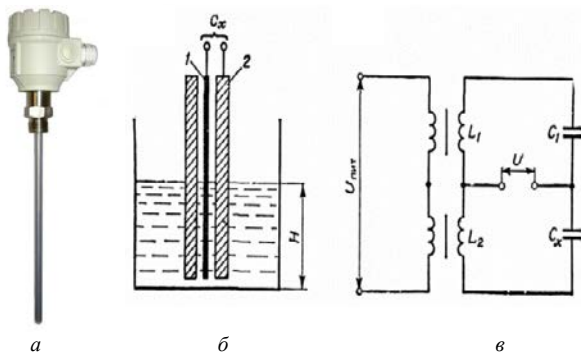


Рис. 3.17. Емкостной уровнемер: а – внешний вид;
б – устройство датчика; в – электрическая схема уровнемера;
1 – электрод; 2 – труба

Большое распространение получили емкостные сигнализаторы уровня. Для повышения чувствительности их электроды устанавливают в горизонтальном положении. В этом случае погрешность измерения не превышает 3 мм.

Диапазон измерения уровнемеров зависит от типа преобразователя и составляет от 1 до 20 м; допускаемая основная погрешность – 2,5 %.

Недостатками емкостных уровнемеров являются невозможность измерения уровня вязких, пленкообразующих, кристаллизирующихся жидкостей, а также высокая чувствительность к изменению диэлектрических свойств жидкости и емкости измерительных проводов.

Гидростатические уровнемеры и сигнализаторы имеют более высокую точность измерения по сравнению с емкостными и такую же невысокую стоимость. Поэтому являются оптимальным выбором по соотношению цена/качество. Вычисление значения уровня происходит благодаря измерению давления столба жидкости, поэтому гидростатические датчики применяются в открытых резервуарах или в закрытых, но в которых давление воздушной среды соответствует атмосферному, в противном случае уровнемер выдаст некорректные результаты. В том числе на определение уровня влияет плотность жидкости, для применения гидростатических уровнемеров необходимо быть уверенным, что её значение остаётся постоянным на протяжении всего вре-

мени измерения. Поэтому не рекомендуется использовать гидростатический метод определения уровня для жидкостей с переменной плотностью (радиохимическое производство, нефтепродукты при изменении температуры). Применяются для контроля уровня чистых и сточных вод, жидких пищевых продуктов или химических веществ, не реагируют на пену. Являются фактически безальтернативным решением для измерения уровня жидкости в скважинах.

Использование гидростатического метода определения уровня в погружных устройствах основано на преобразовании измеренных значений давления столба жидкости над датчиком в уровень этого столба. Преобразователь формирует унифицированный выходной сигнал. Величина давления, оказываемого на датчик, складывается из давления водяного столба и атмосферы. Атмосфера компенсируется при помощи связи датчика с ней через специальную трубку.

Уровень воды рассчитывается по стандартным формулам (рис. 3.18).

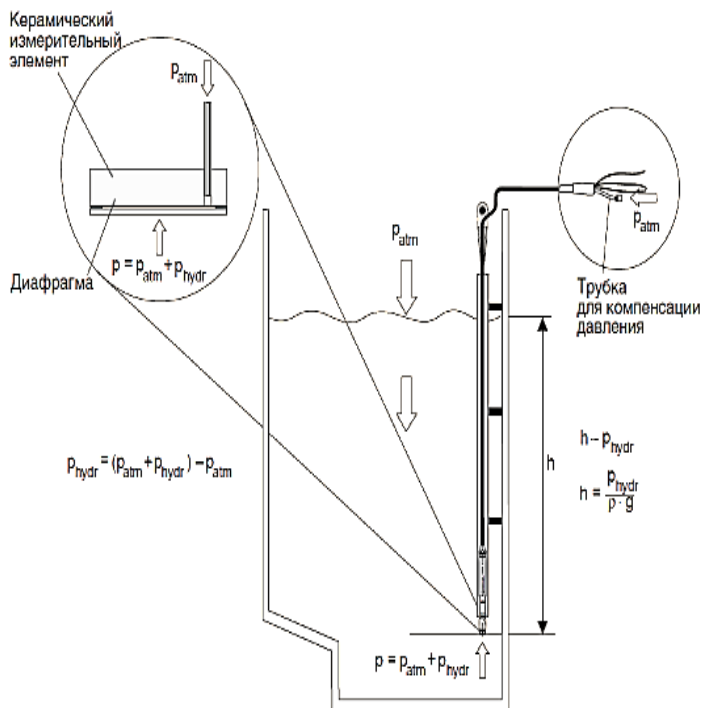


Рис. 3.18. Принцип работы гидростатического уровнемера

Работа *байпасных уровнемеров* основана на принципе сообщающихся сосудов, что делает процесс измерения весьма наглядным и понятным. Такие уровнемеры применяются в небольших резервуарах, находящихся под давлением с температурой рабочей среды до +250 °С. Могут использоваться совместно с магнитострикционными уровнемерами, что позволит их интегрировать в АСУ. Байпасные уровнемеры не следует применять с вязкими жидкостями или жидкостями, вязкость которых повышается при снижении температуры, так как температура жидкости в байпасной камере из-за тепловых перепадов в соединительной арматуре ниже, чем в сообщающемся с ним сосуде (рис. 3.19).

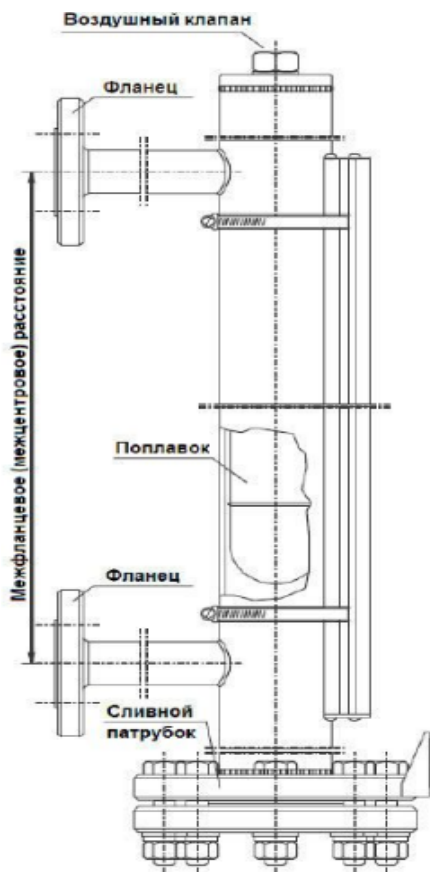


Рис. 3.19. Устройство байпасного поплавкового магнитного уровнемера

Работа байпасного поплавкового магнитного уровнемера NivoFlip основана на принципе сообщающихся сосудов. Уровень в поплавковой камере идентичен уровню в резервуаре.

Прибор состоит из байпасной трубы, присоединяемой на боковую стенку емкости при помощи резьбового, фланцевого соединения, либо с помощью приварных патрубков. Труба устанавливается максимально плотно к резервуару, чтобы обеспечить идентичность условий в измерительной трубе и резервуаре. Внутри трубы располагается поплавков с магнитами, который всегда находится на поверхности измеряемого продукта. Через стенку трубы магнитное поле поплавок взаимодействует с локальным дисплеем, который представляет собой линейку двухцветных магнитных индикаторов. Эти индикаторы переворачиваются в зависимости от уровня и меняют свой цвет. Таким образом, визуальное наблюдение за уровнем является однозначным и не требующим вспомогательной энергии.

Магнитострикционные и магнитные уровнемеры относятся к типу поплавковых, это значит, что поплавков «лежит» на поверхности жидкости и измерение уровня происходит относительно положения этого поплавка. Такие уровнемеры отличаются большей точностью, особенно магнитострикционные. Их целесообразно применять при коммерческом учёте светлых нефтепродуктов, химических веществ и других дорогостоящих жидкостей. Поплавковые уровнемеры подходят для измерения уровня пенящихся жидкостей, однако неприменимы к вязким жидкостям.

Микроволновые рефлексные уровнемеры конструктивно состоят из электронного блока и волновода. Длина волновода должна соответствовать высоте резервуара, что ограничивает применение датчиков в высоких резервуарах. С такой бедой сталкиваются все датчики с аналогичной конструкцией (емкостные, магнитные, ультразвуковые).

414 атмосфер. Отсюда складывается высокая стоимость. Как правило, используются на нефтехранилищах и в химической промышленности.

Буйковые уровнемеры работают на ареометрическом принципе. Входным параметром датчика уровнемера является действующая на буюк сила, величина которой пропорциональна глубине погружения буйка в жидкость. Промышленностью выпускаются буйковые уровнемеры с унифицированными электрическими выходными сигналами в виде постоянного тока 0–20 и 0–5 мА и выходом в виде давления воздуха.

На рис. 3.20 показана принципиальная электрическая схема уровнемера УБ-Э. Выталкивающая сила, действующая на буюк 1, через подвижную опору 2 и систему рычагов 3 перемещает плунжер 6 в катушке рассогласования 7.

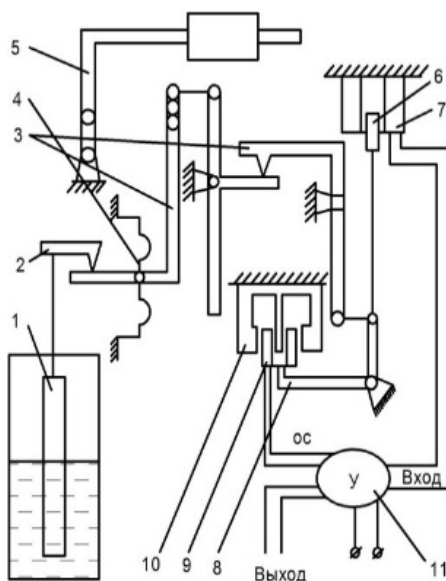


Рис. 3.20. Принципиальная схема уровнемера УБ-Э:
 1 – буюк; 2 – подвижная опора; 3 – система рычагов; 4 – мембрана;
 5 и 8 – рычаги; 6 – плунжер; 7 – катушка неподвижная;
 9 – катушка подвижная; 10 – магнит;
 11 – полупроводниковый усилитель;
 ОС – сигнал обратной связи; У – усилитель

Сигнал рассогласования подается на вход полупроводникового усилителя 11, к выходу которого подключена подвижная катушка 9 с магнитоэлектрической обратной связью ОС. Сила взаимодействия ка-

тушки 9 с магнитом 10 через рычаг 8 компенсирует выталкивающее действие жидкости на боек, и система приходит в равновесие. Унифицированный сигнал постоянного тока снимается с выходного усилителя У и может использоваться для дистанционного измерения или в системе автоматического регулирования.

Рычаг 5 с навинченным противовесом служит для начального уравновешивания веса буйка, т. е. установки нуля. Мембрана 4 применяется для разделения измерительной части прибора и буйка, выпускаемые уровнемеры имеют предел измерения от 0–20 до 0–16000 мм, который определяется габаритами буйка. Масса буйка составляет от 2,6 до 5,3 кг, а длина – от 40 до 16 000 мм.

Сигнализатор уровня типа СУЖ с электроконтактным выходом служит для сигнализации изменения уровня воды в диапазоне до 45 мм.

Микроволновый радарный уровнемер – это универсальное устройство непрерывного измерения уровня жидкостей. Обладает всеми преимуществами бесконтактного метода измерения и отличается крайне высокой точностью. Применим со всеми жидкими средами, исключением в некоторых случаях может стать пена. Помехой для импульс-радарного уровнемера может стать газовая подушка над поверхностью жидкости, в таком случае следует применять FMCW-радарные уровнемеры. Наилучшее применение таких датчиков – это резервуары с медленным изменением уровня жидкости, где важна высокая точность измерения. Недостатком может стать их высокая стоимость.

Ультразвуковые датчики уровня ещё один бесконтактный тип датчиков. По большому счёту, именно ультразвуковые датчики наиболее часто применяются для бесконтактного контроля уровня жидкостей. Ведь далеко не всегда важна очень высокая точность измерения как у радарных датчиков, а стоимость таких устройств в несколько раз ниже. Ограничение на применение накладывают пенящиеся жидкости и ёмкости, в которых образуется газовая подушка (ёмкости с азотной кислотой), собственно, как и в случае с импульс-радарными уровнемерами.

Оптические сигнализаторы уровня жидкостей – это миниатюрные датчики, предназначенные для контроля уровня в небольших ёмкостях и резервуарах, находящихся под вибрацией.

Вибрационные сигнализаторы или как их ещё называют «вибровилки» врезаются в ёмкость на требуемых уровнях. Чувствительный элемент постоянно вибрирует, что позволяет использовать датчик с вязкими и пенящимися жидкостями, не боясь ложных срабатываний. Такие датчики имеют среднюю точность и стоимость, относительно других сигнализаторов.

Поплавковые сигнализаторы наиболее простые и экономичные устройства контроля уровня жидкости и сточных вод, а также слабоагрессивных жидких сред. Поплавковые сигнализаторы делятся на два типа – это поплавковые кабельные и поплавковые магнитные сигнали-

затворы. Отличие заключается в том, что кабельные имеют определённую длину кабеля и погружаются в жидкость через верх резервуара, а магнитные врезаются в боковую стенку ёмкости на требуемом уровне. Для агрессивных сред поплавков и кабель изготавливаются из различных пластиков. Как правило их применяют для включения/отключения насосов. Отличаются низкой ценой и невысокой точностью.

Поплавковые датчики уровня используются и для измерения положения затворов. В этом случае преобразующая часть датчиков вместо поплавка кинематически сочленяется с затвором или его приводом. Наряду с этим для измерения положения затворов перегораживающих сооружений выпускаются специальные устройства типа ДПЗ-1, ДПЗ-2 и ДПМ. На рис. 3.21 представлена схема датчика положения затвора ДПЗ-1.

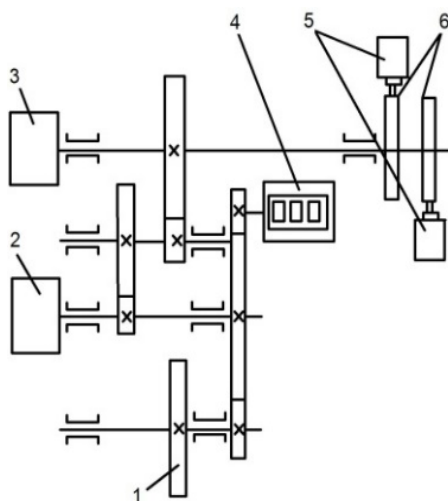


Рис. 3.21. Схема датчика положения затвора ДПЗ-1: 1 – звездочка; 2 и 3 – реостатные преобразователи соответственно точного и грубого отсчета; 4 – счетчик местного отсчета; 5 – микровыключатели; 6 – кулачки

Звездочка 1 сочленяется с винтом затвора, при перемещении которого поворачивается и с помощью зубчатых передач вращает счетчик местного отсчета 4, ползунки реостатных преобразователей точного 2 и грубого 3 отсчетов. Для сигнализации крайних положений затвора применяются микровыключатели 5, переключение которых выполняется кулачками 6. В устройстве ДПЗ-2 вместо реостатных преобразователей дистанционных измерений устанавливается телемеханический частотный преобразователь.

В мелиорации применяются приборы и устройства для измерения расхода воды в закрытых трубопроводах и открытых каналах. Для измерения расходов воды в закрытых трубопроводах применяются расходомеры постоянного и переменного перепада, а также индукционные.

Принцип действия расходомеров постоянного перепада основан на восприятии динамического давления потока, действующего на чувствительный элемент.

3.4.1. Анализ существующих ультразвуковых средств измерения расхода воды на открытых каналах мелиоративных систем

Основным критерием оценки систем и средств измерения расхода и объема воды является достоверность получаемой информации, которая определяется надежностью работы систем и метрологическими характеристиками средств измерений. Оценивать эти характеристики необходимо в реальных условиях эксплуатации, так как высокая точность прибора, указанная в паспорте или рекламном проспекте, часто задается для идеальных условий, которые могут существенно отличаться от условий эксплуатации, в результате чего погрешность измерения существенно возрастает [16].

Для организации эффективной системы водоучета на мелиоративных системах рассмотрим отечественные и зарубежные ультразвуковые средства измерения расхода воды для энергообеспеченных пунктов водоучета на открытых каналах.

В основе работы расходомеров-счетчиков лежит ультразвуковой доплеровский метод измерения объемного расхода. Измерение объемного расхода производится путем умножения измеренного значения средней скорости протекающей жидкости на значение площади поперечного сечения потока.

Рассмотрим расходомер-счетчик жидкости ВЗЛЕТ-РСЛ для безнапорных трубопроводов и открытых каналов (рис. 3.22).

Ультразвуковой расходомер-счетчик ВЗЛЕТ РСЛ предназначен для бесконтактного измерения объемного расхода, объема, уровня различных жидкостей (в том числе сточных вод) в безнапорных трубопроводах и открытых каналах и имеет свои особенности:

- минимальное влияние пены на поверхности жидкости на результат измерений;
- периодическая самоочистка пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) от конденсата и загрязнений;
- возможность ввода расходной характеристики контролируемого канала;
- возможность размещения блока измерения на удалении до 50 м от объекта измерения.



Рис. 3.22. Общий вид расходомера-счетчика ВЗЛЕТ-РСЛ

Расходомер NivuChannel [5] предназначен для выполнения измерений в открытых каналах и реках шириной в 0,40 м. Измеряет уровень воды до 50 м. Погрешность измерений – 1 %. Максимальное удаление вторичного прибора от датчика в 00 м. Внешние коммуникации: TCP, Internet, GPRS, DSL, ISDN. Расходомер NivuChannel (рис. 3.23).



Рис. 3.23. Общий вид расходомера-счетчика NivuChannel

Прибор сертифицирован. Это стационарный ультразвуковой расходомер, основанный на методе Transittime, для труб, каналов и открытых водоемов (с частичным и полным заполнением). Измерения в водах различной степени чистоты (от совсем чистой до сильно загрязненной). Соответствует требованиям стандарта IEC 41. Имеет интуитивно легкое программирование на нескольких языках в диалоговом режиме, большой графический дисплей с подсветкой. Сохранение результатов и настроек измерения производится на флеш-карте (CompactFlash). Передача данных и настройка могут осуществляться через Интернет. Расстояние между датчиками может достигать 300 м.

Ультразвуковой расходомер для открытых каналов Sarasota 200 [6] представлен на (рис. 3.24).



Рис. 3.24. Общий вид расходомера-счетчика Sarasota 200

Ультразвуковой расходомер Sarasota 200 измеряет расход в открытых каналах без нарушения течения потока и необходимости использования дамб или спускных желобов. Техническая характеристика представлена в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Техническая характеристика расходомера Sarasota 200

Характеристики	Значения
Ширина канала, м	0,5-в ∞
Глубина измеряемого канала, м	0,01-в 0
Форма поперечного сечения канала	Программируется
Число измерительных сенсоров, шт.	до 8
Число каналов, шт.	до 4
Питание	Автономный режим
Стандарт ISO 6416	Одобен
Вид коммуникации	Местные и удаленные

Расходомер Sarasota в 00 используется также в сточных водах. Благодаря включенной в программное обеспечение фильтрации предотвращаются ошибки от ложных сигналов, скорость расхода вычисляется с точностью от в до 5 %.

Ультразвуковой расходомер УЗ для открытых каналов производства фирмы TOKYO KEIKI INC [7] представлен на (рис. 3.25).



Рис. 3.25. Общий вид расходомера-счетчика УЗ (Модель UF-960)

Техническая характеристика расходомера представлена в табл. 3.3.

Таблица 3.3. Техническая характеристика расходомера УЗ (Модель UF-960)

Характеристики	Значения
Модель	UF-960
Параметры канала, м	0,3–15
Скорость потока, м/с	0–10
Точность измерений, %	±3
Метод измерений	Время-импульсный
Датчика уровнемера	Имеется
Вид дисплея	Большой ЖК

Расходомер Sigma 950 AV Optiflow [8] для измерения расхода в открытых каналах и частично заполненных трубах представлен на (рис. 3.26). Расходомер Sigma 950 AV Optiflow относится к двухканальным расходомерам, работающим по методу «скорость – площадь». Отличительными особенностями данного расходомера являются наличие двух типов исполнения, жидкокристаллического дисплея, клавиатуры и расширенного набора датчиков уровня и скорости. Расходомер Sigma 950 AV Optiflow позволяет проводить измерения не только расхода, но и проводить качественный анализ воды. Для определения средней скорости движения потока воды используется допле-

ровский датчик непрерывного излучения. В датчике расположено два пьезокерамических элемента: передатчик и приемник. Рабочая частота передатчика 1 МГц, что позволяет добиться хорошей разрешающей способности.



Рис. 3.26. Расходомер Sigma 950 на прямоугольном канале

Ультразвуковой расходомер ОСМ III – Openchannelflow [9] предназначен для измерения с высокой точностью расхода воды в открытых каналах, представлен на (рис. 3.27).

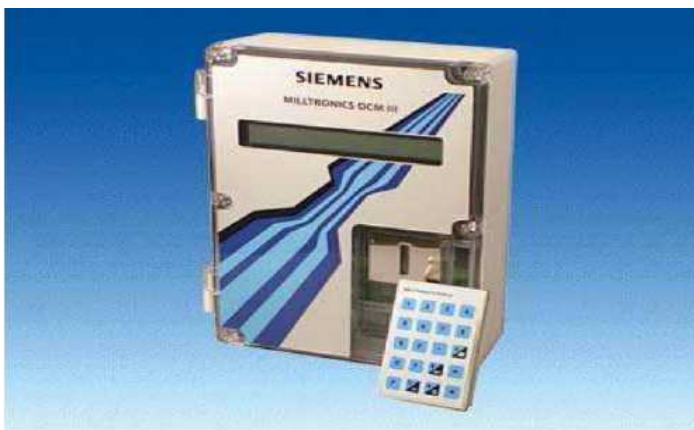


Рис. 3.27. Общий вид расходомера ОСМ III - Openchannelflow

Отмечают следующие его особенности:

- контроль подачи и отвода;

- вычисления по BS 3680 для исключительной точности при измерении расхода;
- запись данных от одного до 4 месяцев в зависимости от повторяемости записей;
- обширная последовательная коммуникация, включая RS-вЗв;
- высокая точность в оригинальных и специальных водосливах и каналах пользователя;
- режим AC и DC. Автоматическое переключение на батарейный режим для бесперебойного питания;
- двойной сетевой вход;
- дистанционный контроль с низкой потребляемой мощностью ПО Flow Reporter для дистанционного контроля и обеспечения данными.

Прибор может записывать данные в различных форматах (от минут до дней). Записывается среднее количество расхода за этот промежуток времени. Ежедневно записываются минимальное, максимальное и суммарное значение температуры и расхода воды, а также время события. В качестве дополнительной функции имеется переменная запись данных. При необходимости возможна запись при большом количестве расхода.

Расходомер EASZ 11, выпускаемый фирмой EESIFLO [10], для открытых каналов представлен на (рис. 3.28).

Расходомер предназначен для измерения расхода жидкостей в открытых каналах, трубах, лотках, шлюзах. Удобен в обращении тем, что имеет простую программу, которая позволяет технику настроить расходомер без помощи сложной книги, содержащей исходные коды. Процедура настройки управляется из меню с помощью вопросов и выбираемых ответов.



Рис. 3.28. Общий вид расходомера EASZ 11

На основе проведенного анализа ультразвуковых расходомеров-счетчиков для открытых каналов оросительных систем, можно сделать предварительные выводы и заключения о применимости данных приборов.

Современный ультразвуковой расходомер-счетчик для энергообеспеченных пунктов водоучета на открытых каналах мелиоративных систем должен отвечать следующим требованиям:

- иметь высокую надежность и адекватность измерений независимо от изменений режимов водисточников;
- не вносить искажений в водный поток;
- не требовать строительства дополнительных сооружений, изменяющих давление или уровень;
- не иметь движущихся частей;
- иметь многоканальный датчик скорости;
- наличие стандартных выходных сигналов для передачи информации через телекоммуникационные системы;
- блочное построение для безопасного демонтажа оборудования на зимнее хранение.

Всеми перечисленными выше требованиями обладают ультразвуковые расходомеры с большим числом измерительных сенсоров, такие как ВЗЛЕТ-РСЛ и Sarasota 200.

3.5. Измерение влажности

Объектом измерения влажности в сельскохозяйственном производстве являются воздух и почва. В закрытых помещениях (насосных станциях, диспетчерских пунктах и т. д.) влажность, наряду с температурой, влияет на комфортные условия, работоспособность и общее состояние людей; условия работы оборудования, аппаратуры и приборов, а содержание влаги в приземном воздухе – на характер и интенсивность биохимических процессов в растениях, косвенно характеризует влагообеспеченность выращиваемых культур.

Важное значение имеет измерение влажности почвы, которая является основным параметром при создании автоматических систем управления влажностным режимом почв на мелиорированных землях.

Для дистанционного измерения и записи относительной влажности используется автоматический электронный психрометр типа ПЭ. Как преобразователи используются термометры сопротивления, один из них смачивается водой из специального резервуара. Термометры размещены в каналах, через которые с помощью вентилятора прокачивается исследуемый воздух. В качестве вторичного прибора используется автоматический электронный мост. Разность сопротивлений термометров пропорциональна психрометрической разности, что позволяет проградуировать шкалу моста непосредственно в единицах относительной влажности.

Измеритель относительной влажности воздуха типа УДРОВ работает на гигрометрическом методе измерений. Первичный преобразова-

тель в приборе – влагочувствительная пленка, сопротивление которой меняется с изменением влажности окружающей среды. Как измерительный прибор используется электронный автоматический мост.

Для измерения влажности почвы применяются прямые и косвенные методы. Из прямых наиболее распространен термостатно-весовой метод. Он является основным при контрольно-испытательных измерениях и тарировании влагомеров, принцип действия которых основан на косвенных методах измерения. Однако этот метод трудоемок, предусматривает отбор проб и их сушку в течение длительного времени (до 24 ч и более).

Косвенные методы измерений предусматривают оценку влажности почвы по изменению различных ее свойств. Наиболее широко используют тензиометрический, кондуктометрический, емкостный и нейтронный методы.

Тензиометрическим методом измеряют всасывающее давление почвы, зависящее от влажности. Рассмотрим устройство и принцип действия выпускаемого серийно тензиометра типа АМ20-II (рис. 3.29).

Он состоит из закрытого трубчатого сосуда 2 с пористым наконечником 1. Трубчатый сосуд соединен с измерительной чашкой 3, одна из стенок которой выполнена в виде мембраны 4. В центре ее закреплен штифт 7, связанный через механическую передачу со съемным микрометрическим индикатором перемещения 6. Трубчатый сосуд заполняется кипяченой или дистиллированной водой, после чего герметично закрывается пробкой 5. Прибор устанавливается в предварительно пробуренную скважину глубиной до 1 м, соответствующую исследуемому слою почвы.

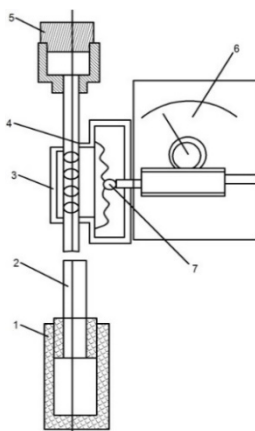


Рис. 3.29. Почвенный тензиометр: 1 – пористый наконечник; 2 – трубчатый сосуд; 3 – измерительная чашка; 4 – мембрана; 5 – пробка; 6 – микрометрический индикатор перемещения; 7 – штифт

За счет всасывающей силы вода через стенки пористого наконечника всасывается в почву и внутри трубчатого сосуда создается разрежение, вызывающее прогиб мембраны. По показаниям индикатора прогиба мембраны определяют всасывающую силу, а при соответствующей тарировке и влажность почвы. Прибор пригоден для измерения влажности почв в диапазоне от полной влагоемкости (ПВ) до 0,7–0,8 наименьшей влагоемкости. При более низких влажностях, вследствие проникновения воздуха через пористый наконечник в трубчатый сосуд, точность измерений резко снижается и погрешность достигает 5 % и более влажности.

Для автоматизации используют тензиометры с вакуумметрическими электроконтактными преобразователями, позволяющие получить сигнал о достижении предельно допустимых значений влажности.

Для того чтобы получить аналоговый выходной сигнал, применяют тензиометры с емкостными и ферродинамическими преобразователями, однако в настоящее время они серийно не выпускаются.

Принцип действия кондуктометрических влагомеров основан на измерении электрической проводимости при постоянном и переменном токе низкой частоты, зависящей от влажности почвы.

В кондуктовлагодетрии используются методы: непосредственного измерения сопротивления почвы; измерения сопротивления промежуточного тела, помещенного в исследуемую почву. К приборам непосредственного измерения относится влагомер типа «Днестр», который использует зависимость сопротивления почвы и электродвижущей силы поляризации, возникающей на электродах первичного преобразователя в почве, от влажности. Влагомер состоит из зондового контактного преобразователя, вторичного прибора и используется для определения сроков полива. Недостатком является влияние на его показания солевого состава, структуры почвы и переменного характера контакта почва – электроды.

Более стабильные показания обеспечивает метод измерений с использованием промежуточного сорбента. Сущность метода заключается в том, что измеряется сопротивление пористого сорбента, помещенного в почву и находящегося в равновесном по влажности состоянии с почвой. Гипс, нейлон, стекловату и другие материалы используют в качестве сорбента.

Наиболее распространены преобразователи с промежуточными гипсовыми блоками. Их электроды изготовляют из никеля или другого коррозионностойкого материала и размещают в гипсовом блоке. Для удобства установки в пробуренную скважину гипсовый блок чаще всего изготовляют в форме цилиндра или усеченного конуса с диаметром основания 25–50 мм. Величина сопротивления между электродами зависит от влажности гипса и при установлении влажностного равновесия характеризует влажность почвы. Для устранения влияния поляризации измерения выполняют на переменном токе частотой 1–2 кГц.

Измерения с применением гипсовых преобразователей позволяют существенно уменьшить влияние неинформативных параметров, в частности изменения солевого состава. При движении влаги из почвы в гипсовый блок солевой раствор нейтрализуется гипсом, что ограничивает срок службы преобразователя, который, как правило, не превышает одного летнего сезона. Гипсовые преобразователи имеют и другие недостатки: инерционность, подверженность влиянию гистерезисных явлений.

Емкостный метод основан на измерении параметров первичного преобразователя (электрической емкости и угла диэлектрических потерь), функционально зависящих от влажности. Существенное отличие диэлектрической проницаемости (ДП) воды от ДП других компонентов обеспечивает ощутимую зависимость суммарной диэлектрической проницаемости почвы от ее влажности.

Конструкция емкостных преобразователей влажности зависит от свойств исследуемой среды и условий измерений. Для измерения влажности почвы без отбора проб в естественных условиях залегания чаще всего используют преобразователи цилиндрической формы с гребенкообразными и спиралеобразными электродами, которые можно устанавливать в пробуренную скважину практически без нарушения структуры измеряемого слоя почвы.

Чтобы улучшить работу измерительной схемы исключением потерь, вызванных токами прямой проводимости, электроды преобразователей могут покрываться водостойкой изоляцией (фторопластом, слоем эпоксидной смолы и водостойкими лаками).

Напряжение с кварцевого генератора усиливается резонансным усилителем, собранным на транзисторе Т2, и через эмиттерный повторитель и трансформатор подается в диагональ питания мостовой схемы, в одно из плеч которой включен преобразователь влажности.

Рассмотренные приборы предназначены для измерения точечного значения влажности в месте установки первичного преобразователя.

В системах автоматического управления поливом требуется информация об интегральном значении влагозапасов по площади в активном слое почвы. Для получения такой информации необходимо использовать зависимость:

$$U = \iint W(t, S) dt dS, \quad (3.11)$$

где U – влагосодержание в слое почвы толщиной t на площади S ;

$W(t, S)$ – влажность в контролируемой точке поля.

Интегрирование по глубине слоя почвы достигается выбором длины первичного преобразователя. Усреднение по площади выполняют путем контроля влажности в нескольких характерных точках для данного участка с последующим переносом полученных усредненных результатов на всю площадь. Количество контролируемых точек зави-

сит от рельефа местности, разнородности минерального и механического состава почвы.

Нейтронный метод измерения влажности основан на взаимодействии быстрых нейтронов, испускаемых источником с ядрами атомов водорода почвенной влаги, и регистрации тепловых нейтронов, появляющихся в результате взаимодействия. Так работает нейтронный индикатор влажности почво-грунтов типа НИВ-2. Влагомер устанавливается в предварительно пробуренную вертикальную скважину. Плутониево-бериллиевый источник питания и счетчик располагаются в одном корпусе и экранируются между собой. Плотность потока тепловых нейтронов и интенсивность γ -излучения регистрируются счетчиком с кадмиевым экраном. Влажность почвы определяется по тарировочной кривой в зависимости от скорости счета. Прибор измеряет объемную влажность в диапазоне 20–40 % точностью до 2 % и является влагомером локального влагосодержания с радиусом сферы исследуемой почвы до 30 см.

Для измерения влажности в поверхностном слое почвы без погружения измерителя в скважину используется универсальный нейтронный влагомер НВУ-1. Принцип действия его аналогичен прибору НИВ-2. Диапазон измеряемых влажностей – от 4 до 42 % по объему. Прибор НВУ-1 изготавливается также с погруженным измерительным зондом, который устанавливается в скважину и позволяет измерять влажность более низких слоев почвы.

Определение сроков и норм полива при использовании широкозахватной дождевальной техники требует получения оперативной информации об усредненных значениях влагосодержания почвы вдоль фронта полива. С этой целью разработан нейтронный влагомер типа «Крот». Для измерений в почве на глубине 35 и 90 см стационарно прокладываются полиэтиленовые трубы. По ним протягивается измерительный зонд с помощью электропривода или пневмотяги. В зонде смонтированы источник излучений, приемник и запоминающее устройство. После прогонки зонда по трубам считывают данные измерений с запоминающего устройства и по тарировочным графикам или таблицам определяют влагозапасы в исследуемом слое.

Достоинствами нейтронных влагомеров являются широкий диапазон измерений и бесконтактность с измеряемой средой. К недостаткам относится влияние на данные измерений имеющихся в почве аномальных поглотителей медленных нейтронов В, Cl, Li, K, Н в твердой фазе почвы и особенно в гумусовом горизонте, плотности почвы, а также опасность для биологической среды, что требует применения специальных средств защиты.

4. ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

4.1. Основные понятия и определения

Любая инженерная система, любой технологический процесс подвержены действию различных факторов, случайных по своей природе, которые нельзя предусмотреть заранее. Такие факторы называются *возмущениями*. К ним относятся, например, случайные изменения потребления воды, температуры воздуха и теплоносителя, характеристик оборудования и др. Возмущающие воздействия вызывают изменения принятого режима работы системы, что в свою очередь приводит к изменению таких технико-экономических показателей (ТЭП) системы, как производительность, расход энергии и т. п. Поэтому для обеспечения требуемых ТЭП необходимо компенсировать колебания заданного режима, вызванные действием возмущений. Такое целенаправленное воздействие на систему представляет собой *процесс управления*. Совокупность требований, осуществляемых в процессе управления, называется *целью управления*. Наконец, сам управляемый процесс вместе с оборудованием, с помощью которого он реализуется, является *объектом управления*. Объект управления и устройства, необходимые для осуществления процесса управления, называются *системой управления*.

Современные инженерные системы весьма сложны и характеризуются большим числом параметров, влияющих на их ТЭП. Поэтому управление этими объектами организуют по так называемому иерархическому принципу.

Иерархический принцип управления заключается в многоступенчатой организации процесса управления, где каждая ступень имеет свои объекты и цели управления, которые зависят от технологического режима. Режим, при котором достигаются заданные показатели, называется *оптимальным*. Но технологический режим изменяется под действием случайных факторов и поэтому может существенно отклоняться от оптимального. Поскольку эти отклонения всегда ухудшают ТЭП, необходимо поддерживать технологические параметры процесса как можно ближе к их оптимальным значениям.

Управление можно организовать в виде двух ступеней. На верхней ступени цель управления заключается в поиске оптимального режима, и объектом управления при этом являются весь технологический процесс и его оборудование, на нижней ступени - обеспечение минимальных отклонений параметров от их оптимальных значений. Эта цель достигается относительно легко и заключается в *стабилизации технологических параметров*. В этом случае часто вместо термина «управление» применяют термин «регулирование».

При подобной организации процесса управления найденные на верхней ступени оптимальные значения технологических параметров можно рассматривать как «руководящие указания» для нижней, т. е. в общем процессе управления нижняя ступень подчинена верхней. Поэтому такие ступени обычно называют *иерархическими уровнями управления*.

При управлении современными зданиями (сооружениями) в целом, т. е. рассматривая их как объекты жизнеобеспечения, возникают другие цели и задачи, которые нельзя отнести к отдельным инженерным системам или технологическим процессам. Это, например, задачи организационно-оперативного управления. Поэтому процесс управления должен включать еще один уровень, на котором решаются организационные задачи. Он является высшим иерархическим уровнем.

Таким образом, структура управления эксплуатацией современных строительных объектов характеризуется тремя уровнями иерархии (рис. 4.1).

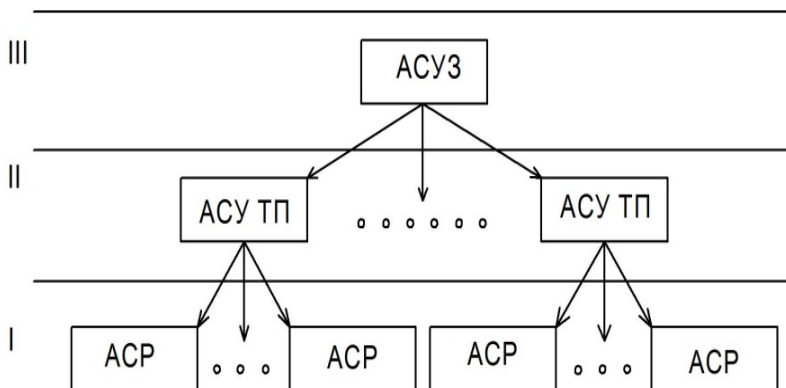


Рис. 4.1. Иерархия управления эксплуатацией здания (сооружения)

Нижний уровень (I) представлен так называемыми локальными системами регулирования, функции которых сводятся к стабилизации отдельных технологических параметров. Такие задачи решаются автоматическими устройствами без участия человека, и поэтому системы нижнего иерархического уровня называются *автоматическими системами регулирования* (АСР). Объекты регулирования на этом уровне – элементарные процессы с соответствующим инженерным оборудованием.

Следующий иерархический уровень (II) образуют системы управления технологическими процессами. Объектами управления на этом

уровне являются технологические установки или участки вместе с оборудованием и локальными АСР. Здесь решаются задачи оптимизации технологических режимов процессов. Кроме того, в функции управления на этом уровне входят выявление и устранение ненормальных (аварийных) режимов, переключение оборудования, вычисление ТЭП и т. п. Указанные функции достаточно сложны и не могут быть целиком возложены на автоматические устройства. Поэтому здесь в системах управления применяют управляющие вычислительные машины (УВМ), а в процессах управления участвует оператор УВМ. Такие системы управления получили название *автоматизированных систем управления технологическими процессами* (АСУ ТП).

На высшем иерархическом уровне (III) осуществляется управление всем зданием. Например, объектами управления здесь помимо традиционных инженерных систем могут быть видеонаблюдение, охранно-пожарная сигнализация, контроль доступа, охрана периметра, телефонная связь, эфирное и спутниковое телевидение, а также все вспомогательные службы. На этом уровне задачи управления всей системой жизнеобеспечения и безопасности решаются с применением УВМ и обслуживающего персонала. Система этого уровня получила название *автоматизированной системы управления зданием* (АСУЗ).

Из сказанного видна роль локальных АСР нижнего иерархического уровня в общем процессе управления современными зданиями: они являются периферийными органами управления, через которые реализуются решения, принимаемые в процессе управления на более высоких иерархических уровнях.

Все процессы управления, в том числе и регулирования, имеют общие закономерности, не зависящие от конкретных объектов и целей управления.

Рассмотрим процесс регулирования уровня в емкости при произвольно изменяющемся потреблении (стоке) жидкости. Стабилизировать уровень на заданном значении можно изменением притока в зависимости от отклонения уровня от заданного значения. Предположим, что вначале уровень в емкости постоянный и равен заданному. Случайное уменьшение стока вызовет отклонение уровня выше заданного. Тогда необходимо прикрывать клапан на притоке. При отклонении уровня ниже заданного значения клапан, наоборот, следует приоткрывать. Этот процесс регулирования состоит из пяти составляющих. Во-первых, получение информации о заданном значении уровня. В данном случае это значение заранее известно. Во-вторых, получение информации о фактическом уровне, т. е. Его измерение. В-третьих, определение величины и знака отклонения уровня от заданного. В-четвертых, установление требуемого изменения притока в зависи-

мости от величины и знака отклонения. В-пятых, изменение притока открытием или закрытием клапана.

В рассмотренном примере процесс управления был неавтоматическим: в нем принимал участие человек. В АСР процесс управления осуществляется автоматически. Так, регулировать уровень в емкости автоматически можно, например, с помощью АСР, показанной на (рис. 4.2).

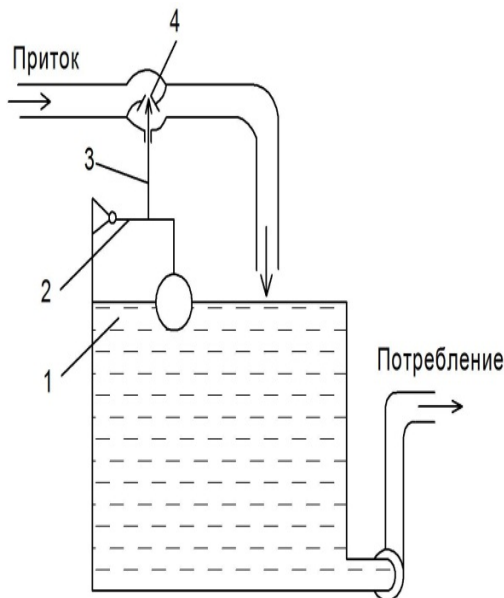


Рис. 4.2. Автоматическое регулирование уровня жидкости в емкости:
1 – поплавок; 2 – рычаг; 3 – шток; 4 – клапан

Поплавок 1 в этой системе перемещается вместе с уровнем, а клапан 4 изменяет расход на притоке. Поплавок связан с клапаном через поворотный рычаг 2 и прикрепленный к нему шток 3.

В такой АСР любое отклонение уровня от заданного, вызванное колебаниями потребления, приведет к перемещению поплавка и связанного с ним клапана. При отклонении уровня, выше заданного клапан, будет прикрываться, а при отклонении ниже заданного, наоборот, приоткрываться. Таким образом, в этой системе все указанные составляющие процесса регулирования выполняются автоматически: при отклонении уровня от заданного значения поплавок отклоняет рычаг, а перемещение штока изменяет степень открытия клапана и приводит тем самым к требуемому изменению притока. Из рассмотренного примера видно, что для управления объектом необходимо получить ин-

формацию о заданном и фактическом его состоянии, определить отклонение фактического состояния от заданного, на основе этого выработать целенаправленное воздействие на объект и осуществить его.

Несмотря на разнообразие встречающихся в инженерных системах объектов, отмеченный общий характер процессов управления не зависит от физической природы объектов и технических средств управления. Так, процесс регулирования уровня в емкости не зависит от конфигурации емкости, расположения трубопроводов, природы жидкости, конструкции клапана и т. п. Это позволяет изучать закономерности управления в общем виде независимо от природы объектов управления и протекающих в них технологических процессов. Такие закономерности изучает *теория управления*. Рассмотрим основные термины и понятия этой теории.

Как отмечалось, любой процесс управления складывается из пяти основных действий. В АСР эти действия выполняют технические устройства. Устройство для получения информации о состоянии объекта управления называется, как уже отмечалось, *измерительным устройством*. Устройство, которое определяет отклонение измеренного значения параметра от заданного, называется *сумматором*. Сумматор производит алгебраическое суммирование – вычитание измеренного значения параметра из заданного. Устройство, вырабатывающее необходимое воздействие на объект, называется *регулятором*. Для передачи этого воздействия на объект служит *регулирующий орган*. Обычно для перемещения регулирующего органа применяется отдельное устройство – *исполнительный механизм*. Все эти устройства, а также объект управления являются элементами АСР. В системах автоматизации некоторые из перечисленных устройств бывают конструктивно совмещены – например, сумматор может быть частью регулятора, а исполнительный механизм объединен с регулирующим органом.

Нетрудно убедиться, что в рассмотренной АСР объектом регулирования является емкость с притоком и потреблением жидкости, измерительным устройством – поплавком, рычаг выполняет роль сумматора и регулятора, а клапан – регулирующего органа. Структурная схема этой системы, показывающая взаимосвязь ее элементов, приведена на (рис. 4.3).

Как видно из схемы, элементы АСР связаны между собой таким образом, что воздействуют друг на друга: измерительное устройство воздействует через сумматор на регулятор, регулятор – на регулирующий орган, регулирующий орган – на объект регулирования.

Эти воздействия передаются от одного элемента к другому посредством сигналов.



Рис. 4.3. Структурная схема АСР уровня в емкости

АСР применена механическая связь регулятора с измерительным устройством и регулирующим органом. Общим свойством любых сигналов является передача воздействия от одних элементов системы к другим. Например, при регулировании уровня в емкости регулирующий орган воздействует на объект регулирования изменением притока в емкость. Здесь сигналом является расход жидкости на притоке.

Передача воздействия от одного элемента к другому всегда происходит в одном направлении – от предыдущего к последующему. Поэтому еще одним общим свойством сигналов является их направленность. В соответствии с этим для каждого элемента АСР различают *входные* и *выходные сигналы*. Выходной сигнал элемента является его реакцией на входной сигнал. Иначе говоря, выходной сигнал элемента зависит от его входного сигнала.

В общем случае элемент АСР может иметь несколько входных и выходных сигналов. Например, для регулирующего органа в АСР уровня в емкости входной сигнал – степень открытия клапана, а выходной – расход жидкости через него. Для самой емкости с жидкостью как объекта регулирования входными сигналами являются расходы на притоке и потреблении, зависящий от этих сигналов уровень в емкости – выходной сигнал.

Входные и выходные сигналы объектов регулирования могут не совпадать с входными и выходными потоками вещества и энергии. Так, в емкости, изображенной на (рис. 4.3), приток является входным, а потребление – выходным потоком. Вообще следует помнить, что в процессах управления конструкция элементов, материалы, из которых они изготовлены, природа выходных и входных сигналов и тому подобные факторы не играют существенной роли в процессах регулирования. Имеет значение лишь характер преобразования входных сигналов в выходные.

4.2. Автоматическое регулирование температуры

Температура является показателем термодинамического состояния объекта и используется как выходная координата при автоматизации тепловых процессов. Характеристики объектов в системах регулирования температуры зависят от физических параметров процесса и конструкции аппарата. Поэтому общие рекомендации по выбору АСР температуры сформулировать невозможно и требуется тщательный анализ характеристик каждого конкретного процесса.

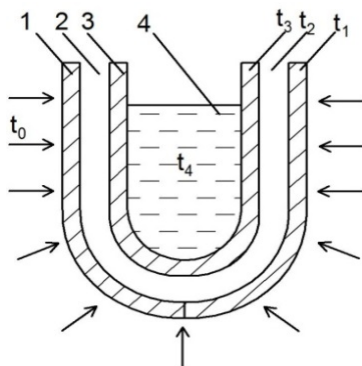


Рис. 4.4. Принципиальная схема манометрического термометра:
1 – защитный чехол; 2 – воздушная прослойка; 3 – стена термометра;
4 – рабочая жидкость

Регулирование температуры в инженерных системах производится значительно чаще, чем регулирование каких-либо других параметров. Диапазон регулируемых температур невелик. Нижний предел этого диапазона ограничен минимальным значением температуры наружного воздуха ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$), верхний – максимальной температурой теплоносителя ($+150\text{ }^{\circ}\text{C}$).

К общим особенностям АСР температуры можно отнести значительную инерционность тепловых процессов и измерителей (датчиков) температуры. Поэтому одной из основных задач при создании АСР

температуры является уменьшение инерционности датчиков.

Рассмотрим в качестве примера характеристики наиболее распространенного в инженерных системах манометрического термометра в защитном чехле. Структурную схему такого термометра можно представить в виде последовательного соединения четырех тепловых емкостей (рис. 4.4): защитного чехла 1, воздушной прослойки 2, стенки термометра 3 и рабочей жидкости 4.

Основными направлениями уменьшения инерционности датчиков температуры являются:

- 1) повышение коэффициентов теплоотдачи от среды к чехлу в результате правильного выбора места установки датчика; при этом скорость движения среды должна быть максимальной; при прочих равных условиях более предпочтительна установка термометров в жидкой фазе (по сравнению с газообразной), в конденсирующемся паре (по сравнению с конденсатом) и т. п.;

- 2) уменьшение теплового сопротивления и тепловой ёмкости защитного чехла в результате выбора его материала и толщины;

3) уменьшение постоянной времени воздушной прослойки за счет применения наполнителей (жидкости, металлической стружки); у термомпар рабочий спай припаивается к корпусу защитного чехла;

4) выбор типа первичного преобразователя: например, при выборе необходимо учитывать, что наименьшей инерционностью обладает термомпара в малоинерционном исполнении, наибольшей – манометрический термометр. Каждая АСР температуры в инженерных системах создается для вполне конкретной цели (регулирования температуры воздуха в помещениях, тепло- или холодоносителя) и, следовательно, предназначена для работы в очень небольшом диапазоне. В связи с этим условия применения той или иной АСР определяют устройство и конструкцию как датчика, так и регулятора температуры. Например, при автоматизации инженерных систем широко применяются регуляторы температуры прямого действия с манометрическими измерительными устройствами. Так, для регулирования температуры воздуха в помещениях административных и общественных зданий при использовании инжекционных и вентиляторных доводчиков трехтрубной схемы тепло- и холодоснабжения применяют регулятор прямого действия прямого типа РТК (рис. 4.5), который состоит из термосистемы и регулирующего клапана. Термосистема, пропорционально перемещающая шток регулирующего клапана при изменении температуры рециркуляционного воздуха на входе в доводчик, включает чувствительный элемент, задатчик и исполнительный механизм.

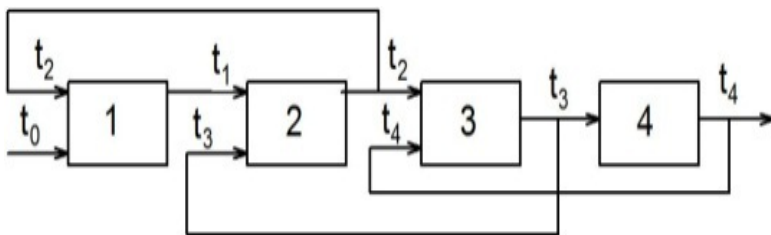


Рис. 4.5. Структурная схема манометрического термометра

Эти три узла соединены капиллярной трубкой и представляют единый герметичный объем, заполненный термочувствительной (рабочей) жидкостью. Трехходовой регулирующий клапан управляет подачей горячей или холодной воды к теплообменнику инжекционного доводчика и состоит из корпуса и регулирующих органов. С повышением температуры воздуха рабочая жидкость термосистемы увеличивает свой объем и сильфон клапана перемещает шток и регулирующий орган, закрывая прохождение горячей воды через клапан.

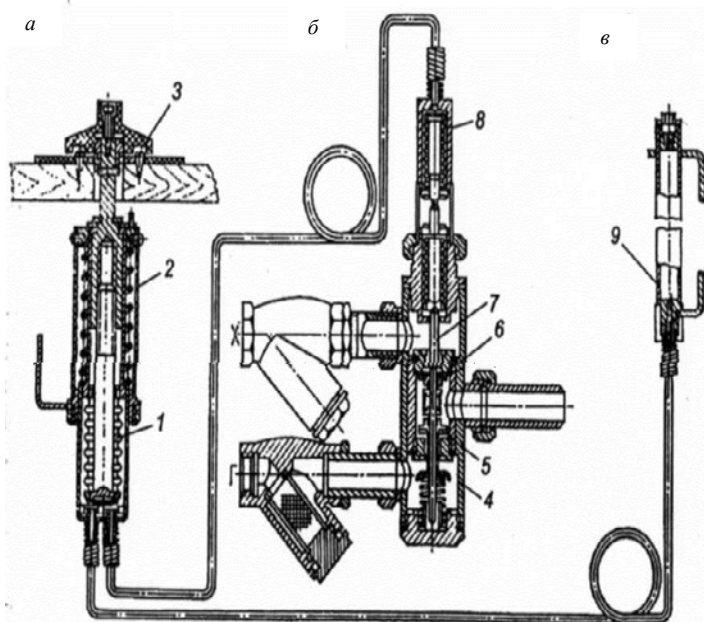


Рис. 4.6. Регулятор температуры типа РТК: а – регулятор; б – регулирующий клапан; в – термосистема; 1 – сильфон; 2 – задатчик; 3 – ручка настройки; 4 – корпус; 5, 6 – регулирующие органы соответственно горячей и холодной воды; 7 – шток; 8 – исполнительный механизм; 9 – чувствительный элемент

При увеличении температуры на $0,5\text{--}1\text{ }^{\circ}\text{C}$ регулирующие органы остаются неподвижными (проходы горячей и холодной воды закрыты), а при более высокой температуре открывается лишь проход холодной воды (проход горячей воды остается закрытым). Заданная температура обеспечивается вращением ручки настройки, связанной с сильфоном, который изменяет внутренний объем термосистемы. Регулятор может быть настроен на температуру в диапазоне от 15 до $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При регулировании температуры в водо- и пароводных подогревателях и охладителях используются регуляторы типа РТ, которые незначительно отличаются от регуляторов типа РТК. Их основная особенность – совмещенное исполнение термобаллона с задатчиком, а также использование двухседельного клапана в качестве регулирующего органа. Такие манометрические регуляторы выпускаются на несколько 40-градусных диапазонов в пределах от 20 до $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ с диаметром условного прохода от 15 до 80 мм . В связи с наличием в этих регуляторах большой статической ошибки ($10\text{ }^{\circ}\text{C}$) их не рекомендуется применять для высокоточного регулирования температуры.

Манометрические термосистемы используются также в пневматических П-регуляторах, широко применяемых для регулирования температуры в инженерных системах кондиционирования воздуха и вентиляции (рис. 4.7). Здесь при изменении температуры изменяется давление в термосистеме, которое через сильфон действует на рычаги, передающие усилие на шток пневмореле и мембрану.

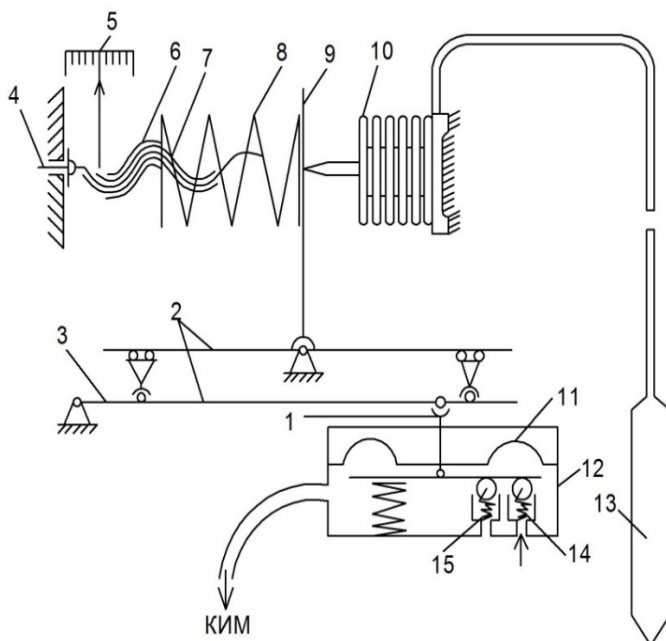


Рис. 4.7. Схема пневматического П-регулятора температуры с манометрической термосистемой: 1 – шток пневмореле; 2 – узел неравномерности; 3, 9 – рычаги; 4, 7 – винты; 5 – шкала; 8 – пружина; 10 – сильфон; 11 – мембрана; 12 – пневмореле; 13 – термобаллон; 14 – питающий клапан; 15 – стравливающий клапан

При равенстве текущей температуры с заданной вся система находится в равновесии, оба клапана пневмореле, питающий и стравливающий, закрыты. При увеличении давления на шток начинает открываться питающий клапан. К нему подведено давление от сети питания сжатым воздухом, в результате чего в пневмореле образуется давление управления, возрастающее от 0, 2 до 1 кгс/см² пропорционально увеличению температуры контролируемой среды. Этим давлением приводится в действие исполнительный механизм.

Для автоматического регулирования температуры воздуха в помещениях начали широко использоваться термостатические клапаны американской фирмы *Honeywell* и радиаторные терморегуляторы (термостаты) *RTD*, выпускаемые московским филиалом датской фирмы *Danfoss* необходимая температура задается поворотом настроенной рукоятки (головки) с указателем от 6 до 26 °С. Понижение температуры на 1 °С (например, с 23 до 22 °С) позволяет экономить 5–7 % тепла, потребляемого на отопление. Термостаты *RTD* позволяют избежать перегрева помещений в переходный и другие периоды года и обеспечить минимально необходимый уровень отопления в помещениях с периодическим проживанием людей. Кроме этого, радиаторные терморегуляторы *RTD* обеспечивают гидравлическую устойчивость для двухтрубной системы отопления и возможность ее регулировки и увязки в случае ошибок при монтаже и проектировании без использования дроссельных шайб и других конструктивных решений.

Терморегулятор состоит из регулирующего клапана (корпуса) и термостатического элемента с сильфоном (головки). Соединение корпуса и головки производится с помощью накидной гайки с резьбой. Для удобства монтажа на трубопровод и присоединения терморегулятора к отопительному прибору он комплектуется накидной гайкой с резьбовым ниппелем. Температура в помещении поддерживается путем изменения расхода воды через отопительный прибор (радиатор или конвектор). Изменение расхода воды происходит за счет перемещения штока клапана сильфоном, заполненным специальной смесью газов, изменяющих свой объем даже при незначительном изменении температуры окружающего сильфон воздуха. Удлинению сильфона при повышении температуры противодействует настроечная пружина, усилие которой регулируется поворотом рукоятки с указателем желаемого значения температуры.

Для лучшего соответствия любым системам отопления выпускаются два типа корпусов регулятора: *RTD-G* с малым сопротивлением для однотрубных систем и *RTD-N* с повышенным сопротивлением для двухтрубных систем. Корпуса изготавливаются для прямого и углового клапанов.

Термостатические элементы регуляторов изготавливаются в пяти вариантах: со встроенным датчиком; с дистанционным датчиком (длина капиллярной трубки 2 м); с защитой от неумелого использования и воровства; с ограничением диапазона настройки до 21 °С. В любом исполнении термостатический элемент обеспечивает ограничение настроенного диапазона температур или фиксации на требуемой температуре воздуха в помещении.

Срок эксплуатации регуляторов *RTD* 20–25 лет, а при определенных условиях эксплуатации более 30 лет.

Регулирующий прибор (погодный компенсатор) ECL (рис. 4.8) обеспечивает поддержание температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах системы отопления в зависимости от температуры наружного воздуха по соответствующему конкретному ремонту и конкретному объекту отопительному графику. Прибор воздействует на регулирующий клапан с электроприводом (при необходимости – и на циркуляционный насос) и позволяет осуществлять следующие операции:

- поддержание расчетного отопительного графика;
- ночное снижение температурного графика по недельным (интервал 2 ч) или 24-часовым (интервал 15 мин) программируемым часам (в случае электронных часов интервал 1 мин);
- натоп помещения в течение 1 ч после ночного снижения температуры;
- подключение через релейные выходы регулирующего клапана и насоса (или 2 регулирующих клапанов и 2 насосов);
- автоматический переход из летнего режима в зимний и обратно по заданной температуре наружного воздуха;
- прекращение ночного снижения температуры при понижении наружных температур ниже заданного значения; защиту системы от замораживания;
- коррекцию отопительного графика по температуре воздуха в помещении;
- переход на ручное управление приводом клапана; максимальные и минимальные ограничения температуры воды на подаче и возможность фиксированного или пропорционального ограничения температуры обратной воды в зависимости от температуры наружного воздуха;
- самотестирование и цифровую индикацию значений температур всех датчиков и состояний клапанов и насосов;
- установку зоны нечувствительности, зоны пропорциональности и времени накопления;
- возможность работы по накопленным за заданный период или текущим значениям температур;
- задание коэффициента тепловой устойчивости здания и задание влияния отклонения температуры обратной воды на температуру воды на подаче;
- защиту от образования накипи при работе с газовым котлом.

В схемах автоматизации инженерных систем используются также биметаллические и dilatометрические терморегуляторы, в частности электрический двухпозиционный и пневматический пропорциональный.

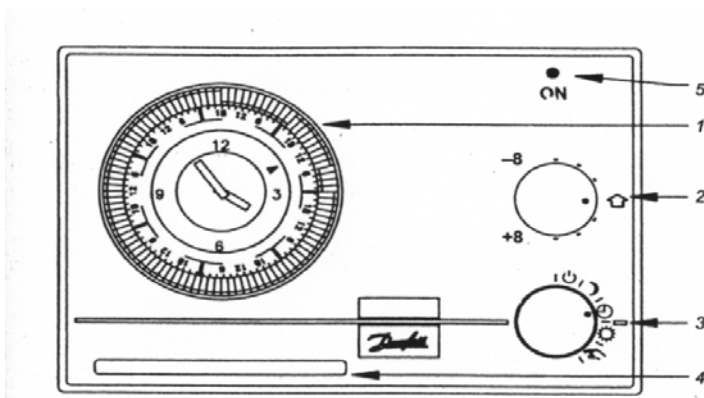


Рис. 4.8. Погодный компенсатор ECL с настройкой доступной потребителю

Электрический биметаллический датчик предназначен в основном для двухпозиционного регулирования температуры в помещениях. Чувствительным элементом этого прибора является биметаллическая спираль, один конец которой закреплен неподвижно, а другой свободен и удовлетворяет подвижным контактам, замыкающимся или размыкающимися с неподвижным контактом в зависимости от текущего и заданного значений температуры. Заданную температуру устанавливают поворотом шкалы настройки. В зависимости от диапазона настройки терморегуляторы выпускаются в 16 модификациях с общим диапазоном настройки от -30 до $+35$ °C, причем каждый регулятор имеет диапазон 10, 20 и 30 °C. Погрешность срабатывания ± 1 °C на средней отметке и до $\pm 2,5$ °C на крайних отметках шкалы.

Пневматический биметаллический регулятор в качестве преобразователя-усилителя имеет сопло-заслонку, на которую действует усилие биметаллического измерительного элемента. Эти регуляторы выпускаются 8 модификаций, прямого и обратного действия с общим диапазоном настройки от $+5$ до $+30$ °C. Диапазон настройки каждой модификации 10 °C.

Дилатометрические регуляторы устроены на использовании разности коэффициентов линейного расширения инварного (железоникелевый сплав) стержня и латунной или стальной трубки. Эти терморегуляторы по принципу действия регулирующих устройств не отличаются от подобных регуляторов, использующих манометрическую измерительную систему.

4.3. Автоматическое регулирование давления

Давление является показателем соотношения расходов газовой или жидкой фазы на входе в аппарат и выходе из него. Постоянство давления свидетельствует о соблюдении материального баланса газовой (жидкой) фазы.

В инженерных системах зданий и сооружений давление регулируется в широких пределах: от 1–5 мм вод. ст., или 10–50 Па (в камерах смесительных клапанов двухканальных систем кондиционирования воздуха), до 30–100 мм вод. ст., или 300–1000 Па и более (в воздуховодах и камерах статического давления систем I вентиляции), и до 60 кгс/см² (6 МПа), т. е. до величины, в 10 000 раз, большей (в устройствах водо-, холодо- и теплоснабжения, а также в установках снабжения сжатым воздухом). Такие большие диапазоны регулируемых давлений обуславливают разнообразие типов – применяемых регуляторов.

Наиболее простыми регуляторами давления прямого действия являются грузовые регуляторы давления «до себя» и «после себя». Регулятор давления «до себя» стабилизирует давление в трубопроводе до регулирующего клапана (по направлению потока), а регулятор «после себя» – после клапана. Регулятор давления «после себя» (рис. 4.9) состоит из регулирующего клапана с двухседельным разгруженным тарельчатым плунжером, закрывающим проход при перемещении вниз головки с резиновой мембраной, являющейся чувствительным элементом регулятора, и колонки с грузовым устройством. Мембрана, закрытая сверху крышкой, представляет собой камеру давления. Регулируемая среда через импульсную трубку оказывает на мембрану давление, вследствие чего создается усилие F_1 , которое через шток передается плунжеру. На шток в противоположном силе F_1 направлении действует усилие F_2 , создаваемое грузом, насаженным на рычажное устройство. Если давление в трубопроводе за клапаном оут Щ

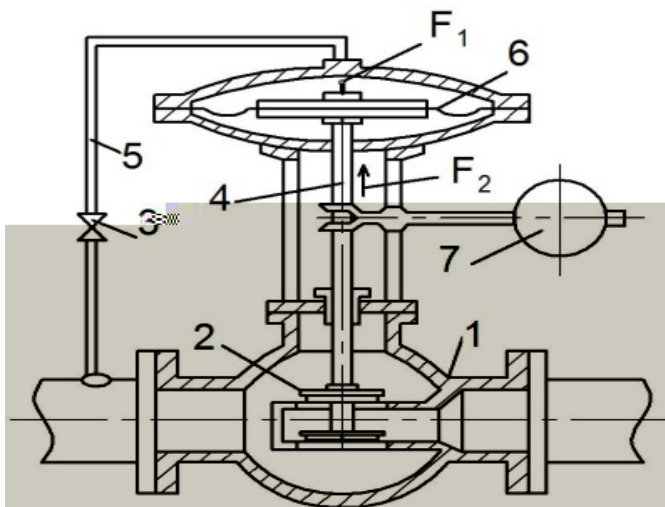


Рис. 4.9. Грузовой регулятор давления «после себя»:

- 1 – клапан; 2 – плунжер; 3 – вентиль;
- 4 – шток; 5 – импульсная трубка;
- 6 – резиновая мембрана; 7 – груз

Настраивают такой регулятор на заданное значение давления подбором сменных грузов и перемещением постоянного груза вдоль длинного плеча рычага. Заданное значение давления контролируют манометром, который присоединяют к импульсной трубке. Эти регуляторы имеют сравнительно большую зону нечувствительности (от 6 до 12 % верхнего предела настройки) и поэтому могут привести процесс регулирования к колебательному расходящемуся. Чтобы сгладить пульсирующие изменения давления, в импульсную трубку врезают игольчатый вентиль.

Регулятор давления «до себя» отличается от рассмотренного только расположением плунжера клапана относительно седла, что при увеличении давления в импульсной трубке увеличивает проход регулируемой среды. Регуляторы давления выпускают с условным проходом от 50 до 250 мм и диапазоном настроек от 0,15 до 13 кгс/см² (от 0,015 до 1,3 МПа) с ограниченным пределом настройки для каждой модификации.

Большое распространение, особенно в системах теплоснабжения, получили регулирующие клапаны прямого (непосредственного) действия типа УРРД (рис. 4.10).

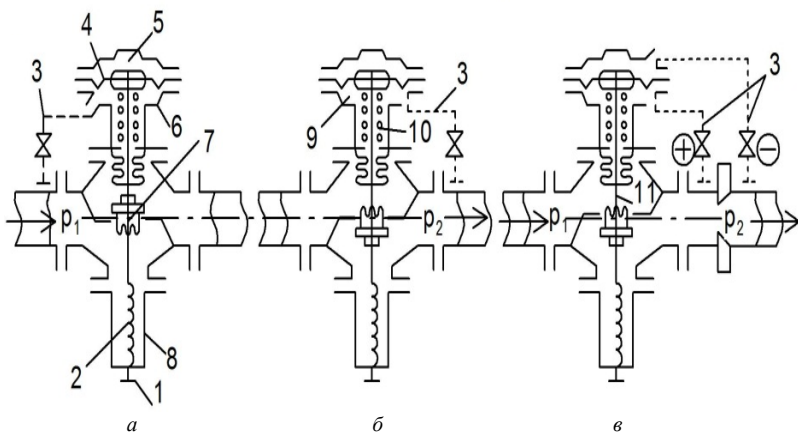


Рис. 4.10. Принципиальные схемы включения регулятора типа УРРД:
 а – регулирование давления «до себя»; б – регулирование давления «после себя»; в – регулирование перепада давления или расхода; 1 – винт; 2 – пружина; 3 – импульсная трубка; 4 – мембрана; 5, 6 – исполнительный механизм; 7 – регулирующий орган; 8 – стакан; 9 – камеры; 10 – пружины; 11 – шток

Импульс регулируемого параметра проводится по импульсным трубкам непосредственно в камеру 5 или 9 мембранно-пружинного исполнительного механизма. Возникающее при этом импульсное усилие (или разность усилий при регулировании расхода (рис. 4.10, в)) на мембрану уравнивается натяжением настроечной пружины 2. Отклонение регулируемого параметра в ту или другую сторону от заданного значения нарушает равновесие действующих сил, что вызывает перемещение регулирующего органа и изменение расхода. В результате этого заданное значение регулируемого параметра будет восстанавливаться.

При колебании величины регулируемого давления изменяется усилие на мембрану и, следовательно, уравнивающее это усилие натяжение настроечной пружины. Другими словами, у этого регулятора величина давления зависит от положения регулирующего органа, т. е. от расхода. Такая зависимость является характерным признаком статического регулятора, в котором скорость перемещения регулирующего органа пропорциональна скорости изменения параметра, но не зависит от величины его отклонения. Этот регулятор не способен вернуть давление точно к заданному значению. Величина регулируемого давления будет зависеть от положения клапана, т. е. от степени сжатия пружины. Статические регуляторы, как правило, лучше и надежнее в установках теплоснабжения, чем астатические.

Регуляторы УРРД выпускаются с условным проходом 25, 50 и 80 мм и диапазоном возможных настроек от 0,4 до 6 кгс/см² (от 0,04 до 0,6 МПа). При необходимости регулировать давление от 6 до 16 кгс/см² (от 0,6 до 1,6 МПа) применяют гидравлический регулятор РД-ЗА в комплекте с УРРД. Регулятор РД-ЗА является универсальным, т. е. в зависимости от вида сборки может поддерживать заданное давление, перепад давления, уровень воды и расход регулируемой среды. Этот регулятор имеет усилитель-преобразователь типа сопла-заслонки, основанный на принципе дросселирования заслонкой потока рабочей жидкости, вытекающей из сопла. Рабочая жидкость является источником вспомогательной энергии. Заслонка находится под воздействием чувствительного элемента, воспринимающего регулируемую величину.

Рассмотрим принцип действия РД-ЗА в комплекте с УРРД в схеме регулирования давления «до себя» (см. рис. 4.10). Вода из водопровода давлением p_v (рабочая жидкость – вспомогательная энергия) сначала пропускается через дроссель постоянного сечения, а затем попадает в камеру, соединенную с дросселем переменного сечения и с импульсной линией 3, соединяющей РД-ЗА с мембранно-пружинным исполнительным механизмом регулятора УРРД. Рабочая жидкость через дроссель переменного сечения (сопло-заслонку) сливается в дренаж.

Заслонка связана с чувствительным элементом (сильфоном) регулятора. Увеличение давления p_x в импульсной линии 4 регулятора РД-ЗА приводит к увеличению давления в камере над сильфоном и приближает заслонку к соплу. Давление p_x в камере увеличивается, и регулятор УРРД повышает расход регулируемой среды через клапан, что приводит к уменьшению давления в трубопроводе перед УРРД (рис. 4.11).

Регулятор РД-ЗА устанавливается на заданное значение натяжением настроечной пружины с помощью винта. РД-ЗА выполняет роль П-регулятора. В некоторых случаях при оснащении регулятора приставкой можно превратить его в изодромный ПИ-регулятор. Регулятор РД-ЗА может иметь одно-, двух- и трехсильфонную сборку, а узел его управляющего клапана может собираться по одно- и двухсопловой системе. Эта особенность позволяет широко использовать его при регулировании различных параметров в системах теплоснабжения зданий и сооружений.

Для регулирования давления используются и общепромышленные регуляторы электрической и пневматической ветви ГСП, а также реле и регуляторы давления с двух- и трехпозиционными устройствами. В качестве чувствительных элементов этих регуляторов применяют одновитковые трубчатые пружины (ЭКМ-IV), многовитковые (геликоидальные) пружины (МГ), сильфоны (РД) и мембраны. Таким образом,

измерительные элементы и регулирующие устройства почти ничем не отличаются от описанных выше терморегуляторов с манометрической термосистемой.

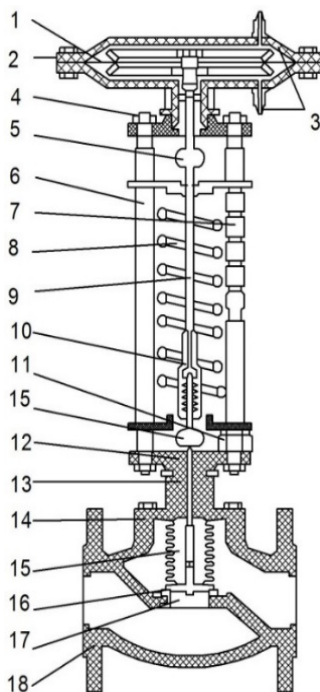


Рис. 4.11. Регулятор давления JVD-JVF; 1 – мембрана; 2 – корпус мембраны; 3 – фитинги для импульсных трубок; 4 – сальниковое уплотнение; 5 – соединительный узел; 6 – крепежный стержень; 7 – стержень с калибровочными обозначениями; 8 – пружина; 9 – шток; 10 – шпindelь; 11 – регулирующая гайка; 12 – сальниковое уплотнение; 13 – тефлоновые кольца; 14 – крышка; 15 – разгружающий сильфон; 16 – тарелка клапана; 17 – седло клапана; 18 – корпус клапана

В последние годы в системах отопления, теплоснабжения и котельных установках стали широко использоваться регуляторы давления JVD-JVF фирмы Danfoss. Такой автоматический пропорциональный регулятор прямого действия состоит из регулирующей части JVD и односедельного разгруженного клапана JVF (рис. 4.11).

В зависимости от способа установки шпинделя регулирующей части прибор может работать как в качестве регулятора перепада давления или ограничителя расхода воды (при росте перепада давления кла-

пан закрывается), так и качестве регулятора постоянства расхода (при росте перепада давления клапан открывается). Регулятор можно устанавливать на подающем или обратном трубопроводе, при этом направление движения потока должно соответствовать направлению, показанному стрелкой на корпусе прибора.

4.4. Автоматическое регулирование расхода воды

Необходимость регулирования расхода возникает при автоматизации многих инженерных систем. Например, в тепловых пунктах зданий регулируют расход теплоносителя, подаваемого в систему отопления. Для этой цели часто применяют рассмотренный регулятор прямого действия типа УРРД.

Системы регулирования расхода характеризуются двумя особенностями: малой инерционностью собственно объекта регулирования; наличием высокочастотных составляющих в сигнале изменения расхода, обусловленных пульсациями давления в трубопроводе, которые вызываются работой насосов и вентиляторов или случайными колебаниями расхода при дросселировании потока через сужающие устройства.

Объектом при регулировании расхода является участок трубопровода между точкой измерения расхода (например, местом установки сужающего устройства) и регулирующим органом. Длина этого участка определяется правилами установки сужающих устройств и регулирующих органов и составляет несколько метров. Время чистого запаздывания обычно составляет несколько долей секунды для газов и несколько секунд для жидкостей. Ввиду малой инерционности такого объекта особые требования предъявляются к выбору средств автоматизации и методов расчета АСР расхода. В большинстве случаев инерционность цепей контроля и регулирования расхода соизмерима с инерционностью объекта и ее необходимо учитывать при расчете АСР расхода.

При регулировании расхода применяют один из трех способов: дросселирование потока через регулируемый орган, устанавливаемый на трубопроводе (клапан, шибер, заслонка); изменение напора в трубопроводе с помощью регулируемого источника энергии (например, изменением числа оборотов двигателя насоса или угла поворота лопастей вентилятора); байпасирование, т. е. переброс избытка вещества из основного трубопровода в обводную линию.

Регулирование расхода после центробежного насоса осуществляется регулирующим клапаном, устанавливаемым на нагнетательном трубопроводе (рис. 4.12, а).

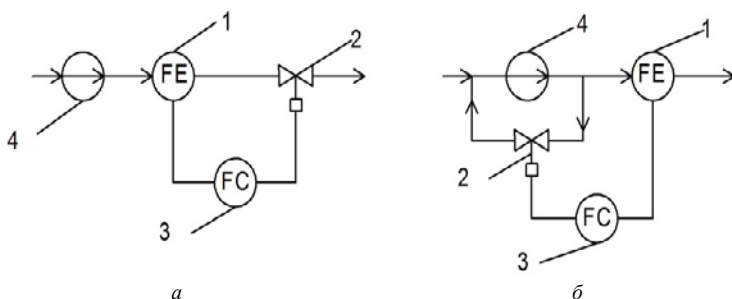


Рис. 4.12. Схема регулирования расхода после центробежного (а) и поршневого (б) насосов: 1 – измеритель расхода; 2 – регулирующий клапан; 3 – регулятор; 4 – насос

Если для перекачивания используют поршневой насос, применение подобной АСР недопустимо, так как при работе регулятора клапан может закрыться полностью, что приведет к разрыву трубопровода (или к помпажу, если клапан установлен на линии всасывания). В этом случае для регулирования расхода используют байпасирование потока (рис. 4.12, б).

В ряде случаев необходимо поддержание заданного соотношения расходов (например, «топливо-воздух» в котельных установках). Наиболее часто прибегают к регулированию соотношения двух веществ, которое осуществляется по одной из трех схем, описанных ниже. По первой схеме (рис. 4.13, а) при незаданной общей производительности расход одного вещества G_1 называемый «ведущим», может изменяться произвольно; второе вещество подается при постоянном соотношении, а с первым так, что «ведомый» расход G_2 равен G_1 .

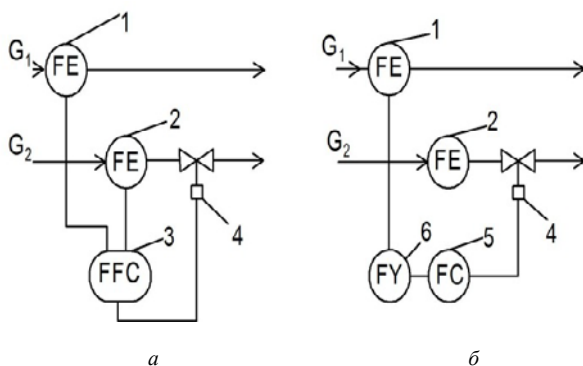


Рис. 4.13. Схемы регулирования соотношения расходов при незаданной общей нагрузке: 1, 2 – измерители расхода; 3 – регулятор соотношения; 4 – регулирующий клапан; 5 – регулятор расхода; 6 – реле соотношения

Иногда вместо регулятора соотношения используются реле соотношения и обычный регулятор для одной переменной (рис. 4.13, б). В этом случае выходной сигнал реле соотношения, устанавливающего заданный коэффициент соотношения, подается в виде задания регулятору, обеспечивающему поддержание «ведомого» расхода.

Вторая схема (рис. 4.14, а) используется в технологических процессах, когда значение «ведущего» расхода задано. В этом случае кроме АСР соотношения расходов применяют также АСР «ведущего» расхода. По этой схеме в случае изменения задания по расходу, автоматически произойдет и изменение расхода G_2 , причем в заданном соотношении с G_1 .

Третья схема (рис. 4.14, б) применяется в тех случаях, когда АСР соотношения расходов является внутренним контуром в каскадной системе регулирования третьего технологического параметра Y (например, температура в каком-либо топливо сжигающем аппарате).

При этом заданный коэффициент соотношения устанавливается внешним регулятором в зависимости от этого параметра так, что $G_2 = \alpha(Y)G_1$.

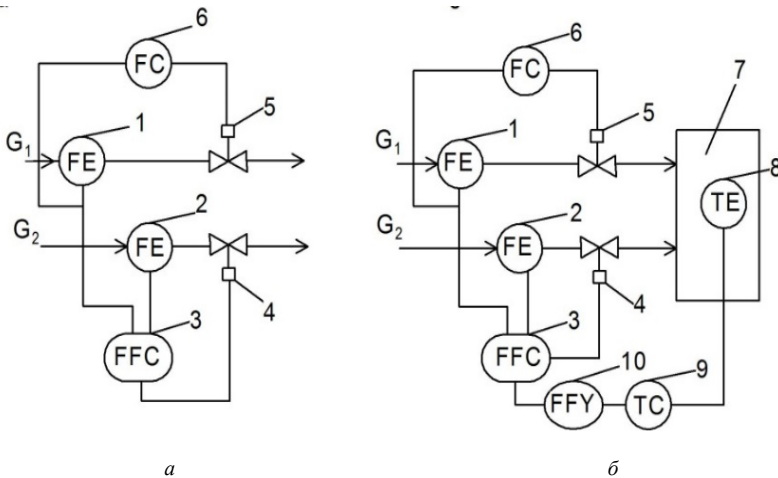


Рис. 4.14. Схема регулирования соотношений расходов при заданной общей нагрузке (а) и коррекции коэффициента соотношения по третьему параметру (б):

- 1, 2 – измерители расхода; 3 – регулятор соотношения; 4, 5 – регулирующие клапаны;
6 – регулятор расхода; 7 – технологический аппарат; 8 – измеритель температуры;
9 – регулятор температуры; 10 – устройство ограничения

При этом заданный коэффициент соотношения, а устанавливается внешним регулятором в зависимости от этого параметра так, что $G_2 = \alpha(Y)G_1$.

Часто в инженерных системах возникает необходимость в аварийной и предупредительной сигнализации о наличии потока воздуха, протока воды или в сигнализации о предельных значениях расхода тех или иных рабочих сред.

Для регулирования, сигнализации или переключения с одного расходомера на другой применяю различные сильфонные, мембранные или поплавковые диафанометры с регулируемыми или сигнальными устройствами. Например, расход теплоносителя на вводе в здание измеряется комплектом приборов, в состав которого входят диафрагма и сильфонный показывающий диафанометр с интегратором. Известно, что такой комплект является коммерческим (по показателям интегратора производится финансовый расчет) и может производить измерения с требуемой точностью только при расходе от 30 до 100 % максимального диапазона шкалы диафанометра. Если длительное время ожидается минимальный расход, значение которого находится ниже 30 % максимального (измеряемого диафанометром), то приходится устанавливать второй комплект расходомера с максимальным пределом измерений, несколько большим 30 % предела первого комплекта. Каждый комплект устанавливают на один из двух параллельных участков трубопровода, оборудованных запорными моторными задвижками. В зависимости от величины расхода теплоносителя сигнальные устройства диафанометров, воздействуя на приводы запорных задвижек, открывают для измерения только один участок трубопровода. Общий расход теплоносителя равен сумме показаний интеграторов обоих комплектов.

Для контроля протока жидкостей по трубопроводам меньшего диаметра (20, 40 и 50 мм) применяют реле протока для установки на горизонтальных участках трубопроводов и в местах перехода; вертикальных участков трубопроводов на горизонтальные.

4.5. Автоматическое регулирование уровня воды

Уровень является косвенным показателем гидродинамического равновесия в аппарате или сооружении. Постоянство уровня свидетельствует о соблюдении материального баланса, когда приток жидкости равен стоку и скорость изменения уровня равна нулю. Следует отметить, что приток и сток здесь являются обобщенными понятиями. В простейшем случае, когда в аппарате не происходит никаких фазовых превращений (сборники, смесители, промежуточные емкости, жидкофазные сооружения), приток равен расходу жидкости, подавае-

мой в аппарат, а сток расходу жидкости, отводимой из аппарата. В более сложных технологических процессах, сопровождающихся изменением фазового состояния веществ, уровень является характеристикой не только гидравлических, но тепловых и массообменных процессов, а приток и сток учитывают фазовые превращения веществ. Такие процессы протекают в испарителях, конденсаторах, выпарных установках и многих других агрегатах.

В зависимости от требуемой точности поддержания уровня применяют либо позиционное, либо его непрерывное регулирование.

Позиционное регулирование применяется в случаях, когда уровень в аппарате требуется поддерживать в заданных, но достаточно широких пределах: $L_H - L_B$. Такие системы регулирования чаще всего устанавливают на сборниках жидкости или промежуточных емкостях (рис. 4.15). При достижении предельного значения уровня в них обычно предусматривается автоматическое переключение потока жидкости на запасную емкость.

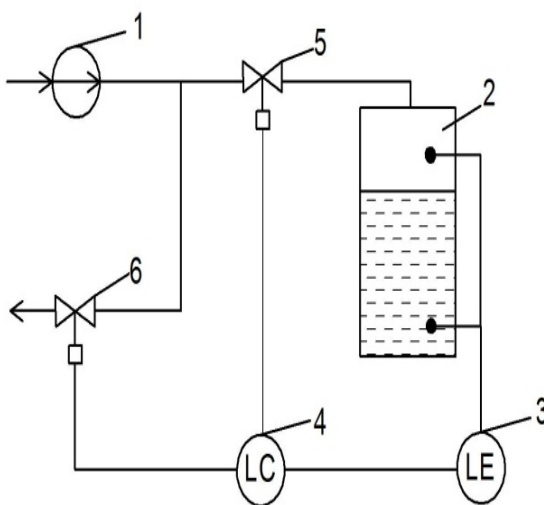


Рис. 4.15. Схема позиционного регулирования уровня: 1 – насос; 2 – аппарат; 3 – сигнализатор уровня; 4 – регулятор уровня; 5, 6 – регулирующие клапаны

Способ непрерывного регулирования используется для стабилизации уровня на заданном значении, т. е. когда необходимо обеспечивать равенство $L = L_0$. Особенно высокие требования предъявляются к точности регулирования уровня в теплообменных аппаратах, в которых уровень конденсата определяет фактическую поверхность теплообмена. В таких АСР для регулирования уровня без статической погрешно-

сти применяют П-регуляторы. П-регуляторы используют лишь в тех случаях, когда не требуется высокое качество регулирования и возмущения в системе, не имеют постоянной составляющей, которая может привести к накоплению статической погрешности.

При отсутствии фазовых превращений в аппарате уровень в нем регулируют одним из трех способов: изменением расхода жидкости на входе в аппарат (регулирование «на притоке», рис. 4.16, *а*); изменением расхода жидкостей на выходе из аппарата (регулированием «на стоке», рис. 4.16, *б*); регулированием соотношения расхода жидкости на входе в аппарат и выходе из него с коррекцией по уровню (каскадная АСР, рис. 4.16, *в*).

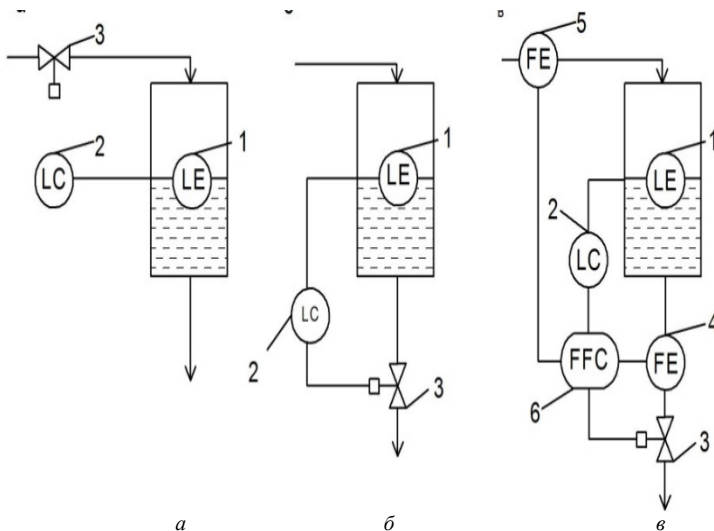


Рис. 4.16. Схемы непрерывного регулирования уровня: *а* – регулирование «на притоке»; *б* – регулирование «на стоке»; *в* – каскадная АСР; 1 – измеритель уровня; 2 – регулятор уровня; 3 – регулирующий клапан; 4, 5 – измерители расхода; 6 – регулятор соотношений

Следует отметить, что при реализации каскадной АСР отклонение корректирующего контура может привести к накоплению ошибки при регулировании уровня, так как вследствие неизбежных погрешностей в настройке регулятора соотношение расхода жидкости на входе и выходе аппарата не будет одинаково и вследствие свойств объекта уровень в аппарате будет непрерывно нарастать (или убывать).

В случае, когда процессы в аппарате сопровождаются фазовыми превращениями, можно регулировать уровень изменением подачи теп-

лоносителя (или хладагента). В таких аппаратах уровень взаимосвязан с другими параметрами (например, давлением), поэтому выбор способа регулирования в каждом конкретном случае должен выполняться с учетом остальных контуров автоматического регулирования.

Регулирование уровня в инженерных системах применяют для автоматизации водонапорных, подпиточных, расширительных, пневмогидравлических и других баков и резервуаров, а также для предупредительной и аварийной сигнализации переполнения или опорожнения различных емкостей.

Наиболее простым является поплавковый камерный регулятор уровня, состоящий из поплавковой камеры и регулирующего клапана, соединенных тягой (рис. 4.17).

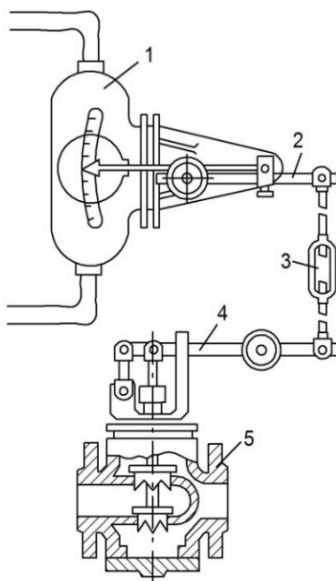


Рис. 4.17. Поплавковый камерный регулятор уровня: 1 – камера; 2, 4 – рычаг; 3 – тяга; 5 – регулирующий клапан

Поплавковая камера соединена с емкостью, находящейся под давлением до 16 кгс/см^2 (1,6 МПа). Шаровой пустотелый поплавок жестко связан с осью, выведенной через сальник, установленный в корпусе камеры. На этой же оси снаружи закреплен рычаг 2 с контргрузом и тягой, соединенной с рычагом 4 регулирующего клапана. Полный ход поплавка составляет 160 мм. Длину рычагов поплавкового устройства и клапана можно регулировать в больших пределах и тем самым изменять зону неравномерности регулятора от 10 до 500 %.

Поплавковые камерные регуляторы уровня жидкости можно комплектовать пневматическими или электрическими регулирующими и сигнализирующими устройствами, которые крепят к корпусу поплавковой камеры и соединяют с рычагом. Пневматические регулирующие устройства представляют собой П-регуляторы, электрические – трехпозиционные контактные. В качестве регуляторов уровня могут применяться и диафанометры, оснащенные различными регулирующими устройствами.

Получили распространение также пневматические регуляторы уровня, которые по принципу действия близки к поплавковым мерным регуляторам. Их выпускают на условные давления 16, и 64 кгс/см² (1,6; 4,0 и 6,4 МПа); пределы измерения от 400 до 800 мм. Эти регуляторы оснащены указателями положения уровня и могут иметь две пневмосистемы, одна из которых служит для дистанционной передачи (до 300 м) показаний уровня класс точности 2,5), а другая – для регулирования. Чувствительный элемент представляет собой полый цилиндрический буюк, соединенный рычагами и осью с заслонкой пневматического усилителя – преобразователя типа сопла-заслонки.

Для автоматизации откачивающих или нагнетающих насосов для сигнализации используются различные реле уровня. Реле уровня бессальниковое (рис. 4.18, а) имеет поплавковую камеру, которой вместе с уровнем жидкости перемещается шаровой поплавок, связанный штоком с осью. При перемещении поплавка поворачивает ведущий магнит муфты. Ведомый магнит поворачивается за ведущим магнитом и приводит в движение связанные с ним два ртутно-стеклянных контакта, которые срабатывают крайних (верхнем и нижнем) положениях поплавка. Пределы срабатывания реле можно настроить от 20 до 150 мм, при этом один контакт будет срабатывать при максимальном уровне, другой – при минимальном. Разрывная мощность контактов В – А при переменном токе 220 В частотой 50 Гц. Электрическая проводка вводится через сальник корпуса контактного устройства. Реле можно использовать для резервуаров, находящихся под давлением. Его отличительной особенностью является бессальниковое устройство с электромагнитной связью.

Для открытых резервуаров большой высоты (до нескольких метров) применяется реле уровня (рис. 4.18, б), у которого поплавок соединен с контактным устройством с помощью троса, поплавка и противовес укреплены на тросе, перекинутом через блок. При перемещении поплавка вверх до максимального значения уровня кольцо 3, укрепленное на тросе, подходит к рычагу контактного устройства и поднимает его. Контактное устройство срабатывает. При понижении уровня жидкости кольцо 6, укрепленное на другом конце троса, пере-

мещает рычаг в обратном направлении до нового срабатывания контактного устройства. Прямое обратное срабатывание контактного устройства настраивается перемещением колец вдоль троса. Разрывная мощность контактов составляет до 2 кВА при переменном токе 220 В частотой 50 Гц.

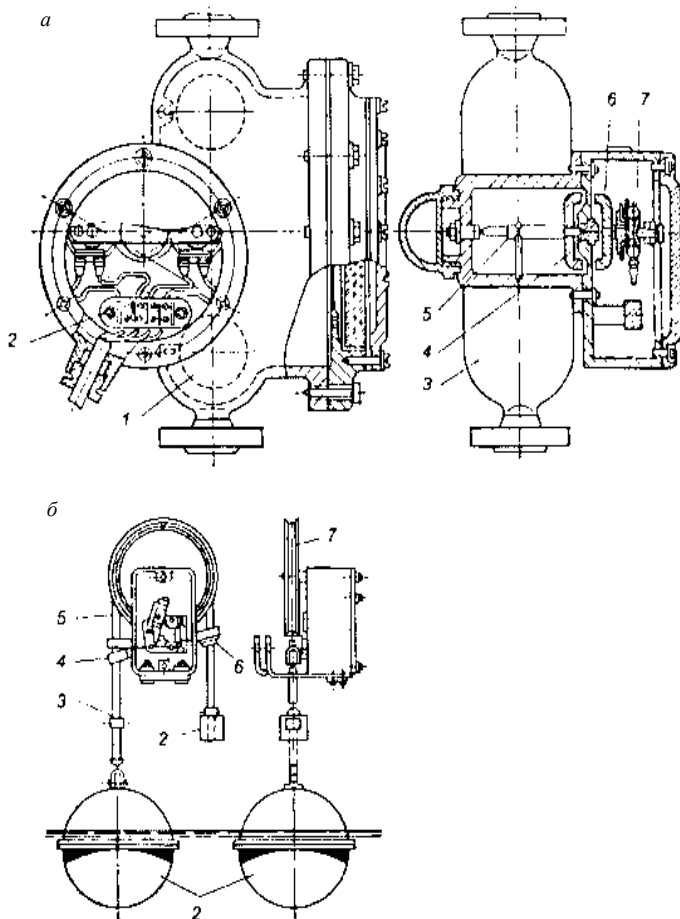


Рис. 4.18. Поплавковое реле уровня: *а* – бессальниковое с электромагнитной связью; 1 – поплавок; 2 – контактная колодка; 3 – камера; 4 – ведущий магнит; 5 – ось; 6 – ведомый магнит; 7 – ртутно-стеклянный контакт; *б* – для открытых резервуаров; 1 – поплавок; 2 – противовес; 3, 6 – кольца; 4 – рычаг; 5 – трос; 7 – блок

Описанные поплавковые реле и регуляторы уровня не могут применяться для регулирования или сигнализации бытовых сточных вод, так как поплавковые устройства теряют плавучесть, механизмы передачи выходят из строя. Для этого разработано специальное реле уровня колодцев.

Большое распространение в инженерных системах получили неэлектрические и электронные реле уровня, использующие в качестве датчиков электроды, с помощью которых измеряется электропроводность или электрическая емкость. Эти реле не имеют подвижных устройств, поплавков и передаточных механизмов. Например, электрический регулятор – сигнализатор уровня предназначен для воды и неагрессивных растворов. В основу работы заложен принцип замыкания электрической цепи при резком изменении электропроводности.

4.6. Автоматическое регулирование с помощью микропроцессоров

В последнее время в локальных АСР стала применяться вычислительная техника. На ее основе выпускаются программируемые микропроцессорные регуляторы. Один такой регулятор может заменить несколько десятков обычных электрических регуляторов. Микропроцессорный регулятор имеет 64 входа для присоединения измерительных устройств и столько же выходов для управления исполнительными механизмами. Входным сигналом программируемого микропроцессорного регулятора является постоянный ток, изменяющийся в диапазоне 0–5 мА (унифицированный сигнал). Поэтому измерительная цепь любого технологического параметра должна включать нормирующий преобразователь. Например, если регулируемый параметр – температура, то измерительная цепь составляется из термометра сопротивления и преобразователя НП-СЛ-1М (рис. 4.19, *а*) или из термопары и преобразователя НП-ТЛ-1М (рис. 4.19, *б*). При регулировании расхода измерительная цепь будет включать диафрагму и диафанометр с токовым выходом ДМ-Э (рис. 4.19, *в*) или ротаметр РЭД и преобразователь НП-ПЗ (рис. 4.19, *г*).

Применение микропроцессорного регулятора не устраняет необходимости в приборах для регистрации регулируемых параметров. По этим приборам ведут настройку регуляторов и при необходимости ручное дистанционное управление процессом. Унификация входных сигналов микропроцессорного регулятора позволяет применять однотипные одно- и многоточечные приборы типа КСУ для измерения постоянного тока в диапазоне 0–5 мА.

Так как выходные сигналы вычислительного устройства также имеют цифровую форму, то для их преобразования в выходные аналоговые сигналы на выходе регулятора имеются преобразователи двух видов. Одни из них – цифроаналоговые ЦАП – преобразуют цифровой выходной сигнал вычислительного устройства в постоянный ток с диапазоном изменения 0–5 мА, другие – цифроимпульсные ЦИП – в электрические импульсы различной длительности.



Рис. 4.19. Примеры измерительных цепей микропроцессорного регулятора:
 а – с термометром сопротивления; б – с термопарой;
 в – с диафрагмой; г – с ротаметром

Входные сигналы микропроцессорного регулятора поступают на коммутатор К, который поочередно подключает их к аналого-цифровому преобразователю АЦП. Частота работы коммутатора и очередность опроса входных сигналов вводятся оператором в вычислительное устройство с пульта ПО. Коммутатор подключает входные сигналы на короткие промежутки времени (десятки микросекунд). За это время входной сигнал обрабатывается в вычислительном устройстве по заданному закону регулирования и выдается на соответствующий выход регулятора. Таким образом, каждый вход и соответствующий ему выход относятся к одному контуру регулирования, а весь многоканальный регулятор представляет собой совокупность отдельных простых регуляторов.

В микропроцессорном регуляторе предусмотрен универсальный закон регулирования – ПИД-закон, из которого выбором коэффициентов при П-, И- и Д-составляющих можно получать любой требуемый для данной АСР типовой закон регулирования. Это производит опера-

тор путем задания с пульта ПО требуемых коэффициентов для каждого канала многоканального регулятора.

Микропроцессорный регулятор позволяет также производить нелинейные преобразования сигналов (например, возведение в квадрат сигнала расходомера переменного перепада давления), сигнализировать превышение максимально допустимой величины рассогласования, организовывать связи между отдельными каналами для реализации комбинированных АСР. Все эти возможности оператор может реализовать путем ввода с пульта определенных команд.

Для повышения надежности многоканального регулятора в нем предусмотрено «горячее» резервирование: при возникновении неисправности в одном из каналов регулирования автоматически включается в работу резервный канал. Неисправность выявляется самим регулятором без участия оператора.

Применение коммутатора К позволило использовать для всех каналов один АЦП. На выходе микропроцессорного регулятора коммутация сигналов не предусмотрена, и общее число ЦАП и ЦИП равно числу выходных цепей. Это связано с тем, что при использовании одного ЦАП или одного ЦИП пришлось бы применить специальные устройства для сохранения выходных сигналов на время, пока коммутатор подключается к другим выходам.

Цифроаналоговые выходные преобразователи ЦАП предназначены для управления пневматическими исполнительными механизмами, которые подключают к выходу через электропневматический преобразователь ЭПП-63 и байпасную панель дистанционного управления БПДУ. Эта панель позволяет подавать на исполнительный механизм командное давление сжатого воздуха p_k в диапазоне от 0,2 до 110^5 Па. Цифроимпульсные преобразователи ЦИП предназначены для управления электрическими исполнительными механизмами (ЭИМ), которые подключают к выходу через тиристорные пускатели.

В микропроцессорном регуляторе все операции с сигналами АСР (вычисление рассогласования, выработка регулирующего воздействия в соответствии с законом регулирования, выполнение математических операций и т. п.) производятся в цифровой форме. В этом случае говорят о непосредственном цифровом управлении процессом (НЦУ). Пульт оператора имеет клавиши с надписями, принятыми для регулирующих устройств. Это позволяет оператору общаться с регулятором, представляющим фактически микро-ЭВМ, на понятном ему языке.

4.6.1. Регулирующие органы и механизмы

Регулирующий орган осуществляет регулирующее воздействие на объект изменением расхода вещества или энергии, подводимой к нему.

Для изменения расхода жидкостей, газов и паров применяют дроссельные регулирующие органы. Их действие основано на изменении проходного сечения трубопровода в месте установки регулирующего органа. Проходное сечение дроссельного регулирующего органа изменяют, открывая или закрывая его. Расход вещества через такой регулирующий орган зависит от степени его открытия и перепада давлений на нем. Поэтому следует иметь в виду, что даже при одной и той же степени открытия дроссельного регулирующего органа расход через него может изменяться при изменении перепада давлений.

К дроссельным регулирующим органам относятся односедельные, двухседельные и диафрагмовые клапаны, а также заслонки. В односедельных и двухседельных регулирующих клапанах (рис. 4.20) изменение проходного сечения производится перемещением одного или двух плунжеров 2 относительно седла 3. Преимущество односедельного клапана перед двухседельным в том, что он обеспечивает при закрытии герметичное перекрытие трубопровода, в то время как у двухседельного невозможно обеспечить герметичную посадку в седла одновременно обоих плунжеров. С другой стороны, перепад давлений на клапане создает на плунжере односедельного клапана выталкивающее усилие, достигающее максимальной величины при полностью закрытом клапане.

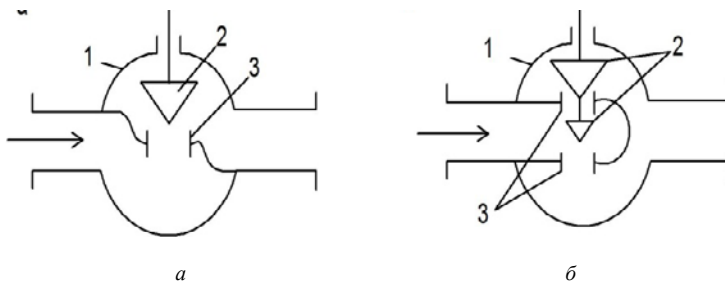


Рис. 4.20. Регулирующие клапаны: *а* – односедельный; *б* – двухседельный; 1 – корпус; 2 – плунжер; 3 – седло

У двухседельного клапана такие силы приложены к обоим плунжерам, но направлены в разные стороны. Поэтому результирующее усилие на штоке такого клапана даже при полном закрытии гораздо меньше, чем у односедельного, и для перемещения двухседельного клапана требуется исполнительный механизм меньшей мощности, чем для односедельного. В диафрагмовых клапанах (рис. 4.21) проходное сечение изменяется в результате перемещения центра диафрагмы 2 относительно перегородки 3 в корпусе клапана 1.

В трубопроводах большого сечения для управления потоками газа и пара обычно применяют *поворотную заслонку* (рис. 4.22).

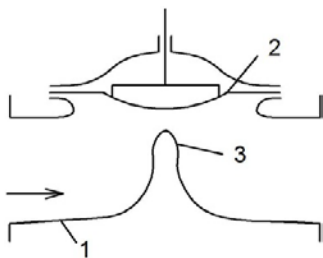


Рис. 4.21. Диафрагмовый клапан

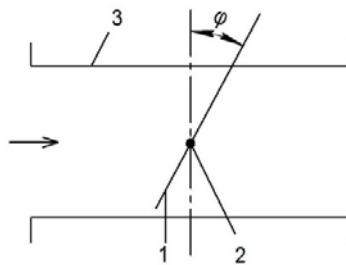


Рис. 4.22. Поворотная заслонка

Основной элемент заслонки – круглый диск 1, укрепленный на оси 2 и помещенный в корпусе 3. Поворотом диска изменяется площадь проходного сечения между заслонкой и корпусом. Если диск находится в плоскости, перпендикулярной оси корпуса, то проходное сечение равно нулю. По мере поворота диска площадь проходного сечения увеличивается и достигает максимума, когда положение диска совпадает с осью корпуса.

Основной характеристикой дроссельного регулирующего органа как элемента АСР является его статическая характеристика – зависимость расхода вещества через регулирующий орган от степени его открытия.

Для регулирующего органа предпочтительна линейная статическая характеристика, так как только в этом случае не искажается закон регулирования, формируемый регулятором в АСР. Однако, как указывалось выше, расход через дроссельный регулирующий орган зависит еще и от перепада давлений, который в технологическом процессе может изменяться с изменением расхода. Поэтому статическая характеристика регулирующего органа, линейная при постоянном перепаде давлений, может оказаться нелинейной в реальных условиях.

Чтобы избежать этого, применяют клапаны не только с линейными, но и с нелинейными характеристиками при постоянном перепаде давлений. Таким образом, удастся скомпенсировать нелинейность статической характеристики регулирующего органа, обусловленную переменным перепадом давлений.

Для дроссельных регулирующих органов необходимая статическая характеристика наиболее просто может быть получена у регулирующего клапана. В настоящее время промышленность выпускает регулирующие клапаны с линейной, логарифмической и параболической ха-

раактеристиками, причем клапаны с различными характеристиками отличаются лишь формой плунжера.

Кроме статической характеристики регулирующий клапан характеризует его *пропускная способность* – расход воды через полностью открытый регулирующий орган при перепаде давлений на нем 110^5 Па. Этот расход (в м³/ч) указывается в паспортных данных регулирующего органа вместе с другими его показателями: условным давлением, допустимой температурой и т. п.

Регулирующий орган выбирают по пропускной способности, виду требуемой статической характеристики, а также исходя из условий его эксплуатации: свойств протекающей среды, температуры и давления в трубопроводе.

Для трубопроводов небольшого диаметра (до 25 мм) применяют односедельные регулирующие клапаны, большого диаметра – двухседельные. В тех случаях, когда условия эксплуатации не позволяют применять регулирующие клапаны, используют диафрагмовые клапаны сильноагрессивных жидкостей. Диафрагмы в таких клапанах изготавливают из кислотостойкой резины, фторопласта и других материалов, стойких по отношению к протекающей среде, а внутреннюю поверхность корпуса покрывают фторопластом или эмалью.

5. УСИЛИТЕЛИ, БЛОКИ СРАВНЕНИЯ, ЗАДАТЧИКИ, КОМАНДНЫЕ УСТРОЙСТВА

5.1. Полупроводниковые усилители

В полупроводниковых усилителях, как и в магнитных, широко используются отрицательные и положительные обратные связи. Отрицательная обратная связь уменьшает искажения выходного сигнала, улучшает частотную характеристику усилителя, способствует стабилизации его работы при замене транзисторов с производственным разбросом параметров и при изменении их характеристик в зависимости от температуры. Положительная обратная связь используется в основном для увеличения коэффициента усиления и перевода усилителя в релейный режим. В последнем качестве она применяется в бесконтактных полупроводниковых реле и нуль-органах [17, 18].

Нуль-органом называют сравнивающий элемент автоматических устройств, формирующий сигнал или знак рассогласования сравниваемых величин. Кроме того, в измерительных устройствах он выдает визуальный сигнал и поэтому его чаще всего называют *нуль-индикатором*.

Нуль-индикатор должен реагировать на величину и знак разности двух сравниваемых электрических величин (токов или напряжений). Ток или напряжение на выходе нуль-индикатора при его срабатывании или возврате, как и у реле, изменяется скачкообразно.

Полупроводниковые нуль-индикаторы по сравнению с широко используемыми поляризованными и магнитоэлектрическими реле обладают некоторыми преимуществами. Их отличают высокие чувствительность и к. п. д., большой срок службы, значительная вибро- и ударостойкость. Ценное их качество – возможность бесконтактного управления непосредственно промежуточными реле с высокой коммутационной способностью контактов.

Принцип действия полупроводниковых нуль-индикаторов одинаков, но схемные решения могут быть различными. На рис. 5.1 показана схема нуль-индикатора с двумя устойчивыми состояниями: первое – реле разомкнуло свои контакты и ток реле равен I_0 ; второе – реле сработало и ток реле равен I_p . Схема работает следующим образом.

На вход схемы к зажимам 1 и 2 подается сигнал рассогласования сравниваемых величин в виде малого тока или напряжения. При отсутствии входного сигнала триод T_1 открыт током, протекающим по цепи: эмиттер – база триода T_1 – резистор R_1 . Вследствие этого потенциал базы триода T_2 имеет незначительную положительную величину относительно эмиттера этого же триода. Отрицательный потенциал смещения эмиттера создается падением напряжения в диоде D_2 в пря-

мом направлении. Благодаря этому T_2 закрыт, а через реле протекает незначительный ток $I_0 = 20 - 50$ мкА. Потенциалы входных зажимов 1 и 2 определяются соответственно падением напряжения в триоде T_1 от токов, протекающих через резисторы R_1 и R_2 , и падением напряжения в диоде D_1 от токов, протекающих через резисторы R_3 и R_4 . Равно потенциальность между входными зажимами 1 и 2 сохраняется в широком интервале температур благодаря примерно одинаковым температурным зависимостям падения напряжения в цепи эмиттер – база триода T_1 и диода D_1 . Если на вход схемы подается сигнал рассогласования, равный току срабатывания $I_{ср}$ и обращенный положительной полярностью к зажиму 1, то триод T_1 закрывается, а триод T_2 открывается.

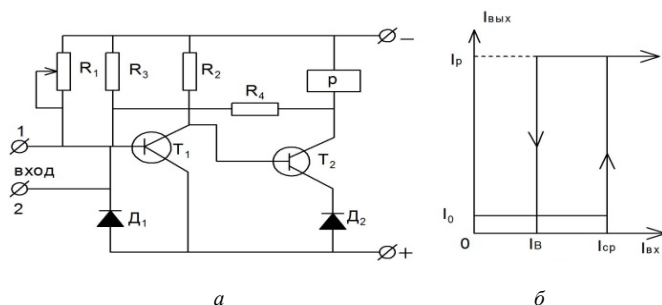


Рис. 5.1. Схема нуля-индикатора с двумя устойчивыми состояниями (а) и его характеристика (б)

Для получения релейной характеристики нуля-индикатора предназначен резистор R_4 , который образует цепочку параллельной положительной обратной связи. При изменении входного сигнала до величины тока возврата $I_в$ схема скачкообразно переходит в первоначальное состояние. При возврате разряд электромагнитной энергии обмотки реле P переходит на резисторы R_3 и R_4 . Резистором R_1 можно в широких пределах регулировать величину срабатывания нуля-индикатора, начиная с 5 мкА (50 мВ) и выше. Ноль-индикатор с тремя устойчивыми состояниями представляет собой соединение двух нуля-индикаторов, изображенных на рис. 5.2, а.

Если входного сигнала нет, то триоды T_1 и T_3 открыты, а триоды T_2 и T_4 закрыты, что соответствует обесточенному состоянию обмоток реле P_1 и P_2 . Если отрицательная полярность сигнала будет подана к зажиму 2, а к зажиму 1 – положительная, то триод T_3 останется открытым, а триод T_1 закроется. Благодаря этому открывается триод T_2 и срабатывает реле P_1 . При обратной полярности входного сигнала сра-

батывает реле P_2 . Характеристика нуль-индикатора с тремя устойчивыми состояниями показана на рис. 5.2, б.

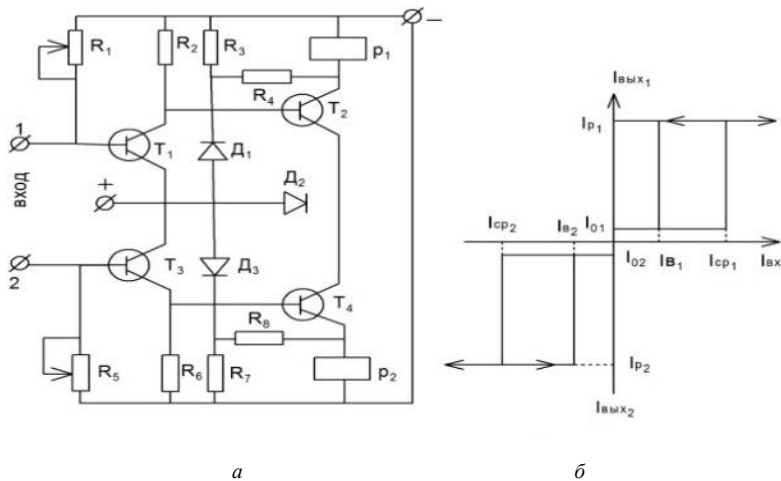


Рис. 5.2. Схема нуль-индикатора с тремя устойчивыми состояниями (а) и его характеристика (б)

5.2. Гидравлические и пневматические усилители

Гидравлическим или пневматическим усилителем называют устройство, перемещающее управляющее звено гидравлического или пневматического исполнительного механизма и одновременно усиливающее входной сигнал. Принципиальные схемы гидравлических и пневматических усилителей мало отличаются друг от друга (рис. 5.3, рис. 5.4).

В гидравлических усилителях управление движением исполнительного органа осуществляется распределением потоков жидкости, поступающей от специального насоса, а в пневматических – распределением потоков воздуха, поступающего от специальных компрессоров.

Характеристики гидравлических и пневматических усилителей несколько отличаются друг от друга, поскольку в гидравлических усилителях рабочая жидкость практически не сжимается, а в пневматических влияние сжатия воздуха особенно заметно при больших мощностях выходного сигнала и высоких ускорениях. Лишь для медленно меняющихся сигналов и малой мощности усиления статические характеристики пневматических и гидравлических усилителей аналогичны.

В сельскохозяйственной технике чаще используются гидравлические усилители. Они применяются в автоматических устройствах мо-

бильных машин, в частности для управления навесными агрегатами, и в системах автоматического вождения тракторов и комбайнов.

Гидроусилители полевых агрегатов питаются от гидросистем трактора или от специального масляного насоса шестеренчатого типа. Гидроусилители состоят из двух основных блоков: управляющего и исполнительного. Блоки между собой связаны маслопроводами. Для поддержания в системе необходимого давления рабочей жидкости используются перепускные клапаны. В качестве управляющих органов применяются золотники, струйные трубки и устройства типа сопло-заслонка.

На рис. 5.3 показана схема включения гидроусилителя с золотниковым управляющим органом 1 и возвратно-поступательным движением штока 7 исполнительного гидроцилиндра 2. Давление рабочей жидкости, забираемой из бака 3, создается двигателем 4 с насосом 5 и регулируется редукционным клапаном 6. При нейтральном положении буртики золотника перекрывают окна *a* и *b*, вследствие чего шток 7 гидроцилиндра находится в строго определенном положении.

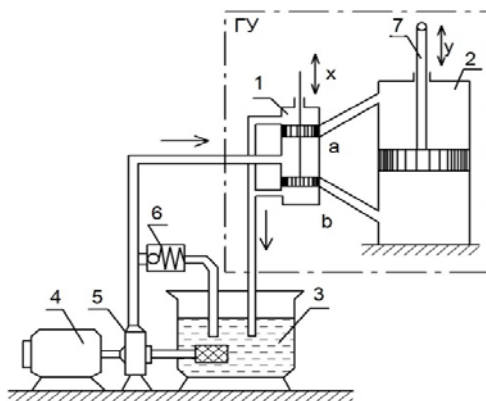


Рис. 5.3. Схема гидроусилителя с золотниковым управляющим органом

Под действием входного сигнала *x* буртики золотника отходят от нейтрального положения и открывают окна *a* и *b* в гильзе золотника. Рабочая жидкость под давлением устремляется в одну из полостей гидроцилиндра 2 и вызывает перемещение его поршня на величину *y*.

Из второй полости гидроцилиндра масло сливается в бак. Проходное сечение окон *a* и *b* в гильзе зависит от входной величины *x* и определяет величину дросселирования потока рабочей жидкости. По этой причине гидроусилители с золотником называют дроссельными усилителями. Схема гидроусилителя со струйной трубкой показана на

рис. 5.4. В корпусе 1 усилителя расположена струйная трубка 2 с конической насадкой. Начальное положение струйной трубки изменяют регулировочным винтом 7 с пружиной. Струйная трубка может поворачиваться вокруг оси О на небольшой угол вверх или вниз под действием толкателя 3, который соединяется с датчиком. Против насадки расположены два приемных расширяющихся сопла с окнами а и b, которые соединены трубопроводами 6 с полостями исполнительного механизма 5. В струйную трубку подается от насоса рабочая жидкость под давлением. В конической насадке трубки происходит увеличение скорости потока жидкости и, следовательно, увеличение запаса кинетической энергии.

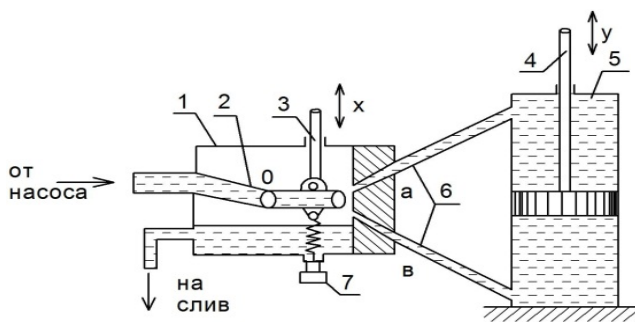


Рис. 5.4. Схема гидроусилителя со струйной трубкой

При нейтральном положении трубки струя жидкости под действием давления распределяется в оба входных окна а и b, а исполнительный механизм остается в первоначальном устойчивом положении. При отклонении струйной трубки от нейтрального положения в одном приемном сопле давление возрастает, а во втором падает. Под действием разности давлений происходит перемещение штока 4 исполнительного механизма на величину у. К корпусу усилителя присоединяется маслопровод, через который масло сливается в бак.

Принципиальная схема гидроусилителя с управляющим органом типа сопло-заслонка показана на рис. 5.5.

Гидроусилитель состоит из корпуса 1, дросселя 2 с постоянным проходным сечением, сопла 3 и заслонки 4. Сопло и заслонка образуют дроссельное устройство с переменным проходным сечением. Величина зазора между торцом и заслонкой зависит от входной величины х, получаемой от датчиков. При изменении положения заслонки изменяется расход рабочей жидкости через сопло, вследствие чего изменяется давление этой жидкости P_2 , воздействующее на перемещение исполнительного органа ИО.

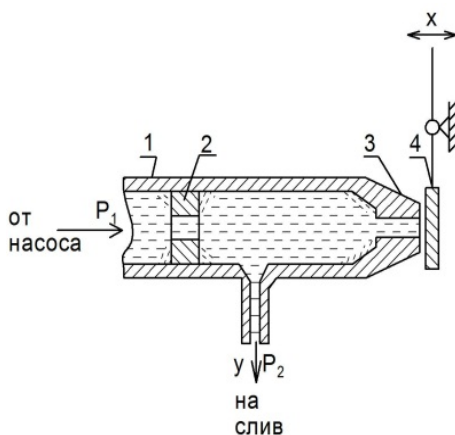


Рис. 5.5. Схема гидроусилителя с управляющим органом типа сопло-заслонка

Динамическая характеристика гидроусилителя $y = f(t)$ зависит не только от параметров гидросистемы, но и от положения золотника x . Поэтому каждому положению x соответствует множество значений y в пределах возможного хода поршня гидроцилиндра от $y_{\min}$ до $y_{\max}$.

Гидроусилители изготавливаются без обратной связи и с жесткой обратной связью по положению поршня гидравлического исполнительного механизма. Динамическая характеристика гидроусилителя с жесткой обратной связью изображена на рис. 5.6. Для небольших выходных мощностей и перемещений гидравлические и, особенно, пневматические усилители изготавливаются мембранного типа.

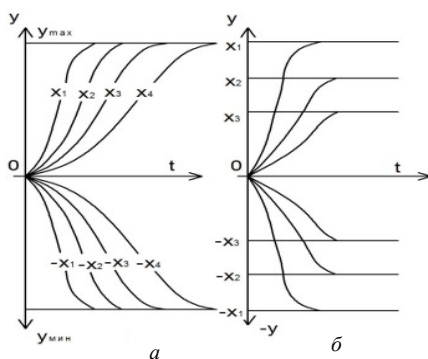


Рис. 5.6. Динамические характеристики гидроусилителя:
а – без обратной связи; б – с обратной связью

Рассмотренные схемы гидроусилителей называются однокаскадными. Для получения большой мощности на выходе гидроусилителя при высокой чувствительности и малом усилии со стороны управляющего органа применяют усилители с несколькими каскадами (ступенями) усиления. Принцип работы многокаскадных усилителей заключается в том, что исполнительный орган первого усилителя воздействует на управляющий орган последующего усилителя, имеющего значительный расход и высокое давление рабочей жидкости и т. д.

Гидроусилители от других типов усилителей отличаются большой выходной мощностью и значительным коэффициентом усиления по мощности. Расход жидкости в системе управления незначителен и составляет в среднем 3–5 % от наибольшего расхода в исполнительном блоке.

5.3. Электромагнитные командные устройства автоматики

5.3.1. Электромагнитные реле и электромагниты

Электромагнитные реле (ЭМР) представляют собой электромеханические контактные устройства, преобразующие управляющий электрический ток в магнитное поле, которое оказывает силовое скачкообразное воздействие на подвижное намагниченное тело, механически связанное с электрическим контактом реле или являющееся подвижной частью этого контакта. При возникновении управляющего тока в ЭМР происходит скачкообразное срабатывание контакта, который из разомкнутого (замкнутого) состояния через замыкание (размыкание) переходит в замкнутое (разомкнутое) состояние.

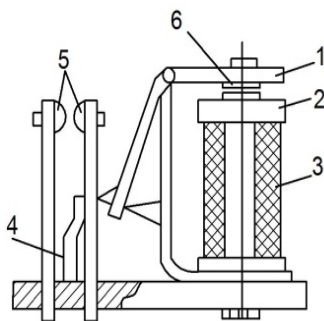


Рис. 5.7. Электромагнитное реле

В разомкнутом состоянии контакт имеет видимый разрыв с высокой электрической прочностью и контактным сопротивлением на уровне поверхностного сопротивления элементов конструкции реле. В замкнутом состоянии переходное сопротивление механического контакта, выполненного из соответствующих материалов, составляет единицы – десятки м Ом, а падение напряжения на контакте даже при протекании тока силой в десятки ампер не превышает 100 ...200 мВ. Схема простейшего электромагнитного реле показана на рис. 5.7. Подвижный якорь 1 притягивается к неподвижному сердечнику 2 электромагнита,

Схема простейшего электромагнитного реле показана на рис. 5.7. Подвижный якорь 1 притягивается к неподвижному сердечнику 2 электромагнита,

по обмотке 3 которого протекает ток. Перемещение якоря приводит к замыканию контактов 5. При отсутствии тока якорь и контакты возвращаются в исходное положение противодействующей пружины 4. Чтобы под влиянием остаточного магнитного потока якорь не оставался притянутым к сердечнику, на нем укреплен небольшой штифт 6, высотой 0,1–0,2 мм, называемый штифтом отлипания. Якорь и сердечник реле изготавливаются из магнит мягкого материала, а штифт – из немагнитного материала (латуни или меди).

По роду тока в обмотке различают электромагнитные реле постоянного и переменного тока промышленной и высокой частоты. В свою очередь, реле постоянного тока делятся на нейтральные и поляризованные.

Нейтральные реле не различают полярности сигнала и одинаково реагируют на постоянный ток обоих направлений, протекающий по его обмотке. В поляризованных реле в зависимости от полярности сигнала изменяется направление действующего на якорь усилия и при срабатывании замыкаются только те контакты, которые соответствуют полярности данного сигнала.

По своему назначению реле подразделяются на основные, реагирующие на изменение основных электрических величин, и вспомогательные. К вспомогательным можно отнести промежуточные реле, предназначенные для размножения числа контактов и передачи сигнала от одних реле к другим реле или аппаратам с одновременным повышением коммутационной способности управляемых цепей; реле выдержки времени, осуществляющие функции управления по временному фактору, и сигнальные реле, фиксирующие действия основных реле и управляющие световыми и звуковыми сигналами.

Правильная и надежная работа электромагнитных реле во многом зависит от надлежащего согласования тяговых и механических характеристик.

Под *тяговой характеристикой* понимают зависимость электромагнитного усилия от воздушного зазора между якорем и сердечником электромагнита реле. Зависимость усилия противодействующей пружины от перемещения якоря в реле называют *противодействующей, или механической, характеристикой*.

Для того чтобы реле сработало, тяговая характеристика должна лежать выше механической, а чтобы реле отпустило – ниже ее.

Тяговые характеристики $F_z = f(\delta)$ представляют собой семейство гипербол для различных ампервитков в пределах изменения зазора от $\delta_{\min}$ до $\delta_{\max}$, механическая $F_m = f(\delta)$ – ломаную линию. Если якорь притянут ($\delta_{\min}$) то, очевидно, увеличение электромагнитного усилия не вызовет дополнительного его перемещения (отрезок 1 – 2). Отпускание реле происходит при $F_m = F_{z, \text{отп}}$ в точке 2, после чего с ро-

стом δ противодействующая сила пружины реле постепенно уменьшается (отрезок 2 – 3), а затем резко падает до конечного значения (отрезок 3 – 4). При увеличении тока в обмотке якорь реле трогается в точке 4, но притягивается к сердечнику только в точке 3 при $F_{\Sigma, \text{ср}}$ (рис. 5.8).

Особенность реле переменного тока состоит в том, что в них применяются специальные меры для устранения вибрации контактов, а сердечник электромагнита набирается из листовой трансформаторной стали с целью уменьшения потерь на вихревые токи.

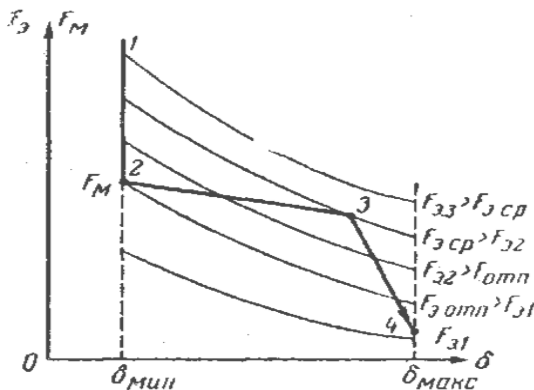


Рис. 5.8. Тяговые F_{Σ} и механическая F_M характеристики электромагнитного реле

Вибрация контактов вызывается периодическим изменением величины и направления переменного синусоидального тока. При синусоидальном токе тяговое усилие реле меняется с двойной частотой от нуля до максимума в течение каждого полупериода. Следовательно, и якорь реле будет отходить и притягиваться также с двойной частотой, что ухудшает работу контактов и вызывает специфическое гудение реле.

Для устранения вибраций на часть полюса электромагнита насаживают медный короткозамкнутый виток, называемый экраном (рис. 5.9, а), который вызывает расщепление общего магнитного потока Φ реле на два потока Φ_A и Φ_B , сдвинутых между собой на некоторый угол φ тягового усилия реле переменного тока без короткозамкнутого витка и с короткозамкнутым витком.

Магнитный поток Φ_1 наводит в короткозамкнутой обмотке ток I_K , сдвинутый на угол 90° по отношению к потоку Φ (при не учете потерь в стали). Ток I_K создает магнитный поток Φ_K , который в части А полю-

са геометрически складывается с потоком Φ_1 : $\Phi_A = \Phi_1 + \Phi_K$, а в части Б вычитается из потока Φ_2 : $\Phi_B = \Phi_2 - \Phi_K$.

Таким образом, потоки Φ_A и Φ_B сдвинуты на угол φ . Каждый из них создает тяговое усилие, а результирующее усилие F_3 имеет тем меньше пульсаций, чем ближе к 90° угол φ (рис. 5.9, в, з).

У поляризованных реле поток, создаваемый постоянным магнитом 1, на пути от южного полюса S разветвляется на два равных потока и по магнитопроводящим винтам 6 проходит через часть сердечника электромагнита 7 (рис. 5.9, а).

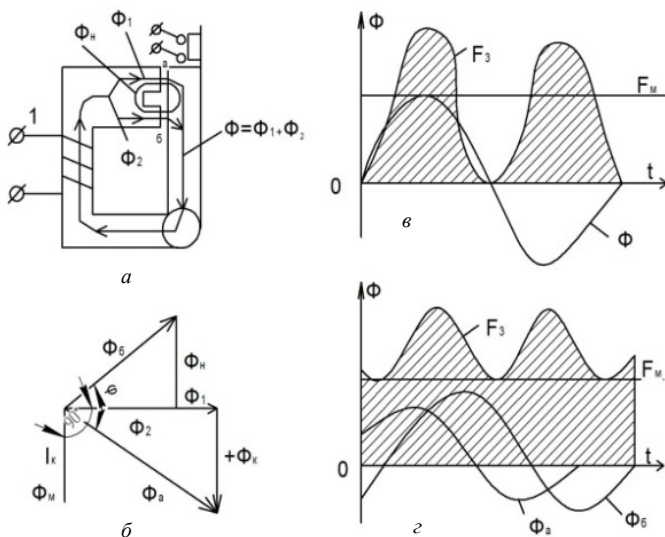


Рис. 5.9. Электромагнитное реле переменного тока с коротко замкнутым витком:
а – конструкция реле; б – векторная диаграмма; в, з – графики изменения

Далее через воздушные зазоры обе части потока Φ_0 проходят с противоположных сторон в якорь 2. Из якоря по магнитопроводящему лепестку 4 поток возвращается к северному полюсу магнита N.

Направление магнитного потока Φ в электромагните зависит от полярности тока в обмотке. Следовательно, в одном из полюсов электромагнита 7 результирующий поток равен сумме потоков Φ и Φ_0 , а в другом – их разности. Для реле, изображенного на рис. 5.10, а магнитный поток (в веберах, Вб) находится по зависимости:

$$\Phi_{л} = \Phi - \Phi_0 \text{ и } \Phi_{п} = \Phi + \Phi_0. \quad (5.1)$$

Естественно, что якорь реле, поворачиваясь вокруг оси 5, притягивается к тому полюсу электромагнита 7, в котором поток больше (в нашем случае – правый), и замыкает концом 3 левый контакт реле. При изменении направления тока в обмотке якорь перебрасывается в другую сторону. Повышенная чувствительность и быстродействие поляризованного реле объясняются малым воздушным зазором 6 и усиливающим действием магнитного потока Φ_0 . Из выражения видно, что чем больше поток Φ_0 , тем меньшей величины может быть поток Φ и, следовательно, тем выше чувствительность реле.

В двухпозиционных реле замыкается один из двух неподвижных контактов в зависимости от полярности входного сигнала постоянного тока и остается замкнутым после снятия сигнала. Если неподвижные контакты отрегулировать так, как показано на рис. 5.10, б, то получится двухпозиционное реле с преобладанием к правому контакту. При отсутствии сигнала всегда будет замкнут правый контакт. Это объясняется тем, что левый воздушный зазор между магнитопроводом и якорем всегда меньше, чем правый. В трехпозиционном реле имеется возвратная пружина, возвращающая якорь в среднее положение после снятия сигнала.

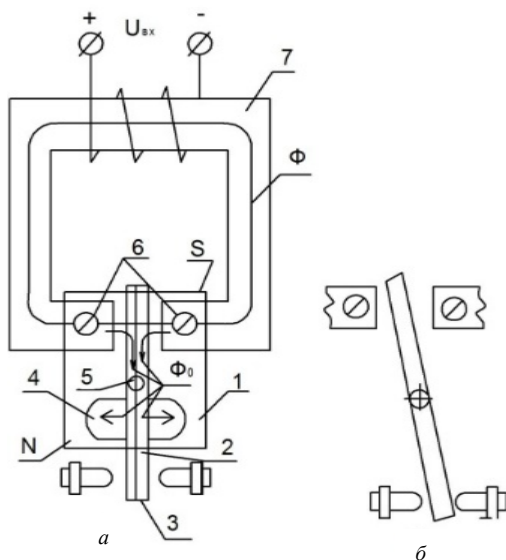


Рис. 5.10. Поляризованное реле: а – схема распределения магнитных потоков; б – контакты двухпозиционного реле с преобладанием к правому контакту

Реле выдержки времени предназначены для создания определенной временной задержки при передаче сигнала от одного элемента автоматики к другому.

Программное устройство представляет собой разновидность реле выдержки времени и имеет обычно несколько независимых выдержек времени сравнительно большой величины.

Реле выдержки времени изготавливаются с электрическими, пневматическими и гидравлическими воспринимающими органами и с электрическими, механическими, пневматическими, гидравлическими и другими устройствами замедления. Наибольшее распространение получили реле с электрическими воспринимающими органами, реагирующие на сигналы постоянного или переменного тока.

Для создания сравнительно небольшой выдержки времени (до 5 с) часто применяются простейшие схемные методы, замедляющие нарастание или спадание токов в обмотке электромагнитного реле постоянного тока при помощи резисторов, конденсаторов, полупроводниковых диодов, дросселей и короткозамкнутых витков или колец.

При большом числе витков обмотки реле весьма эффективным методом является шунтирование обмотки активным сопротивлением или диодом. Сущность такого метода состоит в том, что э. д. с. самоиндукции, возникающая в обмотке реле после его отключения ключом K , поддерживает протекание тока в прежнем направлении. Этот ток, замыкаясь через шунтирующее сопротивление R , медленно убывает, а якорь реле некоторое время остается в притянутом состоянии.

Выдержка времени на отпускание реле может быть определена по формуле:

$$t = \frac{L}{R_p + R} \ln \frac{U_{\text{вх}}}{I_{\text{тр}} R_p}, \quad (5.2)$$

где R_p и L – соответственно активное сопротивление и индуктивность обмотки реле в положении покоя, т. е. при максимальном рабочем зазоре;

$I_{\text{тр}}$ – ток трогания якоря реле при срабатывании.

Следует заметить, что шунтирующее сопротивление вызывает дополнительный расход мощности. Этот недостаток устранен при использовании шунтирующего диода D , включенного навстречу питающему напряжению. Кроме этого, данный способ позволяет получить большую выдержку времени, поскольку диод включен в проводящем направлении и в уравнении сопротивление $R = 0$.

Продолжительность времени задержки срабатывания зависит от постоянной времени цепи и может изменяться в широких пределах подбором соответствующей емкости конденсатора C и сопротивления R .

5.3.2. Электромагнитное реле герконового типа

Существуют также реманентные материалы на основе ферритов, ременджуров и других сплавов, имеющие достаточно большую коэрцитивность ($H_c = 20 \dots 100$ А/см). Эти материалы обладают широкой петлей гистерезиса, имеют значительное магнитное сопротивление и требуют больших затрат энергии на намагничивание и перемагничивание), что позволяет использовать их в качестве постоянных магнитов, намагничиваемых и перемагничиваемых при помощи маломощных электрообмоток.

Устройство реле с магнитоуправляемым контактом описывается всего одним динамическим СЭ, состоящим из электромагнитного механизма, подвижным телом которого является подвижный элемент контакта. Ферромагнитные контактные элементы намагничиваются искусственным магнитным полем, создаваемым управляющим током, в результате чего близко расположенные нормально разомкнутые контактные элементы притягиваются, преодолевая упругие силы противодействия.

Прототипом первого ЭМР с магнитоуправляемым контактом (МУК), показанного на рис. 5.11, является реле В. И. Коваленкова, предложенное в 1925 г. с целью упрощения конструкции и повышения быстродействия классического якорного реле. В исходном состоянии (управляющий ток в обмотке отсутствует) перекрывающиеся концы ПКЭ разомкнуты и отстоят друг от друга на расстоянии воздушного зазора.

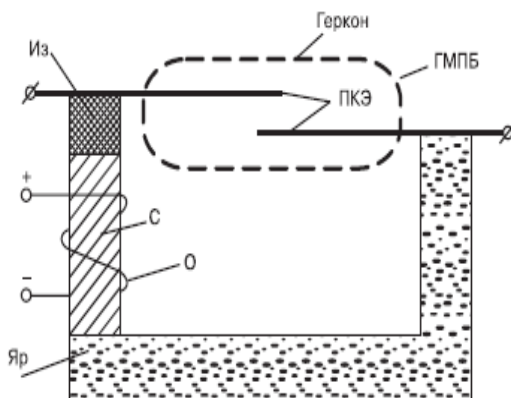


Рис. 5.11. Схема ЭМР с МУК и замкнутой магнитной цепью:

О – обмотка; С – сердечник; Яр – ярмо; Из – изолятор;

ПКЭ – подвижный контактный элемент;

ГМПБ – герметичный магнитопроницаемый баллон

При подаче сигнала управления в обмотку О в магнитной системе протекает магнитный поток, замыкающийся через рабочий зазор и создающий в нем электромагнитную силу $F_{\text{Э}}$, замыкающую ПКЭ. Достигнутое максимальное значения $F_{\text{Э}}$ сохраняется до тех пор, пока действует коэрцитивная сила H_c .

После прекращения тока в обмотке поведение ПКЭ, как и якоря у классических ЭМР, во многом зависит от магнитных свойств магнитопровода.

Дальнейшим шагом по совершенствованию ЭМР с МУК было заключение рабочей части контакта (выделено пунктиром на рис. 5.11) в герметичный магнитопроницаемый баллон. Такой контакт называют герметизированным контактом или герконом, а ЭМР на их основе – герконовым реле. Для повышения чувствительности и уменьшения габаритов реле геркон помещают вблизи или внутри обмотки ЭМ, получая, таким образом, разомкнутую магнитную цепь со стороны выводов ПКЭ (рис. 5.12).

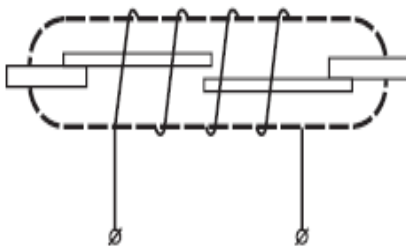


Рис. 5.12. Схема герконового ЭМР с разомкнутой магнитной цепью

Простейшим герконом и ЭМР на его основе является нормально разомкнутый или замыкающийся контакт, срабатывающий при любой поляризации постоянного тока. Простейший размыкающийся контакт образуется, если параллельно нормально разомкнутому контакту установлен постоянный магнит, поляризующее поле которого постоянно держит контакт в замкнутом состоянии. Такой контакт разомкнется только после подачи в обмотку реле тока определенной полярности.

Помимо обычных «сухих» контактов, геркон может содержать контакты, смоченные жидким металлом, например, ртутью, что позволяет повысить скорость размыкания жидкометаллических герконов.

5.3.3. Программируемые логические контроллеры

В командной системе автоматического управления управление осуществляется с помощью командоаппаратов, в последнее время это программируемые микроконтроллеры (программируемые командоаппараты).

В связи с развитием микроэлектронной техники в последние годы получают распространение программируемые схемы электроавтоматики (устройства с программной логикой). Релейно-контактные схемы электроавтоматических устройств станков и других технологических объектов интенсивно вытесняются микроэлектронными управляющими устройствами, построенными на интегральных схемах, на выходах которых имеются силовые ключи, непосредственно управляющие исполнительными органами.

В настоящее время широкое распространение на производстве получают промышленные контроллеры и ПЛК (программируемые логические контроллеры, предназначенные для применения в системах автоматизации там, где использование других средств автоматики не удовлетворяет современным требованиям.

Ввиду большого многообразия решаемых задач все программируемые микроконтроллеры по способу организации алгоритма работы, по гибкости программы можно разделить на три класса:

1. Микропрограммные управляющие устройства с жесткой логикой (матричные), т. е. программируемые микроконтроллеры, которые построены по принципу жесткого программного автомата.

2. Программируемые командоаппараты (ПК), т. е. командоаппараты, где программа строится на базе репрограммируемого (перепrogramмируемого) запоминающего устройства (РПЗУ, ППЗУ) или оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), программа алгоритма действия может записываться в процессе проблемной ориентации на конкретный объект в производственных условиях с занесением программы с пульта программирования.

3. Программируемые командоаппараты, построенные на базе управляющих ЭВМ.

Фирма Siemens была пионером в области разработки промышленных контроллеров и ПЛК, начав их массовое производство в 1996 году. Логический модуль LOGO! изначально задумывался как промежуточное звено между традиционными релейными элементами автоматики (контакты, реле времени и т. п.) и программируемыми контроллерами. В нем вместо соединения проводов должно было использоваться логическое соединение функций, обычно реализуемых аппаратно с помощью отдельных устройств. Но, в отличие от программируемых контроллеров, сложность устройств должна была позволять

работать с ними персоналу без специальных знаний в области программирования. С этой же целью ввод программы в LOGO! осуществляется непосредственно со встроенных индикатора и клавиатуры. Для подключения к источникам сигналов и исполнительным устройствам модули LOGO! первых поколений имели 6 или 12 дискретных входов и 4 или 8 дискретных выходов (варианты Basic и Long соответственно). Затем к дискретным входам добавилось два аналоговых.

В модульном варианте ПЛК LOGO! (рис. 5.13) можно реализовать максимум с 24 дискретными и 8 аналоговыми входами, а также 16 дискретными выходами. Напряжение питания входных цепей в LOGO! соответствует напряжению питания модуля, которое может быть 12/24 В постоянного тока, 24 и 230 В переменного тока. Выходы могут быть транзисторными или релейными. Нагрузочная способность последних (до 10 А) обеспечивает непосредственное подключение достаточно мощных исполнительных устройств.

Новые модули расширения делают LOGO! способным быстро реагировать на изменения и занимают в два раза меньше места, чем сам LOGO! Кроме того, к такому микроконтроллеру можно подключить коммуникационные модули для работы в сетях AS-interface, EIB Instabus или LON. Существуют и логические модули без дисплея и клавиатуры, благодаря чему они почти на 20 процентов дешевле.



Рис. 5.13. Модульное исполнение ПЛК фирмы Siemens

Главной особенностью ПЛК является то, что схема релейной автоматики собирается из программно-реализованных функциональных блоков. В распоряжении пользователя имеется восемь логических функций типа, большое число типов реле, в том числе, реле с задержкой включения и выключения, импульсное реле, реле с самоблокировкой, выключатель с часовым механизмом, тактовый генератор, кален-

дарь, часы реального времени с возможностью автоматического перехода на летнее/зимнее время и др.

Программирование модулей ПЛК может выполняться с помощью встроенных клавиатуры и дисплея. Оно сводится к выбору необходимых функциональных блоков, соединению их между собой и заданию параметров настройки блоков (задержек включения/выключения, значений счётчиков и т. д.). Для хранения управляющей программы в модуле имеется встроенное энергонезависимое запоминающее устройство.

Однако ввод программы с панели управления может быть оправдан только для небольших по объему программ или в случае острой необходимости внесения корректив в уже работающую программу непосредственно на объекте. Для относительно сложных схем очевидна необходимость использования программного пакета. Этот пакет позволяет разрабатывать в графической форме и документировать программы для ПЛК на компьютере, и отлаживать их в режиме эмуляции логического модуля. Принцип работы аналогичен используемому при ручном вводе, но эффективность во много раз выше. Выбранные функциональные блоки мышью перетаскиваются на рабочее поле, затем соединяются и параметрируются. Для каждого функционального блока может быть написан комментарий, который существенно облегчит понимание принципа работы программы другому пользователю или поможет самому разработчику через некоторое время вспомнить собственные замыслы. Если по результатам эмулирования корректировка программы не требуется, то ее можно загрузить в память ПЛК с помощью специального кабеля, подключаемого к тому же интерфейсному гнезду, что и модули памяти.

Важной особенностью современных программаторов является развитое программное обеспечение, которое, по существу, управляет работой оператора при вводе, причем на экране дается подробное описание каждой команды, а также может даваться полное руководство (инструкция) по использованию программатора. Сообщения оператору выдаются в символах, удобных для восприятия.

6. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

6.1. Классификация исполнительных механизмов

Исполнительные механизмы автоматических устройств предназначены для силового воздействия на регулирующие органы объектов управления. Они классифицируются по виду используемой энергии: электрические, гидравлические и пневматические. В мелиорации обычно применяют электрические и гидравлические механизмы. По характеру воздействия на регулирующий орган различают двухпозиционный, многопозиционные и пропорциональные исполнительные механизмы.

Исполнительные устройства (механизмы) или сервомоторы, получают сигнал от усилителя и формируют перестановочное усилие для привода в действие регулирующего органа. Базовый принцип классификации сервомотора – вид энергоносителя, в зависимости от которого они подразделяются на гидравлические, пневматические, электрические и комбинированные.

По характеру перемещения рабочего органа бывают сервомоторы непрерывного и дискретного действия (открыто – закрыто), а также поступательного и вращательного движения. Основные характеристики сервомоторов – коэффициент усиления по мощности, скорость (постоянная или переменная) и усилие (перемещение) на выходе. Конструктивно сервомотор часто представляет единый узел вместе с усилителем, в особенности в гидравлических и пневматических устройствах.

Требования к исполнительным устройствам: линейное (угловое) перемещение согласуется с перемещением регулирующего органа; статическая характеристика должна быть по возможности линейной; сервомотор – реверсивный, с рабочими органами минимальной массы; мощность должна обеспечивать заданную скорость перемещения на любых режимах.

6.2. Электрические исполнительные механизмы (сервомоторы)

Эти исполнительные механизмы должны обеспечивать перемещение регулирующего органа по командам, поступающим от электрического регулятора при автоматическом управлении.

Среди электрических сервомоторов, получивших наибольшее распространение в автоматике, следует назвать электродвигатели и электромагниты.

Электрические исполнительные механизмы выполняются с электромагнитным (соленоидным) и электродвигательным приводом.

Исполнительные механизмы с электромагнитным приводом обеспечивают поступательное перемещение регулирующих органов. Они применяются главным образом в электромагнитных клапанах и вентилях для двухпозиционного регулирования. Для того, чтобы открыть клапан и вентиль, питание подают на катушку электромагниту, которая втягивает сердечник, связанный с запорным органом вентиля. Закрытие вентиля происходит под действием пружины при отключении катушки электромагнита.

Для снижения потребления электроэнергии эти механизмы оснащаются механическими защелками, удерживающими сердечник при открытом вентиле и отключении питания катушки. Закрытие происходит за счет подачи импульса тока в маломощную катушку электромагнита освобождения защелки.

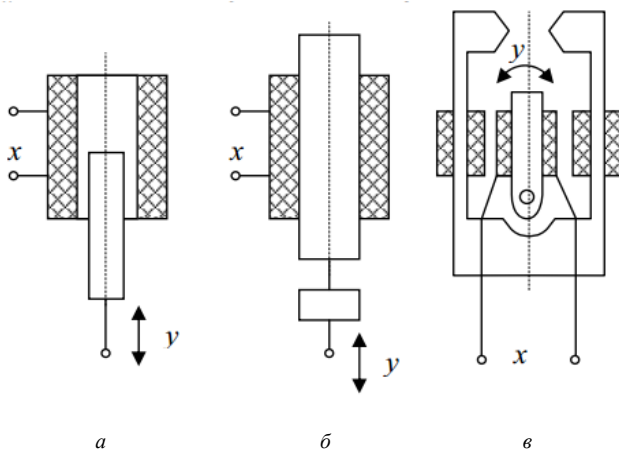


Рис. 6.1. Прямоходовой электромагнит: *а* – с втягивающимся якорем; *б* – с притягивающимся якорем; *в* – с поворотным якорем

Чаще всего используется прямоходовой электромагнит с втягивающимся якорем или соленоид (рис. 6.1, *а*), хотя возможны и конструкции с притягивающимся (рис. 6.1, *б*) и поворотным (рис. 6.1, *в*) якорем. Электромагнитные сервомоторы работают в позиционном (релейном) режиме – открыто – закрыто, но существуют и многокомпозиционные исполнительные устройства.

В электродвигательных исполнительных механизмах для привода используются одно- и двухфазные двигатели переменного тока, асинхронные трехфазные, синхронные, двигатели постоянного тока и сельсины.

По устройству и принципу действия электрические двигатели классифицируют на асинхронные, синхронные и коллекторные. Асинхронные и синхронные – двигатели переменного тока; коллекторные – могут работать на переменном или постоянном; а универсальные – на переменном и постоянном токе. Асинхронные двигатели применяют для приводов с регулируемой и постоянной частотой вращения, синхронные – для приводов с постоянной частотой вращения. Двигатели постоянного тока широко используются для приводов с регулируемой частотой, коллекторные переменного тока – в системах, где требуется частота вращения, превышающая 3000 мин^{-1} , при промышленной частоте тока 50 Гц.

В качестве сервопривода применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (в виде беличьей клетки). Специфика использования электродвигателей в качестве сервомоторов определяет и характер предъявляемых к ним требований в отношении реверсивности, изменения частоты вращения и устойчивости в широком диапазоне, линейности статической характеристики, большого пускового момента при снятии сигнала управления, быстродействия, малых габаритов и массы.

В зависимости от сочетания электродвигателя и регулирующего органа различают две основные структурные схемы электрических сервомоторов (рис. 6.2).

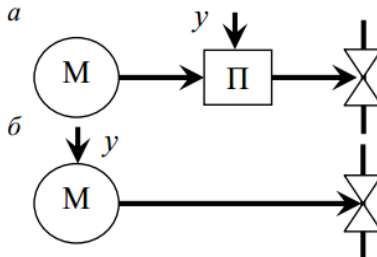


Рис. 6.2. Структурные схемы электрических сервомоторов:
а – неуправляемый двигатель; б – управляемый двигатель

Различие в них определяется степенью несоответствия быстроходности и вращательного движения сервомотора тихоходности и поступательному, реже вращательному движению затвора регулирующего органа. Поэтому в конструкциях появляются дополнительные узлы: передачи (редукторы, муфты) различных типов, конечные выключатели для останова сервомотора по достижении затвором крайних или заданных положений (элементы обратной связи). При неуправляемом или плохо управляемом двигателе управляющее воздействие y прикладывается к передаче, что показано на схеме, изображенной на

рис. 6.2, а. Схема на рис. 6.2, б предполагает наличие управляемого двигателя.

Долгое время большинство электродвигателей выпускались быстросходными, что создавало определенные трудности при сочленении с регулирующими органами. Появление моторов с малой скоростью вращения, например серии МЭО, которые совершают один оборот за 40, 100, 250 и 630 с, позволило значительно усовершенствовать технику автоматизации.

Разработана серия унифицированных исполнительных механизмов блочно-модульной конструкции.

На рис. 6.3 приведена схема двухпозиционного исполнительного механизма с электродвигательным приводом типа ДР-1М, который состоит из конденсаторного двигателя I и контактного управляющего устройства II. Двигатель имеет две статорные обмотки 3 и 4. В одну из них включен конденсатор для смещения фазы протекаемого тока и получения вращающегося магнитного поля. С валом ротора 2 кинематически связан ползунок 5 контактного управляющего устройства. В исходном положении ползунок находится на одном из контактов 8 или 9, выступающих над контактной пластиной 6. Когда ползунок размещен на контакте 8 и замыкается вверх контакт датчика 1, управляющего исполнительным механизмом, получают питание обмотки двигателя и он начинает вращаться. Ползунок сходит с контакта 8 на пластину 6, но цепь питания двигателя остается замкнутой за счет переключения ползунком пластин 6 и 7.

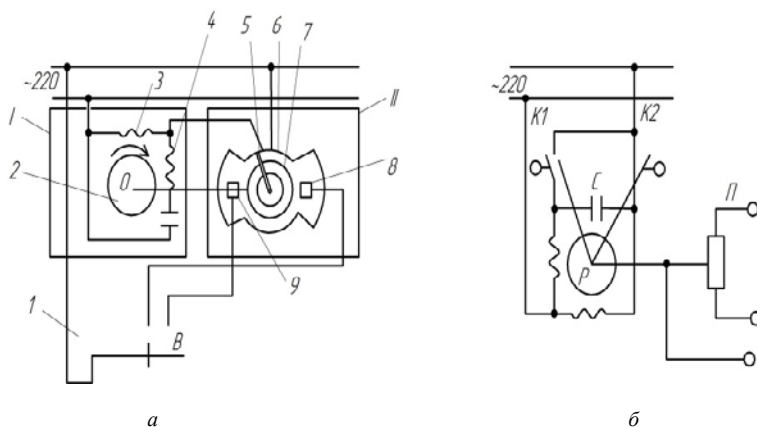


Рис. 6.3. Исполнительные механизмы с электродвигательным приводом: а — типа ДР-1М; б — типа ПР; I — конденсаторный двигатель; II — контактное управляющее устройство; 1 — контактный датчик; 2 — ротор двигателя; 3, 4 — статорные обмотки двигателя; 5 — ползунок контактного управляющего устройства; 6, 7 — контактные пластины; 8, 9 — контакты; С — конденсатор; K1, K2 — конечные выключатели; П — резистивный датчик положения; В — выключатель

Сделав пол-оборота, ползунок окажется на контакте 9 и двигатель остановится. При переключении контакта датчика 1 вниз двигатель вновь получает питание и, вращаясь, переместит ползунок на пол-оборота до размещения на контакте 8. Двигатель всегда вращается в одном направлении, а направление движения регулирующего органа изменяется за счет внешних кинематических связей между исполнительным механизмом и регулирующим органом.

Механизм ДР-М отличается от механизма ДР-1М возможностью сочленения с регулирующим органом не только с помощью диска, совершающего вращательное движение, но и штоком, перемещающимся поступательно.

В системах пропорционального регулирования применяют исполнительные механизмы ПР-1М, ПР-М и МЭО. Для привода используются конденсаторные двигатели, но, в отличие от механизмов ДР, предусмотрена возможность реверсирования. Реверсирование происходит за счет переключения конденсатора С из одной цепи обмотки двигателя в другую конечными выключателями К1 и К2.

Для дистанционного контроля положения и устройства обратной связи механизмы оснащаются блоками с индуктивными, резистивными датчиками и микропереключателями положения.

В состав электрического исполнительного механизма (рис. 6.4) обычно входят следующие основные элементы: реверсивный электродвигатель, ручной привод, концевые и путевые выключатели, тормозное устройство и датчик положения выходного вала. Электродвигатель 1 с редуктором 2 служат для преобразования электрической энергии в механическую, достаточную для перемещения регулирующего органа. Маховик 3 необходим для перемещения выходного вала 4 исполнительного механизма вручную при выходе из строя тиристорного пускателя или электродвигателя.

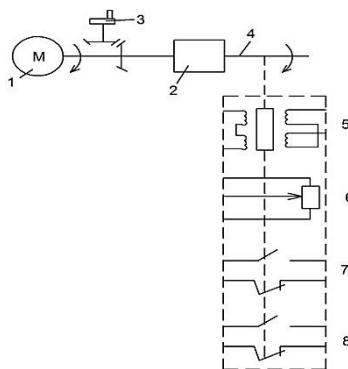


Рис. 6.4. Электрический исполнительный механизм

В исполнительном механизме имеются вспомогательные устройства, обеспечивающие преобразование угла поворота выходного вала 4 в электрические сигналы различного назначения. Дифференциально-трансформаторный преобразователь 5 служит для введения в регулятор сигнала обратной связи, пропорционального углу поворота выходного вала исполнительного механизма или, что то же самое, степени открытия регулирующего органа.

Выходной сигнал реостатного преобразователя 6 используется для работы дистанционного указателя положения исполнительного механизма, устанавливаемого на щите оператора рядом с кнопками ручного дистанционного управления. Концевые выключатели 7 выполняют защитные функции. Они отключают тиристорный пускатель при достижении регулирующим органом крайних положений. Путевые выключатели 8 служат для ограничения диапазона перемещения регулирующего органа. В автоматическом режиме работы они отключают пускатель при выходе за пределы установленного диапазона.

Электрические исполнительные механизмы должны обеспечивать перемещение регулирующего органа по командам, поступающим от электрического регулятора при автоматическом управлении или от оператора при ручном дистанционном управлении. При поступлении команды исполнительный механизм перемещается с постоянной скоростью. Однако благодаря импульсному режиму работы средняя скорость выходного вала исполнительного механизма оказывается переменной. Различные типы исполнительных механизмов отличаются величиной крутящего момента на выходном валу и скоростью его поворота при включенном электродвигателе.

Исполнительные механизмы ПР, ДР и МЭО широко используются для привода поворотных дисковых затворов. В качестве привода задвижек и затворов перегораживающих сооружений применяются многооборотные электрические исполнительные механизмы (табл. 6.1).

Таблица 6.1. **Технические характеристики двигателей исполнительных механизмов М, А, Б, В, Г, Д**

Показатели	Тип механизма					
	М	А	Б	В	Г	Д
Мощность двигателя, кВт	0,03	0,12 0,18	0,6 1,3	3,0 4,0	4,0 7,5	7,5 –
Частота вращения двигателя, об/мин	1300	1400	1300	1350	1350	1300

В мелиоративной практике наиболее распространены унифицированные исполнительные механизмы типов М, А, Б, В, Г, Д. Они принципиально однотипны и отличаются по габаритам, мощности двигателя и несущественными конструктивными изменениями. Асинхронные

трехфазные двигатели с повышенным скольжением и фланцевым креплением используют как приводные двигатели в механизмах. Двигатель связан с запорным органом задвижки червячным редуктором (в механизмах М и А – цилиндрическим). Механизм имеет стрелку местного указателя положения, кинематически связанную с приводным валом, и потенциометр дистанционного указателя. Защищается механизм от перегрузок муфтой ограничения крутящего момента или реле максимального тока.

Предусматриваются штурвал ручного привода и механическая блокировка, которая при включении ручного привода отсоединяет вал двигателя от вала червячного редуктора, и, напротив, при сочленении двигателя с редуктором расщепляется его кинематическая связь со штурвалом ручного привода.

Электрические исполнительные механизмы также применяют для привода плоских щитовых затворов перегораживающих сооружений. Промышленностью серийно выпускаются винтовые подъемники типа В-73 с асинхронным трехфазным приводом. Двигатели соединяются через редуктор с грузовыми гайками привода грузовых подъемных винтов с трапецидальной резьбой. Для местного отсчета и дистанционных измерений установлены датчики положения затвора. В подъемниках предусмотрена рукоятка ручного подъема.

Техническая характеристика приводных двигателей винтовых подъемников приведена в табл. 6.2.

Таблица 6.2. Техническая характеристика приводных двигателей винтовых подъемников В-73

Показатели	Тип подъемника							
	1 ЭВ	2,5 ЭВ	5 ЭВД	5 ЭВ	10 ЭВД	10 ЭВ	20 ЭВД	20 ЭВ
Мощность двигателя, кВт	0,4	0,6	1,0	1,0	1,3	1,3	2,0	2,0
Частота вращения двигателя, об/мин	880	880	870	870	870	870	900	900
Продолжительность подъема на 1 м двигателем, мин	8	8	8	5	5	6	6	6
Продолжительность подъема на 1 м вручную, мин	3	7	9	15	19	20	40	33

6.3. Гидравлические и пневматические исполнительные механизмы

Из гидравлических исполнительных механизмов наиболее распространены поршневые и мембранные устройства.

Поршневой исполнительный механизм применяется, например, для дистанционного и автоматического регулирования положением крана-задатчика скорости дождевальная машины «Фрегат». В качестве рабочей жидкости используется вода, поступающая непосредственно из трубопровода машины.

В мембранных исполнительных механизмах, используемых в мелиорации, рабочей средой является вода. Такие механизмы применяются для привода затворов, а также в гидравлических регуляторах.

На рис. 6.5 показана схема гидравлического регулятора уровня с мембранным исполнительным механизмом.

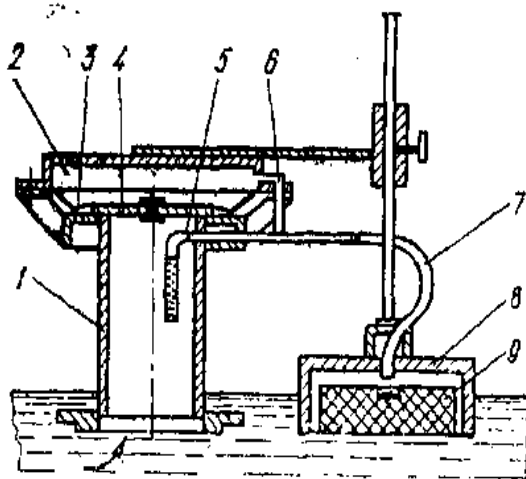


Рис. 6.5. Регулятор уровня с мембранным исполнительным механизмом:
1 – выпускная труба; 2 – рабочая камера; 3 – мембрана; 4 – рабочий клапан;
5 – дроссельная трубка; 6 – входная дроссельная трубка;
7 – гибкая трубка; 8 – поплавковая камера; 9 – поплавок

Уровень воды регулируется за счет изменения подачи через впускную трубу 1. Вода, поступающая снизу, выливается в резервуар через кольцевую щель между верхним концом трубы и рабочим клапаном 4. Он соединен с гибкой мембраной 3. Одновременно вода поступает в дроссельную трубку 5. При низком уровне в резервуаре поплавков 9,

находящийся в поплавковой камере 8, опускается вниз и открывает сливное отверстие гибкой трубки 7. Вода из дроссельной трубки сливается в резервуар.

В результате под давлением воды снизу он поднимается, увеличивая кольцевую щель, и поступление воды в резервуар возрастает.

При повышении уровня поплавков 9 перекрывает сливное отверстие трубки, и вода заполняет рабочую камеру 2. За счет большой площади, на которую воздействует давление воды сверху, мембрана 3 прогибается вниз и рабочий клапан 4 прикрывает выход из трубы 1. Как видно, в регуляторе конструктивно совмещены исполнительный механизм и регулирующий орган. Достоинством регулятора является отсутствие постороннего источника энергии, так как исполнительный механизм работает за счет энергии регулируемого водяного потока.

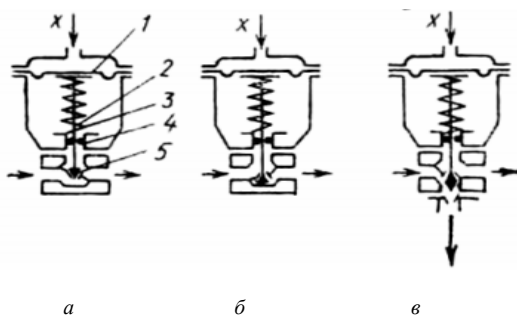


Рис. 6.6. Устройство пневматического мембранного сервомотора

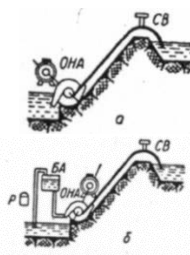
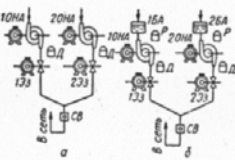
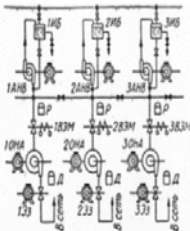
Подавляющее большинство пневматических сервомоторов – мембранного типа одно- и двуполостные с возвратом от пружин или противовеса. Встречается и сильфонный привод, но для малых перестановочных усилий. В последнее время стали применяться поршневые исполнительные механизмы, однако проблемой остаются трение и уплотнения в пневмоцилиндрах. Устройство пневматического мембранного сервомотора показано на рис. 6.6. Сервомотор с мембраной 1, штоком 2, возвратной пружиной 3, уплотнением сальниковым или лабиринтовым 4 изготовлен в комплекте с регулирующим органом – клапаном 5, проходным (рис. 6.6, а и б) и трехходовым (рис. 6.6, в).

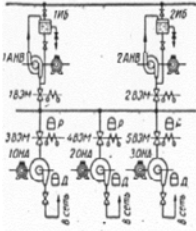
7. АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

7.1. Схемы управления насосными агрегатами

Большинство схем автоматического управления насосными агрегатами в зависимости от степени их сложности и количества применяемой аппаратуры может быть разделено на четыре группы (табл. 7.1).

Таблица 7.1. Схемы управления в зависимости от типа насосной станции и гидротехнических схем насосных агрегатов

Группа сложности	Тип насосной станции	Принципиальная схема	Состав оборудования
1	2	3	4
1-я	а) камерный с индивидуальным трубопроводом для каждого агрегата; б) водопроводный с баком-аккумулятором на всасывающем трубопроводе для каждого агрегата		Насосный агрегат без вспомогательного оборудования
2-я	а) камерный с объединенным напорным трубопроводом для нескольких насосных станций; б) водопроводный с баком-аккумулятором и объединенным напорным трубопроводом		Насосный агрегат с индивидуальной электрифицированной задвижкой на напорном трубопроводе
3-я	Водопроводный независимо от количества напорных трубопроводов		Насосный агрегат с индивидуальными вакуум-насосом и электрифицированной задвижкой на напорном трубопроводе

1	2	3	4
4-я	Водопроводный независимо от количества напорных трубопроводов		Насосный агрегат с индивидуальной электрифицированной задвижкой на напорном трубопроводе и общая вакуум-установка (два вакуум-насоса: рабочий и резервный)

Каждая группа схем управления выполняет идентичные операции, обусловливаемые типом насосной станции и гидромеханическими схемами насосных агрегатов.

Первая, наиболее простая группа схем применяется для насосных агрегатов, состоящих из основного насоса с электродвигателем, ОНА и не имеющих в своем составе управляемых электрифицированных задвижек ЭЗ и вакуум-насосной установки АНВ.

Управление таким агрегатом, по существу, сводится к управлению двигателем основного насоса. Вспомогательные устройства и технологические реле также сводятся к минимуму. Благодаря этому схема автоматического управления получается весьма простой: она требует для своего выполнения минимального количества аппаратуры и обеспечивает высокую надежность работы агрегата.

Схемы первой группы непосредственно применяются для гидромеханических установок с осевыми насосами. Работа горизонтальных центробежных насосов по этой схеме, т. е. без использования вакуум-насосов и управляемых задвижек, возможна лишь при специальных конструктивных решениях насосной станции, применении специальных способов заливки насосов и использовании индивидуальных напорных трубопроводов.

Специфические особенности приобретают режимы пуска и остановки.

Рассмотрим основные гидромеханические схемы таких насосных станций и требования, предъявляемые ими к схемам автоматического управления.

В мелиоративных насосных станциях с центробежными насосами без управляемых задвижек необходимость в вакуум-насосах исключается различными способами:

- установкой насосов в заглубленных камерах с отрицательной высотой всасывания;
- применением баков-аккумуляторов БА;

- использованием приподнятой всасывающей трубы и пр.
Корпус насоса при этих способах заливки постоянно заполнен водой, что облегчает пуск и сокращает его продолжительность.

7.2. Заливка насосов водой

1. Установка насосов в заглубленных камерах. Оси насосов устанавливаются ниже минимального уровня водозабора; при этом они всегда находятся под заливом (камерный тип станции).

Создание таких станций обычно связано с увеличением объема строительных работ и требует их высокого качества, особенно гидроизоляции.

Для ряда конкретных насосных станций, несмотря на некоторое увеличение объема строительных работ, применение установок с заглубленными камерами дает существенный технико-экономический эффект, а именно:

а) устраняются явления срыва вакуума при пуске насосов; повышается надежность работы вследствие устранения кавитации;

б) отпадает необходимость в установке обратного клапана во всасывающей линии насосов, благодаря чему упрощается ее конфигурация и снижаются гидравлические потери;

в) повышается надежность работы сальниковых уплотнений за счет создания в них избыточного давления вместо вакуума;

г) отрицательная высота всасывания позволяет применять насосы с малой высотой всасывания и высоким к. п. д., благодаря чему повышается производительность насосов и снижается расход электроэнергии по сравнению с аналогичными условиями при положительной высоте всасывания;

д) упрощается схема автоматического управления и существенно уменьшается общее количество аппаратуры управления; в частности, исключаются приборы контроля заливки насосов.

2. Заливка горизонтальных центробежных насосов при помощи баков-аккумуляторов. Для насосов небольшой производительности некоторое применение находят специальные баки-аккумуляторы.

Бак-аккумулятор представляет собой герметический закрытый сосуд с двумя патрубками, из которых нижний соединяется с всасывающими патрубками насоса, а верхний – с всасывающим трубопроводом.

При включении электродвигателя насос начинает подавать воду в нагнетательный трубопровод из бака-аккумулятора, в котором соответственно понижается уровень и создается необходимое разрежение для подсоса воды в бак-аккумулятор из приемного бассейна по всасывающей трубе.

Размеры бака-аккумулятора должны быть такими, чтобы объем между нижней отметкой верхнего патрубка и верхней отметкой нижнего патрубка в 3–3,5 раза превышал объем всасывающего трубопровода.

Конструкция бака-аккумулятора должна быть рассчитана на работу в условиях вакуума и должна обеспечивать герметичность, при которой исключается подсос воздуха через трубные соединения и сальниковые уплотнения.

К недостаткам этого способа заливки относится возможность опорожнения бака при остановке насоса вследствие повышенного давления в верхней части бака. Для устранения этого явления принимаются специальные меры.

В частности, для этой цели служит показанная на рис. 7.1 уравнивательная трубка, назначение которой – удалять воздух повышенного давления из верхней части бака. Гидромеханические схемы с использованием бака-аккумулятора, по конструктивным и экономическим соображениям, рекомендуется применять для центробежных насосов сравнительно небольшой производительности (расход до 40–50 л/с, насосы 6К-8, 6К-12 и т. д.). При больших расходах размеры баков становятся чрезмерно громоздкими.

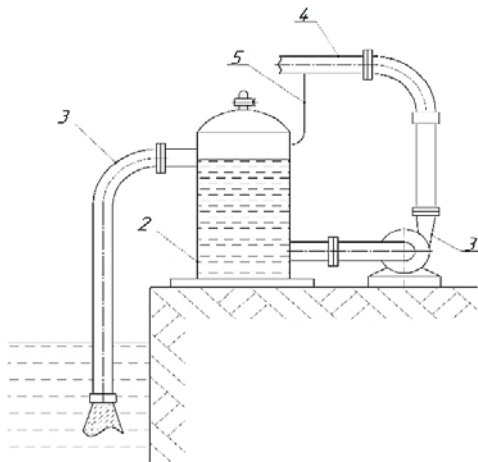


Рис. 7.1. Схема заливки насоса при помощи бака аккумулятора:
1 – всасывающий трубопровод; 2 – бак-аккумулятор; 3 – насос;
4 – напорный трубопровод; 5 – трубка для срыва вакуума

3. Заливка горизонтальных центробежных насосов при помощи приподнятой всасывающей трубы. Как показано на рис. 7.2, всасывающая труба устраивается с приподнятым коленом, что позволяет

первоначально залить водой внутреннюю полость насоса и прилегающие части всасывающего и напорного трубопроводов до уровня нижней кромки приподнятого колена.

При пуске насоса имевшийся объем воды из всасывающей трубы перекачивается в напорный трубопровод, благодаря чему во всасывающей трубе создается разрежение.

Вследствие разности атмосферного и создавшегося во всасывающей трубе пониженного давлений вода из водозаборной камеры поступает во всасывающую трубу и насос. При дальнейшей работе насоса вакуум во всасывающей трубе возрастает, эта труба полностью заполняется водой и начинается нормальная работа.

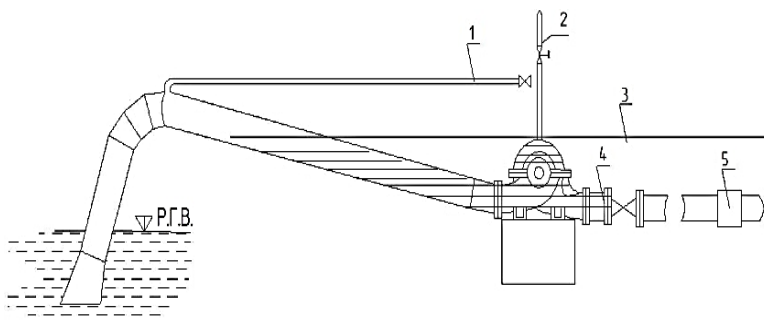


Рис. 7.2. Схема приподнятой всасывающей трубы и воздухоотводящей трубы:
1 – воздухоотводящая трубка; 2 – клапан для первоначальной заливки насоса
и всасывающей трубы и для выпуска воздуха; 3 – нижняя кромка приподнятого
колена и верх корпуса насоса; 4 – задвижка; 5 – обратный клапан;
Р.Г.В. – расчетный горизонт воды

После остановки насоса во всасывающей трубе вода должна оставаться на уровне нижней кромки приподнятого колена, и каждый последующий пуск будет происходить без дополнительной заливки.

Однако при остановках насоса без задвижки и обратного клапана начинается сифонное действие всасывающей трубы, и в трубе остается мало воды.

Чтобы исключить образование сифона, остановку насосного агрегата следует сочетать с одновременным автоматическим срывом вакуума во всасывающей трубе. Следовательно, схема управления должна в этом случае обеспечивать срабатывание клапана срыва вакуума.

Пуск горизонтальных центробежных насосов с приподнятой всасывающей трубой рекомендуется для насосов с геометрической высотой всасывания не более 2–3 м.

Применение эжекторного устройства позволяет значительно сократить длину приподнятой всасывающей трубы (рис. 7.3). При этом

обеспечивается пуск насоса практически при любой геометрической высоте всасывания.

Воздушная труба присоединяется одним концом к колену всасывающей трубы, а другим – к корпусу насоса, куда вводится эжекторное сопло, соединенное с нагнетательной полостью насоса при помощи напорной трубки.

Разрежение во всасывающей трубе при пуске насоса создается как действием эжектора, так и вследствие удаления из всасывающей трубы имевшейся в ней воды.

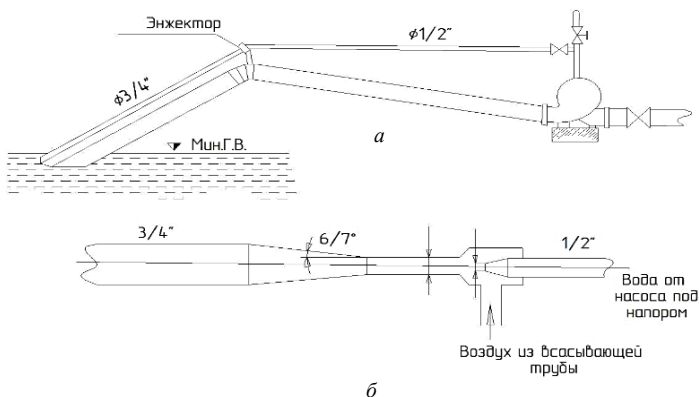


Рис. 7.3. Вариант приподнятой всасывающей трубы в комбинации с эжектирующим устройством: *а* – общий вид; *б* – схема эжектора

Воздушная смесь из эжектора может сбрасываться по сбросной трубке в водозаборную камеру или в напорный трубопровод за задвижкой. Сбросная трубка может быть использована и для срыва вакуума во всасывающей трубе после остановки насоса. Применение приподнятой всасывающей трубы в комбинации с инжектирующим устройством уже невозможно без задвижки или, в крайнем случае, без обратного клапана в напорном трубопроводе.

7.3. Автоматический пуск и остановка центробежных насосов

Запускать и останавливать центробежные насосы с открытой задвижкой на напорном трубопроводе начали сравнительно недавно. Благодаря ряду преимуществ этот способ находит широкое применение в мелиоративных системах, установках горнорудного водоотлива, водоснабжения и на электростанциях.

В литературе описана эксплуатация насосов с открытой задвижкой производительностью 1500–2000 м³/ч с электроприводом от асинхрон-

ного двигателя мощностью 1000–1200 кВт. В большинстве случаев имеется в виду работа при наличии в напорном трубопроводе обратного клапана. Однако насос с постоянно открытой задвижкой может работать и без обратного клапана. Условия пуска и остановки в этом случае принципиально меняются, и пуск не всегда возможен.

Для мелиоративных систем последний режим – пуск и остановка без задвижек и обратных клапанов – представляет большой интерес. Однако выбору этой системы должен предшествовать анализ возможностей и условий его применения. Качественный процесс пуска насоса с открытой задвижкой при отсутствии обратного клапана может быть показан на кривой $Q-H$, на которой нанесены зависимости производительности насоса, потребляемой им мощности и коэффициента полезного действия от напора при постоянных оборотах (рис. 7.4).

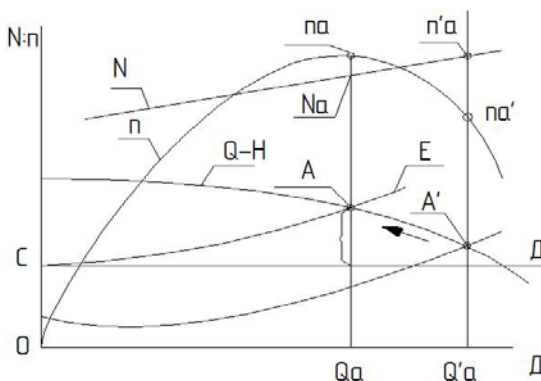


Рис. 7.4. Характеристика ($Q-H$) насоса в рабочем и неустановившемся режимах (пуск с открытой задвижкой напорного трубопровода)

При подборе насоса полная высота подъема воды определяется по формуле

$$H_{\text{п}} = H_{\text{г}} + Lh, \quad (7.1)$$

где $H_{\text{п}}$ – полная высота подъема воды;

$H_{\text{г}}$ – общая геометрическая высота подъема, равная сумме геометрических высот всасывания и нагнетания;

$\sum h = SQ^2$ – сумма всех гидравлических потерь в трубопроводах;

S – сопротивления в трубопроводах заданных длин и диаметров;

Q – производительность насоса;

L – длина трубопровода.

На рис. 7.4 прямая CD проведена параллельно оси Q на расстоянии $H_{\text{г}}$, равном геометрической высоте подъема. Параболическая кри-

вая СЕ является кривой потерь в трубопроводе (характеристика трубопровода). Она пересекает рабочую характеристику в точке А, называемой предельной рабочей точкой насоса, работающего в данных конкретных условиях. Точкой А определяются параметры рабочей точки насоса Q_A , N_A и η_A при установившемся режиме.

При подборе насоса стремятся к тому, чтобы:

- заданный режим работы лежал в области на выгоднейшего значения к. п. д. насоса (η_A);
- высота всасывания насоса не превышала предела, установленного для данной конструкции.

После пуска насоса особенно большой производительности при открытой задвижке и незаполненном водой трубопроводе происходит постепенное заполнение водой нагнетательного трубопровода и возрастание геодезической высоты всасывания.

Разгон насосного агрегата до номинальных оборотов и главным образом его работа в неустановившемся режиме характеризуются кривой $QA'A$. Кривая СЕ как бы перемещается по характеристике $Q-H$ от точки А' периода разгона и начала заполнения трубопровода к точке А установившейся нормальной работы.

В точке А' производительность насоса Q'_A значительно превышает нормальную.

Работа насоса происходит в правой неустойчивой зоне характеристики $Q-H$. Насос здесь имеет наименьшую всасывающую способность и до определенного наполнения трубопровода может квити́ровать. Начиная от точки А', как это следует из кривой N , электродвигатель будет работать с перегрузкой. Время такой работы определяется временем работы агрегата на участке А'А, т. е. зависит от характеристики насоса, конфигурации и размеров напорного трубопровода. Этот период можно установить с помощью расчета.

Очевидно, что работа насосного агрегата с открытой задвижкой допускается лишь при условии, что перегрузка электродвигателя и ее продолжительность лежат в допустимых пределах. Кроме того, эта временная перегрузка должна быть учтена при построении токовой защиты схемы автоматического управления насосным агрегатом.

В мелиоративных системах большинство насосных станций работает в открытую сеть. Поэтому при отсутствии задвижек и обратных клапанов в напорных трубопроводах особое внимание следует уделять недопущению слива воды через отключенный агрегат из общего водоприемного устройства напорного бассейна, являющегося головной частью отводящего канала. Этот процесс должен быть автоматизирован. Для этого в конце трубопровода предусматривают хлопушки, быстропадające щиты, полигональные водосливы и сифонные водо-выпуски с различными устройствами для срыва вакуума в сифоне.

В настоящее время применяются преимущественно сифонные водовыпуски, считающиеся более надежными и экономичными. На рис. 7.5 в качестве иллюстрации приведены два типа устройств, применяемых для автоматического срыва вакуума в сифоне при обратном токе воды в трубопроводе.

Гидравлический затвор (рис. 7.5) состоит из трубки 8 и вертикального стакана 9. Трубка сечением, равным приблизительно 1,5 % живого сечения горловины сифона, вваривается открытым концом в сифон. Второй конец трубки помещают в металлический стакан диаметром, большим диаметра трубки на 100 мм. Стакан, соединенный трубкой с полостью сифона, заполняется водой одновременно с наполнением канала.

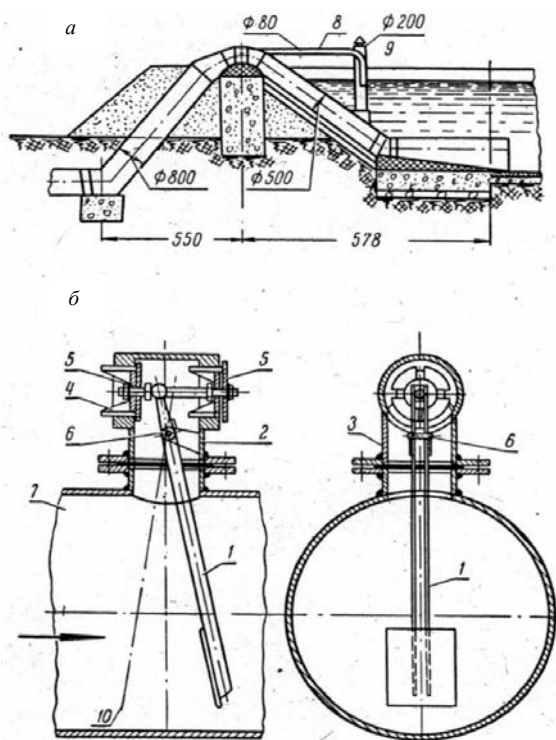


Рис. 7.5. Устройства для срыва вакуума в сифоне: *а* – гидравлический клапан; *б* – клапан; 1 – рычаг с лопаткой; 2 – корпус; 3 – горловина; 4 – сухарь; 5 – клапаны; 6 – ось вращения рычага с лопаткой; 7 – напорный трубопровод; 8 – трубка; 9 – металлический стакан; 10 – положение лопатки при обратном токе воды

При прохождении воды через сифон уровень ее в стакане устанавливается выше нижней грани трубки на величину скоростного напора, которая может быть доведена до 50–60 см при скорости движения воды порядка 3–3,5 м/с.

При прекращении тока воды в сифоне или ее движении в обратную сторону уровень воды в стакане падает, обнажая нижний конец трубки. Воздух входит в полость сифона, вакуум срывается и движение воды из отводящего канала в трубопровод прекращается.

Конструкция клапана срыва вакуума (рис. 7.5, б) имеет рычаг с лопаткой 1, опущенной в трубопровод. При прямом потоке под давлением воды на лопатку, входные отверстия перекрываются тарельчатыми клапанами 5.

При отключении насоса и изменении направления потока вода давит на лопатку в обратную сторону, тарельчатые клапаны открывают входные отверстия и впускают воздух, прекращая поступление воды в трубопровод. Этот клапан имеет подвижные механические детали и менее надежен в эксплуатации.

Для клапана срыва вакуума применяется грузовой или пружинный привод масляного выключателя. При отключении работающего насосного агрегата или исчезания напряжения привод срабатывает и клапан срывает вакуум.

Каждая конструкция клапана срыва вакуума имеет свою область применения и выбирается при разработке гидромеханической схемы.

В схемах автоматического управления насосными агрегатами работа клапана срыва вакуума должна отражаться сигнализацией его состояния и блокировкой, не допускающей включения насосного агрегата при неисправности клапана.

При любой остановке насосного агрегата вся вода из напорного трубопровода будет сливаться в нижний бьеф через насос, который в этом случае работает в турбинном режиме. Поэтому реверс агрегата должен быть предварительно согласован с заводом-поставщиком оборудования.

Как правило, насосные агрегаты могут допускать возможность кратковременного (в пределах часа) обратного вращения с разгонным числом оборотов $n_p = 1,2 - 1,3 n_n$, где n_n – номинальное число оборотов.

Как время работы в реверсивном режиме, так и n_p обуславливаются параметрами напорного трубопровода. Нередко при очень длинных трубопроводах и большой высоте подачи воды допустимые параметры работы агрегата в реверсивном режиме не выдерживаются, и в этом случае эксплуатация такого агрегата недопустима.

Нельзя также повторно запускать выключенный агрегат во время его работы в турбинном режиме. Такой пуск может вызвать аварийное

отключение электродвигателя вследствие его перегрузки, а также механические повреждения агрегата. Поэтому в схемах автоматического управления 1-й группы должны предусматриваться либо блокировка, предотвращающая возможность такого пуска, либо, в крайнем случае, сигнализация, предупреждающая персонал об опасности такого пуска.

Датчиком для блокировки или сигнала может быть струйное реле, реле обратного вращения и т. п.

7.4. Управление насосным агрегатом с электрифицированной задвижкой на напорном трубопроводе

2-я группа схем предназначается для управления насосными агрегатами, имеющими индивидуальные электрифицированные задвижки на напорных трубопроводах. В связи с этим данная группа схем более сложна.

Пуск насосного агрегата происходит при закрытой напорной задвижке. Она начинает открываться после окончания разгона двигателя и установления соответствующего давления. Такой способ создает условия для плавного и спокойного нарастания мощности в период пуска.

Допускается также пуск при одновременном включении двигателя насоса и напорной задвижки. Этот способ, по существу, мало отличается от первого, так как обычно время пуска двигателя значительно меньше времени, необходимого для открытия задвижки, и к моменту окончания разгона насоса задвижка открывается на очень малую величину, которая незначительно изменяет характер пуска с полностью закрытой задвижкой. Однако при последовательном пуске насоса и задвижки схема автоматики получается более четкой. Задвижка должна закрываться перед отключением основного насоса и после аварийного отключения электродвигателя.

Обычно применяются электрифицированные задвижки с реверсивным асинхронным короткозамкнутым двигателем. Основным недостаток такого привода на переменном токе в насосных станциях, работающих без обслуживающего персонала, заключается в том, что при аварийном исчезновении напряжения на шинах насосных станций задвижка не закроется и, следовательно, не будет предотвращен реверс агрегата и обратный ток воды.

Таким образом, возможность реверса насосного агрегата при аварийном исчезновении напряжения должна быть предусмотрена для всех рассматриваемых гидромеханических схем: как без задвижки, так и с электрифицированной задвижкой на напорном трубопроводе. В отдельных случаях для предотвращения реверса на напорных трубопроводах устанавливают обратные клапаны, электрифицированные

здвижки с независимым источником питания или задвижки с гидравлическим приводом.

7.5. Управление насосным агрегатом с вакуум-насосом и электрифицированной задвижкой на напорном трубопроводе

3-я и 4-я группы схем обеспечивают автоматизацию агрегата с центробежным насосом, ось которого расположена выше горизонта воды в водоисточнике. Пуск этого агрегата может быть осуществлен лишь с предварительным заливом его водой при закрытой задвижке на напорном трубопроводе, а схема управления агрегата должна в этом случае обеспечить взаимодействие ряда вспомогательных механизмов и аппаратуры.

Помимо управления электроприводами основного насоса и электрифицированной задвижки, возникает необходимость в предварительном заливе насоса водой. Эту операцию на автоматизированных мелиоративных насосных станциях выполняют преимущественно с помощью водокольцевых вакуум-насосов типа КВ.

На рис. 7.6 приведена схема соединения вакуум-установки 2 с основным насосом 1. Требуемая для нормальной работы вакуум-насоса постоянная циркуляция воды обеспечивается при помощи бачка 3, из которого вода поступает во всасывающий трубопровод 5 и вместе с воздухом попадает в корпус насоса. Затем, по мере вращения рабочего колеса, воздух и излишняя вода через нагнетательный трубопровод 6 выбрасываются обратно в бачок.

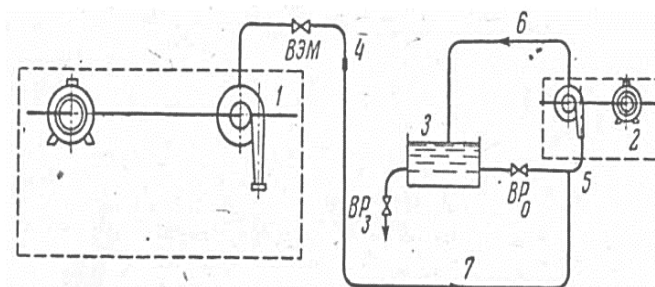


Рис. 7.6. Гидромеханическая схема соединения вакуум-установки с основным насосом: ВР₀ – ручной вентиль открытый; ВР₃ – ручной вентиль закрытый; ВЭМ – электромагнитный вентиль; 1 – насос; 2 – вакуум-установка; 3 – бачок; 4 – устройство для контроля уровня или тока воды; 5 – всасывающий трубопровод; 6 – нагнетательный трубопровод; 7 – слив

Автоматизация этого процесса требует наличия устройства 4, контролирующего уровень или проток воды (для фиксации окончания

процесса залива насоса), а также дистанционно управляемого запорного вентиля для разобщения трубопровода, соединяющего вакуум-насос с центробежным (чтобы вода из камеры насоса не поступала в вакуум-насос и бачок). Приводом вакуум-насоса обычно служит асинхронный короткозамкнутый двигатель мощностью 1,5 или 2,2 кВт соответственно для насосов марок КВН-4 и КВН-8.

Приведенный процесс залива насоса водой относится к насосной станции с одним агрегатом. Автоматизация процесса залива нескольких агрегатов может быть построена по принципу, при котором каждый насосный агрегат снабжается индивидуальным вакуум-насосом. Можно также, учитывая однотипность процесса залива всех насосов станции, устанавливать два вакуум-насоса для обслуживания всех агрегатов.

Схема залива насосов с индивидуальными вакуум-насосами позволяет построить всю автоматизацию по принципу, при котором каждый насосный агрегат имеет независимый от других полный комплект вспомогательных механизмов и аппаратуры, электросиловые цепи и цепи управления. При этой схеме выход из строя одного из агрегатов не влияет на работу других.

Вторая схема залива предусматривает общую вакуум-установку для насосной станции в целом. В этом случае выход из строя вакуум-установки выводит из строя всю станцию. Преимуществом первой схемы по сравнению со второй является также отсутствие дистанционно управляемых вентилях в гидромеханической системе и более короткие всасывающий и нагнетательный трубопроводы вакуум-установки. Однако при первой схеме для каждого агрегата, если их больше двух, требуется дополнительный вакуум-насос с электродвигателем и пусковой аппаратурой.

Учитывая технические преимущества и недостатки приведенных вариантов залива насоса, для насосных станций с количеством агрегатов до 3–4 целесообразно принять индивидуальные вакуум-насосы (3-я группа схем). На насосных станциях, где имеется более четырех агрегатов, должна применяться схема 4-й группы как более экономичная.

7.6. Автоматическое, полуавтоматическое и программное управление насосными станциями

В зависимости от степени автоматизации насосных станций, обусловленной их назначением и режимом эксплуатации, они подразделяются на автоматические, полуавтоматические и станции с программным управлением.

Работа автоматических насосных станций протекает без участия обслуживающего персонала. Команды на включение и отключение

насосных агрегатов подаются датчиками, обеспечивающими заданный режим работы.

К категории автоматических относятся главным образом осушительные, перекаченные и водопроводные насосные станции, а также дренажные насосы любого назначения. Управление ими осуществляется датчиками уровня воды, давления, расхода и т. д.

В полуавтоматических насосных станциях каждый насосный агрегат управляется независимо от других, от единичной команды, подаваемой персоналом. После подачи первоначальной команды агрегат работает автоматически, обеспечивая определенную последовательность работы отдельных механизмов, входящих в состав агрегата, а также его автоматическую защиту от неисправностей и аварий.

К этой категории обычно относятся оросительные насосные станции, где включение и отключение агрегатов осуществляются дежурным персоналом в соответствии с графиком водопотребления.

Помимо автоматического и полуавтоматического, может быть также применено программное управление оросительными насосными станциями. В этом случае единичная команда управления (программа) подается для всей станции в целом, после чего ее выполнение и последующая работа станции протекают автоматически.

При программном управлении (в отличие от полуавтоматического) обслуживающий персонал не управляет отдельными агрегатами и непосредственно не контролирует работу каждого из них. Такие операции, например, как замена аварийного отключенного агрегата резервным и запуск двигателей после кратковременной пропажи и последующего появления напряжения, также осуществляются автоматически.

В целом ряде случаев (и особенно при телемеханическом управлении большим количеством небольших насосных станций с одного диспетчерского пункта) программное управление имеет существенные преимущества по сравнению с полуавтоматическим, так как в этом случае потребная емкость системы телемеханики минимальна, увеличивается надежность и простота управления.

При выборе степени автоматизации насосных станций учитывают также технологический режим и общий состав оборудования станции в целом. На оросительных насосных станциях насосные агрегаты работают непрерывно, круглосуточно по графику, увязанному со сроками полива. График водопотребления покрывается включением различного числа насосных агрегатов. Обычно оптимальное число основных агрегатов на насосных станциях равно четырем, минимальное – двум, а максимальное – восьми. Учитывая возможное объединение напорных трубопроводов, стремятся к тому, чтобы число агрегатов было кратным двум или трем.

Производительность насосного агрегата в процессе его работы обычно не регулируется; изменение производительности путем дроселирования задвижкой напорного трубопровода экономически невыгодно и практикуется чрезвычайно редко.

Число установленных агрегатов рассчитывается на подачу форсированного расхода в пределах 10–30 %. Установка специального резервного агрегата по нормам не требуется, за исключением того случая, когда все агрегаты насосной станции, согласно графику водоподдачи, должны работать непрерывно в течение одного месяца, а оросительная система при этом не допускает поочередного 1–3-дневного перерыва в работе для профилактического осмотра и ремонта.

Однако, так как выбор агрегатов осуществляется с учетом подачи форсированного расхода, один агрегат большую часть времени находится в резерве, и на станциях автоматического и программного управления следует предусматривать автоматический ввод резерва.

На осушительных насосных станциях рекомендуется устанавливать не менее трех агрегатов суммарной производительностью, равной максимальной ординате укомплектованного графика стока. Условия резервирования, неавтоматический ввод резерва решаются аналогично оросительным станциям.

В настоящее время, в связи со строительством насосных станций с агрегатами большой производительности и высокого напора при условии подачи воды в бетонированные каналы и лотки, аккумулирующая емкость которых мала, становится экономически выгодным устанавливать 1–2 насосных агрегата с регулируемой производительностью. При отсутствии такого регулирования неизбежны значительные сбросы дорогостоящей воды, поднятой на большую высоту.

7.7. Регулирование подачи центробежных насосов

Корпус центробежного насоса выполняют в виде спиральной литой конструкции, внутри которой находится рабочее колесо, насаженное на вал. Корпус имеет два патрубка: всасывающий, по которому вода поступает к рабочему колесу, и нагнетательный для вывода ее из насоса под напором. Диаметр всасывающего патрубка обычно больше, чем нагнетательного. Перед пуском всасывающую трубу и корпус заполняют водой.

Напор, развиваемый центробежным насосом, зависит от диаметра D рабочего колеса, частоты его вращения, очертания и числа лопаток. Для большинства центробежных насосов напор, создаваемый рабочим колесом диаметром D с числом оборотов в минуту n или частотой вращения ω , можно определить по выражению:

$$H = \alpha \frac{\pi^2 D^2 n^2}{60^2 g} = \alpha \frac{\omega^2 R^2}{g} = \alpha \frac{v^2}{g}, \quad (7.2)$$

где H – напор, развиваемый насосом, м;

v – окружная скорость на внешней окружности рабочего колеса, м/с;

α – коэффициент снижения напора из-за возникновения гидравлических сопротивлений с учетом конечного числа лопастей рабочего колеса. Для насосов со спиральным отводом $\alpha = 0,35$ – $0,5$, с направляющим аппаратом $\alpha = 0,45$ – $0,55$;

n – скорость вращения рабочего колеса, мин⁻¹;

ω – частота вращения рабочего колеса, рад/с⁻¹;

R – радиус рабочего колеса, м;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Подача центробежного насоса зависит от тех же факторов, а также от поперечных размеров каналов рабочего колеса. Напор и подача воды центробежным насосом зависят от конструкции (качество гидравлического уплотнения между нагнетательной и всасывающей областью насоса), которую точно и для каждой марки определяет завод-изготовитель. Характеристики центробежных насосов строят по опытными данным.

Напор, подачу, допускаемую вакуумметрическую высоту всасывания, КПД и мощность насоса находят по их характеристикам. Все перечисленные параметры взаимосвязаны. Так, с увеличением высоты нагнетания подача центробежного насоса уменьшается, изменяются высота всасывания, КПД и мощность. На рис. 7.7 приведена каталожная характеристика насоса. Центробежные насосы различают по числу ступеней, способу подвода и отвода воды от рабочего колеса, расположению вала.

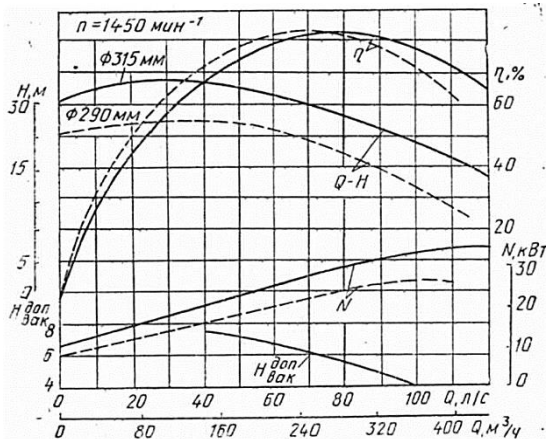


Рис. 7.7. Характеристика центробежного насоса

По числу ступеней насосы подразделяются на одноступенчатые (одно рабочее колесо) и многоступенчатые (несколько последовательно расположенных рабочих колес на одном валу). Вода в многоступенчатом насосе проходит последовательно через все рабочие колеса, каждое из которых увеличивает напор на определенную величину. Если не удастся подобрать центробежный насос с характеристикой, отвечающей заданным напору и расходу, применяют различные способы регулирования.

При значительных превышениях напора уменьшение его дросселированием невыгодно, так как связано с непроизводительными затратами энергии. Рациональный способ регулирования центробежных насосов – преобразование характеристик за счет изменения частоты, вращения или диаметра рабочего колеса (обточка).

Если частота вращения рабочего колеса центробежного насоса увеличивается или уменьшается, то соответственно снижаются или возрастают подача, напор и мощность. Зависимость этих величин от частоты вращения можно выразить уравнением динамического подобия центробежного насоса:

$$\frac{Q_1}{Q} = \sqrt{\frac{H_1}{H}} = \sqrt[3]{\frac{N_1}{N}} = \frac{n_1}{n} = \frac{\omega_1}{\omega}, \quad (7.3)$$

где Q , H , N – расход, напор и мощность насоса, $\text{м}^3/\text{с}$, м , кВт , при номинальной частоте вращения $n \text{ мин}^{-1}$ или $\omega \text{ рад/с}$;

Q_1 , H_1 , N_1 – те же величины при измененной частоте вращения.

КПД насоса при изменении частоты вращения практически не изменяется.

Уменьшать частоту вращения более чем в два раза не рекомендуется. Увеличивать ее можно только по согласованию с заводом-изготовителем, обычно не более чем на 10–20 % выше номинальной. При уменьшении частоты вращения центробежного насоса допустимая высота всасывания несколько возрастает, при увеличении – падает. Подачу, напор и мощность центробежных насосов можно изменить, уменьшив (обточив) диаметр рабочего колеса. Это предусматривается конструктивными решениями заводов-изготовителей. Параметры центробежного насоса при обточке колеса изменяются так же, как и при изменении частоты вращения:

$$\frac{Q_1}{Q} = \sqrt{\frac{H_1}{H}} = \sqrt[3]{\frac{N_1}{N}} = \frac{D_1}{D}, \quad (7.4)$$

где D и D_1 – диаметры нормального и обточенного рабочих колес.

Уменьшение диаметра рабочего колеса более чем на 20 % не допускается. Для расширения области применения некоторые заводы-изготовители выпускают насосы как с нормальными, так и с обточенными рабочими колесами. В случаях, когда условия работы насоса требуют частых изменений подачи из-за неравномерности водопотребления, наряду с изложенными приемами, применяют специальные методы регулирования, позволяющие обеспечить не только необходимые расход и напор, но и сохранить в диапазоне регулирования высокие значения КПД. Обычно это связано с использованием средств автоматического управления.

Регулирование подачи дросселированием. Во время монтажа центробежного насоса на напорной его стороне устанавливают задвижку для выполнения запорно-регулирующих функций. С ее помощью изменяют подачу насоса. По своему назначению и конструкции она служит как запорное устройство и регулятор, но при частых регулировках работает ненадежно. К тому же регулирование задвижкой (дросселированием) оказывается энергетически невыгодным: часть напора расходуется на преодоление искусственно созданного сопротивления в задвижке. Однако в ряде случаев дросселирование является эффективным, особенно при необходимости снижения напоров в трубопроводах на больших уклонах, когда напор не удастся использовать и возникает необходимость в снижении его. Такое регулирование применяют на закрытой оросительной сети полустационарной системы для поддержания постоянства давления на входе к дождевальным машинам («Фрегат»). Сущность и энергетические характеристики этого метода регулирования приведены на рис. 7.8.

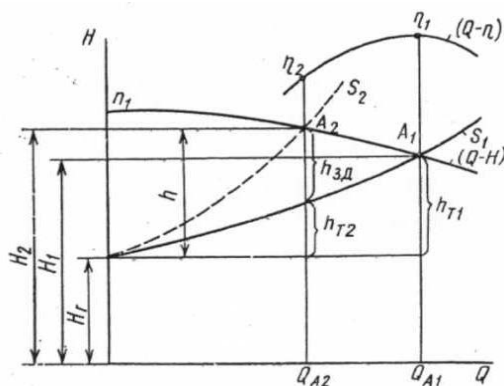


Рис. 7.8. Характеристика насоса и трубопровода при регулировании подачи дросселированием

При полностью открытой задвижке рабочая точка A_1 будет находиться на пересечении характеристик трубопровода S_1 и насоса $Q-H$. Подача насоса соответствует значению Q_{A1} . Отрезок h_{T1} характеризует потерю напора на трение при движении жидкой среды со скоростью v , соответствующей подаче Q_{A1} . Для уменьшения подачи до значения Q_{A2} частично прикрывают задвижку. Сопротивление изменит общее сопротивление трубопровода, и крутизна характеристики увеличится (точка пересечения A_2). Потерю напора определяют по сумме отрезков $h_{T2} + h_{зд}$, обозначающих соответственно потери в трубопроводе и в задвижке. КПД насосной установки снизится. Мощность, теряемую при дросселировании, находят по формуле:

$$\Delta N = \frac{\gamma g Q_{A2} h_{зд}}{1000 \eta}, \text{ кВт}, \quad (7.5)$$

где Q_{A2} – подача насоса при закрытой задвижке, $\text{м}^3/\text{с}$;

$h_{зд}$ – потеря напора в задвижке, м;

γ – объемная масса, $\text{кг}/\text{м}^3$;

η – КПД насоса при подаче Q_{A2} .

Регулирование перепуском части подачи воды насосом во всасывающий трубопровод и впускном воздуха во всасывающий патрубок. Уменьшить подачу воды в систему от Q_A до Q_B (рис. 7.9) можно, если перебросить часть перекачиваемой жидкости $Q_A - Q_B$ по обводной трубе во всасывающий трубопровод, т. е. установить перепускную линию. В этом случае при открытии задвижки на обводной трубе (устанавливается электроприводная задвижка для автоматизации процесса) меняется характеристика трубопроводной сети 2 на 3 со смещением рабочей точки насоса в положение C . Следовательно, для обеспечения подачи Q_B нужно через перепускную линию подать расход $Q_C - Q_B$. Напор, создаваемый насосом, уменьшается, а потребляемая мощность (кривая 4) увеличивается.

С энергетической точки зрения, способ регулирования подачи перепуском допустим для центробежных насосов с коэффициентом быстроходности $n_s > 300$, осевых и вихревых насосов. Коэффициент быстроходности – частота вращения рабочего колеса, которая при полезной мощности 735,5 Вт и подаче 75 л/с обеспечивает напор в 1 м.

В центробежных насосах меньшей быстроходности такое регулирование приводит к увеличению потребляемой мощности и перегрузке электродвигателя, усложнению систем управления, следовательно, снижению надежности установки.

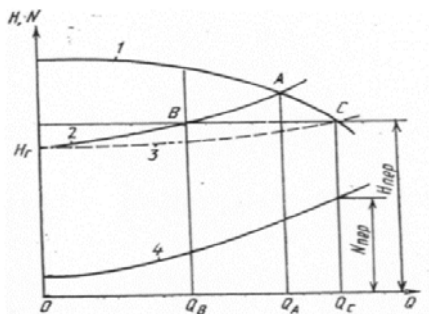


Рис. 7.9. Регулирование подачи центробежного насоса перепуском

Уменьшения подачи насоса при неизменной характеристике трубопроводной сети достигают за счет впуска определенного количества воздуха во всасывающий патрубок. Это допустимо и практически не ухудшает работы системы, если фактическая высота всасывания насоса значительно меньше допустимой. При впуске воздуха характеристики насоса $Q-H$ и $Q-\eta$ перемещаются вниз, что позволяет выбирать режим работы, обеспечивающий необходимую подачу воды в систему.

Количество воздуха, поступающего во всасывающий патрубок насоса, обычно не превышает 5 % от объема перекачиваемой воды. Экономические показатели такого способа регулирования подачи насосов малой и средней производительности несколько лучшие по сравнению с дросселированием задвижкой на выходе насоса. Для регулирования подачи применяются дополнительные специальные устройства по изменению или стабилизации рабочих параметров. При постоянной частоте вращения рабочего колеса они используются в рассмотренных способах количественного регулирования или их комбинаций.

Регулирование подачи воды изменением числа и состава агрегатов. Способ обеспечивает дискретное (ступенчатое) регулирование подачи воды в систему водоснабжения. Шаг дискретности постоянен и соответствует подаче одного насосного агрегата. Для уменьшения шага дискретности и осуществления плавного регулирования устанавливают разнотипные агрегаты.

Например, для обеспечения диапазона регулирования 1:8 на станции можно установить четыре агрегата. Если они будут однотипными, то достижимый шаг дискретности составит $2/8 Q$ (максимального расхода станции). Если установить агрегаты: два с подачей $1/8 Q$, а два с подачей $3/8 Q$, то достижима в два раза меньшая дискретность, равная $1/8 Q$.

Число комбинаций разнотипных агрегатов всегда больше, чем однотипных, схема их автоматического выбора и переключения несколько усложняется. Усложнение оправдывается существенным улучшением режима работы и самое главное – уменьшением непроизводительных затрат. Практически такое регулирование можно выполнить двумя насосными агрегатами, но с установкой на каждом из них двух-скоростных электродвигателей с соответствующей системой управления.

Регулирование подачи воды при переменной частоте вращения рабочего колеса. Способ регулирования насосных агрегатов изменением частоты вращения рабочего колеса является самым экономичным. Он основан на стабильных соотношениях важнейших параметров насосных агрегатов и частоты вращения их рабочих колес. С достаточной точностью для практических расчетов в доступных эксплуатационных диапазонах КПД насосов при изменении частоты вращения можно считать неизменным:

$$\eta_{\omega 1} = \eta_{\omega 2} \quad (7.6)$$

Подача центробежных насосов пропорциональна частоте вращения рабочего колеса:

$$Q_2 = Q_1 \frac{\omega_2}{\omega_1}. \quad (7.7)$$

Напор пропорционален квадрату частоты вращения:

$$H_2 = H_1 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \quad (7.8)$$

Мощность пропорциональна кубу частоты вращения:

$$H_2 = N_1 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^3. \quad (7.9)$$

В приведенных выражениях ω_2 – новая частота вращения рабочего колеса, рад/с. Из анализа выражений видно, что

$$\frac{H_1}{Q_1^2} = \frac{H_2}{Q_2^2} = \dots = \frac{H_n}{Q_n^2} = K = const. \quad (7.10)$$

Из последнего выражения вытекает параболическая зависимость $H = KQ^2$, указывающая, как располагаются на характеристике насоса $Q-H$ рабочие точки, имеющие равный КПД. В общем случае разви-

ваемый центробежным насосом напор зависит от частоты вращения и расхода.

При полностью закрытой задвижке мощность на валу насоса составляет около 40 % от номинальной. Если постепенно открывать задвижку, мощность растет почти прямо пропорционально расходу:

$$N_2 = 0,4N_n + KQ. \quad (7.11)$$

Во время регулирования частоты вращения насоса напор, развиваемый им, можно привести в соответствие с напором в системе при данном расходе, не поглощая задвижкой избыточный напор. Если насос преодолевает только динамический напор, мощность, потребляемая насосом, при регулировании частоты вращения пропорциональна кубу расхода:

$$N_2 = K_1 Q^3. \quad (7.12)$$

Сопоставив выражения для мощности при дроссельном регулировании подачи и регулировании ее изменением частоты вращения рабочего колеса, видим, что в последнем случае требуется значительно меньшая мощность, а подача возрастает с увеличением предела регулирования. Для определения необходимой мощности на валу насоса, в случае преодоления статического и динамического напора при изменяющемся расходе следует построить характеристики $Q-H$ для конкретного насоса при разных частотах вращения.

Совокупность характеристик центробежного насоса при различных частотах вращения приведена на рис. 7.10. Анализ характеристик показывает, что эффективность частотного регулирования снижается с увеличением доли статического напора.

Рабочая точка b выделена для 50%-ной номинальной подачи, 50%-ной статической и 50%-ной динамической составляющих напора (характеристика 1), а номинальный режим работы при номинальной частоте вращения будет в точке a . При уменьшении расхода на 50 % рабочая точка b (характеристика 1) пересекается с вертикалью, соответствующей 50%-ному расходу номинального режима. Здесь она оказывается на экспериментальной кривой $Q-H$, соответствующей 75 % номинальной частоты вращения. Требуемую мощность на валу насоса определяют точкой пересечения $N-Q$ характеристики с вертикалью для 50 % расхода и, как видно из рисунка, она составляет 33 % от мощности, потребляемой в номинальном режиме.

Рис. 7.10. Характеристики центробежного насоса при разной частоте вращения:
1 – характеристика работы насоса, преодолевающего 50 % статического и 50 % динамического напора; 2 – характеристика насоса, преодолевающего только динамический напор

Если бы насос преодолевал только динамический напор (характеристика работы изображалась бы кривой 2), то в этом случае необходимые характеристики $Q-H$ и $Q-N$ (на рис. 7.10 не показаны) при уменьшении расхода на 50 % пришлось бы уменьшить на 50 % и частоту вращения рабочего колеса. Потребная мощность составила бы 12,5 %, а не 33 %, как в первом случае.

Для изменения частоты вращения рабочих колес насосных агрегатов можно применять различные механические и электрические устройства. Даже при наличии в них дополнительных потерь методы качественного регулирования оказываются более экономичными по сравнению с любыми способами количественного регулирования. Специфический и важный параметр качественного регулирования насосных агрегатов – коэффициент глубины регулирования частоты вращения насосного колеса:

$$K_p = \frac{\omega_h - \omega_p}{\omega_h} = \frac{Q_h - Q_p}{Q_h}, \quad (7.13)$$

где ω_p и Q_p – требуемые по условиям работы минимальные значения частоты вращения и расхода для насосного агрегата с регулируемым электроприводом.

Для погружных насосных агрегатов типа ЭЦВ минимальное значение расхода не должно быть меньше величины, требуемой для предотвращения нагрева воды внутри корпуса насоса выше 25 °С, обычно принимают $Q_{\min} > 0,1 Q_{\text{ном}}$. При выборе коэффициента регулирования необходимо учитывать диапазон изменения потерь в трубопроводной сети в зависимости от колебаний расхода по графику водопотребления.

На рис. 7.11 представлены сводные характеристики рассмотренных методов регулирования центробежных насосов с указанием затрат мощности при различных способах изменения подачи насосов.

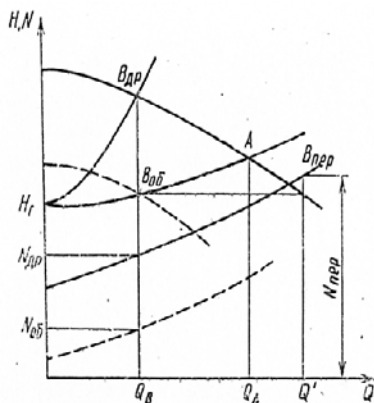


Рис. 7.11. Сравнение экономичности разных способов регулирования подачи центробежных насосов

На этом же рисунке соответственно показаны потери мощности.

Номинальный режим работы насоса будет в точке А с расходом Q_A . В случае изменения его до значения Q_B получим новые положения рабочих точек для различных способов регулирования: $B_{др}$ – при дроссельном регулировании задвижкой; $B_{об}$ – при частотном регулировании, изменяя частоты вращения рабочего колеса; $B_{пер}$ – регулирование перепускной линией, когда насос на выходе обеспечивает подачу.

$$Q = Q_{\text{в}} + Q_{\text{пер}}. \quad (7.14)$$

При регулировании подачи изменением частоты вращения они будут минимальными, а при дроссельном регулировании существенно возрастут и будут максимальными в случае регулирования перепуском:

$$\Delta N > \Delta N_{\text{др}} > \Delta N_{\text{об}}. \quad (7.15)$$

Приведенное соотношение справедливо для центробежных насосов, у которых коэффициент быстроходности $n_s < 300$. Для вихревых и осевых насосов, где с увеличением подачи затраты мощности уменьшаются, регулирование перепуском окажется более экономичным, чем регулирование дросселированием, но регулирование изменением частоты вращения по-прежнему будет более эффективным.

Рассмотренные режимы работы центробежных насосов, приемы регулирования показывают функционирование гидравлической системы насос – трубопровод, которое необходимо для правильного выбора насоса и обеспечения повышенной работоспособности, надежности и экономичности всей системы водоснабжения.

8. АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК АРТЕЗИАНСКИХ СКВАЖИН

8.1. Особенности автоматизации артезианских насосных установок

Особенности автоматизации артезианских насосных установок зависят от типа насосных агрегатов и режимов их работы. Рассмотрим основные требования, предъявляемые к автоматизации, конструктивным особенностям насосных установок и технологическим режимам их работы.

1. Все артезианские насосные агрегаты в зависимости от их конструктивного исполнения могут быть разделены на две группы: агрегаты с электродвигателями, расположенными сверху, над устьем скважины, и погружные артезианские насосы, электродвигатель которых расположен под рабочей частью насоса и погружается в скважину ниже динамического уровня подземных вод (рис. 8.1). Типичным представителем первой группы является насосный агрегат типа АТН. Насос приводится в действие вертикальным двигателем, устанавливаемым на поверхности. Связь насоса с электродвигателем осуществляется при помощи трансмиссионного вала, опирающегося на резиновые подшипники. Вкладыши подшипников смазываются и охлаждаются водой, подаваемой насосом.

При остановке агрегата часть подшипников не находится в воде. Поэтому перед запуском насоса эти подшипники должны предварительно смачиваться водой. В автоматических установках, работающих без постоянного обслуживающего персонала, процесс смачивания подшипников должен быть автоматизирован.

Двигатель насоса типа АТН работает на подшипниках качения; верхний опорно-упорный подшипник смазывается жидкой смазкой, нижний – густой смазкой. Верхний подшипник несет большую нагрузку. Поэтому, несмотря на надежность работы подшипников качения, целесообразно при автоматизации осуществить автоматический контроль за температурой верхнего подшипника, тем более что не исключена возможность утечки масла из масляной ванны.

Нижний подшипник разгружен, и автоматический контроль за его состоянием не требуется.

В процессе эксплуатации наблюдаются некоторые неполадки, связанные с конструктивными особенностями данного агрегата: нарушение аксиальных зазоров между колесами и корпусом, значительная выработка подшипников насоса и трансмиссий, провертывание рабочих колес на валу, прососы между секциями труб и насоса и др.

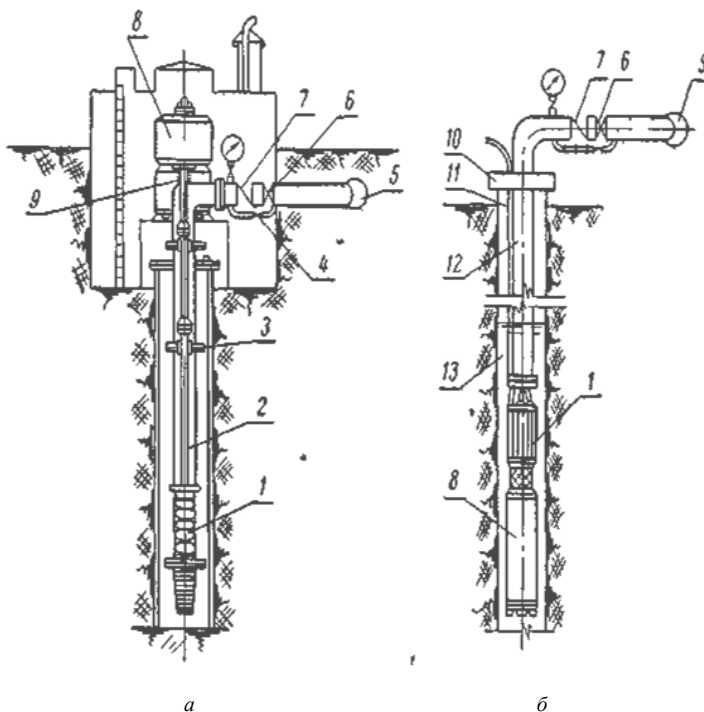


Рис. 8.1. Схема расположения насосной установки в скважине:
а – оборудованной насосом типа АТН; *б* – оборудованной насосом типа АП;
 1 – насос; 2 – приводной вал; 3 – резиновый подшипник; 4 – обводная труба;
 5 – магистральный трубопровод; 6 – задвижка; 7 – обратный клапан;
 8 – электродвигатель; 9 – опорный подшипник; 10 – опорная плита;
 11 – кабель; 12 – водоподъемная труба; 13 – обсадная труба

Показателем почти всех этих неисправностей является нагрузка двигателя. Поэтому токовая защита от перегрузки двигателя считается основной защитой агрегата. Она должна выбираться не по номинальным данным установки, а по фактической нагрузке, и тщательно регулироваться.

Типичными представителями второй группы насосов являются погружные насосы типа АП и новые насосы марки ЭЦНВ.

Наличие длинного трансмиссионного вала в насосном агрегате АТН обуславливает ряд его недостатков: возможность установки только в строго вертикальных скважинах; снижение к. п. д. насоса вследствие потерь, связанных с вращением приводного вала в потоке откачиваемой воды; значительную вибрацию, связанную с вращением динамически неуравновешенной трансмиссионной линии валов, и др.

Погружные насосы лишены этих недостатков. Агрегаты типа АП состоят из центробежного многоступенчатого вертикального насоса и заполненного водой электродвигателя, расположенного ниже насосной части и соединенного с ней посредством всасывающего патрубка.

Погружные насосные агрегаты не нуждаются в специальной смазке подшипников.

Из-за перечисленных недостатков насосы типа АТН по мере освоения погружных насосов марки ЭЦНВ будут постепенно заменяться. Но пока в эксплуатации будут находиться обе группы насосов, которые в одинаковой степени подлежат автоматизации.

Особенностью всех артезианских агрегатов является возможность их запуска при открытой задвижке напорной линии. Это обстоятельство облегчает автоматизацию, так как в ряде случаев установка электрифицированной задвижки и ее автоматизация не требуется.

Для своевременного выявления ненормальных режимов и предупреждения аварий схемы автоматического управления предусматривают следующие виды защит насосных агрегатов:

- от короткого замыкания;
- от перегрузок, возникающих как в результате механических неисправностей насосов, так и в результате работы электродвигателей на пониженном напряжении;
- от падения динамического уровня воды в скважине ниже уровня насоса;
- от работы двигателя на двух фазах;
- для насосов АТН осуществляется также защита от перегрева подшипников.

2. В зависимости от назначения скважин на воду различают следующие основные режимы их работы:

- полностью автоматизированные установки, управляемые датчиками (давления, уровня и др.). В таком режиме могут работать скважины, предназначенные для водоснабжения и вертикального дренажа;
- насосные установки, пуск и остановка которых осуществляются персоналом на месте либо с диспетчерского пункта при помощи средств телемеханики. Такой режим эксплуатации пригоден преимущественно для артезианских скважин водоснабжения и орошения;
- насосные установки с комбинированным режимом управления; такие установки могут работать как в полностью автоматическом режиме, так и в режиме централизованного диспетчерского управления ими.

Комбинированный режим управления главным образом требуется для скважин вертикального дренажа с частичным использованием откачиваемых вод на орошение.

Схемы автоматизации должны отвечать требованиям и условиям, диктуемым перечисленными режимами: для полностью автоматизированных установок следует осуществлять блокировку, исключающую мгновенный запуск всех электродвигателей при появлении электроэнергии после кратковременного перерыва в ее подаче. Одновременно пуск всех присоединяемых к трансформаторной подстанции электродвигателей невозможен вследствие большого суммарного пускового тока. Поэтому применяются схемы, обеспечивающие самозапуск, т. е. автоматическое поочередное включение в сеть двигателей после восстановления напряжения. Часто работу групп скважин целесообразно автоматизировать в зависимости от уровня в общей для всей группы скважин контрольной скважине.

В этой скважине помещают датчики верхнего и нижнего уровней, определяющие режим работы группы скважин. При подъеме уровня воды до верхнего датчика вся группа насосов включается и откачивает воду. При падении уровня воды ниже установки нижнего датчика вся группа насосов отключается.

При этом в отдельных скважинах общей группы, вследствие возможного неравномерного притока, может не оказаться воды. Очевидно, что схемы автоматизации должны исключать эти скважины из числа работающих, независимо от подъема уровня воды в контрольной скважине.

Для вывода насосов в ремонт, их ревизии и опробования схемами автоматики предусматривается возможность ручного управления каждым отдельным агрегатом, независимо от работы других.

8.2. Схемы автоматического управления артезианскими насосными агрегатами

Станции автоматического управления насосными агрегатами должны удовлетворять требованиям, основные из которых изложены в предыдущем разделе. Для погружных насосов выпускаются специальные станции управления, поставляемые комплектно с насосным агрегатом.

Насосные агрегаты типа АТН комплектной поставки не имеют. Для них, применительно к заданному режиму работы, разрабатываются специальные станции управления.

Для ознакомления с работой этих станций рассмотрим несколько характерных схем.

На рис. 8.2 приведена схема станции управления насосным агрегатом 10АП с электродвигателем мощностью 35 кВт.

к следующему: катушка пускателя Л на напряжение 220 В включена через добавочное сопротивление 1СД на напряжение сети 380 В. На время пуска сопротивление 1СД закорачивается, обеспечивая надежное включение пускателя при возможных понижениях напряжения.

В станции управления применен понижающий трансформатор ТР, питающий реле РОА. В эту же цепь включен контакт реле РМП, также предназначенный для работы при напряжении не более 220 В.

Конструктивно станция выполнена в виде стального шкафа. Аппаратура монтируется на раме, встроенной в шкаф, а измерительные приборы и аппаратура управления – с наружной стороны на открываемой двери шкафа.

8.3. Схемы самозапуска артезианских автоматических насосных установок

Рассмотрим схемы, обеспечивающие самозапуск электродвигателей после кратковременного перерыва в подаче электроэнергии (рис. 8.3). Как было установлено, схемы самозапуска применяются на полностью автоматических насосных установках, присоединяемых к одной трансформаторной подстанции. Существуют схемы поочередного индивидуального или группового самозапуска электродвигателей. В схемах индивидуального самозапуска применяются индивидуальные реле времени. При появлении напряжения электродвигатель включается в сеть через определенное время выдержки этих реле.

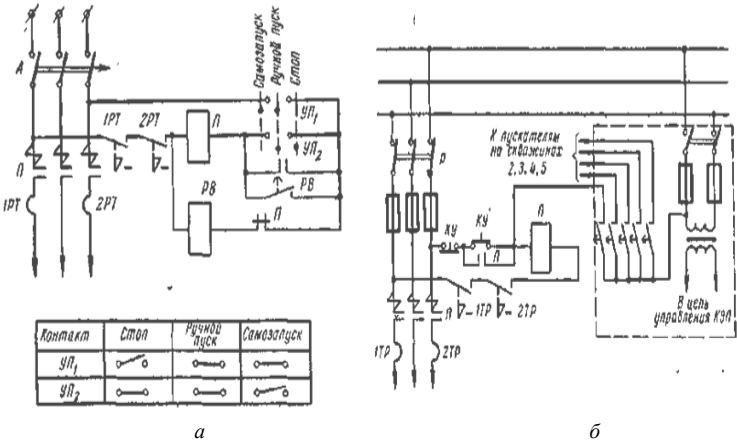


Рис. 8.3. Схема самозапуска электродвигателей: а – индивидуального, при помощи блока типа БУ-4; б – группового, с использованием реле КЭП

Первым включается насосный агрегат 1, набирает номинальные обороты. Ток, потребляемый его электродвигателем, снижается до номинального. Это служит сигналом для срабатывания пускового реле насосного агрегата 2. Реле запускает второй насосный агрегат. Аналогично (по величине потребляемого тока) и поочередно включаются остальные агрегаты.

Можно обеспечить аналогичную поочередность включения агрегатов с помощью реле времени (таймера). Реле времени включается одновременно с пуском насосного агрегата, отсчитывает заданное время, равное времени разгона агрегата, затем своими контактами включает следующий агрегат и т. д.

8.4. Электродные датчики и их установка в водопонижающих скважинах

Для автоматического управления насосом в зависимости от уровня воды в скважине в межтрубное пространство опускают электродные датчики. Учитывая, что обычно межтрубное пространство невелико, применяют малогабаритные датчики. На рис. 8.4 приведены два типа датчиков: одноэлектродные (слева) и двухэлектродные (в центре и справа).

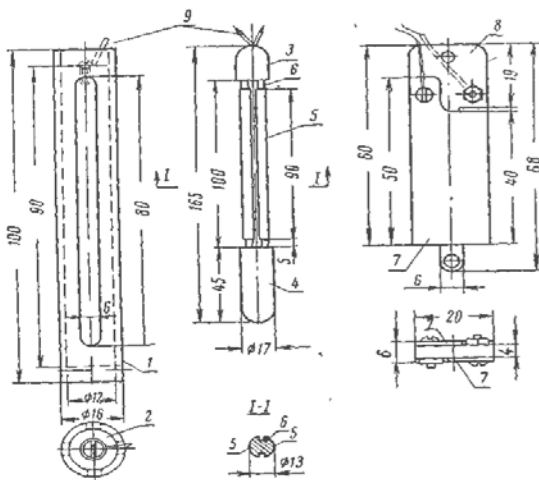


Рис. 8.4. Типы электродных датчиков для контроля уровня воды в скважине: слева – одноэлектродный; в центре и справа – двухэлектродные; 1 – изолирующий корпус; 2 – металлический стержень; 3 – верхний груз $d = 17$ мм; 4 – нижний груз $d = 17$ мм; 5 и 7 – контактные пластинки; 6 – изолирующая втулка $d = 13$ мм; 8 – изолирующая пластинка; 9 – провод

Режим периодической работы насоса при заданной его производительности достигается путем подбора соответствующего положения датчиков. Положение нижнего датчика определяется уровнем, до которого необходимо откачивать воду из скважины. Уровень установки верхнего датчика определяется, с одной стороны, допустимым горизонтом грунтовых вод, а с другой – желательной паузой в работе насоса. Изменяя уровень верхнего датчика, можно получить заданную заранее паузу в работе насосной установки.

Режим работы скважины точному расчету не поддается: наиболее рациональный режим обычно устанавливается опытным путем после нескольких последовательных проб по определению положения верхнего датчика. Поэтому установка датчиков должна допускать возможность регулировки их положения.

8.5. Гидропневматические напорно-регулирующие установки

Водонапорными баками в таких установках служат герметичные воздушно-водяные котлы. Установки бывают переменного и постоянного давления; последние из-за сложности эксплуатации применяются очень редко.

Автоматические водоподъемные установки типа ВУ предназначены для механизации и автоматизации водоснабжения жилых, коммунальных и общественных зданий, животноводческих ферм, небольших предприятий сельскохозяйственного производства и других объектов с суточным расходом воды до 150 м³.

Автоматизированная водоподъемная установка ВУ с погружным насосным агрегатом приведена на рис. 8.5.

В процессе работы вода заполняет котел и сжимает в нем воздух, создавая такой же напор, как в сети. Если подача насосов равна расходу, то вся вода поступает в сеть. При расходе, меньшем подачи насоса, избыточное количество воды заполняет бак, давление в нем повышается, достигнув определенного заданного значения, реле б, установленное в верхней части бака, отключит магнитный пускатель и насосный агрегат. В тех случаях, когда насос не работает, вода подается потребителю из бака под напором сжатого воздуха и давление уменьшается. Обратное поступление воды в напорный трубопровод предотвращается за счет установки обратного клапана. При достижении минимальной величины давления реле включает насосный агрегат.

Давление воздуха при нижнем уровне воды в котле, соответствующем включению насосного агрегата, должно быть равным высоте водонапорной башни, чтобы создать расчетный напор в сети. Установки, в которых при накоплении и расходе регулирующего объема воды происходит изменение давления воздуха, называют *гидропневматиче-*

скими установками переменного давления. Во время работы такой установки происходят потери воздуха из-за утечек через неплотности соединений. Пополняют запас воздуха в баке один раз в неделю (отсутствие специальных устройств или их отказ).

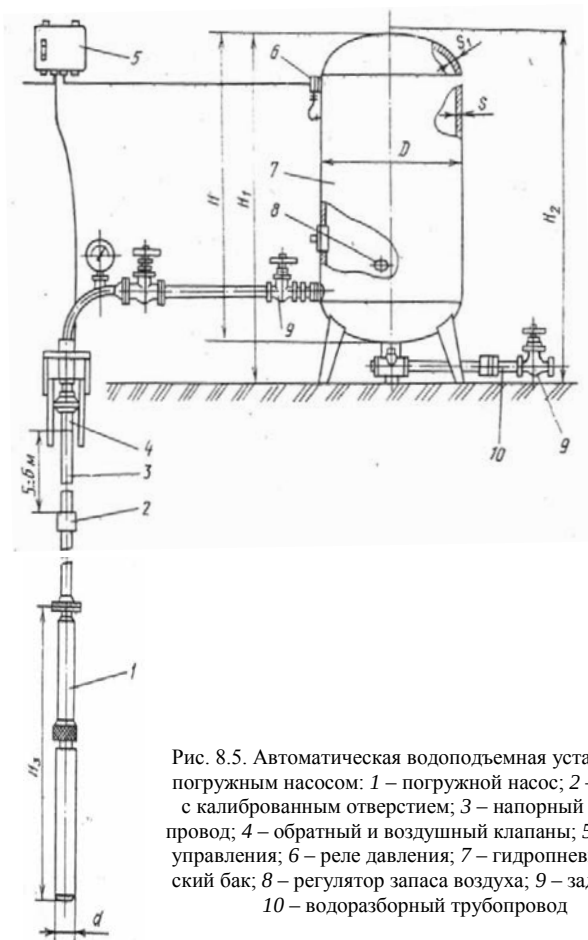


Рис. 8.5. Автоматическая водоподъемная установка с погружным насосом: 1 – погружной насос; 2 – муфта с калиброванным отверстием; 3 – напорный трубопровод; 4 – обратный и воздушный клапаны; 5 – шкаф управления; 6 – реле давления; 7 – гидропневматический бак; 8 – регулятор запаса воздуха; 9 – задвижка; 10 – водоразборный трубопровод

Технические характеристики автоматических насосных установок с погружными насосами приведены в табл. 8.1.

Регулирование подачи безбашенных установок достигается за счет изменения частоты периодических включений-отключений насосного агрегата. Частота циклов включений и выключений насоса в единицу

времени зависит от регулируемого объема пневматического напорно-регулирующего бака, производительности насоса и режима водопотребления.

Таблица 8.1. Технические характеристики автоматических насосных установок с погружными насосами

Тип установки	Подача, м ³ /ч	Полный напор, м	Емкость, бака, л	Марка насоса	Мощность эл. двигателя, кВт	Источник водоснабжения
ВУ-7-65	7,2	65	800	ЭЦВ6-7,2×7,5	2,5	Скважина диаметром 6 см
ВУ-7-115	7,2	115	800	ЭЦВ6-7,2×120	4,5	То же
В У-10-75	10,0	75	1250	ЭЦВ6-10×85	4,5	»
ВУ-10-180	10,0	180	1250	ЭЦВ6-10×185	8,0	»

Установки ВУ рассчитывают на работу в наиболее напряженном режиме с максимально возможным суточным числом включений n (150–300). Часовая подача насоса должна в 1,1–1,3 раза превышать максимальный часовой расход. Режим водопотребления при выборе установки не принимается во внимание. При определении максимального расчетного числа включений учитывают, что возрастание их числа уменьшает емкость бака, увеличивает износ насосного оборудования, скважины и потребление электроэнергии на 1 м³ поданной воды.

Межремонтный период современных центробежных насосов составляет 2–3 года. Рабочий ресурс электрической аппаратуры (магнитные пускатели, реле давления и др.), а также регулирующей арматуры (приемные и обратные клапаны, регуляторы запаса воздуха и т. д.) составляет в среднем 150–200 тыс. циклов. Исходя из равнопрочности отдельных узлов, число циклов должно составлять 150–270 в сутки. Регулирующий объем гидропневматического бака (в м³) определяют по формуле:

$$W_p = \frac{Q_{\text{сут}}}{2n_{\text{max}}^{\text{сут}}}. \quad (8.1)$$

Обычно число включений для установок с гидропневматическими баками принимается от 150 до 250 в сутки. Большее значение ($n_{\text{max}}^{\text{сут}}$) принимается для установок мощностью до 5 кВт, меньшее – для более мощных установок, для которых требуются более сложное, дорогостоя-

ящее оборудование и управляющая аппаратура. Чтобы избежать износа установки, следует применять бак большего объема.

Регулирующий объем бака можно сократить за счет укомплектования установки группой насосов, управляемых отдельными реле давления. Схема управления должна обеспечивать поочередное включение насосов в зависимости от давления воды в баке. Полный объем гидропневматического бака определяется с учетом абсолютных значений и соотношения давления в нем воздуха. Изменение объема воздушной подушки в баке может быть определено по закону Бойля – Мариотта:

$$V_0 P_0 = V_1 P_1 = V_2 P_2 \quad (8.2)$$

тогда

$$V_1 = \frac{V_0 P_0}{P_1} \quad \text{и} \quad V_2 = \frac{V_0 P_0}{P_2}, \quad (8.3)$$

где V_0 – полный объем гидропневматического бака, м^3 ;

P_0 – давление воздуха в опорожненном баке;

V_1 и V_2 – объемы воздушной подушки в баке, соответствующие минимальному P_1 и максимальному P_2 давлению воздуха в баке, Па.

Рабочий объем в баке (в м^3) $W_p = V_1 - V_2$, следовательно, полный объем:

$$V_0 = W_p \frac{P_1}{P_0} \cdot \frac{1}{1 - \frac{P_1}{P_0}}, \text{ м}^3. \quad (8.4)$$

Отношение P_1/P_0 отражает величину не регулирующего объема бака. Одновременно $\frac{P_1}{P_0} = \frac{V_1}{V_0}$ – коэффициент запаса емкости бака, зависящий от конструкции и аппаратуры управления. Обычно отношение P_1/P_0 принимают в пределах 1,2–1,3. Для оптимизации соотношения в ряде случаев повышают давление воздуха в опорожненном баке за счет установки специального компрессора. Расчет и выбор автоматических насосных установок выполняют в следующем порядке:

1. Вычисляют максимальный часовой расход воды $Q_{\text{ч макс}}$ и расчетный напор у места расположения гидропневматического бака $H_{\text{расч}}$.

2. Определяют производительность установки:

$$Q_y = (1 - 1,2) Q_{\text{ч макс}}. \quad (8.5)$$

3. Определяют минимально необходимый напор установки в метрах водяного столба:

$$H_y = H_r + \sum H_{\pi} + H_{\text{расч}}, \quad (8.6)$$

где H_r – геодезическая высота подъема воды до места расположения бака, м;

$\sum H_{\pi}$ – потери в трубопроводах, м.

4. Находят значения давлений включения и выключения насосов в метрах водяного столба (м в. ст.):

$$P_1 = \frac{H_{\text{расч}}}{1,15}; \quad P_2 = \frac{P_1 + 10}{\alpha} - 10; \quad \alpha = \frac{P_{1\text{ср}}}{P_{2\text{ср}}}, \quad (8.7)$$

где $P_{1\text{ср}}$ и $P_{2\text{ср}}$ – среднее давление включения и выключения насоса, выбирается в соответствии с рекомендацией;

α – малонапорные установки ($H < 50$ м в. с. = 0,85–0,8);

α – средненапорные установки ($H = 50$ – 100 м в. с. = (0,75–0,65);

α – высоконапорные установки ($H > 100$ м в. с. = (0,65–0,6).

Для установок с несколькими насосами значения P_1 и P_2 принимают на 2–3 м в. с. большими, чем для одноагрегатных.

5. Определяют нужную емкость гидропневматического бака и выбирают типоразмер установки.

Помимо регулирующего объема, в котле образуется «мертвый» запас воды (около 30 % расчетной регулирующей емкости) на случай нестабильной работы средств автоматики. Котел можно устанавливать как на поверхности земли, так и в заглубленном помещении.

Гидропневматическая напорно-регулирующая установка, смонтированная в подземной сборной железобетонной камере, в которой размещается устье скважины, оборудованной погружным центробежным насосом, арматура и станция управления приведены на рис. 8.6.

Все гидропневматические аккумуляторы оборудуют предохранительным клапаном, устанавливаемым в нижней части его корпуса или на водоводе. Он предохраняет котел и водопроводную сеть от разрыва в случае аварийного повышения давления.

В процессе работы гидропневматических аккумуляторов возникают значительные колебания давления в распределительной сети, отрицательно сказывающиеся на ее долговечности и надежности.

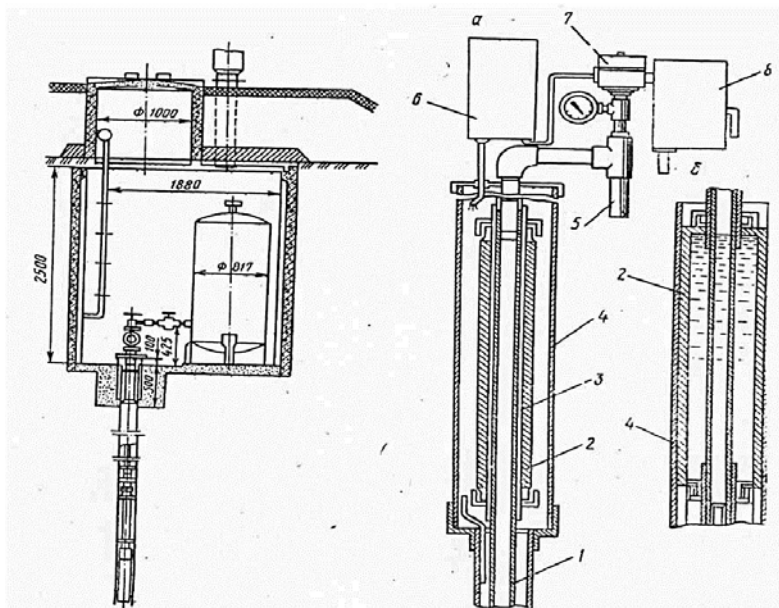


Рис. 8.6. Пневматическая напорно-регулирующая установка с погружным электронасосом, смонтированная в подъемной камере: *а* – перед пуском; *б* – перед остановкой; 1 – труба; 2 – емкость аккумулятора; 3 – периферийный участок трубы; 4 – защитный кожух; 5 – напорный трубопровод; 6 – станция управления; 7 – реле давления; 8 – защитное устройство

9. АВТОМАТИЗАЦИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

9.1. Степень автоматизации мелиоративных систем

Автоматизацию какого-либо технологического процесса следует начинать с изучения его характеристик, назначения, специфических особенностей, условий, в которых он протекает, а также свойств и характеристик отдельных объектов автоматизации.

В соответствии с этим нужно рассмотреть мелиоративные системы как объекты, которые намечено автоматизировать, и установить рациональные объемы работ.

Мелиоративные системы перераспределяют естественную влагу, создавая тем самым условия для интенсивного развития сельского хозяйства. Они делятся на три типа: оросительные, обводнительные и осушительные. Встречаются также их сочетания, например оросительно-обводнительные или оросительно-осушительные системы. Каждый тип соответственно имеет свои особенности в конструктивном исполнении и режиме эксплуатации.

Несмотря на различное назначение отдельных типов мелиоративных систем, они в целом могут быть рассмотрены, как однотипные объекты автоматизации. По этой причине последующее изложение основано преимущественно на наиболее характерном их типе – оросительных системах; однако отличительные схемы и устройства автоматизации объектов других мелиоративных систем рассматриваются отдельно.

Применительно к мелиоративным системам в зависимости от конкретных условий и технико-экономической целесообразности могут выполняться следующие операции:

1. Автоматический контроль состояния оборудования и сооружений.
2. Автоматическая защита от ненормальных режимов работы и повреждений.
3. Автоматизация работы отдельного объекта в целом.
4. Централизованный учет и контроль за водозабором и водораспределением.
5. Комплексная автоматизация водоподачи и водораспределения.
6. Телеавтоматизация процесса орошения.

Автоматический контроль повышает надежность работы и уменьшает возможность аварий.

При возникновении каких-либо отклонений от нормального состояния появляется предупредительный сигнал (звуковой или световой), например: о возникновении перегрева подшипников насосных агрега-

тов, об отклонении уровня воды от заданного, чрезмерном падении давления в трубопроводе и т. п.

Сюда относятся также автоматические измерения. Если при автоматической сигнализации контролируются лишь определенные значения параметров, например предельные, то измерительные приборы позволяют обслуживающему персоналу судить о значениях параметров в каждый данный момент и наблюдать за тенденцией их изменений.

Часто функции контроля и измерений выполняются одними и теми же приборами. Например, контактные манометры типа ЭКМ для измерения давления и поплавковые устройства типа ДСУ для измерения уровня позволяют получать непрерывные показания, а также дискретные предупредительные сигналы в случае нарушения установленных пределов. В этих приборах для передачи предупредительных сигналов имеются регулируемые контакты, замыкающиеся при достижении предельных значений измеряемых величин.

Устройства автоматической защиты предназначены для отключения механизмов и машин, а также участков электрических сетей в случае возникновения в них недопустимых перегрузок, коротких замыканий и других повреждений.

Благодаря устройствам автоматической защиты предупреждается развитие аварии; если же авария уже возникла, ее размеры ограничиваются.

Объектом автоматизации может служить агрегат, сооружение или узел сооружений, объединенных единым технологическим процессом: например, водовыпускное сооружение, насосный агрегат, насосная станция или головной водозаборный узел в целом.

В этом случае, помимо контроля и защиты, автоматизируется совокупность различных операций: управление процессом пуска и остановки агрегатов, программное управление их работой, изменение положения затворов, автоматическое регулирование технологических параметров и т. п.

Эксплуатация полностью автоматизированных объектов наиболее надежна, ибо автоматические устройства обеспечивают заданный рациональный технологический режим, исключают аварии по вине обслуживающего персонала и обеспечивают автоматическую защиту от повреждений. Вместе с этим такая эксплуатация и наиболее экономична, так как обеспечивает наиболее рациональный технологический режим, а количество обслуживающего персонала сводится к минимуму. Его функции ограничиваются наблюдениями и ревизией оборудования и аппаратуры. На таких объектах, как правило, нет постоянного обслуживающего персонала.

Оросительные системы по методам создания на них комплексной автоматизации делится на две группы: первая – существующие и вторая – вновь сооружаемые оросительные системы.

Перевод оросительных систем первой группы из их современного состояния, которое пока характеризуется преимущественным использованием ручного труда, в системы с комплексной автоматизацией, как правило, целесообразно проводить очередями. При этом первыми должны осуществляться мероприятия; не требующие больших капитальных затрат, но большой эффективности. К ним в первую очередь относится диспетчерская централизация учета водораспределения. В этом случае сохраняется ручное управление, однако работа диспетчера существенно улучшается за счет правильного учета водораспределения и его оперативного контроля, позволяющего диспетчеру своевременно корректировать всякие отклонения от заданного режима. Одновременно улучшается и служба управления, которая находится под непрерывным контролем диспетчера. К объектам, которые должны быть автоматизированы, в первую очередь, относятся также головные водозаборные и магистральные вододелительные узлы насосные станции и другие установки машинного водоподъема.

Эти сооружения, как правило, механизированы и электрифицируются независимо от автоматизации; они являются наиболее ответственными и дорогостоящими объектами, а дополнительные затраты на автоматизацию невелики и окупаются в 1–2 года только за счет экономии, получаемой от уменьшения штата обслуживающего персонала.

Таким образом, комплексная автоматизация на существующих оросительных системах может быть расчленена на ряд мероприятий, выполнение которых может не совпадать во времени.

Однако, учитывая, что все мероприятия, входящие в состав комплексной автоматизации, взаимосвязаны, осуществление любой ее очереди нужно сопровождать составлением ее полной схемы. В этом случае мероприятия, выполняемые одновременно, являются частями одного целого, легко увязываемыми между собой.

В процессе проектирования новых или капитальной реконструкции существующих систем следует предусматривать их комплексную автоматизацию. При этом можно создавать системы нового типа, в которых автоматизация органически входит в состав системы и становится неотъемлемой ее частью.

И наоборот, как показал опыт, приспособление средств автоматизации к ранее построенным системам, как правило, сопровождается дополнительными и непроизводительными затратами и редко приводит к наиболее полному использованию всех возможностей автоматизации.

Основные управляемые объекты мелиоративных систем делятся на следующие четыре группы:

1) регулируемые гидротехнические сооружения линейного водораспределения. К этой группе относятся водовыпускные, вододелительные, перегораживающие и водосборные сооружения;

2) головные водозаборные и магистральные вододелительные узлы;

3) насосные станции машинного водоподъема, насосные станции откачки на дренажных коллекторах оросительных систем, станции осушительных систем и т. п.;

4) насосные установки артезианских скважин, используемых для вертикального дренажа, орошения и водоснабжения. К этой же группе могут быть отнесены скважины для наблюдения за уровнем грунтовых вод.

Гидротехнические сооружения мелиоративных систем вследствие большого разнообразия гидрогеологических, климатических и других естественных условий имеют различные модификации со специфическими конструктивными и эксплуатационными особенностями.

Однако, несмотря на большое количество типов, сооружения в пределах каждой из перечисленных групп выполняют аналогичные технологические задачи, имеют идентичный состав оборудования и схожую структуру эксплуатации. Это обстоятельство позволяет сформулировать для каждой из групп общие принципы автоматизации и рассмотреть методы их практической реализации.

9.2. Выбор затворов автоматизированных сооружений на мелиоративных системах

Затворы подбирают с учетом ряда факторов, основными из которых являются: пропускная способность затвора и гидравлические условия его работы, условия пропуска наносов и различных плавающих тел, тип уплотнений и фильтрация через них, стоимость затвора, его материал, вес и технологичность изготовления. Затворы для автоматизированных систем, помимо перечисленных факторов, должны удовлетворять ряду дополнительных требований, связанных с централизованным управлением с диспетчерского пункта. Требуется прежде всего повышенная надежность затворов. При маневрировании ручным затвором регулировщик находится на месте и может устранить возникающие мелкие неполадки, заклинивание затвора плавающими телами и т. п.; при автоматизации обслуживающий персонал отсутствует.

Иной становится технико-экономическая оценка. В отличие от затвора ручного управления, оцениваемого по своим качествам и стоимости, автоматизированный затвор оценивают вместе с подъемным механизмом с силовым приводом, мощностью привода и системой

обеспечения его энергией, гидравлическими элементами и первичными приборами, обеспечивающими водомерность сооружения, аппаратурой автоматики и телемеханики. При такой технико-экономической оценке сравнительная стоимость собственно гидротехнического сооружения с затвором нередко уже не является определяющей, так как она по сравнению с другими составляющими стоимости автоматизированного сооружения не играет доминирующей роли.

Конструкции затворов и их свойства изучаются в специальных курсах. Нами будут определены лишь некоторые особенности плоских затворов с точки зрения их применения на автоматизированных системах. Наряду с этим будет рассмотрено несколько конструкций затворов, специально созданных по техническим условиям для автоматизированных систем.

В мелиоративных системах наиболее распространены затворы с пропускной способностью до $2 \text{ м}^3/\text{с}$ (до 80 % от общего количества), и их свойствами в основном определяется схема автоматизации линейного водораспределения в целом (далее они будут называться «небольшими затворами»).

Крупных гидротехнических сооружений соответственно меньше. Как правило, они концентрируются на головных водозаборных и магистральных вододелительных узлах. Хотя степень ответственности подобных сооружений велика, но при их автоматизации возникают

меньшие технические трудности, чем при автоматизации небольших затворов. Объясняется это, как правило, наличием на крупных гидротехнических узлах источников электроэнергии, более совершенной конструкцией самих затворов и более тщательным их исполнением. Кроме того, при их автоматизации может быть использован опыт автоматизации подобных крупных затворов гидростанций. Плоские затворы благодаря простоте их конструкции и эксплуатации наиболее распространены в оросительных системах. Небольшие затворы шириной и высотой 1–2 м обычно выполняются металлическими, скользящими и представляют собой конструкцию в виде уголковой рамы с листовой обшивкой (рис. 9.1).



Рис. 9.1. Общий вид
плоского затвора
с подъемным механизмом

Подъемное усилие плоского скользящего затвора

$$F = G + T, \quad (9.1)$$

где G – вес затвора, кг;

T – сила трения в пазах, кг.

Как правило $T > 0$, поэтому скользящие затворы требуют значительных усилий не только при подъеме, но и при опускании, и поэтому их снабжают винтовыми подъемными механизмами. В настоящее время сконструированы электрифицированные винтовые подъемные механизмы с тяговым усилием до 20 т. Подъемный механизм серии ВУП, кинематическая схема которого приведена на рис. 9.2, *а*, имеет в своем составе цилиндрический редуктор и грузовой узел. Редуктор комплектуется из двух зубчатых цилиндрических пар. Грузовой узел представляет собой одноступенчатый конический редуктор, в котором ведомая коническая шестерня является гайкой грузового винта. Этот узел выполняется с двумя различными передаточными отношениями и имеет разные исполнения, отличающиеся диаметром и шагом винта.

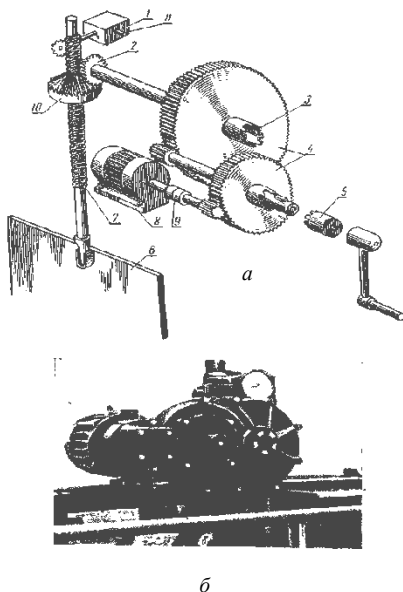


Рис. 9.2. Винтовой подъемный механизм серии ВУП:

- а* – кинематическая схема; *б* – общий вид; 1 – коробка УКВ; 2 – коническая пара;
- 3 – вал отбора мощности; 4 – цилиндрический редуктор;
- 5 – стакан блокировки ручного управления; 6 – затвор; 7 – винт;
- 8 – электродвигатель; 9 – муфта; 10 – гайка;
- 11 – ось для присоединения приборов телеуправления

Защита механизма от перегрузок осуществляется при помощи реле максимального тока, устанавливаемого в цепи питания электродвигателя. Подъемный механизм снабжен коробкой конечных выключателей для отключения затвора в крайних положениях и местным указателем степени открытия затвора; может быть также пристроен датчик телеизмерения. На случай отсутствия электроэнергии и для опробования подъемный механизм снабжается ручным приводом. Применено механическое блокировочное устройство, предотвращающее одновременную работу ручного и электрического приводов. Скорость подъема затвора электроприводом лежит в пределах 0,1–0,3 м/мин, а при подъеме вручную – 0,03–0,22 м/мин. Для всей серии в качестве электропривода принят фланцевый асинхронный короткозамкнутый электродвигатель мощностью 1,7 кВт.

В подъемном механизме типа ПЗУ применен червячный редуктор, в котором червячное колесо является гайкой грузового винта. Защита механизма от перегрузок осуществляется при помощи специальной фрикционной муфты, которая устанавливается в кинематической цепи подъемника и позволяет регулировать крутящий момент, передаваемый на червячную пару.

Благодаря этому можно при увеличении длины грузового винта уменьшить посадочное усилие, сохраняя неизменной величину тяги. В этой серии предусматривается уменьшение посадочного усилия на $\frac{1}{3}$ и на $\frac{2}{3}$ от силы тяги. Таким образом, каждый тип подъемника имеет три исполнения, отличающихся длиной грузового винта. Мощность электродвигателя меняется в зависимости от величины тягового усилия в пределах 1–2,2 кВт.

В подъемных механизмах серии ЭВ также применен червячный редуктор, в котором червячное колесо является гайкой грузового винта. Верхний конец грузового винта ввинчивается в грузовую гайку, спаренную с венцом червячного колеса. Червячный вал заканчивается с одного конца квадратной головкой для рукоятки ручного привода, с другого конца – для соединения с валом электродвигателя. Со стороны рукоятки конец червячного вала прикрыт колпачком ручной блокировки, который перед установкой рукоятки нужно снять, размыкая при этом конечный выключатель в цепи управления электродвигателем. Защита механизма от перегрузок осуществляется так же, как и в подъемниках типа ВУП, при помощи реле максимального тока. Мощность электропривода дифференцирована в зависимости от величины тягового и дожимного усилий. Для всей серии принята шкала мощности 0,27 – 0,4 – 1 – 1,7 – 2,8 кВт. Например, для подъемника с тяговым усилием в 1 т при скорости подъема 0,3 м/мин принята мощность, равная 1 кВт.

9.3. Минимальная необходимая мощность электропривода

Большой интерес представляет минимально потребная мощность электродвигателя подъемника для наиболее массовых затворов оросительных систем с пропускной способностью до $2 \text{ м}^3/\text{с}$. Именно эта мощность определяет схему электроснабжения и схему комплексной автоматизации в целом.

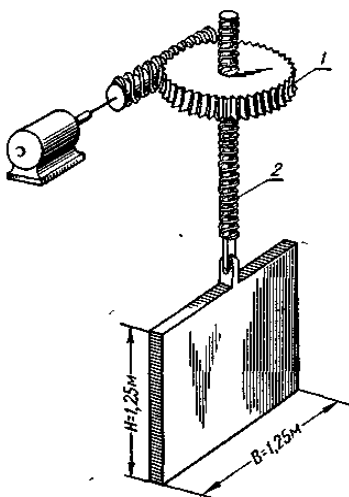


Рис. 9.3. Кинематическая схема подъемного механизма с червячным редуктором: 1 – червячное колесо; 2 – грузовой винт

Расчет мощности электропривода выполнен для винтового подъемника плоского скользящего затвора с червячным редуктором. Как видно из кинематической схемы (рис. 9.3), у этого простейшего подъемника червячное колесо 1 является гайкой грузового винта 2. Необходимо отметить, что расчет мощности электропривода подобных механизмов, несмотря на сравнительную простоту их конструкции, носит приближенный характер. Объясняется это непостоянством и сложностью расчета нагрузки. Изменение

нагрузки на затвор, поднимаемый под напором, происходит по сложному закону. Сказываются также гидродинамические явления. Основная составляющая нагрузки – сила трения – является переменной величиной, зависящей от таких факторов, как загрязнение, износ, состояние смазки и т. п. Следует также иметь в виду некоторые перекосы направляющих пазов, значительно увеличивающие подъемные усилия и, очевидно, не поддающиеся расчету. Поэтому приводимый ниже расчет имеет своей целью установить порядок величины коэффициента полезного действия (к. п. д.) подобного механизма и минимально необходимую мощность его электропривода.

Мощность электродвигателя подъемного механизма (в Вт) определяется по формуле:

$$P_d = \frac{F \cdot V}{75 \cdot 60 \eta_{об}} \cdot 736, \quad (9.2)$$

где F – подъемное усилие, кг;

V – скорость подъема затвора, равная $0,25 \text{ м/мин}$;

$\eta_{об}$ – общий к. п. д. подъемника;

$$F = k(G + 0,5BH^2f10^3), \quad (9.3)$$

где k – коэффициент запаса, равный 1,5;

G – вес затвора, кг;

B – ширина затвора, равная 1,25 м;

H – высота затвора, равная 1,25 м;

f – коэффициент трения для стали по стали без смазки с учетом загрязнения, равный 0,5.

$$F = 1,5(180 + 0,5 \cdot 1,25 \cdot 1,25^2 \cdot 0,5 \cdot 10^3) \cong 1000 \text{ кг.}$$

Подъемное усилие в 1 т обычно является минимальным расчетным усилием при конструировании унифицированных подъемников. Мощность, необходимая для подъема затвора,

$$P_{зат} = \frac{1000 \cdot 0,25}{75 \cdot 60} \cdot 736 = 41 \text{ Вт.}$$

Определим общий к. п. д. подъемного механизма:

а) крутящий момент на винте с учетом трения в резьбе винт-гайка:

$$M_p = FR_{cp} \operatorname{tg}(\alpha + \rho), \quad (9.4)$$

где α – угол подъема винтовой линии резьбы винта, определяемый по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{t}{2\pi R_{cp}}, \quad (9.5)$$

где t – шаг винта;

R_{cp} – средний радиус резьбы, для рассматриваемого случая

$$R_{cp} = \frac{40 - \frac{6}{2}}{2} = 18,5 \text{ мм.}$$

Резьбу винта принимаем прямоугольной с диаметром 40 мм и шагом $t = 6$ мм (такая резьба применена в винтовых подъемниках).

$$f_p = 0,15 \quad \rho = 8^\circ 30',$$

где ρ – угол трения в резьбе; при коэффициенте трения в резьбе.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{6}{2 \cdot 3,14 \cdot 18,5} = 0,0517; \quad \alpha = 2^{\circ}56'.$$

Следовательно, $M_p = 1000 \cdot 0,0185 \cdot \operatorname{tg} (2^{\circ}56' + 8^{\circ}30') = 3,76$ кгм;

б) момент трения в опорном подшипнике:

$$M_{\pi} = FR_{\pi} f_{\pi}, \quad (9.6)$$

где R_{π} – радиус трения опорного подшипника; принимаемого равным 77,5 мм, что соответствует радиусу опорного подшипника с внутренним размером 60 мм;

f_{π} – коэффициент трения в подшипнике, принимаемый равным 0,005.

$$M_{\pi} = 1000 \cdot 0,0775 \cdot 0,005 = 0,388 \text{ кгм.}$$

Общий момент на червячной паре:

$$M_{\text{ч}} = M_p + M_{\pi} = 3,76 + 0,388 = 4,148 \text{ кгм.} \quad (9.7)$$

Для обеспечения такого момента необходима мощность:

$$P_{\kappa} = \frac{M_{\kappa} \cdot n_{\kappa}}{716,2} \cdot 736, \text{ Вт,} \quad (9.8)$$

где n_{κ} – число оборотов гайки, равное числу оборотов червячной шестерни.

При скорости подъема затвора, равной 0,25 м/мин, и размере резьбы винта $40 \cdot 6$ мм число оборотов червячного колеса равно:

$$n_{\kappa} = \frac{0,25}{0,006} = 41,8 \text{ об/мин.}$$

Отсюда:

$$P_{\kappa} = \frac{4,148 \cdot 41,8}{716,2} \cdot 736 = 178 \text{ Вт;}$$

в) коэффициент полезного действия червячной пары:

$$\eta_{\text{ч}} = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg}(\beta + \rho')} \eta, \quad (9.9)$$

где β – угол подъема винта на червяке, равный $4^\circ 46'$ для однозаходного червяка с $d = 12$;

$\rho' = 2^\circ 30'$ – приведенный угол трения стали по бронзе, соответствующий коэффициенту трения

$$f = \operatorname{tg} \rho' = \operatorname{tg} 2^\circ 30' = 0,6435;$$

$\eta = 0,97$ – коэффициент, учитывающий потери на трение в опорах червячной передачи в размере 3 % от величины передаваемой мощности;

$$\eta_{\text{ч}} = \frac{\operatorname{tg} 4^\circ 46'}{\operatorname{tg}(4^\circ 46' + 2^\circ 30')} \cdot 0,97 = 0,635.$$

Мощность (в Вт), которая должна быть подведена к подъемнику, с учетом к. п. д. червячного редуктора:

$$P_{\text{п}} = \frac{P_{\text{к}}}{\eta_{\text{ч}}} = \frac{178}{0,635} = 280 \quad (9.10)$$

г) общий к. п. д. винтового подъемного механизма в целом:

$$\eta_{\text{об}} = \frac{P_{\text{зат}}}{P_{\text{п}}} = \frac{41}{280} = 0,145. \quad (9.11)$$

На рис. 9.4 приведена энергетическая диаграмма, на которой, согласно приведенному расчету, дано распределение потерь в отдельных звеньях механизма. Из диаграммы следует, что коэффициент полезного действия подобного подъемного механизма чрезвычайно мал. Около 80 % подведенной мощности теряется в винтовом подъемнике и червячном редукторе. Следовательно, без коренных изменений данной конструкции существенно снизить потребную мощность не представляется возможным. Минимальная мощность асинхронного короткозамкнутого электродвигателя, которая может быть выбрана для рассматриваемого подъемника (учитывая номенклатуру электродвигателей), $P_2 = 0,4$ кВт. При такой мощности электродвигателя централизованное электроснабжение гидротехнических сооружений осуществляется напряжением 380 В.

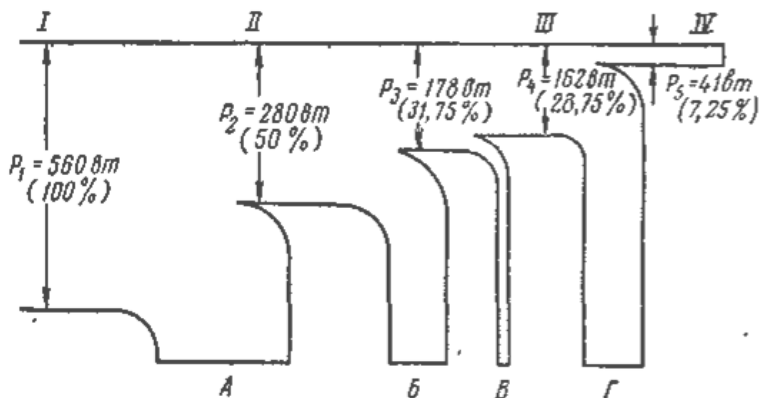


Рис. 9.4. Энергетическая диаграмма винтового подъемного механизма с электроприводом: I – мощность источника энергии; II – мощность на валу двигателя, подводимая к червячной передаче; III – мощность, подводимая к узлу винт-гайка; IV – мощность подъема затвора – 41 Вт (7,25 %); А – потери в двигателе – 280 Вт (50 %); Б – потери в червячной передаче – 102 Вт (18,25 %); В – потери на трение в опорном подшипнике – 16 Вт (2,9 %); Г – потери на трение в резьбе гайка-винт – 121 Вт (21,6 %)

Следовательно, на основании выполненного расчета может быть сделан следующий вывод. Плоские затворы с винтовыми подъемными механизмами в их современном конструктивном исполнении обуславливают, как правило, осуществление высоковольтного варианта электроснабжения, что в большой степени удорожает и усложняет автоматизированный затвор. Кроме того, собственно плоский затвор не обладает водомерностью, и для измерения пропускаемого им расхода с передачей показаний на диспетчерский пункт необходим специальный гидравлический элемент и первичный измерительный прибор, что также влияет на объем работ и общую стоимость одного автоматизированного гидротехнического сооружения с плоским затвором. Поэтому применение небольших плоских затворов на вновь сооружаемых автоматизированных системах является спорным. Приведенные ниже конструкции затворов, созданные с учетом требований автоматизации, подтверждают технико-экономическую целесообразность разработки новых типов затворов. Однако пока найдены лишь частные решения для замены небольших плоских затворов, которые, кроме того, установлены на всех действующих системах, и их массовая замена не целесообразна. Поэтому в ближайшие годы, очевидно, плоский затвор будет наиболее распространен на оросительных системах.

9.4. Выбор электропривода

Электроприводом винтовых подъемных механизмов служит трехфазный асинхронный короткозамкнутый двигатель. К его достоинствам относятся простота и надежность конструкции, минимальная из всех типов двигателей стоимость, элементарный уход и низкая стоимость эксплуатации. По условиям работы и конструктивным особенностям наиболее подходят для приводов механизмов затворов крановые двигатели; поэтому во всех случаях, когда представляется возможным, рекомендуется выбирать этот тип. Однако применяются и асинхронные двигатели общепромышленной единой серии, хотя это менее целесообразно.

Опыт установки электрифицированных подъемных механизмов для плоских скользящих затворов с подъемными усилиями 1–2 т показал, что фактическая потребная мощность электропривода нередко выше полученной по расчету. Объясняется это, по-видимому, в первую очередь недостаточно тщательным выполнением строительно-монтажных работ на этих сооружениях, из-за чего возникают перекосы пазов. Кроме того, в пазы набивается мусор, что создает дополнительные, по сравнению с расчетными, усилия на подъемные механизмы. Таким образом, автоматизация управления предъявляет более высокие требования к качеству строительства гидротехнического сооружения. Следует обеспечивать вертикальность направляющих пазов, правильность установки закладных частей и подъемных механизмов. Наряду с этим, очевидно, необходимо считаться с трудностью тщательного выполнения строительно-монтажных работ на массовых мелких сооружениях, и для компенсации возможных погрешностей монтажа следует мощность электродвигателя для небольших сооружений принимать примерно в два раза больше расчетной.

При выборе электродвигателя следует выдерживать определенное соотношение между максимальным моментом двигателя и расчетной нагрузкой. Выбор двигателя с моментом, значительно большим, чем это определяется нагрузкой, может вызвать необходимость в повышении прочности механизма. Обычно эта прочность проверяется по нагрузке, соответствующей максимальному моменту двигателя. Если отношение между максимальным моментом и номинальной нагрузкой не превышает 1:2,5, то это соответствует обычным запасам прочности, принятым для конструирования подъемных механизмов. Двигатель с заниженным моментом может не обеспечить надежную работу затвора. Соотношение между максимальным моментом двигателя и расчетной нагрузкой определяется по формуле:

$$M_{\max} = M_{\text{ст}} 1\left(\frac{1}{0,85}\right) = 1,95 M_{\text{ст}}, \quad (9.12)$$

где $M_{\text{ст}}$ – максимальный статический момент нагрузки.

Формула получена на основании следующих соображений: при пуске электродвигателя допускается снижение напряжения до 85 % номинального. При этом максимальный момент, пропорциональный квадрату напряжения, снижается до 72 %. В этих условиях максимальный момент должен превышать максимально возможный момент статической нагрузки на 30–40 %, для того чтобы обеспечить уверенный разгон механизма.

Таким образом, минимальное отношение максимального момента двигателя к максимальному моменту статической нагрузки находится в пределах 1,95. Фактически это отношение лежит в пределах 1,95–2,9. Верхний предел определяется номенклатурой двигателей, для которых шкала мощностей имеет обычно шаг 1,3–1,5.

Для двигателей, у которых пусковой момент значительно ниже максимального, выведенное соотношение следует относить к их пусковому, а не к максимальному моменту. Особенно это относится к короткозамкнутым двигателям общепромышленных серий, для которых пусковой момент обычно ниже максимального.

9.5. Скорость маневрирования затворами

Скорость маневрирования автоматизированными затворами линейного водораспределения принимается равной 0,2–0,3 м/мин. Такая скорость удовлетворяет требованиям технологического процесса. Более высокие скорости нежелательны, так как они соответственно ведут к увеличению мощности электропривода и удорожанию системы электрооборудования. Кроме того, при больших скоростях автоматическое управление затворами усложняется; уменьшается точность отработки задания. Увеличение скорости до 1 м/мин, а иногда и более применяется для затворов аварийного сброса и установленных в местах, где возможны быстрые изменения режима.

9.6. Автоматизация капельного орошения

В последние годы в отечественной и зарубежной практике начали применять новые способы локального орошения, в том числе капельное и подпочвенное (внутрипочвенное).

Локальное орошение отличается от орошения дождеванием или затоплением, при котором увлажняется вся поверхность почвы.

Этот метод имеет многочисленные преимущества: рациональное управление оросительной сетью, защита структуры почвы, независимость орошения от других приемов обработки почвы (работа на участке может осуществляться и во время полива), защита растений (так как листва не смачивается, то уменьшается вероятность возникновения всевозможных болезней).

Системы капельного и подпочвенного увлажнения с точки зрения автоматизации являются аналогами стационарных дождевальных систем.

Однако технология управления ими проще в связи с тем, что такие системы могут осуществлять полив непрерывно на протяжении всего вегетационного периода. Это дает возможность уменьшить число запорно-регулирующей арматуры на сети, упростить схемы регулирования водоподачи, удешевить систему и повысить надежность ее работы.

Применяется капельный способ преимущественно для орошения садов и виноградников. Вода к капельницам, орошающим каждое растение, подается полиэтиленовыми трубопроводами (поливными и распределительными). Одно из важных технологических требований способа, существенно влияющего на надежность и работоспособность системы, тщательная очистка оросительной воды от механических примесей. В связи с этим на системах капельного орошения вода очищается перед подачей на полив фильтрами тонкой очистки.

При этом система автоматизации насосной станции должна обеспечивать: изменение подачи в зависимости от числа одновременно работающих дождевальных машин; поддержание нормального режима сети (дежурный режим); остановку насосных агрегатов при возникновении неисправности на насосной станции или оросительной сети (аварийное отключение); блокировку, исключающую включение насосных агрегатов при понижении уровня воды в подводящем канале ниже установленной величины, и другие технологические операции.

На насосной станции должны предусматривать сигнализацию о состоянии основного и вспомогательного оборудования и отдельных узлов насосных агрегатов.

Система автоматизации внутрихозяйственной закрытой сети при работе машин «Фрегат», «Днепр» и «Волжанка» должна обеспечивать стабилизацию напора на входе в дождевальные машины. Для этой цели созданы специальные автоматические регуляторы стабилизации напора в сети.

Стационарные системы дождевания вследствие большого расхода труб (более 200 м на 1 га) и высокой их стоимости пока функционируют лишь на небольших участках. Автоматизация стационарных систем заключается в передаче и исполнении команд о включении или выключении отдельных групп дождевальных аппаратов. Наиболее

изучены системы с гидравлическим управлением, в которых трубопроводы используются для передачи команд управления, исключая этим наличие колебаний линии связи. Гидранты – водовыпуски совмещаются с гидроуправляемыми клапанами, настраиваемыми на определенную программу работы. Открываются и закрываются клапаны гидравлическими импульсами при понижении давления в сети.

В отдельных случаях, чтобы упростить систему очистки воды, применяют струйчатое орошение, при котором капельницы имеют повышенный расход и подают воду к растению струйкой. Струйчатое орошение по технологии управления не отличается от капельного.

Для разработки качественной проектной документации системы капельного орошения следует привлекать квалифицированных специалистов, при этом дополнительные удельные затраты заказчика на проведение расчетов и проектирование могут составить примерно 10–15 % от расчетной стоимости оборудования или, по среднестатистическим современным данным для стран СНГ, не менее 200–300 долл/га. Но ещё до заключения договора с проектной организацией будущий владелец системы должен иметь объективное представление о составе и объемах предстоящих работ. С этой целью может быть полезным изложенное ниже краткое обобщение различных публикаций на эту тему.

Базовая комплектация системы капельного орошения (рис. 9.5) обычно включает:

- водозаборное сооружение из поверхностного или подземного источника водоснабжения, например, насосную станцию;
- фильтрационную установку;
- узел подкормки удобрениями растений;
- регулятор давления;
- магистральный трубопровод;
- раздаточные (распределительные) трубопроводы;
- воздушные клапаны;
- капельные линии с наружными или внутренними капельницами;
- соединительную и запорную фурнитуры;
- дополнительные устройства.

При монтаже системы в существующих садах и виноградниках поливные пластмассовые трубопроводы расположены на поверхности.

Фильтрационная установка – устройство, служащее для очистки воды от различных примесей, всегда размещаемое перед магистральными трубопроводами. В зависимости от степени загрязненности воды в источнике, типа капельницы и величины орошаемой площади, могут использоваться различные типы фильтров. Ключевое требование к фильтру – задерживать и удалять любые частицы размером более

0,1 проходного сечения капельницы. Для предварительной очистки воды обычно используют песчано-гравийные, щебеночные или керамзитовые фильтры; для окончательной очистки и удаления органических загрязнителей до уровня не более 140 мкм – фильтры второй ступени, например, сетчатые, дисковые (пластинчатые), фильтры с пенополистирольной загрузкой или гидроциклоны. В случаях использования воды питьевого качества из скважин можно ограничиваться использованием одного дискового или сетчатого фильтра.

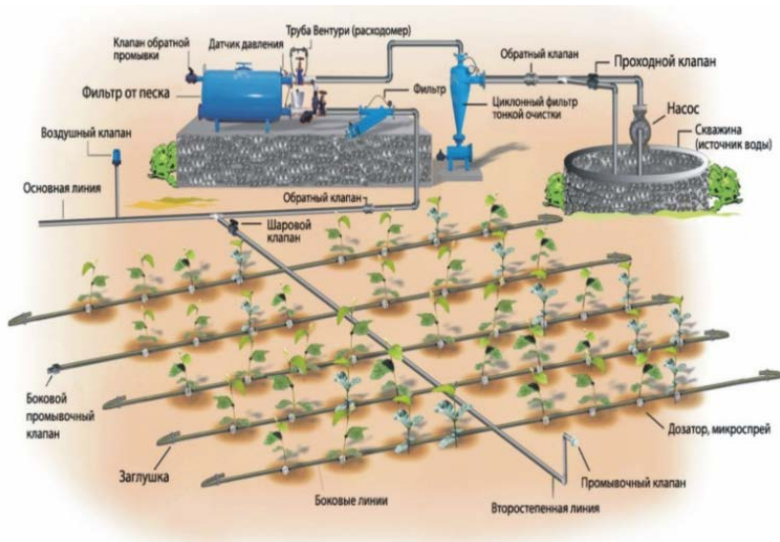


Рис. 9.5. Схема системы капельного орошения

Узел подкормки удобрениями растений предназначен для дозированного внесения совместно с поливной водой удобрений и/или средств защиты растений. Обычно включает емкость для приготовления раствора удобрений, инжектор для подачи раствора в магистральный трубопровод, а также дозатор (миксрайт, агрорайт) для регулирования подачи раствора.

Регулятор давления – устройство гидравлического и пружинного типа, предназначенное для снижения и поддержки на заданном уровне давления воды в системе, для предотвращения избыточного давления и гидравлического удара.

Магистральные и раздаточные трубопроводы – соответственно, предназначены для транспортировки воды от водозаборного сооружения к узлу раздачи и далее – к капельным линиям. Обычно изготавли-

ваются из непрозрачных полимерных труб, стойких к коррозии и агрессивным растворам. Чаще всего для магистральных трубопроводов используются трубы диаметром 40–160 мм, изготовленные из полиэтилена высокого давления, а для раздаточных трубопроводов – такие же трубы или гибкие армированные шланги из поливинилхлорида.

Узел раздачи – устройство в виде основы электромагнитного клапана, шарового крана, вентиля или задвижки, расположенное на стыке магистрального и раздаточных трубопроводов, регулирующее подачу воды в каждый поливной сектор.

Воздушные клапаны – устройства для регулирования воздуха в напорной системе. Когда система не работает, все трубопроводы и капельные линии обычно заполнены воздухом. Но при заполнении водой системы возникает избыточное давление, которое может вызвать гидравлический удар. При отключении подачи воды происходит обратный процесс, и в системе возникает разрядка давления (вакуум), что заставляет систему всасывать воздух через эмиттеры капельных линий. Это может вызвать засорение капельниц, деформацию трубопроводов или разгерметизацию системы. Во избежание этого воздушные клапаны должны устанавливаться в высочайших и/или конечных точках магистральных и раздаточных трубопроводов.

Капельные линии – ключевые элементы систем капельного орошения, предназначенные для дозированной подачи воды к каждому растению с помощью эмиттера – устройства, имеющего дозирующий канал и микрофильтр. Капельные линии, как правило, являются отводами от раздаточных трубопроводов и укладываются на поливном участке параллельно друг другу на расчетном расстоянии. Чаще всего капельные линии для садов и других многолетних насаждений представляют собой трубки/шланги, рассчитанные на давление до 3 атм, длиной до 750 м и диаметром 16–32 мм, изготовленные из полиэтилена низкого давления или полиэтилена высокого давления, со встроенными капельницами (эмиттерами). Для овощных культур более предпочтительны капельные ленты на основе полиэтилена низкого давления, рассчитанные на давление до 0,8–1 атм, а также со встроенными твердыми капельницами на расстоянии 10–50 см друг от друга. Доступный рынок капельного оборудования располагает обширным ассортиментом капельных лент – по расходу от 0,5 до 2 л/ч, по конструкции – от мягких тонкостенных, рассчитанных на однолетнюю эксплуатацию, и до прочных толстостенных, которые можно использовать в течение нескольких поливных сезонов (в среднем – 5 лет). Для предгорных участков с большими уклонами предпочтительным

является использование сравнительно более дорогостоящих капельных линий с компенсированными по давлению эмиттерами.

Соединительная и запорная фурнитура – включает различные детали (угольники, тройники, переходы, муфты, сгоны, краны, заглушки, фитинги, краны, задвижки и др.), используемые при монтаже системы и регулировании водоподачи. В этих целях могут применяться как детали общего назначения, изготовленные из материалов, не поддающихся коррозии, так и специализированные устройства, например, стартконнекторы, служащие для герметичного соединения раздаточных трубопроводов 34 с капельными линиями, сливные заглушки на концевых участках капельных линий, обеспечивающие их промывку во время полива и др.

Устройства для измерения параметром технологического процесса – контрольно-измерительные приборы (расходомеры, счетчики количества воды, манометры), средства автоматизированного управления, (погодный контроллер, тензиометры, эвапорометры для контроля влажности почвы и определения поливных норм и др.). Уточнение потребной численности, размеров, конструкций и стоимости каждого из указанных элементов СКО устанавливается на стадии проектирования, на основании расчетов и маркетинговых исследований. Расчеты и проектирование СКО обычно производятся по стандартизованным методикам, детально изложенных в публикациях, приведенных в списке использованных источников информации. Для оперативного выполнения этих работ с меньшими затратами целесообразно привлекать проектные организации или специализированные подразделения предприятий-поставщиков капельного оборудования, располагающие компьютерными программами для автоматизированного проектирования СКО.

Технология строительства систем капельного орошения с подпочвенным расположением позволяет полностью механизировать процесс укладки поливных трубопроводов. Специальным трубоукладчиком их укладывают на глубине 40–60 см в створе будущего ряда растений и посредством хомутов специальной конструкции соединяют с распределительными трубопроводами. Таким образом, все распределительные и поливные трубопроводы находятся в почве на глубине, исключающей возможность повреждения оросительной сети почвообрабатывающими орудиями. На поверхность почвы выступают лишь отдельные питатели (25–30 см от поверхности почвы), указывающие место будущих деревьев или кустов винограда.

Отводные питатели устанавливают соответственно размещению растений в ряду на поливных трубопроводах в цеху. Затем поливные трубопроводы в сборе перед укладкой в почву проходят стендовые испытания на герметичность соединения и надежность в работе. Ка-

пельницы – водовыпуски крепят на поливном трубопроводе с помощью специального хомутика (когда система строится в существующем саду или винограднике) или устанавливают на отводном питателе (после посадки сада или виноградника). Они работают в заданном режиме расхода воды и обеспечивают его при загрязнении воды до 3 г/л и величине отдельных фракций до 0,1 мм.

У ствола дерева или виноградного куста устанавливают по одной капельнице. Поливная вода тонкой струйкой выливается на поверхность почвы у ствола растения и под действием гравитационных и капиллярно-всасывающих сил равномерно распределяется в зоне наибольшей насыщенности почвогрунта. Остальная часть площади междурядий сада или виноградника остается неувлажненной. Это способствует бесперебойной работе почвообрабатывающих орудий, опрыскивателей и машин для вывозки урожая. Очаговый характер увлажнения почвогрунта при капельном орошении позволяет экономить поливную воду, оросительные нормы при капельном орошении сокращаются в несколько раз по сравнению с поливами дождеванием или поверхностным способом.

Значительный интерес представляет система локального орошения, разработанная французскими специалистами. Отличительная особенность этой системы – относительно высокая скорость транспортирования воды.

Система включает напорное сооружение (гидрант или насосную станцию), распределительный и поливной трубопроводы, сетчатый фильтр и управляющие устройства (ручные или автоматические). Длина поливного трубопровода может достигать 200 м, а диаметр может составлять 20, 25 или 32 мм.

Водовыпускные отверстия имеют диффузоры, изготовленные из латуни толщиной 0,01 мм и защищенные грязезащитной муфтой (рис. 9.6).



Рис. 9.6. Грязезащитная муфта:
1 – расточенное отверстие; 2 – специальные выступы (2 мм)

Отверстия имеют диаметр от 1,2 до 2,1 мм с интервалами 0,1 мм.

Большой диаметр водовыпускного отверстия исключает возможность засорения твердыми частицами, взвешенными в воде.

Через каждое отверстие можно получить расход воды от 25 до 140 л/ч при обычно рекомендуемых напорах 3–15 м.

Диаметр отверстий и расстояние между ними назначены из условия обеспечения постоянного расхода воды по всей длине распределительного трубопровода (рис. 9.7).

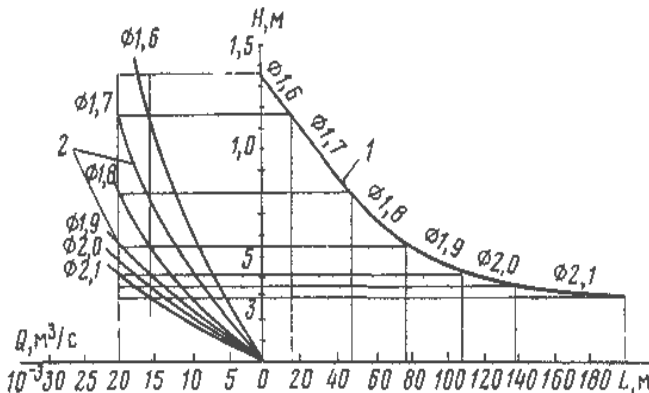


Рис. 9.7. График для определения диаметра отверстий на распределительном трубопроводе и расстояний между ними: 1 – пьезометрическая кривая перфорированного трубопровода; 2 – кривая расхода

Капельное орошение – самый экономичный способ увлажнения, при котором вода подается прямо в корнеобитаемый слой небольшими дозами, через специальные водовыпускные отверстия (капельницы), устанавливаемые через каждые 50...100 см на увлажняющих трубопроводах. Управление системой капельного орошения должно обеспечить нужную последовательность увлажнения отдельных участков и коррекцию нормы полива каждого из них. Первое требование выполняется за счет установки клапанов с электромагнитным приводом, управляемых программным устройством, второе требование – изменение напора в распределительных трубопроводах, а также дозированием времени работы отдельных секций поливаемого участка.

САУ капельным орошением показана на рис. 9.8. Программа, определяющая очередность и время орошения участков, вводится в блок 1 задания и отработки программы. Сигнал разрешения полива участка поступает на блок 2 элементов II и логический блок 3 сравнения, где сравниваются заданное и действительное значения влажности, измеряемые влагомерами б. При дефиците влажности логический блок

вырабатывает команду управления соответствующим исполнительным механизмом 4.

Известны системы автоматического управления капельным орошением, изменяющие давление в увлажнительных трубопроводах.

Определение сроков и норм полива при использовании систем орошения требует получения оперативной информации об усредненных значениях влагосодержания почвы на поливаемом участке. Соответствующую характеристику получают путем контроля влажности в ряде характерных точек с последующим преобразованием результатов измерений.

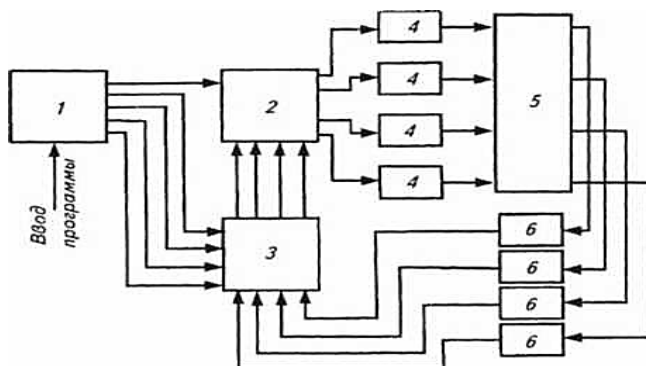


Рис. 9.8. Блок-схема управления капельным орошением: 1 – блок задания; 2 – блок элементов; 3 – логический блок; 4 – исполнительные механизмы; 5 – объект орошения; 6 – влагомеры

Усреднение влажности по глубине слоя почвы достигается выбором измерительного преобразователя, усреднение по площади – за счет контроля влажности в нескольких характерных точках поливаемого участка и последующего определения ее среднего арифметического значения.

10. ПРОБЛЕМА «СЛАБОГО ЗВЕНА» В ОБЪЕКТЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ

10.1. Взаимодействие капель дождя с поверхностью почвы

Как и многие другие явления природы, жидкие атмосферные осадки в одних случаях могут быть полезными, в других – вредными. В число последних входит и капельная эрозия почв. Именно на разбрызгивание распаханной почвы во время дождей, приводящее к эрозии почв, должны обратить особое внимание специалисты разных областей хозяйства. Вполне очевидно, что капельная эрозия в первую очередь зависит от особенностей местных дождей и многих характеристик конкретных почв. Управлять интенсивностью и длительностью дождей пока не удастся, но приводить в нужное состояние пахотный горизонт и поверхность возделываемой почвы, укрывать ее мульчей или сидеритами, сегодня вполне под силу каждому землевладельцу [19].

Однако, чтобы экологически обосновано и экономически эффективно осуществлять защиту почвы от эрозии, необходимо понять физический процесс взаимодействия капли воды с поверхностью обнаженной почвы. На основе полученных данных можно вскрыть механизм капельной эрозии, оценить масштабы ущерба и разработать мероприятия по защите почвы от нее. Одним из главных требований, предъявляемых к технологическим приемам по охране почвы является, с одной стороны, минимальные финансовые затраты по их внедрению и, с другой – их максимальная отдача и оперативность.

Механика столкновения капли дождя с почвой охватывает довольно широкий круг вопросов. В общем плане удар капли о почву представляет собой задачу уяснения последовательности процессов механизма деформации капли и почвы. Количеств и видов повреждений почвы каплями дождя сравнительно много и некоторые из них наверняка еще неизвестны. Эти повреждения, имея одну и ту же причину появления, могут приводить к различным последствиям. В первую очередь происходит разрушение структурных агрегатов, выравнивание поверхности и уменьшение ее шероховатости, заплывание почвы, закупорка поровой сети и, отсюда, падение впитывания влаги и водопропускной способности почвы, ухудшение аэрации и воздухообмена, создание плотной корки и многое другое. Иначе говоря, интенсивный дождь сильно и напрямую влияет на физические, водно-физические и агрономические свойства почвы.

Терминальная скорость падения дождевых капель зависит от их размеров и изменяется от 1–2 до 9 м/с. С увеличением интенсивности дождя возрастает средний диаметр капель, поэтому при одинаковом

слое осадков суммарная кинетическая энергия капель выше у ливневых дождей. Влияние дождевых капель на эрозию проявляется в отрыве частиц почвы от общей массы, повышении транспортирующей способности склоновых потоков. Количество почвы, оторванной каплями и поднятой в воздух вместе с брызгами воды при ливнях, достигает десятков и сотне тонн на гектар и нередко превышает массу почвы, смытую с то же площади. Кроме размеров капель и свойств почвы, интенсивность разбрызгивания зависит от глубины слоя воды на поверхности почвы. Капли, выпавшие на сухую поверхность, практически не разбрызгивают частицы почвы, так как объем самой капли недостаточен, чтобы образовались брызги, способные захватить частицы почвы. Поэтому заметное разбрызгивание почвы начинается с появлением пленки воды на ее поверхности.

При слое воды, превышающем 5–6 диаметров капли, разбрызгивание и отрыв частиц почвы прекращается, так как капли «не пробивают» слой воды. Увеличение транспортирующей способности потоков при выпадении дождя происходит вследствие возбуждения в потоке добавочной турбулентности и капиллярных волн. В склоновых потоках с малой скоростью течения капли производят основную работу по отрыву и взвешиванию частиц почвы.

Экспериментальные работы показали, что если устранить влияние капель дождя на склоновый поток малой глубины (до 1–2 см), то его транспортирующая способность уменьшается в 10 раз и более. Капли, разрушая комочки почвы, заглаживают поверхность и, следовательно, уменьшают объем микропонижений. Но основная причина увеличения коэффициента стока заключается в том, что капли уплотняют поверхность почвы, резко снижают инфильтрационную ее способность. По некоторым данным, водопроницаемость корочки может быть в 200 раз меньше, чем нижележащих слоев.

В пластовых потоках отрыв и транспортировка частиц происходит в основном за счет кинетической энергии капель или, точнее, за счет волнения, которые они производят. Лишь наиболее тонкие фракции переносятся во взвешенном состоянии. Более крупные частицы почвы перемещаются толчками, начиная движение при прохождении очередной волны, возникшей при падении капли или в результате прорыва микроплотин. В эти стадии очень характерна избирательная эрозия, в результате которой происходит огрубление гранулометрического состава поверхностного слоя почвы. Растения рассеивают кинетическую энергию капель, предотвращают разрушение структуры поверхностного слоя почвы, на порядок снижает транспортирующую способность пластовых потоков и образования слабопроницаемой корки.

В приведенном материале действие капель дождя на почву сводится к ее механической деформации – уплотнению, разрушению струк-

туры, отрыву и разбрасыванию частиц и микроагрегатов почвы в составе брызг, кольматажу, выравниванию поверхности, созданию корки, турбулентному возмущению поверхностных потоков, насыщению их почвенным материалом и повышению их транспортирующих возможностей.

При выпадении ливня его капли с силой ударяются о почву. Каждая капля, падая на оголенную землю, производит действие, подобное взрыву микрометеорита. Она выбивает в почве углубление, дробит размокшие агрегаты на мелкие частицы и разбрасывает их в стороны. Дальность полета брызг может достигать 1,5–2,0 м со средним значением 40–60 см. А общая масса поднятого в воздух почвенного материала во время сильного ливня порою доходит до 150–200 т/га, что составляет слой почвы в 1,2–1,5 мм.

Известно, что кривая полета материальных объектов в воздухе значительно отличается от их траектории в безвоздушном пространстве. Эта разница тем больше, чем больше скорость предмета и чем меньше его масса и больше размеры. Но при малых скоростях можно пренебрегать силой сопротивления воздуха. Поэтому при начальных скоростях, меньше 50 м/с, не будет ошибкой применять формулы параболической кривой для вычисления траектории полета почвенных частиц в воздухе. Уравнение траектории полета в пустоте описывается кривой второго порядка, то есть параболой:

$$y = ax - bx^2. \quad (10.1)$$

Деформация почвы под воздействием импульсной нагрузки при ударе одиночной капли развивается как сложный динамический процесс, состоящий из ряда последовательных и взаимосвязанных событий. Известно, что в первый момент, длящийся доли секунды, вода проявляет себя как твердое вещество. Не исключено, что именно за это время большая часть (около 2/3) кинетической энергии капли расходуется на уплотнение почвы. Очевидно, что к основным элементам механики удара капли о почву относятся ее проседание, проникновение влаги под давлением капли в почву, радиальное растекание влаги капли от центра ее соприкосновения с почвой, захват мелкозема и разлет в виде брызг во все стороны. На рис. 10.1 показаны примерные стадии деформации капли воды при ударе о выровненную, сухую и пористую поверхность почвы. Условно все морфологические стадии разрушения почвы каплей можно поделить на два периода. Первый из них – это период нарастания давления внутри капли и, соответственно, на поверхность почвы. Он начинается с момента контакта капли и почвы и заканчивается с началом разбрызгивания. Второй период – это время спада давления, к концу которого капля полностью «растекания» и ее

начинают пронизывать последние брызги, которые возникли за счет избыточного давления воды в тупиковых порах почвы. В первые моменты после касания капли с почвой образуется округлая область контакта. По мере ее увеличения до размеров диаметра капли происходит общее нарастания давления по всей области контакта.

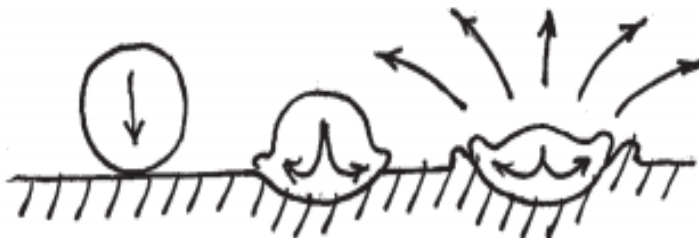


Рис. 10.1. Упрощенная схема разбрызгивания при ударе капли о почву

В дальнейшем, когда капля деформировалась до ее центра (рис 10.1) когда давление по периферии контакта уже начинает падать, давление в центре контакта все еще продолжает расти. В результате перепада давления от центра капли к ее окраинам радиально устремляются потоки воды. Их траектории движения повторяет кривизну стенок кратера. Будучи вытолкнутые из зоны большого давления, они продолжают двигаться по инерции.

Вырвавшись из почвы и увлекая, и выталкивая перед собой мелкозем, струи воды рассыпаются в брызги. Они под разными углами взлетают в воздух и уносят захваченный с собой почвенный материал. Картина удара капли о почву во многом аналогична микровзрыву. Таков механизм возникновения повышенного давления капли на почву, которое преобразуется в механическое движение воды и разбрасывание во все стороны мелкозема почвы.

Не исключена вероятность, что по мере падения давления может срабатывать сила упругости почвы, которая также будет стимулировать разбрызгивание. Вода капли, почти мгновенно и потому, не глубоко проникая в поры почвы, локально приподнимает (вспучивает) почву вокруг кратера и создает дополнительный импульс (толчок), вектор которого направлен в сторону движения брызг. Радиальные струи, устремляясь к периферии смоченной зоны, расталкивают и приводят в движение все лежащие на их пути препятствия в виде агрегатов и частиц почвы. Часть из них, которые они способны поднять, они уносят с собой. Остальную большую часть они откладывают в местах разгрузки давления, то есть вокруг кратера. В результате углубления от ударов капель окаймлены бордюром выбросов, состоящие из несор-

тированного почвенного материала. Согласно теории вероятности, при падении капль дождя на поверхность обнаженной почвы, все возникшие брызги (осколки капль) и захваченный ими мелкозем равномерно разлетаются во все стороны. Поэтому они возвращаются на почву на некотором расстоянии от места падения породившей их капль.

Разбрасывание почвенного материала происходит во все стороны, однако на склоне большая доля частиц все же направляется в сторону его подошвы. Все дело в том, что при попадании капль дождя на склоны, разбрызгивание вниз по уклону происходит на заметно большее расстояние, чем вверх по склону. Различие в дальности полёта мелкозёма в составе брызг и его количественное соотношение в переброски вниз и вверх по склону будут строго зависеть от угла между склоном и его проекцией. С ростом угла склона на каждый градус количество частиц почвы и разность перелета вниз и вверх будет возрастать. По этой же причине длина шага при ходьбе вверх по склону всегда короче, а вот вниз – длиннее. На горизонтально-ровном распаханном поле из каждой конкретной точки его поверхности в составе брызг улетает примерно столько же мелкозема, сколько и прилетает с другими брызгами, возникшими от других капль в других соседних точках.

Поэтому, несмотря на то что за время одного дождя в воздух может быть поднято весомое количество почвенного материала, смещения его в латеральной плоскости не произойдет. По-иному, с учетом конечных результатов, разыгрываются события на склоне. Дальность каждого отдельного перелета частицы вверх будет явно меньше, чем вниз (рис. 10.2). При уклоне местности в 45° и взлете брызг под углом 60° их полет вниз по склону в 2,5 раза дальше, чем вверх. По закону вероятности за время дождя частица взлетит равное число раз как вниз, так и вверх по склону.

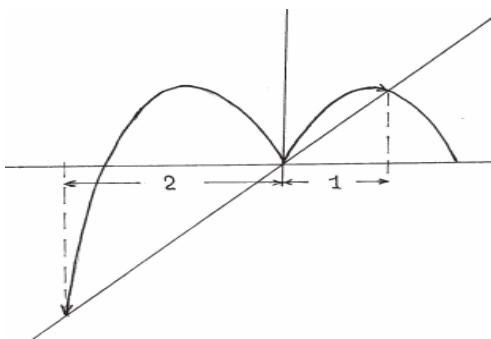


Рис. 10.2. Разбрызгивание почвывкаплями дождя на 450

В свою очередь, независимо от направления полета, средняя дальность полета и средний угол взлета мелкозема будет соответствовать распределению Гаусса, т. е. одинаковы во все возможные направления. Следовательно, при выпадении дождя на вспаханных склонах, перенос частиц вниз по уклону происходит на большее расстояние, чем вверх. В результате поднятая в воздух во время дождя почвенная масса смещается вниз. Ее перенос происходит не по поверхности почвы (как в случае эрозии), а в приземных слоях атмосферы на удалении от поверхности. Этим разбрызгивание напоминает дефляцию, но отличается от нее тем, что причиной движения частиц почвы является дождь, а не ветер.

Различие в дальности полета мелкозема и его количественное соотношение в переброски вниз и вверх по уклону строго зависит: 1) от крутизны склона; 2) от количества капель дождя и 3) от их размеров. Интенсивность и частота дождей пока не подвластна человеку. Поэтому задача сбережения почв от разбрызгивания сводится к отысканию ответа на вопрос – как сильно влияет уклон местности на различие в дальности полета брызг вверх и вниз по склону? Зависимость изменения дальности полета брызг вдоль склона с ростом его крутизны имеет криволинейный характер. Однако в нашем случае на склонах с крутизной от 0° до 45° не будет большой ошибкой выразить эту зависимость прямо пропорциональной функцией. В соответствии с законами симметрии следовало ожидать, что при угле наклона в 45° дальность полета частиц почвы вниз по склону в два раза длиннее, чем вверх. Но этот не так. Математическими расчетами или геометрическими методами нетрудно доказать, что при этом угле дальность полета вверх укорачивается на 35 %, а расстояние полета вниз по склону возрастает.

В самом общем виде, эрозия почв – это работа по переносу почвенной массы с повышенных участков в пониженные. Всякая работа сопровождается расходом энергии. Сегодня общепризнано, что энергия дождя тратится на разрушение почвенных агрегатов, отделение и подачу почвенных частиц во временные дождевые потоки воды, разбрасывание твердых частиц почвы в составе брызг, выравнивание микро-рельефа почвы, ее уплотнение, создание и дифференциацию по гранулометрическому составу почвенной корки и турбулентные возмущения в поверхностных потоках. А вот капельная эрозия, в силу ее кажущейся ничтожности и трудностей в методическом подходе, и по настоящее время не привлекает к себе внимание и потому мало изучена. И только использование законов баллистики позволили понять некоторые стороны ее механизма.

В свою очередь, путем логичных рассуждений несложно доказать, что за счет разбрызгивания вверх по склону будет всегда брошено меньшее количество массы почвы, чем вниз. И эта разница будет уси-

ливаться по мере увеличения угла наклона местности. Исходя из этого, нетрудно рассчитать, что с изменением угла на каждый градус вверх будет брошено на 1,1 % массы почвы меньше, а вниз на ту же величину больше, от общего количества поднятого дождем почвенного материала. Следовательно, при крутизне склона в 1° от общей поднятой брызгами массы почвы вниз склона будет перемещено на 1,1 % больше, чем вверх. При уклоне в 2° эта разница в переброски вниз и вверх возрастет до 2,2 %. То есть, вверх по склону улетит всего 47,8 %, а вниз – 52,2 % от всей захваченной брызгами почвенной массы за все время дождя. И хотя еще нет прямых опытов в качестве доказательства разницы в количестве брызг, брошенных вниз и вверх склона, реальное существование этого предположения вряд ли кто будет оспаривать.

10.2. Влияние интенсивности атмосферных осадков, уклона поверхности и сельскохозяйственного использования земель на поверхностный сток

Одним из основных и наименее изученных с теоретической и экспериментальной точки зрения элементов водного баланса почв является суммарный (вертикальный и поверхностный) сток. Сток – это движение воды по поверхности и в толще почвогрунта в процессе круговорота ее в природе. Со стоком связана эрозия, дренаж и орошение территорий. В процессе стока вода насыщается твердыми, растворенными и биогенными веществами, происходит сток наносов (взвешенных и влекомых), растворенных и биогенных веществ, которые определяют качество вод. Сток и его распределение во времени и по площади играет важную роль в формировании водного баланса сельскохозяйственных полей. Величина стока изменяется во времени и зависит от климатических факторов, в первую очередь от атмосферных осадков. Сток начинается после выпадения определенного количества осадков на поверхность водосбора, его величина определяется балансом влаги – приходом атмосферных осадков и расходом влаги на испарение [20].

Вопросам изучения почвенного стока в различных почвенно-климатических условиях посвящен ряд исследований отечественных и зарубежных авторов. На сток влияют осадки, а именно их интенсивность и продолжительность. Некоторые авторы, А. М. Алпатыев, А. Р. Константинов распределяют осадки на «эффективные» и «неэффективные». Осадки, превышающие 20 мм в сутки, приравниваются к ливневым. Они вызывают поверхностный сток, поэтому для сельскохозяйственных культур малоэффективны.

Также проводились наблюдения за количественным и качественным составами стока в весенний и летний периоды на двух стоковых площадках, расположенных рядом (параллельно) на склоне южной экспозиции, крутизной 90 и длиной 100 м, на дерново-подзолистой, легкосуглинистой почве, разной степени эродированности на лессовидных суглинках. Было отмечено, что после каждого дождя с интенсивностью свыше 0,5 мм/мин и слоем осадков более 10 мм на указанных почвообразующих породах формируется поверхностный сток.

С целью дальнейшего экспериментального обоснования и количественной оценки закономерностей и параметров поверхностного стока в условиях минеральных почв северо-восточной части Беларуси на базе учебно-опытного оросительного комплекса «Гушково-1» Горецкого района было организовано проведение специальных полевых наблюдений за поверхностным стоком на так называемых стоковых площадках.

В число основных задач полевых исследований входило экспериментальное измерение поверхностного стока (Сп, мм), а также систематические наблюдения за определяющими агрометеорологическими факторами.

Для экспериментального измерения поверхностного стока (Сп) на указанном опытном участке были заложены шесть стоковых площадок, представляющих собой участки склона, изолированные от окружающей территории бортиками и оборудованные устройствами в виде мерных баков для измерения объема поверхностного стока. В практике водобалансовых исследований, касающихся наблюдений за поверхностным стоком, применялись различные по размеру стоковые площадки. Нами был принят размер 5×10 м с расположением длинной стороны вдоль уклона поверхности. Наблюдения за поверхностным стоком выполнялись на стоковых площадках объемным способом по приращению уровня воды в мерном баке согласно существующим правилам, изложенным. Схема стоковой площадки дана на рис. 10.3.

Сельскохозяйственное использование площадок было следующее: площадки № 1 и № 2 – свекла с уклонами поверхности соответственно 0,057 и 0,024; площадки № 3 и № 4 – многолетние травы с уклонами 0,075 и 0,042; площадки № 5 и № 6 – чистый пар с уклонами 0,025 и 0,053 соответственно. Посев семян свеклы на площадках № 1 и № 2 производился поперек склона с междурядьем 45 см. До посева семян и после уборки урожая эти площадки также содержались под паром. Площадки № 3 и № 4 использовались как естественный сенокос. Также к характеристикам стоковых площадок относится гранулометрический состав почвы, который определялся в лабораторных условиях. Для этого были заложены два почвенных разреза. Разрез № 1 соответствует почвам площадок № 3; 4, и разрез № 2 – площадкам № 1; 2; 5; 6.

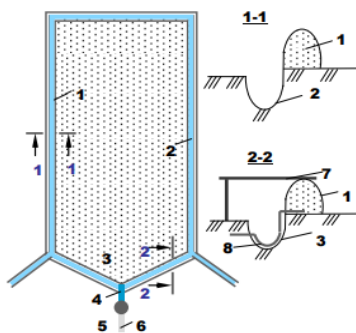


Рис. 10.3. Схема стоковой площадки: 1 – бортик площадки; 2 – водоотводящие канавки; 3 – водопримемная канавка; 4 – водоподводящий лоток; 5 – измерительная емкость; 6 – сбросная канавка; 7 – защитный козырек; 8 – полиэтиленовая пленка

Определение морфологических признаков проводилось в полевых условиях. Далее после проведения лабораторных анализов уточнялся гранулометрический состав почв, и давалось полное уточненное название генетическим горизонтам почвенных разрезов.

Положение уровня грунтовых вод более 5 метров. За суточными значениями осадков велись наблюдения на метеоплощадке учебно-опытного комплекса «Тушково-1» при помощи дождемера и плювиографа. Начало наблюдений совпадает с началом вегетации культур (май), окончание – с окончанием вегетации культур (сентябрь). Суммарные значения осадков (ΣP) за вегетационный период и осадков, вызвавших поверхностный сток ($\Sigma C_{\text{п}}$) представлены в табл. 10.1.

Таблица 10.1. Количество осадков за вегетационный период и осадков, вызвавших поверхностный сток

№ площадки	ПЕРИОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ								
	1-й год			2-й год			3-й год		
	ΣP за вегетационный период, мм	ΣP , вызвавших поверхностный сток, мм	$\Sigma C_{\text{п}}$, мм	ΣP за вегетационный период, мм	ΣP , вызвавших поверхностный сток, мм	$\Sigma C_{\text{п}}$, мм	ΣP за вегетационный период, мм	ΣP , вызвавших поверхностный сток, мм	$\Sigma C_{\text{п}}$, мм
1	394	210	2,86	374	220	1,98	386	169	2,26
2		180	1,30		210	0,64		193	1,00
3		155	0,90		188	0,66		177	1,56
4		180	0,70		89	0,29		154	0,70
5		181	2,32		213	1,01		217	1,80
6		255	8,75		177	6,10		214	10,78

Как видно из таблицы, 1-й поверхностный сток наименьшее количество раз наблюдался на площадках 3 и 4, занятых под многолетними травами. Так, например, если сравнивать площадки № 1 и № 6 с одинаковыми уклонами, но с вариантами свекла и пар соответственно, то суммарный поверхностный сток с площадки № 1 меньше на 67–79 %, чем с площадки № 6. Аналогичную картину мы наблюдаем, анализируя данные для площадок № 2 и № 5, где суммарный поверхностный сток с площадки, занятой под свеклу, меньше на 37–44 %.

С увеличением уклона, с 0,025 до 0,053 суммарный поверхностный сток увеличивается на 73–83 %. Это характерно для участков, занятых под пар, площадки № 5 и 6. На площадках № 1 и 2, занятых под свеклу, с увеличением уклона с 0,024 до 0,057 суммарный поверхностный сток увеличивается на 55–68 %. На площадках, занятых под сенокос, уклон увеличивается с 0,042 до 0,075, и суммарный поверхностный сток – соответственно на 22–56 %.

Из приведенных экспериментальных данных и их анализа можно сделать вывод, что на поверхностный сток влияют интенсивность выпадения осадков, влажность почвы, сельскохозяйственное использование и уклон поверхности.

10.3. Критерии по оценке состояния мелиорированных земель и мероприятия по улучшению водного режима

Обеспечение благоприятного водного режима на мелиорированных землях требует постоянного контроля за их состоянием. Контроль необходим для выявления участков с неблагоприятным водным режимом, оценки технического состояния отдельных элементов мелиоративной системы, разработки ремонтно-эксплуатационных и агромелиоративных мероприятий по обеспечению улучшения водного режима и продуктивности мелиорированных земель. Выбор необходимого вида или комплекса ремонтно-эксплуатационных или агромелиоративных мероприятий проводится на основании агрогидрологических и гидрологических оценок и критериев, к которым относятся: площадь вымочек и переувлажнений; задержка агротехнических сроков проведения полевых работ; продолжительность отвода поверхностных вод; интенсивность удаления гравитационной воды из пахотного слоя; глубина залегания уровня грунтовых вод в разные периоды. Одним из основных показателей состояния мелиорированных земель является доля вымочек и переувлажнений от общей площади поля (табл. 10.2) [21].

Таблица 10.2. Оценка состояния мелиорированных земель по отношению площади вымочек и переувлажнений к общей площади, %

Характеристика года	Месячная сумма осадков, % от нормы	Состояние мелиорированных земель		
		Хорошее	удовлетворительное	неудовлетворительное
		Процент вымочек и переувлажнений от общей площади, га		
Маловодный	30–70	$\frac{0}{0}$	$\frac{< 1}{< 5}$	$\frac{< 1}{< 5}$
Средний	70–130	$\frac{0}{< 5}$	$\frac{< 3}{5 \dots 10}$	$\frac{> 3}{> 10}$
Многоводный	130–200	$\frac{< 1}{< 10}$	$\frac{1 \dots 5}{10 \dots 15}$	$\frac{> 5}{> 15}$

Примечание. В числителе – доля вымочек, в знаменателе – доля переувлажненных земель с угнетенным состоянием сельскохозяйственных культур.

Обследование на наличие вымочек и площадей переувлажнения проводится в периоды: весной – от появления проталин до подсыхания почвы, летом – во время выпадения обильных осадков, осенью – уборки урожая. Границы контуров с избыточным увлажнением устанавливаются визуально по наличию внешних признаков и фиксируются путем нанесения их границ на схему участка. В площади переувлажнений включаются все контуры, в которых наблюдается угнетенное состояние сельскохозяйственных культур, а в площади вымочек – контуры, в которых отмечается полная гибель растений. Основные причины вымочек и переувлажнений обусловлены неисправностью закрытой дренажной сети, высоким уровнем воды в регулирующих и проводящих каналах, наличием замкнутых бессточных понижений, переуплотнением подпахотного слоя почвы. При неудовлетворительном водном режиме следует наметить для каждого конкретного участка ремонтно-эксплуатационные или агро-мелиоративные мероприятия, обеспечивающие удаление поверхностных вод и избытка почвенной влаги. К ним относятся: очистка устьевой части коллекторов от заиления; ремонт или восстановление устьев; очистка, промывка или ремонт коллекторов; устройство водопоглотителей, ложбин; нарезка борозд; устройство воронок; планировка поверхности, эксплуатационное рыхление, а при подпоре от открытой сети – очистка каналов от заиления. В предпосевной период уровни грунтовых вод (УГВ) должны обеспечивать проходимость сельскохозяйственной техники при проведении полевых работ. Согласно ТКП, минимальная глубина в зависимости от вида почвы и севооборота должна составлять 0,3–0,5 м. Кро-

ме этого, для качественного и своевременного проведения агротехнических работ в вегетационный период УГВ должны соответствовать нормам осушения, приведенным в ТКП [22]. Для качественного и своевременного проведения агротехнических работ в вегетационный период уровни грунтовых вод должны соответствовать нормам осушения, приведенным в ТПК. На мелиоративных системах с предупредительным шлюзованием после снижения УГВ до нормы осушения, для замедления их дальнейшего падения, следует закрыть затворы подпорных сооружений. Открывать их рекомендуется только в экстремальных метеорологических условиях, при выпадении обильных осадков. Состояние мелиорированных земель определяется также по срокам отвода избыточных вод, образуемых продолжительно выпадающими осадками в вегетационный период. В табл. 10.3 представлены критерии оценки мелиоративного состояния осушенных земель по срокам отвода поверхностных и гравитационных вод.

Таблица 10.3. Оценка мелиоративного состояния земель, осушенных закрытым дренажем, в зависимости от сроков отвода поверхностных и гравитационных вод (из пахотного слоя до 0,25 м) и вегетационный период

Сельскохозяйственное использование мелиорируемых земель	Состояние мелиорированных земель		
	хорошее	удовлетворительное	неудовлетворительное
	Сроки отвода избыточных вод: поверхностных/гравитационных, сут		
Полевые севообороты с озимыми	$\frac{< 0,5}{< 1,0}$	$\frac{0,5 - 1}{1,0 - 1,5}$	$\frac{> 1,0}{> 1,5}$
Полевые без озимых, кормовые, овощные севообороты	$\frac{< 0,8}{< 1,5}$	$\frac{0,8 - 1,5}{1,5 - 2,5}$	$\frac{> 1,5}{> 2,5}$
Сенокосы	$\frac{< 1,5}{< 3}$	$\frac{1,5 - 2,5}{3 - 5}$	$\frac{> 2,5}{> 5}$

При переувлажнении мелиорированных земель (срок отвода поверхностных и гравитационных вод превышает нормативный) следует предусматривать агромелиоративные и ремонтно-эксплуатационные мероприятия: планировку поверхности; профилирование; устройство ложбин, колодцев и колонок-поглотителей; очистку, а при необходимости – ремонт и сгущение закрытого дренажа. К приемам, ускоряющим отвод избыточной влаги в дренажную сеть по подпахотному слою и повышающим влагоемкость почвенного профиля, относятся: глубокое рыхление, эксплуатационное (среднее) рыхление, щелевание, кро-

тование и создание мощного пахотного слоя. При выборе мероприятий необходимо иметь в виду, что их эффективность зависит от работоспособности осушительной сети. Так, проведение рыхления на фоне неудовлетворительно работающего закрытого дренажа может привести к увеличению продолжительности переувлажнения почвы. Одной из причин, препятствующих переводу поверхностного стока во внутрипочвенный и дренажный, является повышенная плотность подпахотного горизонта, так называемая «плужная подошва», которая образуется от воздействия тяжелых сельскохозяйственных агрегатов и транспортных средств на почву при возделывании сельскохозяйственных культур. Переуплотнению подвержены, в первую очередь, глинистые, суглинистые, а также связносупесчаные почвы, продолжительное время находящиеся в сельскохозяйственном использовании. Переуплотнение выражается в повышении плотности и твердости, уменьшении водо- и воздухопроницаемости, а также снижении осушительного действия дренажа и плодородия почвы. При выполнении агротехнических мероприятий на данных почвах повышается расход горюче-смазочных материалов и ускоряется износ машин и механизмов. Эффективным способом разрушения плужной подошвы является эксплуатационное рыхление почвы на глубину до 0,5 м. В зависимости от применяемого оборудования эксплуатационное рыхление можно разделить на почвоуглубление, чизелевание и рыхление-щелевание. Условия применения эксплуатационного рыхления с использованием разработанных в РУП «Институт мелиорации» рыхлителя плужной подошвы РПП-20 и рыхлительного оборудования РКЛ-50 приведены на рис. 10.4.



Рис. 10.4. Рыхлители плужной подошвы РПП-20 на плуге ППП-7-40 в агрегате с трактором К-701

Эксплуатационное рыхление не рекомендуется проводить на землях грунтового и грунтово-напорного водного питания, неосушенных землях избыточного увлажнения, вторично заболоченных, при неудовлетворительном состоянии закрытой осушительной сети, а также при наличии каменных включений объемом более 0,5 % от объема почвы и содержащих отдельные крупные камни с максимальным размером более 0,2 м. Нецелесообразно также проведение рыхления и щелевания в замкнутых понижениях и у подножия склонов в местах скопления поверхностных вод. Почвоуглубление относится к агротехническим мероприятиям и представляет собой обычную вспашку с оборотом пласта и рыхление нижележащего слоя почвоуглубителями. Оно целесообразно, главным образом, при вторичном переуплотнении подпахотного слоя мощностью до 20 см. Применяется также в тех случаях, когда ниже переуплотненного профиля залегает слой с неблагоприятными характеристиками (неплодородной подпочвой, неудовлетворительным химизмом подпочвы), вызывающими опасение в ухудшении свойств пахотного слоя при вспашке с перемешиванием с долей непригодной подпочвы. В таком случае целесообразно увязать почвоуглубление с интенсивным внесением органических и минеральных удобрений, а в случае необходимости – с известкованием и включением в севооборот культур с глубоко укореняющейся корневой системой (клевера, люцерны и т. д.).

Чизелевание – безотвальная сплошная обработка почвы дизельными орудиями с рыхлительными или стрельчатыми лапами, установленными на раме орудия, с обработкой пласта по ширине захвата и образованием неразрушенных гребней над дном борозды и разрыхленного слоя почвы над гребнями. Чизелевание занимает промежуточное положение между агротехническими и агромелиоративными мероприятиями и направлено на улучшение структуры подпахотного горизонта. Его применение целесообразно при наличии переуплотнения до глубины 0,45 м. Рыхление-щелевание – прием разуплотнения, когда разрыхленные призмы почвы в верхней зоне не пересекаются, т. е. происходит не сплошное рыхление, а в виде отдельных полос. Расстояние между стойками рыхлителей в зависимости от класса трактора и категории почвы обычно составляет 0,7–1,2 м. Рыхление-щелевание является агромелиоративным приемом для улучшения водно-физических свойств слабофильтрующих переуплотненных минеральных почв и мелкозалежных торфяников, повышения плодородия лугопастбищных угодий, защиты почв от водной эрозии, а также для влагонакопления и повышения плодородия склоновых земель. Для выполнения почвоуглубления разработан рыхлитель плужной подошвы РПП-20, который представляет собой сменное рабочее оборудование к

противокаменистым плугам общего назначения ПГП (см. рис. 10.2). Он позволяет в едином технологическом процессе со вспашкой производить также и разуплотнение плужной подошвы на глубину до 20 см ниже уровня дна борозды. Рыхлители плужной подошвы РПП-20 монтируются за отвалами на грядиле корпусов плуга по одному на корпус. Для рыхления-щелевания почв среднего и тяжелого гранулометрического состава на глубину до 0,5 м разработано рыхлительное оборудование РКЛ-50. Это сменное рабочее оборудование к плугам общего назначения (типа ПГП) с гидравлической защитой, агрегируемых с тракторами класса тяги до 50 кН (см. рис. 10.3). Корпуса плуга с рамы снимаются и вместо них, в зависимости от марки плуга и категории почвы, через 0,7...1,2 м устанавливается оборудование РКЛ-50. При щелевании луговых угодий на оборудование устанавливается дисковый нож и прикатывающий каток. Данным агрегатом можно выполнять и сплошное рыхление почвы. Для этого оборудование РКЛ-50 (рис. 10.5) устанавливается на каждое крепление снятых корпусов плуга. Наблюдение за плотностью временно переувлажняемой связносу-песчаной почвы (СПК «Полочаны» Молодеченского р-на) показало, что в процессе воздействия сельскохозяйственной техники происходит уплотнение подпахотного слоя. Так, средняя плотность почвы на глубине 0,2...0,4 м на третий год возделывания сельскохозяйственных культур увеличилась на 0,05 г/см³. Разуплотнение почвы с применением рыхлителя РПП-20 обеспечивало снижение плотности по сравнению с контролем на протяжении трех лет в пределах 0,08...0,06 г/см³ (см. табл. 10.3). Рис. 10.4 – Рыхлители плужной подошвы РПП-20 на плуге ПГП-7-40 в агрегате с трактором.



Рис. 10.5. Рыхлительное оборудование РКЛ-50 на базе рамы плуга ПГП-3-40Б в агрегате с трактором МТЗ-1221

Снижение плотности подпахотного слоя почв, в свою очередь, обеспечило повышение урожайности сельскохозяйственных культур. В табл. 10.4. приведены среднеемноголетние данные по урожайности картофеля, озимой ржи и ячменя на опытно-производственных участках СПК «Полочаны» при разных вариантах обработки почвы. Широкая производственная проверка в хозяйствах Республики Беларусь выявила, что эксплуатационное рыхление на глубину 0,4–0,5 м обеспечивает прибавку урожайности сельскохозяйственных культур на 8–20 %. Наиболее восприимчивы к снижению плотности почвы пропашные культуры. Эффективность действия рыхления – 2–3 года. Эффективным приемом повышения продуктивности многолетних сенокосов является их щелевание с применением рыхлительного оборудования РЖЛ-50. Прибавка урожая злаковых трав в первый год после щелевания мелкозалежных торфяников на Полесской опытно-мелиоративной станции составила 17,1, во второй – 25,9, в третий – 6,9 ц/га абсолютно сухого вещества, что составляет соответственно 19,7, 29,9 и 8 %. В Витебском экспериментальном хозяйстве в первый год после щелевания прибавка урожая составила 11,1, а на второй год – 18,9 %. Влияние щелевания на водный режим и урожай трав проявляется в течение 2–3 лет. Средняя многолетняя прибавка урожая составляет 10–15 %. Наибольшая ее величина (15–25 %) наблюдается во второй год после проведения щелевания.

Таблица 10.4. Плотность почвы (средняя за вегетацию) во времени при различных приемах обработки

Вариант опыта	Озимая рожь, 2002 г. (рыхление 2001 г.)		Картофель, 2003 г. (после 2 лет)		Ячмень, 2004 г. (после 3 лет)	
	глубина, см	плотность, г/см ³	глубина, см	плотность, г/см ³	глубина, см	плотность, г/см ³
Вспашка на 20 см (контроль)	0–20	1,20	0–20	1,21	0–20	1,24
	20–40	1,30	20–40	1,31	20–40	1,45
	0–40	1,40	0–40	1,41	0–40	1,35
Вспашка на 20 см с одновре- ременным рыхлением РПП-20 на 20 см	0–20	1,19	0–20	1,20	0–20	1,21
	20–40	1,32	20–40	1,35	20–40	1,39
	0–40	1,25	0–40	1,27	0–40	1,30

Приведенные показатели оценки состояния мелиорированных земель по наличию вымочек и переувлажнений, сроков отвода поверхностных вод, плотности почв позволяют выбрать наиболее оптимальный комплекс ремонтно-эксплуатационных и агро-мелиоративных мероприятий для восстановления эффективности функционирования ме-

лиорированных земель. Приведены основные условия для выполнения эксплуатационного рыхления в зависимости от плотности, влажности и категории почвы, с использованием разработанного в РУП «Институт мелиорации» оборудования, а также эффективность разуплотнения подпахотного слоя почв.

10.4. О реконструкции старых дренажных систем

Известно, что закрытый дренаж – это достаточно совершенный механизм осушения пахотного слоя почвы. Он обеспечивает высокие значения коэффициентов использования мелиоративных территорий и долгие годы не требует ежегодных вложений капитала по уходу и ремонту. Благодаря этим достоинствам, дренажом в Республики Беларусь осушены миллионы гектаров земель [23]. Прошло 30–40 лет, и хорошо работавшие дренажные системы начали работать неудовлетворительно. На мелиоративных территориях стали появляться вымочки сельскохозяйственных культур. В настоящее время основная тема в области мелиорации земель – реконструкция старых осушительных систем с целью восстановления их прежней работоспособности. Задача исследования. Сейчас в широких масштабах проводится реконструкция осушительных систем, построенных 30–40 лет назад. В каждом производственном проекте причиной их плохой работы считается заиливание и заохривание трубок дрен (в то время использовались гончарные трубы). Поэтому обязательно предусматривается сгущение старых дрен, выборочное устройство новых, промывка старых коллекторов и при всем этом требуется максимально сохранять и использовать старые дренажные системы. Но оказалось, что во многих случаях затраты на такую реконструкцию не окупаются из-за повторных очагов заболачивания.

Задачей исследований было установление истинных причин ухудшения работы старых дренажных систем. Материалы и методика исследования. Поскольку ухудшение работы дренажных систем стало заметным лишь спустя 30–40 лет после их постройки, то вызывает сомнение утверждение проектировщиков о том, что ранее были допущены ошибки в расчетах расстояния между дренами. Нами было проведено тщательное изучение и анализ специальной нормативной литературы в области мелиорации, производственных проектов реконструкции осушительных систем, результатов работы экспериментальных (новых) дренажных систем, современных технологий обработки почвы на осушаемых землях, в части выявления отрицательного воздействия сельскохозяйственной техники на почву. Результаты были проанализированы и сформулированы выводы и рекомендации производству.

В проектах реконструкции дренажных систем не предусматривается промывка старых дренажей от заиливания. Промываются только старые коллекторы. Обследование старых дренажей показало, что часто они полностью заилены, поэтому нельзя рассчитывать на их хорошую работу без промывки. Однако их воспринимают при сгущении дренажей, как частично работоспособные. До реконструкции систем междреннее расстояние составляло 20–30 м. При проектировании сгущения новые дренажи располагают посередине между старыми полагая, что после такого сгущения междреннее расстояние будет составлять 10–15 м. Ожидается, что такой обновленный дренаж обеспечит эффективное осушение почвы. Но после реконструкции в полях вновь появляются вымочки сельскохозяйственных культур. Мы полагаем, что при практически неработающих старых дренажах расстояние между новыми дренажами фактически остается прежним, т. е. 20–30 м, как и до сгущения. Это свидетельствует о том, что работоспособность старых дренажей увеличена и что на самом деле они не работают. Значит, сгущение дренажей не решает проблему появления повторных вымочек сельскохозяйственных культур после реконструкции.

Очень показательны данные о том, что в средних суглинках «с большим стажем осушения» новые дренажные системы не работали даже при расстояниях между дренажами всего 5 метров. Вывод только один – грунт ухудшил свои фильтрационные свойства. Этому есть объективные причины. Прежде всего, это ежегодная вспашка полей плугами с оборотом пласта, уничтожающая почвенную биоту и делающая пахотный горизонт легко размываемым. В результате илистые частицы со струйками мутной воды устремляются вниз к дренажам, кольматируя грунт и снижая его фильтрационную способность. При коэффициентах фильтрации грунтов менее 2 м/сут и западном рельефе дренаж фактически не работает. Тем более, что представленные в новых проектах реконструкции коэффициенты грунтов составляют значительно менее 2 м/сут. Установлено, что кольматации грунтов способствует широкомасштабное использование минеральных удобрений вместо органических. Это приводит к ежегодному уменьшению содержания гумуса в почве и облегчает размыв почвы осадками. Таким образом, существуют объективные причины, снижающие фильтрационную способность грунта, в котором заложен дренаж. Стареют не только осушительные системы, но и сам осушаемый массив, так как рассматриваемые нами процессы действуют из года в год, а результаты их действия накапливаются.

Обратим особое внимание на уплотняющее действие на грунт сельскохозяйственной техники. Установлено, что глубина деформации грунта при этом достигает 50–60 см, а его плотность 1,3–1,5 см³ становится критической для растений. Результаты разового уплотнения

грунта сохраняются 2–5 лет. В течение вегетационного периода трактора и прицепы проходят по «своему следу» по много раз, а в местах поворотов техники – до 6–20 раз. Уплотнение ухудшает фильтрационные свойства грунта. Это сказывается на работе дренажа, а также снижает урожай сельскохозяйственных культур на 15–30 %. Привычна для нас работа сельскохозяйственной техники на полях – важнейшая причина ухудшения физических свойств почвы и, в частности, причина появления вымочек сельскохозяйственных культур после реконструкции осушительных систем. Современные значения коэффициентов фильтрации составляют: для торфяников 0,5; песка пылеватого 1,1; песка мелкого 1,26; суглинков 0,35; супеси 0,5 и меньше. Для сравнения укажем, что эти параметры 30–40 лет назад были более 2 м/сут.

Появление вымочек сельскохозяйственных культур на полях после реконструкции осушительных систем обусловлено объективными причинами, поэтому сгущение дренажа не дает ожидаемого эффекта.

Одна из причин снижения эффективности закрытого дренажа – кольматация грунта вследствие вспашки почвы плугами с оборотом пласта и широкого применения минеральных удобрений вместо органических, приводящего к гибели почвенной биоты, к обесструктурированию и размыву почвы осадками, а также к образованию илистых частиц кольматирующих грунт.

Второй важной причиной являются ежегодное уплотнение грунта тяжелой сельскохозяйственной техникой и суммирование эффекта уплотнения в течение 30–40 лет эксплуатации осушенных земель. Уплотнение резко снижает фильтрационную способность грунта, в котором заложен дренаж.

11. ФОРМУЛИРОВАНИЕ НОВЫХ НАУЧНЫХ ИДЕЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕЛИОРАТИВНЫХ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ

11.1. Принципы создания экологически безопасных мелиоративных систем

Анализ развития мелиорации в стране, а также существующее состояние мелиоративных систем и мелиорируемых земель, наглядно показали несовместимость технократической идеологии мелиоративной деятельности и необходимость нового экологически ориентированного подхода к созданию и функционированию мелиоративных систем, а также разработке мелиоративных технологий. Основной целью комплексной мелиорации становится, помимо повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий и устойчивости геосистемы, оздоровление ландшафта, создание условий для его развития, активизация процессов самоочищения. На основе вышеизложенных научных исследований нами сформулированы основные экологические принципы создания совершенных мелиоративных систем [24].

Принцип целенаправленного преобразования природного объекта.

Создание мелиоративной системы направлено на коренное улучшение естественного состояния природного объекта с целью повышения продуктивности мелиорируемых сельскохозяйственных угодий. Здесь возникает противоречие между результатами естественной эволюции биосферы и целями мелиоративной деятельности. Мелиоративная деятельность нацелена на высокую продуктивность земель, а это может привести к потере устойчивости природной системы (агроландшафта). Сохранение и повышение устойчивости возможно путем целенаправленного управляемого сопряжения мелиоративных и естественных процессов, обеспечивающих сбалансированность потоков вещества и энергии при создании и функционировании мелиоративных систем и введением экологических ограничений.

Установлена связь между продуктивностью сельскохозяйственных угодий (РЕ) и продуктивностью мелиорируемых земель (Р), обеспечивающая устойчивость агроландшафта, которая аппроксимируется степенной функцией: $РЕ = kP^n$. В современных условиях (при существующей агротехнологии) значение коэффициента k равно 6,3, а значение n составляет 0,32. По приведенной зависимости можно оценить производственный потенциал за счет регулирования природных процессов при функционировании мелиоративных систем.

Наибольшему изменению в результате создания мелиоративной системы подвержены составляющие водного баланса и водный режим территории. Перераспределение водных ресурсов приводит к измене-

нию запасов поверхностных и подземных вод, закономерностей влагооборота и водообеспеченности территории в целом. Как известно, мелиоративная деятельность (создание оросительных и осушительных систем) направлена на формирование компенсационного водного баланса, при котором приходные статьи (осадки, поверхностный и подземный приток) компенсируются расходными статьями (эвапотранспирация, инфильтрация, отток поверхностных и подземных вод). Восполнить разницу при недостаточном климатическом увлажнении между испаряемостью и эвапотранспирацией возможно гидромелиорацией за счет использования речного стока или подземных вод. При избыточной климатической увлажненности требуется частичный отвод водных ресурсов за пределы осваиваемого территориального комплекса путем регулирования поверхностного стока и устройства дренажа. В качестве интегрального показателя экологической трансформации водного баланса мелиоративно-освоенной территории можно принять отношение требуемой водообеспеченности ($B_{тр}$) мелиорируемых земель к фактической климатической увлажненности ($Y_{ест}$), т. е.:

$$I = B_{тр} / Y_{ест}, \quad (11.1)$$

где $B_{тр}$ – необходимая водообеспеченность территории для производства сельскохозяйственной продукции, мм;

$Y_{ест}$ – естественная среднегодовая увлажненность территории, мм.

Из анализа значений интегрального показателя – I вытекает, что для повышения продуктивности агроландшафта при значении показателя $I > 1$ требуется создание оросительной системы; при $I < 1$ необходим отвод избыточной воды путем создания осушительной системы, а в случае, если I отклоняется от единицы в ту или другую сторону не более чем на 25 %, необходимы системы двойного регулирования влажности или оросительно-осушительные системы.

Принцип адаптации.

При создании мелиоративных систем необходимо согласовывать ее параметры с существующей структурно-функциональной организацией агроландшафта путем встраивания антропогенных процессов в общую структуру биотических и абиотических процессов природного объекта, что можно считать постулатом коэволюционной концепции устойчивого развития (Савенко В. С., 2003). Предложенный подход к выбору и обоснованию адаптивных мелиоративных систем предполагает активацию геосистемы (агроландшафта). В этом случае можно говорить о том, что создание и функционирование мелиоративной системы направлено на трансформацию природного объекта, что обусловит появление в ландшафтах новых природно-мелиоративных про-

цессов. Здесь важно проследить, чтобы эти новые процессы носили исправительный, а не травмирующий характер. Это, с нашей точки зрения, есть отличие комплексной мелиорации от адаптивного земледелия, которое направлено на мобилизацию естественного потенциала возделываемых земель при сохранении его квазистационарного состояния. В результате проведения комплексной мелиорации геосистему принудительно переводят на новое энергетическое состояние, при котором изменяются его основные результирующие – продуктивность и устойчивость. Новое состояние требует вложения дополнительной ежегодной энергии на поддержание функционирования системы.

Например, контурно-мелиоративная организация территории, учитывающая почвенные и рельефные особенности земельного массива, сохраняет квазистационарное состояние системы. Гидротехнические сооружения размещают по контуру рельефа или с небольшим отклонением от них. Контурно-мелиоративную организацию территории проектируют в условиях высокой эрозионной опасности, если агротехническими приемами на фоне контурной организации территории не удастся предотвратить эрозию. В этом случае предусматривается создание системы гидротехнических сооружений для задержания и безопасного отвода избыточного стока. В основе контурно-мелиоративной организации территории лежит единая водорегулирующая сеть линейных рубежей, строго увязанных с рельефом местности. В таких системах природный объект не переводится на новое энергетическое состояние. Другим примером может служить концепция оазисного орошения на базе местного стока или подземных вод для условий Калмыкии (Руднева Л. В., 2000). Создание и функционирование мелиоративной системы оазисного типа кардинально изменяет водный баланс и природные процессы за счет использования подземных вод или других источников воды на орошение. Происходит перестройка естественной природной системы и ее перевод на новый уровень энергетического состояния. Тем не менее, и здесь имеется возможность быстрой адаптации системы к природному объекту. Оазисное орошение обладает следующими преимуществами: простота и дешевизна водохозяйственного обустройства мелко контурных участков; возможность строгого соблюдения экологических ограничений и мелиоративного режима, что позволит свести к минимуму негативные последствия; в случае подъема грунтовых вод их быстрая сработка за счет «сухого» дренажа в мелиоративный период.

Принцип многофункциональности.

Основное предназначение гидромелиоративных систем – водозабор, водораспределение внутри системы и водоотведение за ее пределы. Однако для получения высоких и устойчивых урожаев требуется активное воздействие на факторы роста и развития сельскохозяй-

ственных растений для поддержания благоприятных условий в течение всего периода вегетации. Такое воздействие не может быть обеспечено одной какой-то технологией и требуется чередование и проведение различных мероприятий. В этой связи перспективно создание многофункциональных мелиоративных систем.

Многофункциональные системы обеспечивают строгое нормирование сроков и норм полива, внесение минеральных удобрений и средств защиты растений, регулирование температуры, газового состава почвы и приземного слоя воздуха путем использования специальных устройств, дозаторов для регулирования подачи воды, удобрений, автоматизация удобрительного дождевания и т. д. Одним из направлений использования таких систем является борьба с суховеями, засухами и поздними заморозками. Для этого разработана напорно-безнапорная многофункциональная система комбинированного орошения для осуществления локальных поливов, которая имеет возможность осуществлять внутрпочвенный, капельный, поверхностный струйчатый поливы как комбинированно, самостоятельно, так и в сочетании с мелкодисперсным дождеванием. В вариантах, где предусмотрены поливы в комбинации с мелкодисперсным дождеванием, система орошения работает следующим образом: при безнапорном движении воды в поливных трубопроводах – через струйчатые водовыпуски осуществляется поверхностный полив. С запуском водяного насоса при подаче давления воды до 1,2 МПа в работу включаются распылительные насадки мелкодисперсного дождевания. Таким же образом осуществляется режим мелкодисперсного дождевания и в комбинации с капельным или внутрпочвенным орошением (Майер А. В. и др., 2015).

Принцип лабильности.

Под лабильностью (функциональной подвижностью) мелиоративных воздействий понимается периодическое проведение мелиоративных мероприятий на данной территории или чередование различных видов мелиоративных воздействий на природный объект. Использование этого принципа дает возможность снизить антропогенную нагрузку на агроландшафт. Природный объект, имея достаточную буферную способность, может самовосстанавливаться после снятия антропогенной нагрузки, что позволяет в ряде случаев обойтись без компенсирующих эко мелиоративных технологий. Устойчивость циклического процесса по отношению к внешним возмущениям определяется энергией потоков воды и вещества, чем выше скорость миграции, тем скорее система возвратится в устойчивое состояние.

Для реализации этого принципа разработаны полустационарные мобильные мелиоративные системы, обеспечивающие технологии циклического орошения, подразумевающие чередование полива участков в течение определенного цикла, продолжительность которого

определяется свойствами почв, особенностями и технологическими приемами эксплуатации участка и использование участка в богарных условиях. Достоинством циклического орошения по сравнению с традиционным (регулярным) орошением является снижение водной нагрузки на почву и грунтовые воды, что особенно важно в зоне неустойчивого увлажнения. Мобильное, цикличное орошение в большинстве случаев не требует строительства инженерных видов дренажа, коллекторной сети и водоприемников дренажного стока, позволяет сохранить или улучшить экологическую обстановку. Соединение орошаемого и богарного земледелия на основе применения передвижного цикличного орошения с помощью мобильного оросительного оборудования в степной зоне (на местном стоке и на базе существующих обводнительно-оросительных каналов) позволит, например, в 2–3 раза повысить урожай люцерны, кукурузы, сахарной и кормовой свеклы. При соответствующем сочетании посевов этих культур последовательно во времени с неорошаемыми достаточно продуктивными озимыми зерновыми обеспечить нужное биологическое дренирование и высокий экономический эффект орошаемых земель. Также это позволит эффективнее осуществлять мелиорацию солонцов (Бобченко В. И., 1988; Бобченко В. И., 1996; Щедрин В. Н., Васильев С. М., Андреева Т. П., 2008; Щедрин В. Н., Васильев С. Н., 2011).

Другим направлением использования систем цикличного орошения является полив сточными водами или водами повышенной минерализации. Цикличное орошение сточными водами животноводческих комплексов позволяет не только утилизировать стоки, но и увеличивать урожайность сельскохозяйственных культур за счет использования питательных веществ и микроэлементов в сточных водах без деградации почвенного покрова и при получении экологически чистой сельскохозяйственной продукции (Кирейчева Л. В., Захарова О. А., 2002). При использовании минерализованных вод на системах цикличного орошения исследованиями установлено, что на легких почвах можно 5–6 лет орошать минерализованными водами (до 3 г/л), затем делать перерыв на 12 лет, что обеспечивает практически полное восстановление свойств почвы и переход почвенных процессов в естественное состояние.

Принцип замкнутости круговорота.

Это требование исходит из того, что мелиоративная деятельность есть процесс энергомассообмена между природной средой и мелиоративной системой. Этот процесс имеет на входе потребляемые материальные и энергетические ресурсы, а на выходе отходы, поскольку произведенные полезные продукты используются внутри глобальной технологической системы, включая сельское хозяйство, перерабатывающую промышленность и т. д. Одним из отходов (нецелевым продук-

том) инженерной гидромелиоративной системы являются коллекторно-дренажные и сбросные воды, которые могут вызывать загрязнение и последующую деградацию различных природных объектов. В современном понимании эти отходы следует рассматривать как нетрадиционный источник воды для нужд сельскохозяйственного комплекса на текущий момент и в перспективе. Ценность дренажного стока и сбросных вод гидромелиоративных систем, как водного ресурса тем выше, чем больше неудовлетворённые потребности общества в воде и чем выше его технические и экономические возможности. При квазистационарном состоянии агроландшафта отходы технологических систем должны превращаться в ресурсы и тем самым компенсировать их расходование. Поэтому при создании мелиоративных систем важным принципом становится увеличение замкнутости круговорота воды, органических и питательных веществ. Вильямс В. Р. постулировал: «единственный способ придать ограниченному количеству свойства бесконечности – заставить его вращаться по замкнутой кривой» (Вильямс В. Р., 1931).

Реализация указанного принципа использована при создании водооборотных гидромелиоративных систем, обеспечивающих рециклинг сбрасываемых с системы дренажных вод для внутрисистемного использования на орошение или другие хозяйственные нужды. Однако требование замкнутости налагает на процессы, протекающие в системе, определенные ограничения, а на мелиоративную систему требования к ее конструктивному исполнению. Экологические ограничения накладываются на объем забора и качества природных вод на орошение и объем сброса и загрязнения дренажных и сбросных вод за пределы системы. Мелиоративная система должна иметь технологические узлы по сбору и подготовке дренажных вод и возможности его использования на орошение.

11.2. Совершенствование технологии проектирования осушительных систем на основе применения новых конструкций

Осушительная система предназначена для устранения неблагоприятного воздействия избыточного увлажнения определенного массива земель и создания необходимых условий для выращивания на них сельскохозяйственных культур.

Составление проектов осушения минеральных и торфяных почв должно базироваться на материалах, характеризующих: топографию объекта, подлежащего мелиорации; гидрологические; геоморфологические; инженерно-геологические; гидрогеологические; почвенно-

мелиоративные условия территории; гидрографию, а также метеорологические условия района; экологические особенности и др.

Проектирование осушительных систем следует начинать с анализа причин заболачивания и установления вытекающих из этих причин методов осушения.

Осушительно-увлажнительная система один из видов осушительной системы. Она состоит из двух частей: осушительной (для отвода избыточной воды) и увлажнительной (для подачи к растениям дополнительной влаги в засушливые периоды) (рис. 11.1).

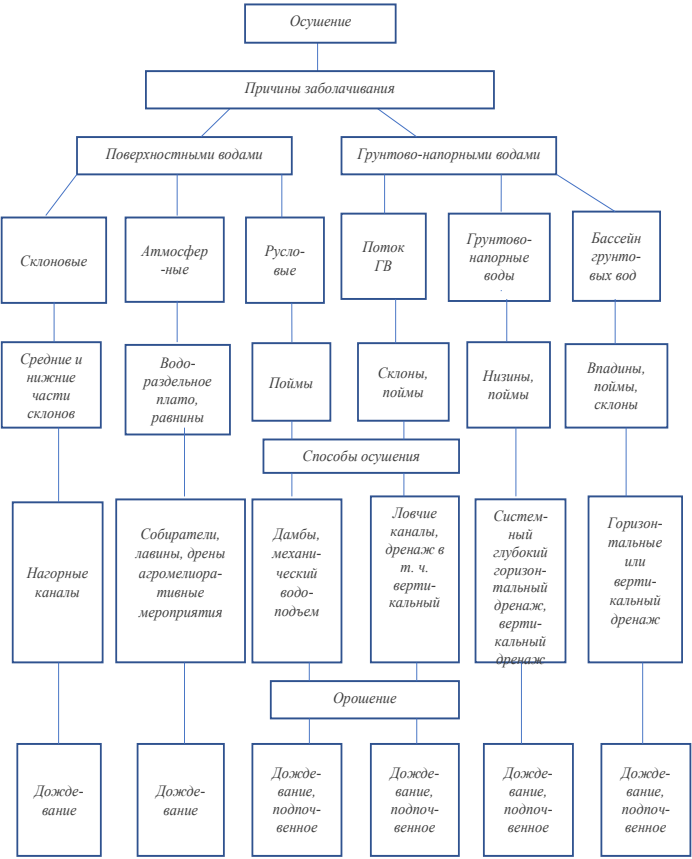


Рис. 11.1. Технология проектирования осушительно-увлажнительных систем

На данном рисунке приведены шесть способов осушения, соответствующих следующим методам осушения: 1-й – регулирование скло-

нового стока; 2-й – ускорение поверхностного стока; 3-й – регулирование потоков русловых вод; 4-й – перехват потока грунтовых вод; 5-й – снижение напора подземных вод; 6-й – регулирование грунтовых вод, а также возможные виды осушительных систем, совмещенных с увлажнительными, в зависимости от типов водного питания, гидрогеологических условий, рельефа и др.

Увлажнительная и осушительная части системы состоят из одноименных элементов: регулирующей, ограждающей и проводящей сети, гидротехнических сооружений и водоприемника-водоисточника. В состав системы входят: дорожная сеть, природоохранные сооружения, эксплуатационная сеть и мелиорируемые земли.

Осушительную систему со всеми ее элементами проектируют так, чтобы она отвечала определенным техническим, гидрологическим, экологическим требованиям. Осушительные системы должны своевременно сбрасывать поверхностные воды в доступные сроки затопления, которые зависят от вида угодья и состава культур; понижать уровень почвенно-грунтовых вод на норму осушения, при которой в корнеобитаемом слое создаются благоприятные водные и воздушные режимы; обеспечивать дополнительное увлажнение почвы; обладать достаточной водоприемной и водоотводящей способностями; обеспечивать возможность проведения полевых работ (обработка почвы и уборка урожая) в лучшие агротехнические сроки; быть технически совершенными и надежными, долговечными при минимальных ежегодных эксплуатационных затратах.

Для центральных и южных районов Беларуси характерна неустойчивость увлажнения. В данных условиях строятся осушительно-увлажнительные системы на базе закрытого дренажа в сочетании с дождеванием или подпочвенным увлажнением, позволяющие оперативно управлять водным режимом почв в любые по метеорологическим условиям годы. Наиболее совершенным способом увлажнения является дождевание. Оно используется главным образом для орошения овощей и культурных пастбищ.

Технология проектирования внутрихозяйственной осушительно-увлажнительной системы приведена на рис. 11.2.

Регулирующая сеть – основной элемент системы – может состоять из осушителей, собирателей, дрен и увлажнителей (каналы, поливные трубопроводы и пр.).

Функции осушения и увлажнения могут выполнять одни и те же элементы системы.

По типу регулирующей сети осушительные системы делят на открытые и закрытые, по способу отвода избыточных вод – на самотечные, с механическим водоподъемом и смешанные. Закрытые осуши-

тельные системы относят к наиболее рациональному виду осушительных систем одностороннего действия.

Параметры регулирующей сети должны быть рассчитаны на понижение и отвод грунтовых и поверхностных вод, на отвод воды из микро- и макropонижений после снеготаяния и выпадения дождей.

Глубину заложения закрытой регулирующей сети необходимо определять в зависимости от требуемой нормы осушения с учетом влагопроницаемости грунтов по глубине, а на торфяниках также с учетом осадки и сработки торфа.

Закрытую осушительную сеть проектируют в виде дренажа при коэффициенте фильтрации подпахотных слоев – $K_f > 0,05$ м/сут, а при меньшей водопроницаемости указанного слоя почвогрунта – в виде закрытых собирателей. Минимальная глубина заложения дрен должна быть 1,1 м, а закрытых собирателей – не менее 0,8 м. На закрытых собирателях объемные фильтры следует доводить до пахотного слоя. Коэффициент фильтрации объемного фильтра должен быть не менее 1 м/сут.

Регулирующая закрытая осушительная сеть может проектироваться в основном из керамических дренажных, пластмассовых труб, а также кротовых и щелевых дрен.

Регулирующая сеть из полиэтиленовых дренажных труб должна применяться при осушении минеральных почв, а также мелко залежных торфяников, когда дрены могут быть уложены в минеральном грунте, подстилающем торф. Регулирующая сеть из пластмассовых труб может применяться повсеместно. Минимальную глубину заложения дрен в торфяниках следует принимать 1,3 м, минимальный диаметр труб для закрытой регулирующей сети – 50 мм, уклон дрен – не менее 0,003.

Регулирующую сеть следует располагать перпендикулярно основному направлению потока поверхностных вод (поперечная схема). При уклонах менее 0,005 допускается располагать закрытые дрены вдоль уклона местности (продольная схема).

Для обеспечения надежной работы закрытого дренажа и повышения его водопримной способности применяют рулонные и объемные защитно-фильтрующие материалы (ЗФМ). Рулонные защитно-фильтрующие материалы получили широкое распространение ввиду высокой технологичности при механизированном способе строительства закрытого дренажа, особенно при поставке на объект полностью подготовленных к укладке пластмассовых дренажных труб с оберткой ЗФМ.

Пластмассовые трубы поставляются в виде бухт, обернутых в заводских условиях плотным нетканым мелиоративным или плотным геотекстильным иглопробивным [25].

Полотно нетканое мелиоративное по СТБ 1980–2009 подразделяется на следующие виды:

- ППВ – из полипропиленовых волокон;
- ПАН – из полиакрилнитрильных волокон;
- ПЭВ – из полиэфирных волокон;
- ПАВ – из полиамидных волокон;
- СПВ – из смеси отходов производства этих волокон.

В зависимости от способа получения эти виды волокон могут быть иглопробивным (И), термоскрепленным (Т), прошивным (П) или клееным (К).

Ранее при траншейном способе строительства дренажа использовали стеклохолст мелиоративный марок ВВ-М и ВВ-АМ (армированный капроновыми или нейлоновыми нитями). Стеклохолсты имеют беспорядочное расположение стеклянных волокон толщиной 15...20 мкм.

Поэтому их прочность невысока. Более высокой прочностью обладают защитно-фильтрующие материалы из нетканого иглопробивного или клееного полотна.

Полотно геотекстильное иглопробивное по СТБ 1104–98 в зависимости от вида исходного сырья подразделяется на виды:

- ПАВ – из полиамидных волокон;
- ППВ – из полипропиленовых волокон;
- ПЭВ – из полиэфирных волокон;
- СПВ – из смеси отходов полимерных волокон;
- СПВА – из смеси отходов полимерных волокон армированное.

Естественные или искусственные ЗФМ (гравий, щебень, древесная щепа и т. д.) используют для устройства объемных фильтров в слабопроницаемых грунтах помимо защиты водоприемных отверстий рулонными ЗФМ.

Соединительные детали (тройники, втулки, муфты, переходники) применяют для повышения надежности закрытого дренажа, сокращения затрат ручного труда. Особенно эффективно подсоединение с помощью тройников, так как отпадает необходимость в пробивке отверстий в дренажных трубах.

Закрытая регулирующая сеть не должна пересекать дороги, подземные коммуникации, лесонасаждения.

Подключение закрытой регулирующей сети к коллекторам следует проектировать впритык с использованием соединительной арматуры или внахлестку.

При подключении впритык дрены должны сопрягаться с коллекторами под углом 60–90°.

Для предохранения закрытого дренажа от заилиenia необходимо предусматривать защиту стыков керамических дренажных труб стек-

ловолокнистым холстом толщиной не менее 2 мм или другим равноценным по фильтрационным свойствам материалом.

Регулирующая сеть из кротовых дрен должна применяться для осушения болот при мощности торфяной залежи более 0,8 м и на минеральных землях, сложенных крот устойчивыми грунтами, при наличии глинистых частиц не менее 30 % – как дополнительное мероприятие к материальному дренажу.

Щелевые дренажи могут применяться для осушения как бес пнистых, так и пнистых болот при степени разложения торфа менее 15 % как дополнительное мероприятие к материальному дренажу.

Кротовые и щелевые дренажи следует располагать по поперечной схеме (по направлению наибольшего уклона поверхности) при значительных уклонах под углом к горизонталям с таким расчетом, чтобы их уклон не превышал 0,005. Максимальный уклон кротовых дрен в минеральных грунтах – 0,002; в торфяных – 0,003. Минимальный уклон щелевых дрен – 0,001. Минимальный диаметр кротовых дрен – 120...150 мм.

Засыпку траншей при устройстве закрытых собирателей следует производить фильтрующими материалами (песчано-гравийные смеси, крупнозернистый песок, гравий, щебень, шлак и др.), а также ранее вынутым грунтом с обязательной добавкой 30–35 % гуммированного. Засыпку траншей следует осуществлять до пахотного слоя почвы.

Открытая регулирующая сеть может применяться:

- при осушении сенокосов, севооборотов кормовых культур;
- для предварительного осушения массива перед строительством закрытого дренажа на торфяниках глубиной более 1,5 м, при наличии закисного железа более 8 % на любых грунтах.

Проводящую сеть проектируют исходя из условий рельефа местности, размещения и размеров полей севооборотов, типа грунтов и дорожной сети. Форма поперечного сечения проводящих каналов зависит от грунтовых условий: в устойчивых грунтах предусматривается трапецевидное поперечное сечение с заложением откосов в соответствии с геологическими и гидрогеологическими условиями каналов. Глубина проводящих каналов назначается в зависимости от расчетного расхода и глубины впадающих каналов.

При проектировании закрытой проводящей сети в плане коллекторы следует намечать в направлении наибольшего уклона местности, приурочивая их к понижениям рельефа местности.

Техническое совершенствование осушительных систем предусматривает внедрение рациональных режимов и способов осушения, конструкций осушительной сети с применением закрытого дренажа и новых материалов, использование водооборотных и совмещенных осу-

шительно-увлажнительных систем, повышение качества их строительства, ускоренного освоения и окультуривания осушаемых земель.

При строительстве дренажа необходимо: широкое применение гофрированных пластмассовых труб, укладываемых с помощью узкотраншейных и бестраншейных дреноукладчиков с использованием лазеров для придания дренажным линиям заданных уклонов; переход на более глубокий и частый дренаж; применение комплекса агромелиоративных мероприятий на тяжелых почвах для быстрого удаления поверхностных вод, а также природоохранных мероприятий на осушительных системах.

Технология регулирования водного режима слабопроницаемых тяжелосуглинистых и глинистых почв с $K_{\phi} < 0,05$ м/сут состоит из применения узкотраншейного дренажа с оптимальными параметрами, глубокого рыхления с внесением в корнеобитаемый слой химмелиорантов (известковых соединений, аммиачной селитры, фосфорных соединений и жидкой органики), а также закрытых собирателей глубиной 0,8–1 м.

Технологические схемы регулирования водного, воздушного, теплового и питательного режимов пойменных почв под овощные культуры, а также на культурных пастбищах состоят из осушительно-увлажнительных систем. Основным способом осушения является закрытый дренаж, способами орошения – дождевание и шлюзование.

При осушении минеральных почв применяют три способа строительства дренажа: траншейный, узкотраншейный и бестраншейный.

При траншейном способе строительства прокладка дрен осуществляется многоковшовыми экскаваторами-дреноукладчиками типа ЭТЦ-202Б, ЭТЦ-203 с шириной траншеи 50 см, при узкотраншейном способе – узкотраншейными экскаваторами-дреноукладчиками типа, ЭТЦ-2012 с шириной траншеи 25 см.

Экскаватор-дреноукладчик с лазерным уклономером ЭТЦ-203 – это разработка 2012 года ОАО «Амкодор-КЭЗ». ЭТЦ-203 – продолжение знаменитой серии экскаваторов-траншеекопателей с применением новейших материалов и технологий. Основной отличительной чертой ЭТЦ-203 от всех его предшественников, является гидравлический привод хода, что делает работу на этой машине плавной и непринуждённой. ЭТЦ-203 предназначен для прокладывания дренажных систем на одной глубине с постоянным уклоном с использованием полиэтиленовых труб. Также ЭТЦ-203 можно использовать для прокладки телефонных кабелей, подведения всех видов коммуникаций: водо- и газоснабжения (ширина траншеи – 500 мм, глубина прокладки – до 2000 мм).



Рис. 11.2. Экскаватор-дреноукладчик с лазерным уклономером ЭТЦ-203

Узкотраншейный способ строительства дренажа наиболее прогрессивный, ширина траншеи составляет 15–30 см. Технология строительства узкотраншейного дренажа аналогична строительству траншейного дренажа.

При строительстве дренажа из пластмассовых труб узкотраншейными экскаваторами-дреноукладчиками (типа ЭТЦ-2012) укладку дренажных труб следует начинать от коллектора. Бухту труб (длиной 100–150 м) устанавливают на дреноукладчик, конец трубы протягивают через направляющие кольца, спускают в желоб трубоукладчика и выпускают из него на длину 0,5 м для соединения с трубой коллектора. Одновременно с разработкой траншеи пластмассовая труба подается на дно между подстилающей и покровной лентами защитно-фильтрующего материала (ЗФМ), поступающего с катушек, установленных на бункере-укладчике.

Узкотраншейный способ строительства дренажа имеет несомненные преимуществ перед траншейным: высокую производительность, малый расход защитно-фильтрующих материалов, простоту контроля за качеством укладки дренажных труб, возможность использования как керамических, так и пластмассовых труб.

На предприятии ОАО «Амкодор-КЭЗ», расположенный в г. п. Коханово Витебской области освоили выпуск узкоспециализированной техники – траншеёкопатель Амкодор ХТ15СD1. Модель рассчитана на прокладку дренажных систем шириной 250–500 мм, укладку электрических кабелей и пластмассовых трубопроводов диаметром 50–110 мм на глубину до 2 м. Машина укомплектована белорусским 105-сильный мотором Д-245 (рис. 11.3).



Рис. 11.3. Траншеекопатель Амкор XT15CD1

В последние годы все большее применение находит бестраншейный способ укладки пластмассовых труб с помощью дреноукладчика МД-12. Дреноукладчики продавливают в грунте щель шириной 20 см и обеспечивают укладку пластмассовых труб диаметром от 50 до 90 мм на глубину до 180 см.

Для бестраншейной укладки пластмассового дренажа в торфяных и минеральных грунтах, не содержащих камней, служит бестраншейный дреноукладчик МД-12. Дреноукладчики продавливают в грунте щель шириной 20 см и обеспечивают укладку пластмассовых труб диаметром от 50 до 90 мм на глубину до 180 см. Его базой является унифицированное шасси УШ. Рабочий орган схематически представлен на рис. 11.4. С помощью навески рабочий орган заглубляется в грунт и при движении машины вперед режущая часть ножа раздвигает 5 грунт, образуя щель шириной 0,25 м [25].

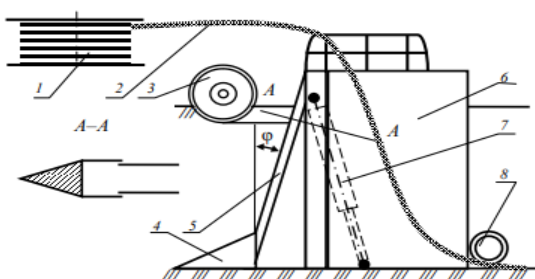


Рис. 11.4. Схема рабочего органа дреноукладчика МД-12:

- 1 – барабан; 2 – дренажная труба; 3 – дисковый дернорез; 4 – носовина; 5 – нож;
- 6 – щиты боковые; 7 – гидроцилиндр рабочего органа; 8 – прижимной ролик

Для предотвращения преждевременного обрушения щели служат боковые щиты 6. Требуемая глубина щели обеспечивается или подъемом, или опусканием рабочего органа гидроцилиндрами навески (регулирование глубины от базы) либо при плавающем положении гидроцилиндров навески – гидроцилиндром 7 рабочего органа, упирающим его в дно щели и приподнимающим за счет этого части 4 и 5 и тем самым уменьшающим глубину щели. Такой способ называется регулированием от дна. Укладываемая дренажная труба 2, обернутая фильтрующим материалом, разматывается с барабана 1, поступает в рабочий орган и прижимается к дну роликом 8. Щель закрывается за счет частичного обрушения и восстановления упругодеформированного грунта. Для повышения качества работы за счет уменьшения разрывов дерна перед режущей частью устанавливается управляемый гидроцилиндр пассивный дисковый дернорез 3.

На минеральных грунтах максимальная глубина дрены составляет 1,6 м, а на торфяных – 1,8 м. В зоне орошения применяется дренаж МД-13 со ступенчатым ножом.

Меньшее тяговое сопротивление имеет V-образный рабочий орган, или так называемый дренажный плуг, или Δ -плуг. Его схема представлена на рис. 11.5. Одна из боковых стенок, в данном случае правая, и днище выполнены в форме клиньев, которые режущими кромками 1 вырезают в грунте призму 3, приподнимают и наклоняют ее. При этом в теле грунта образуется полость, в которую внутри двоянной правой стенки пропускается дренажная труба 2. При таком способе грунт не разрушается и не уплотняется, а только вырезается и приподнимается, что позволяет не нарушать его структуру и уменьшать энергоемкость процесса укладки дрены.

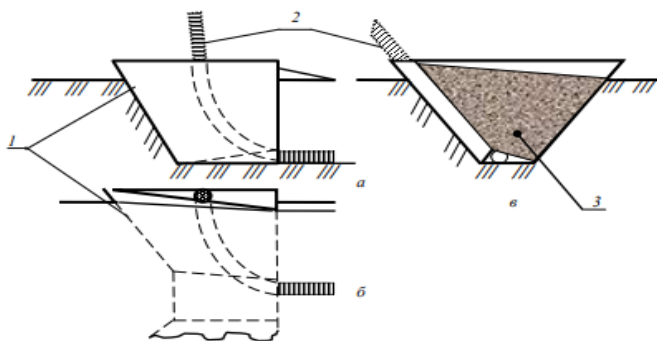


Рис. 11.5. Схема работы V-образного плуга (Δ -плуга): а – вид сбоку; б – вид сверху; в – вид спереди: 1 – режущие кромки плуга; 2 – дренажная труба; 3 – призма грунта

Один из вариантов машины с Δ -плугом представлен на рис. 11.6.



Рис. 11.6. Дреноукладчик с Δ -плугом

На основе итальянского оборудования ОАО «Амкодор-КЭЗ» выпускает машину дренажную ирригационную МДИ. Она агрегатируется с трактором БЕЛАРУС 3022 и предназначена для укладки полиэтиленовых дренажных труб наружным диаметром до 65 мм на глубину до 1000 мм. Масса оборудования – 2500 кг. Схема оборудования, опирающегося на грунт, приведена на рис. 11.7. Оно состоит из рамы 2 с площадкой для рабочего, дополнительной опоры 1, опорных колес 8, пустотелого ножа 7, стойки 5 с установленным на ней барабаном 6 с бухтами пластмассовой трубы 4. Для задания глубины укладки на рабочем оборудовании может устанавливаться приемник лазерного луча 3. Опора 1 служит для установки рабочего оборудования при хранении. При работе она поднята, а рабочее оборудование опирается на навесную систему базового трактора и опорные колеса 8. Нож 7 формирует в грунте щель, в которую укладывается разматываемая с барабана и проходящая по пустотелому ножу дренажная труба рис. 11.8, рис. 11.7.



Рис. 11.7. Оборудование МДИ в работе

Бестраншейный способ строительства дренажа позволяет значительно повысить производительность труда, снизить стоимость строительства, сохранить растительный слой почвы. Но при выдавливании щели водопроницаемость грунтов вблизи дрены уменьшается, и поэтому бестраншейный способ строительства пластмассового дренажа можно применять в торфяных и минеральных грунтах с коэффициентом фильтрации не менее 0,3 м/сут.

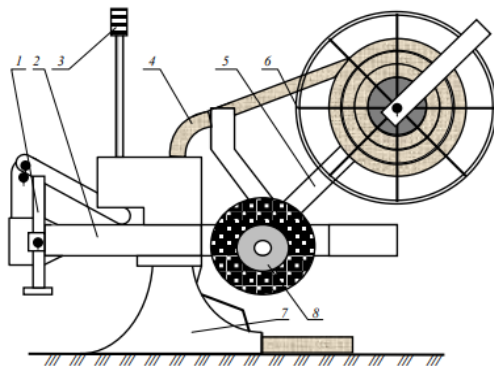


Рис. 11.8. Схема оборудования МДИ:

- 1 – дополнительная опора; 2 – рама;
- 3 – приемник лазерного луча;
- 4 – дренажная труба; 5 – стойка;
- 6 – барабан; 7 – нож; 8 – колесная опора

В качестве фильтрующих засыпок при строительстве дренажа применяют крупнозернистый песок, песчано-гравийную смесь, щебень, гравий и другие материалы. Для обеспечения надежной работы дренажа на слабопроницаемых грунтах применяются рулонные защитно-фильтрующие материалы (ЗФМ) или пластмассовые трубы с фильтрующей оболочкой.

Применение мероприятий по организации поверхностного стока при осушении слабопроницаемых почв обязательно.

В качестве агромерелиоративных мероприятий производится рыхление осушаемых слабопроницаемых почв с $K_f < 0,1$ м/сут на глубину 0,6–0,8 м или кротование на глубину не менее 0,6 м, последнее применяется в крот устойчивых почв грунтах.

Глубокое рыхление на переувлажненных тяжелых почвах применяют только на фоне закрытого дренажа в комплексе с планировкой и другими мероприятиями по организации поверхностного стока (устройство водоотводящих колодцев в понижениях рельефа и др.).

Комплекс мелиоративных работ с глубоким рыхлением рекомендуют выполнять в следующей последовательности: проведение культуртехнических мероприятий (удаление древесно-кустарниковой растительности, пней, валунов, засыпка ям, планировка); строительство осушительной сети; внесение извести на кислых почвах; вспашка на глубину гумусового слоя (20...30 см); дискование тяжелой дисковой бороной в 1...3 следа или фрезерование; планировка; глубокое рыхление; внесение удобрений.

В комплекс работ может также входить глубокое рыхление с внесением химических мелиорантов, к которым относятся известь, минеральные и жидкие комплексные удобрения и различные полимерные соединения (карбомидные смолы и др.).

Глубина рыхления зависит от глубины залегания и мощности слабопроницаемых почвенных горизонтов. Она должна быть на 20...30 см меньше минимальной глубины заложения дрен.

Осушительно-увлажнительные системы для возделывания овощных культур располагаются в центральной и прирусловой поймах, в водном питании принимают участие грунтовые воды и атмосферные осадки.

Осушительно-увлажнительная система представляет собой комплекс сооружений, который обеспечивает удаление избыточных вод с осушаемых земель и увлажнение их в засушливые периоды. Осушительно-увлажнительные системы в отличие от осушительных систем могут иметь следующие дополнительные элементы: водоподводящие магистральные, распределительные, оросительные трубопроводы и каналы с сооружениями на них; специальные регулирующие сооружения на закрытой и открытой осушительной сети; дождевальные машины и установки; насосные станции; водоисточники с водозаборными сооружениями.

На мощных торфяниках рекомендуется применять осушительно-увлажнительную систему, состоящую из закрытого дренажа и устройств для дождевания, такая система применима для севооборота всех типов. В целях обеспечения оптимальных норм осушения для овощных культур в вегетацию рекомендуется закрытый дренаж глубиной 1,6–1,8 м/с расстояниями между дренами 20–25 м, которые впадают в закрытые коллекторы.

Поливы проводят с помощью дождевальных машин и установок, которые в зависимости от создаваемого напора и дальности полета струи делятся на низконапорные, короткоструйные, с напором воды 10–20 м и радиусом действия струи 5...6 м; средненапорные, среднеструйные, с напором воды 30...40 м и дальностью струи 20...30 м; высоконапорные, дальнеструйные, с напором воды 50...80 м и дальностью струи 50...80 м.

11.3. Анализ эффективности эксплуатации и проектирования мелиоративных систем

Государственной программой сохранения и использования мелиорированных земель поставлена задача достижения продуктивности мелиорированных сельскохозяйственных земель на уровне 48 ц к. ед./га. При этом новое осушение рекомендуется проводить на высокоплодородных землях или на ранее законсервированных объектах мелиорации. Существенно большие площади намечены для производства работ по реконструкции мелиоративных систем, в результате чего запланировано увеличение урожайности сельскохозяйственных культур в 1,3–3 раза [26, 27]. Доля осушенных земель в составе сельскохозяйственных угодий республики составляет 31,7 %.

К настоящему времени с учетом давности производства мелиоративных работ и действия ряда сопутствующих негативных факторов водный режим на довольно значительной части мелиорированных земель можно оценить как неудовлетворительный. В ряде хозяйств возникают проблемы со своевременным выполнением сельскохозяйственных работ по причине избыточного увлажнения почв и наличия понижений, частично или полностью заполненных поверхностными водами и зарастающих древесно-кустарниковой растительностью. Характеристика современного состояния мелиоративных объектов. На основании анализа материалов предпроектных почвенно-мелиоративных изысканий на объектах нового строительства и реконструкции мелиоративных систем, выполненных специалистами РУП «Белгипроводхоз», установлено, что наиболее частыми причинами неблагополучия на мелиорированных землях являются:

- заиление и деформация открытых каналов с частичным обрушением откосов;
- заиление дренажа и устьев коллекторов;
- зарастание открытых каналов влаголюбивой травяной и древесно-кустарниковой растительностью;
- неудовлетворительное разравнивание кавальеров после выполнения работ по ремонтам открытой сети;
- неудовлетворительная организация поверхностного и внутрисочечного стоков;
- просадочные явления;
- отсутствие или неудовлетворительная организация поверхностного стока из кюветов дорог, примыкающих к мелиоративным объектам;
- разрушение дренажных и коллекторных труб, переездных и подпорных сооружений;
- разрушение устьев дренажных систем;
- уплотнение подпахотного горизонта.

На каждом мелиоративном объекте, как правило, указанные факторы встречаются в различных сочетаниях. Их влияние приводит к возникновению многочисленных мест продолжительного или постоянного застоя поверхностных вод, зарастанию сорной, болотной и древесно-кустарниковой растительностью, что приводит к сокращению реальных посевных площадей. Исследования проводили на объектах мелиоративного строительства и реконструкции последних лет. Характеристика объектов до проведения мелиоративных работ приведена в табл. 11.1.

Таблица 11.1. **Характеристика состояния объектов до проведения работ по строительству и реконструкции мелиоративных систем**

Наименование мелиоративного объекта	Балл бонитета почв	Число переувлажненных понижений, шт.	Наличие древесно-кустарниковой растительности, га
«Налазы» и «Крапивенка», СПК «Бродец» Березинского р-на Минской обл.	21,0	21	5,7
«Ректа», ОАО «Горецкое» Горецкого р-на Могилевской обл.	26,4–37,6	25	2,5
«Коммунист», уч. 2, ОАО «Агровидзы» Браславского р-на Витебской обл.	20,5–31,1	12	0,7
«Любиз», СПК «Овсянка» Горецкого р-на Могилевской обл.	32,0	22 (6,2 га)	18,0
«Азаровичи», УКСП «Совхозкомбинат «Горки» Горецкого р-на Могилевской обл.	36,0	5 (1,1 га)	6,6
«Лань», СПК «Морочь» Клецкого р-на Минского обл.	33,0–37,0	12	28,3
«Андеколово», уч. 3, КСУП «Племзавод «Ленино» Горецкого р-на Могилевской обл.	31,0	33 (1,12 га)	35,6
«Андеколово», уч. 3, КСУП «Племзавод «Ленино» Горецкого р-на Могилевской обл.	30,0	29 (1,37 га)	27,3

Приведенные в табл. 11.1 данные показывают, что на всех изучаемых объектах до производства мелиоративных работ имелись признаки неблагоприятного для сельскохозяйственных культур водного режима, а именно: переувлажнение почв и застой поверхностных вод в понижениях, развитие процессов интенсивного вторичного заболачивания, возникновение и распространение сорной, болотной и древесно-кустарниковой растительности, снижение и потеря урожаев. Общее число переувлажненных понижений на объектах варьируется от 5 до

33, при этом размеры таких понижений могут быть значительными. Например, на объекте «Любиж» средняя площадь переувлажненного понижения достигала 0,28 га, а общая площадь понижений составляла 3,1 % площади объекта. Хаотичный их разброс в границах полей создает проблемы и неудобства для сельскохозяйственной обработки, вследствие чего образуются постоянно увеличивающиеся в размерах контуры недопашек и очаги сорной, болотной и древесно-кустарниковой растительности. В частности, на исследуемых объектах реконструкции зарастание древесной и кустарниковой растительностью отмечено на площади 5,7 га («Налазы» и «Крапивенка») и 28,3 га («Лань»), что составляет соответственно 3,4 и 4,7 % площади мелиоративного объекта. Несколько иная ситуация наблюдается на объектах нового строительства, где площади под древесно-кустарниковой растительностью существенно больше и достигают 27 и даже 36 % площади объекта («Андеколово», уч. 3 и 4) (табл. 11.2).

Таблица 11.2. **Общая характеристика объектов исследования**

Наименование мелиоративного объекта	Площадь объекта, га	Вид работ	Планируемое с.-х. использование
«Налазы» и «Крапивенка», СПК «Бродец» Березинского р-на Минской обл.	169,0	Реконструкция мелиоративных систем	159 га – луговые сенокосные, 10 га – прочие (каналы, дороги, пруды)
«Ректа», ОАО «Горецкое» Горецкого р-на Могилевской обл.	113,0	Новое строительство	113 га – пахотные
«Коммунист», уч. 2, ОАО «Агро-овидзы» Браславского р-на Витебской обл.	125,0	Реконструкция мелиоративных систем	120 га – пахотные, 5 га – прочие
«Любиж», СПК «Овсянка» Горецкого р-на Могилевской обл.	200,0	Новое строительство	197 га – пахотные, 3 га – прочие
Азаровичи», УКСР «Совхоз-комбинат «Горки» Горецкого р-на Могилевской обл.	31,0	Новое строительство	17 га – пахотные, 13 га – луговые,

Состав проектных решений. Авторы проанализировали проекты нового мелиоративного строительства 2010–2012 гг. и проекты реконструкции мелиоративных систем 2008 и 2011 гг. При проектировании новых мелиоративных объектов и объектов реконструкции мелиоративных систем применялись различные варианты проектных решений по расположению осушительной сети, организации поверхностного стока и других инженерных мероприятий, по использованию технологических схем. Согласно проектам, в зависимости от почвенных и гидрологических особенностей объекта осушение земель предусмотрено

выполнять систематическим пластмассовым дренажем в сочетании с различными мероприятиями по организации поверхностного стока с отводом избыточных вод самотечным способом. Отвод воды из регулирующей закрытой сети в водоприемник, а также перехват грунтовых и поверхностных вод, поступающих с прилегающего водосбора, осуществляется сетью запроектированных каналов (ниш).

Параметры и типы крепления русел открытой сети назначаются из условия их устойчивости при пропуске расчетных расходов. Закрытая регулирующая сеть проектируется из полиэтиленовых гофрированных труб диаметрами 63 и 90 мм, дренажные коллекторы – из пластмассовых гофрированных труб диаметрами 90, 110, 160 и 200 мм. Расстояния между регулирующими дренами определяются по методике А. И. Мурашко согласно РПИ-82, часть II, книга 1 (ТКП 45-3.04-8–2005). В местах постоянных вымочек и в замкнутых понижениях предусматривается сгущение закрытого дренажа в 1,5–2 раза. В дополнение к дренажу в замкнутых понижениях устраиваются колонки поглотители поверхностного стока и колодцы поглотители. Минимальная глубина заложения дрена в минеральных грунтах 1,1 м, в торфяных с учетом осадки – 1,3 м. Минимальный уклон дрена на безуклонной поверхности принимается 0,001, а на остальных участках – в соответствии с уклоном поверхности. Для организации поверхностного стока на объекте наиболее широко применяются следующие мероприятия:

- автономный закрытый коллектор с колодцем-поглотителем;
- ложбины стока;
- открытые воронки;
- сгущение дренажной сети в понижениях;
- фильтрующая засыпка дрена в понижениях и тальвегах;
- планировка мелиорируемых земель (бульдозерная и длиннобазовым планировщиком);
- выводные борозды.

При устройстве прудов-копаней для предотвращения переувлажнения/затопления площадей вокруг них, а также для обеспечения благоприятного для сельскохозяйственных культур водного режима почв предусматривается регулирование уровня воды путем устройства сбросных коллекторов. Для имеющихся прудов-копаней планируется выполнение работ по их очистке, углублению и благоустройству прилегающей территории. Сводка древесно-кустарниковой растительности производится путем выполнения таких операций, как: валка с корня деревьев с трелевкой, разделкой древесины, корчевкой пней, обивкой земли с них, перемещением пней в кучи и засыпкой подкоренных ям; расчистка площадей от редкого кустарника корчевателем-собирателем с перетряхиванием, сгребанием, перемещением в вал и

дополнительным перетряхиванием; срезка надземной части кустарника; расчистка площадей от корневой системы кустарника корчевателем-собирателем после сводки густого кустарника мотокроссом с перетряхиванием и сгребанием; погрузка и вывозка древесно-кустарниковой массы для складирования; грубая бульдозерная планировка, вспашка кустарниково-болотными плугами земель после кустарника с дискованием в четыре следа и выравниванием в два прохода; прикатывание торфяно-болотных почв; вспашка чистых сильно задернованных земель с дискованием в три следа и выравниванием в два прохода; фрезерование чистых закоряченных земель на торфяных почвах в один след, вспашка кустарниково-болотными плугами с дискованием в два следа, выравниванием в два прохода и прикатыванием.

Состав технических решений (см. табл. 11.2), применяемых при строительстве и реконструкции мелиоративных систем, определяется почвенными и гидрогеологическими условиями, современным техническим состоянием элементов старой осушительной системы, а также планируемым сельскохозяйственным использованием осушенных почв [5–7]. Так, для ликвидации переувлажнения неглубоких (до 0,2 м) круглых и овальных обширных (площадью 0,1–5,0 га) понижений на дерновых временно избыточно увлажненных рыхло супесчаных, подстилаемых с глубины до 0,5 м песком и моренным суглинком глубже 1,0 м почвах может использоваться существующая дренажная сеть с дополнением колодцами-поглотителями и колонками-поглотителями. При необходимости выполняется промывка дренажа. Как правило, эти меры дают ожидаемое улучшение водного режима (объект «Налазы» и «Крапивенка»).

При локализации переувлажнения в виде овальных или сложной формы контуров площадью 0,1–1,0 га в нижних частях пологих склонов среди массивов дерново-подзолистых временно избыточно увлажненных супесчаных (часто рыхло супесчаных) почв, подстилаемых моренным суглинком или слоистыми песчано-супесчаными отложениями, эффективна закладка в дополнение к существующему новому дренажу с устройством колодцев-поглотителей или колонок-поглотителей («Ректа»; «Коммунист», уч. 2; «Любиж»).

Осушение замкнутых межхолмных понижений глубиной 0,2–0,3 м со стоянием поверхностных вод в нижней их части, расположенных среди массивов дерново-подзолистых глееватых супесчаных и суглинистых почв, подстилаемых с глубины менее 1,0 м моренным суглинком, глубже – песчаными отложениями, может производиться путем устройства ложбин стока с выводом их через открытые воронки стока в существующие каналы («Ректа»; «Любиж»; «Азаровичи»). При наличии на объекте глубоких (0,5–0,7 м) вытянутых понижений, расположенных в тальвегах и межхолмных понижениях на дерновых

глееватых суглинистых почвах, подстилаемых мощными делювиальными суглинками, выполняются их засыпка и разравнивание с выводом в существующие каналы («Азаровичи»; «Андеколово», уч. 3).

В обширных (0,5–5,0 га) плоских глубиной 0,3–0,5 м понижениях с зеркалом воды в нижней их части устраиваются дополнительный дренаж и при необходимости колодцы-поглотители, в некоторых случаях – ложбины стока («Коммунист», уч. 2; «Андеколово», уч. 3 и 4). Для осушения круглых и овальных понижений глубиной 0,2–0,5 м на дерновоподзолистых глеевых суглинистых почвах, подстилаемых с глубины 0,4–0,6 м моренным суглинком, могут применяться ложбины стока, либо засыпка понижений местным грунтом («Азаровичи»; «Андеколово», уч. 3 и 4). Неглубокие (0,2–0,3 м), часто замкнутые блюдцеобразные понижения, заполненные водой и расположенные среди дерново-подзолистых временно избыточно увлажненных и глееватых суглинистых почв на слоистых песчано-супесчаных отложениях, ликвидируются заложением дополнительного дренажа с вод поглощающими устройствами или устройством ложбин стока («Ректа»; «Азаровичи»). При наличии глубоких (0,8–1,0 м) понижений площадью до 1,0 га с застоем воды на иловато глеевых супесчаных и суглинистых почвах, подстилаемых с глубины 0,6–0,8 м моренным суглинком, рекомендуется устраивать пруды копани («Азаровичи»; «Андеколово», уч. 4). Глубокие ($>1,0$ м) обширные (0,5–5,0 га) понижения, заполненные водой, на торфяно- и торфянисто-глеевых почвах, в том числе антропогенно преобразованных, подстилаемых с глубины 0,3–1,0 м глиной, супесью, песком, слоистыми отложениями, преобразуются в пруды копани с выполнением комплекса дополнительных мероприятий (одиночные дрены, колодцы-поглотители, засыпка местным грунтом) («Налазы»; «Крапивенка»; «Лань»).

Глубокие ($>1,0$ м) обширные (0,5–10,0 га) понижения, полностью заполненные водой и подтапливающие прилегающие территории, сформированные в углублениях среди массивов торфяных почв, развитых на осоково-гипновых торфах, подстилаемых песками, могут быть выведены из сельскохозяйственного использования для устройства экологических зон. В случае невозможности принятия такого решения устраивают пруды-копани или прокладывают новые открытые каналы с комплексом дополнительных мероприятий («Налазы»; «Крапивенка»; «Лань»).

Выполнение запроектированных работ и мероприятий позволит существенно улучшить водный режим почв объектов нового мелиоративного строительства и реконструкции мелиоративных систем, а также обеспечить их эффективное сельскохозяйственное использование. При этом ожидается значительное увеличение урожайности сельскохозяйственных культур до 41–59 ц к. ед./га. Срок окупаемости капиталовложений составляет от 6 до 13 лет.

11.4. Ресурсосберегающие технологии обслуживания закрытой дренажной сети

Одним из самых эффективных способов осушения переувлажненных и заболоченных сельскохозяйственных земель является осушение закрытыми дренажем. Подземное расположение мелиоративной сети обеспечивает близкий к единице коэффициент земельного использования, незначительно повышает контурность полей, тем самым, не препятствует работе современной широкозахватной высокопроизводительной техники и не нарушает логику движения сельхозмашин, безопасно для людей, техники и животных. Однако обслуживание закрытых сетей имеет свою специфику [28, 29, 30].

Мероприятия по техобслуживанию предусматривают своевременное выполнение уходных и ремонтных работ, удельная стоимость которых зачастую превышает стоимость на открытой сети. Нередко, в рамках существующих методик и технологий, выделяемых средств недостаточно для полноценного выполнения всего комплекса работ. В то же время несвоевременная очистка от заиливания дренажных трубопроводов приводит к преждевременному переувлажнению земель на мелиоративных объектах, что в конечном итоге требует преждевременного проведения капитального ремонта или реконструкции данных объектов.

Существующие технологии по очистке закрытой дренажной сети от заиливания довольно трудоемки и энергоемки. В частности, отсутствуют эффективные технологии для очистки устьевой части коллекторов от заиливания и корней растений, что приводит к необходимости их раскопок экскаватором. Промывка коллекторов выполняется с применением высоконапорных установок типа УПД-120, агрегируемых с тракторами тягового класса 1,4 – 2. В работе задействован также трактор для подвоза воды, одноковшовый экскаватор для отрывков шурфов и двое рабочих. Снизить затраты по очистке закрытой дренажной сети от заиливания возможно применяя технологии и оборудование, разработанные в РУП «Институт мелиорации». В частности, для очистки устьев на расстоянии до 3,0 м можно использовать насадку совковую, которая закрепляется на телескопической штанге. Для удаления корней растений из устьевой части применяется насадка корневая, которая также закрепляется на телескопической штанге или стеклопластиковом стержне устройства ОД-100. В настоящее время решения о промывке коллекторов на объектах реконструкции принимается на основании визуального осмотра мелиоративного объекта и расположенных на нем сооружений, находящихся в зоне вторичного заболачивания. Внутреннее состояние коллекторов не обследуется, что приводит, в ряде случаев, к избыточным объемам работ по промывке кол-

латорной сети при разработке проектно-сметной документации. Для оценки внутреннего состояния коллекторов и частичной очистки их от заилиenia и охры в РУП «Институт мелиорации» разработано устройство ОД-100 (рис. 11.9).



Рис. 11.9. Оценка внутреннего состояния коллектора с применением устройства ОД-100

Данное устройство обслуживают двое рабочих. Комплект оборудования ОД-100 включает: тележку с барабаном; закрепленный на барабане стеклопластиковый стержень длиной 100 или 150 м; пять специальных цилиндрических контрольных головок; набор насадок, предназначенных для очистки коллектора от заилиenia и охры; счетчик, служащий для определения расстояния до места установленного повреждения коллектора.

Для оценки внутреннего состояния коллекторов используются контрольные головки диаметром 60, 80, 100 и 125 мм. Свободный проход данных головок в коллекторах диаметром соответственно 75, 100, 125 и 150 мм означает, что заилиenie не превышает 14 % площади сечения трубопровода, т. е. состояние коллектора согласно Правилам эксплуатации мелиоративных систем, удовлетворительное и не требует промывки.

При наличии дренажного стока очистку полости коллекторов от заилиenia, окисных соединений железа и частично от корней растений возможно выполнять с применением насадок пластинчатых НП-60, НП-80, а также насадок мягких НМ-60 и НМ-80 диаметром соответственно 60 и 80 мм (рис. 11.10), которые закрепляются на стеклопластиковом стержне устройства ОД-100.

При продвижении по коллектору насадки пластинчатые разрыхляют отложения, которые затем выносятся наружу потоком воды. Эффективность очистки при этом зависит от величины расхода и скорости потока воды в коллекторе. Насадки мягкие позволяют более эффективно производить очистку, особенно при малых величинах расхода воды в коллекторе рис. 11.11.



Рис. 11.10. Насадки пластинчатые НП-60 и НП-80



Рис. 11.11. Насадки мягкие НМ-60 и НП-80

При проталкивании насадки по полости коллектора эластичные манжеты изгибаются и не препятствуют ее прохождению над отложениями, но в тоже время частично их рыхлят.

При извлечении насадки манжеты отгибаются и работают как скребок, захватывают отложения, а также отдельно расположенные корни растений и выносят их из коллектора. Эффективная очистка дренажных трубопроводов с применением данных насадок возможна при степени заилиenia полости трубок до 35 % от площади сечения.

Результаты обследования с применением устройства ОД-100 273-х коллекторов общей протяженностью 45,8 км на объектах, подлежащих реконструкции показали, что значительно заилена в основном устьевая часть, а с увеличением расстояния от устья заилиение трубопроводов существенно снижается. По трассе коллекторов значительное заилиение наблюдалось только в местах повреждений дренажных трубок и отсутствия защитно-фильтрующего материала.

Основными причинами повреждения коллекторов являлись: смещение и разрушение трубок, а в некоторых случаях даже их частичное отсутствие; зарастание корнями древесно-кустарниковой растительности; недостаточная глубина заложения. К дальнейшей эксплуатации, в связи с наличием в полости трубок корней кустарника, недостаточной глубиной заложения, а также наличием заилиения более 50 % от площади сечения трубопровода оказались не пригодны 5,3 км (12 %). На протяжении 6,4 км заилиение составляло до 15 % от площади сече-

ния трубопровода, т. е. согласно Правилам эксплуатации мелиоративных систем дренажная сеть находилась в удовлетворительном состоянии. Степень заилиenia в пределах 15–35 % наблюдалось на протяжении 25,8 м что составляет 56 % от общей протяженности обследованных трубопроводов и при наличии дренажного стока очистку возможно выполнять с минимальными затратами с применением устройства ОД-100. Существенное заилиение 35–50 % было отмечено на участке 8,4 км или 18 % от всех обследованных коллекторов, причем заилиение 40–50 % отмечалось только в местах разрушения дренажных труб и приустьевой части коллекторов. Степень заилиения свыше 50 % на всем протяжении трубопровода не обнаружена, аналогичное заилиение возможно только при отсутствии фильтрующего материала или его разрушении и в данном случае очистка коллектора не целесообразна, так как через 2–3 года произойдет повторное заилиение. На дренажной системе при степени заилиения коллектора более 50 % целесообразно выполнить сгущение дренажа с устройством нового коллектора.

Предварительное обследование закрытой коллекторной сети с использованием устройства ОД-100, а также применение данного устройства для очистки, позволяет значительно сократить объем выполняемых работ по очистке сети от заилиения на объектах, подлежащих реконструкции, а также существенно снизить стоимость работ. Действующая технология промывки коллекторной сети предусматривает одновременное использование установки промывки дренажа УПД-120 и одноковшового экскаватора на объекте. При этом в процессе промывки коллектора машиной УПД-120 одноковшовый экскаватор простаивает и наоборот, происходит простой дренажно-промывочной машины при отрывке шурфов и устранении неисправностей. В ряде случаев суммарные простои механизмов составляют до 50 % рабочего времени.

Снижение простоев механизмов и повышение производительности труда обеспечивает разработанная в РУП «Институт мелиорации» двухэтапная технология производства работ с использованием средств малой механизации, таких как: направляющее устройство, устройство для забора воды, и новых конструкций головок промывочных. Двухэтапная технология предусматривает предварительную оценку внутреннего состояния коллектора с применением устройства ОД-100. При обнаружении неисправностей, определяется их точное расположение с использованием поискового устройства типа ПУ-2, далее осуществляется отрывка шурфа одноковшовым экскаватором и производятся ремонтные работы. Промывка коллектора выполняется в необходимых случаях только после оценки его состояния и ликвидации неисправностей при их обнаружении. Разнесение во времени использования механизмов обеспечивает снижение их вынужденных простоев, а также повышает производительность работ.

Разработанная двухэтапная технология, основанная на применении средств малой механизации, по сравнению с действующей, обеспечивает снижение затрат труда рабочих примерно на 17 %, а эксплуатацию механизмов на 30 %.

Установка для промывки дренажа, предназначена к применению в агропромышленном комплексе для промывки сильно загрязненных дренажных систем на мелиорированных землях и не имеет аналогов на постсоветском пространстве.

В части воздействия климатических факторов внешней среды изготавливается в исполнении «0» для категории размещения «1» ГОСТ 15150.

В состав установки входят трактор «Беларус-92 П», установка промывки, комплект сменных насадок рис. 11.12.



Рис. 11.12. Внешний вид установки в транспортном положении

Устройство промывки дренажа навесного типа состоит из рамы, барабана намотки полиэтиленовой трубы, механизма поворота, при-

водных гидромоторов «DANFOSS», водяного насоса M135 ИТАЛИЯ, гидрораспределителя AMI или Hydrocontrol, регулятора расхода 1PP10/3 TG50, карданного вала, гидроцилиндров (перевода в транспортное положение, подъема, поворота и выдвигания стрелы).

Установка для промывки дренажа УПД-120 с существующими заводскими параметрами имеет давление в промывочной головке 0,8...1,0 Мпа при давлении на выходе из насоса 5,0 Мпа. Расход воды при этом составляет 55...65 л/мин. Дренопромывочная машина не оборудована направляющим устройством для подачи промывочного рукава в полость коллектора. В связи с этим промывочный рукав проталкивается по коллектору практически вручную.

Машина УПД-120 обеспечивает промывку дренажных трубопроводов диаметров 50 – 75 мм, заиленных рыхлыми отложениями за один проход промывочной головки

При больших диаметрах дренажных трубопроводов количество проходов, требуемое для полной очистки, возрастает, так как вынос размытых отложений потоком воды обеспечивается на ограниченной длине от промывочной головки из-за недостаточной транспортирующей способности потока.

При промывке, продвигающийся в коллекторе промывочный рукав изгибается из-за недостаточной жесткости и прямолинейности и соприкасается со стенками дренажного трубопровода или поверхности плотных отложений. С увеличением диаметра трубопровода и длины участка, на который вошел в коллектор промывочный рукав, количество контактов его со стенками возрастает. При этом за счет трения рукава о стенки возрастает сопротивление его дальнейшему продвижению. Поэтому для дренажных трубопроводов диаметром более 75 мм максимально возможная длина продвижения промывочного рукава до его остановки, даже при минимальном заилении или его отсутствии, составляет 80 – 120 м.

Дренопромывочная машина УПД-120 навешивается на трактор, имеющий навесное устройство НУ-2. Насос диафрагменный М 135/S. К нагнетательному каналу насоса присоединяется промывочный рукав, к всасывающему-заборный шланг. Привод насоса осуществляется через карданный вал от вала отбора мощности трактора. Барабан служит для разматывания промывочного рукава при работе машины. Вал барабана пустотелый, через его воду от насоса поступает в промывочный рукав и затем через отверстия промывочной головки в дренаж. Дренопромывочная машина УПД-120 снабжена предохранительным клапаном для перепуска воды в системе при повышении давления выше допустимого. Контроль давления в системе осуществляется манометром. Заборный шланг служит для подвода воды из цистерны или водотока. Шланг одним концом присоединяется к всасываю-

щему каналу насоса при помощи зажима. На другом конце шланга имеется сетка, предохраняющая всю систему от попадания твердых предметов при заборе воды из водоисточника. Для подвозки воды используются прицепные цистерны объемом не менее 2 м³, а для забора и подвозки воды из ближайшего водоисточника может использоваться машина мини РЖТ-4М.

В комплекте дренапромывочной машины УПД-120 должно входить поисковое устройство «ТАСКА» (рис. 11.13) или ПУ-1. Поисковое устройство предназначено для обнаружения с поверхности земли мест закупорки коллекторно-дренажной сети. Поисковое устройство представляет собой конструкцию, состоящую из двух основных узлов: генератора сигналов, смонтированного в корпусе головки и приемного устройства.



Рис. 11.13. Поисковое устройство «ТАСКА» и поисковая головка

Регламент применения поискового устройства:

1. Промывочная головка с рукавом остановилась в полости коллектора.
2. С работающим насосом промывочный рукав извлекается из коллектора и наматывается на барабан.
3. После извлечения промывочного рукава и отключения насоса промывочная головка снимается из рукава, а на ее место навинчивается поисковая головка с генератором.

4. Промывочный рукав с поисковой головкой перемещают в устье коллектора и с подачей воды или вручную продвигают в полости коллектора до места остановки.

5. Продвигаясь по трассе коллектора с приемным устройством, находят по максимальному уровню звукового и светового сигнала (TRACKA) или стрелки индикатора (ПУ-1) место остановки поисковой головки.

6. В месте остановки поисковой головки отрывается шурф и извлекаются одна или несколько коллекторных трубок для устранения повреждения или закупорки коллектора.

7. После устранения неисправности промывочный рукав с поисковой головкой извлекается из коллектора и вместо поисковой устанавливается промывочная головка.

Подготовительные работы.

Промывка дренажа осуществляется на основании дефектного акта, в котором обосновывается необходимость ее проведения исходя из состояния водно-воздушного режима осушаемых земель, наличия угнетенных от переувлажнения посевов и вымочек сельскохозяйственных культур. Обязательным приложением к дефектному акту является выкопировка из генплана М 1:2000 или М1:5000 (фотоплан) с ведомостью коллекторов на мелиоративных системах или исполнительная документация.

До начала работ по промывке дренажа подрядчиком производится поиск устьев по исполнительной или проектной документации (картографический материал) и очистка их от наносов.

При разрушении устьев производится их разборка до трубы коллектора с последующим восстановлением после промывки коллектора.

Обнаруженные устья должны быть зафиксированы на местности с помощью вешек.

По исполнительной, а при ее отсутствии по проектной документации и результатом поиска устьев составляется схема осушительной сети, на которой отражается плановое положение каналов, закрытых коллекторов, их номера, пикеты или расстояния от фиксированной реперной точки до первого устья, расстояния до последующего устья, длины коллекторов, углы поворотов.

Для удобства пользования членами механизированного звена по промывке дренажа схема должна составляться на листе формата А4 или А3 для одного или нескольких коллекторных каналов с указанием их местоположения на прилагаемой обзорной схеме объекта.

На схеме, кроме указанной информации, должны указываться местоположение источников воды для промывки, порядок работ на объекте, обеспечивающий минимум холостых переездов техники.

Состав работ по промывке.

После выполнения подготовительных работ, обеспечивающих доступ к коллектору, осуществляется промывка, которая, в общем случае, включает следующие операции:

- закрепление на местности трассы коллектора (дрены) вешками;
- наполнение цистерн и подвоз воды, подключение цистерны к дренажнопромывочной машине;
- промывка участка коллектора (дрены) до остановки промывочной головки;
- наматывание шланга на барабан при работающем насосе;
- замена промывочной головки поисковой и поиск места повреждения согласно регламенту применения поискового устройства;
- отрывка шурфа в месте остановки промывочного рукава с поисковой головкой;
- вскрытие трубок в шурфе для установления глубины заложения коллектора, диаметра и материала трубок, характера повреждения и степени заилиenia;
- при наличии заилиenia на последующем участке промывка коллектора происходит аналогично и устраняются неисправности при повреждении коллектора на последующих участках;
- переезд на другую позицию и подготовка машины к работе;
- изоляция труб в шурфе фильтрующим материалом и присыпка растительным грунтом;
- обратная засыпка шурфов погрузчиком-экскаватором ТО-49;
- заполнение полевого журнала промывки дренажных коллекторов, который предъявляется комиссии по приемке выполненных работ.

Технология работ.

После установки дождепромывочной машины на противоположной от устья берме канала или у шурфа таким образом, чтобы барабан с намотанным рукавом оказался в створе дренажного трубопровода, разматывают напорный рукав с барабана. Вводят в полость устьевой трубы или коллектора промывочную головку с рукавом и подают воду под напором. Рукав продвигается по трубе с помощью ручной подачи двумя рабочими.

Если внутренний диаметр устьевой трубы превышает наружный диаметр коллекторной трубы и отсутствует качественная заделка между ними и в случаях существенных зазоров между коллекторными трубками рукав с промывочной головкой может попасть в зазор между ними и уйти в грунт затрубного пространства. Если после продвижения рукава на расстояния больше длины устьевой трубы продвижение шланга затруднено, а поток воды существенно уменьшился, то это свидетельствует о том, что рукав ушел мимо коллекторной трубы. В данном случае при увеличенных оборотах двигателя трактора с помощью воды необходимо извлечь рукав путем его сматывания уста-

новкой и с помощью ручного оттягивания. Если это не удастся, то необходимо извлечь с помощью раскопок (рис. 11.14).



Рис. 11.14. Установка для промывки дренажа в работе по промывке коллекторной сети

Промывку коллекторов следует осуществлять участками. При степени заиливания более 50 % промывку каждого захвата осуществляют последовательным прохождением отрезков коллекторов длиной 20–30 м, т. е. промывают данный участок, а затем включают лебедку промывочного шланга при работающем насосе и извлекают его до устья коллектора. Данная операция повторяется до истечения относительно светлой воды. Затем совершают очередной проход на 40–60 м с последующим извлечением до устья и т. д. При значительной концентрации пульпы длина промываемого участка должна быть уменьшена (рис. 11.15).

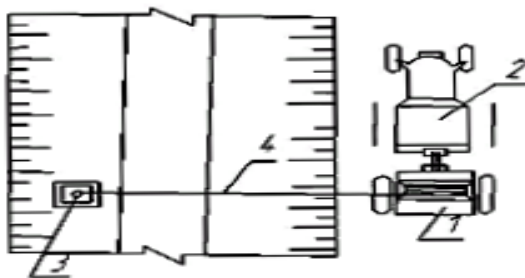


Рис. 11.15. Схема промывки закрытого коллектора:
1 – барабан; 2 – трактор; 3 – коллекторное устье;
4 – промывочный шланг

При степени заилиenia менее 50 % число проходов может быть уменьшено, а длина увеличена. При этом ведут визуальный контроль консистенции пульпы, вымываемой из коллектора, оценивая возможность дальнейшего увеличения длины прохода по мутности истекающего из коллектора потока. Промывку прекращают, когда из коллектора начнет поступать светлая вода.

При промывке рабочие проталкивают рукав со скоростью не более 0,2 м/с. При остановке шланга впоследствии встречи с препятствием его оттягивают обратно на 0,5–1 м и снова проталкивают вперед. Такую операцию проделывают несколько раз, поворачивая рукав вдоль продольной оси до преодоления препятствия.

После промывки участка коллектора рукав должен извлекаться со скоростью 0,3–0,4 м/с. При высокой концентрации пульпы, содержащей большое количество песчаных частиц, скорость извлечения рукава должна быть снижена до 0,15–0,2 м/с.

На установке УПД-120 регулятор скорости извлечения рукава отсутствует, а скорость составляет до 0,15–0,2 м/с.

Промывку повторяют до полной очистки трубопровода от наносов. Ориентировочное количество промывок установкой УПД-120 в зависимости от диаметра и степени заилиenia коллектора приведено в табл. 11.3.

Таблица 11.3. Количество промывок установкой УПД-120 в зависимости от диаметра и степени заилиenia полости коллектора

Диаметр коллектора, мм	Степень заилиenia в %		
	Менее 30	30–50	Более 50
75	1	2	2...3
100	1...2	2...3	3...4
150	1...2	2...4	3...5
175	2...3	3...4	4...6
200	3...4	4...5	5...6

При встрече промывочной головкой препятствия продвижение рукава прекращается. Постепенно, повышая давление воды, надо стремиться преодолеть препятствие. Если это не удастся, следует при помощи поискового устройства, согласно регламенту его применения определить местонахождение закупорки и отрыть шурф. При отсутствии поискового устройства место остановки промывочной головки можно определить по счетчику расстояния или посредством растягивания рукава на длину осуществленной промывки вдоль коллектора (рис. 11.16).

Так как глубина закладки коллектора может быть неизвестной, то процесс отрывки шурфа в минеральных грунтах рабочий должен сле-

дить за появлением в разрабатываемом забое растительного грунта присыпки, который четко выделяется в процессе отрывки шурфа. После этого рабочий щупом определяет местоположения трубы и толщину остаточного слоя грунта над трубой. Если толщина остаточного слоя значительная, то экскаватором продолжается разработка шурфа на глубину меньшую глубины закладки трубы на 0,1–0,15 м.

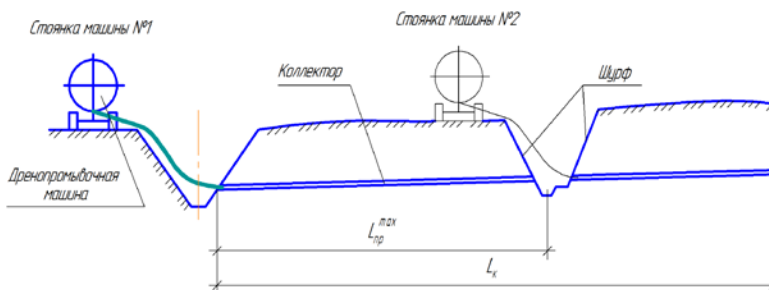


Рис. 11.16. Технологическая схема промывки дренажно-коллекторной линии

Если при отрывке шурфа не обнаружен растительный грунт присыпки, то после разработки шурфа на глубину 0,4–0,5 м меньше вероятной глубины закладки коллектора (дрены) щупом производится поиск трубы. При этом производится зондировка щупом на небольшую глубину с шагом 0,3–0,4 м для определения местоположения дренажной траншеи, где сопротивление зондированию резко снижается. На обнаруженном участке дренажной траншеи щупом производится поиск местоположения трубы и определяется остаточный слой грунта над трубой.

После отрывки шурфа экскаватором на глубину 0,1–0,15 м меньше, чем глубина заложения коллектора (дрены) шурф дорабатывается вручную и устанавливается причина остановки промывочной головки, для чего извлекается одна или несколько гончарных трубок или вырезанный отрезок полиэтиленовой трубы. В извлеченной трубе линейкой замеряется толщина слоя заилиения, внутренний диаметр трубы и визуально устанавливается тип наилка. Результаты замеров заносятся в полевой журнал промывки дренажных коллекторов, на основании которого составляется Акт о проведении промывки дренажных коллекторов.

После очистки труба устанавливается на место, стыки обвертываются ЗФМ и пригружаются дерниной.

При обратной укладке вынутых из шурфа труб необходимо соблюдать следующие требования:

- основание ложа труб должно иметь утрамбованную гравийную или песчаную подготовку или стеллаж из деревянных реек;
- стыки труб должны быть обернуты по всему периметру фильтрующим материалом;
- укладываемые трубы должны плотно прилегать к нетронутым трубам коллектора;
- засыпка уложенных труб растительным грунтом должна иметь высоту слоя не менее 20 см и производится вручную.

Поврежденные участки пластмассового дренажа (местные разрушения и переломы) вырезают и на их место укладывают целые отрезки труб того же диаметра. Участки труб с закупоренными перфорационными отверстиями удаляют и на их место укладывают новые трубы с большей водопримемной поверхностью.

Во всех местах, где производится ремонт или замена пластмассовых дренажных труб, необходимо особое внимание уделить тщательности исполнению соединений. Замененные участки обертываются по всей поверхности хорошо фильтрующим материалом.

После устранения препятствия и невозможности промывки из стационарного положения дренопромывочной машины промывку дренажного коллектора, в случае заиливания вышележащих трубок, продолжают из шурфа. Для этого на дне шурфа рядом с коллектором устраивают приямок-отстойник для промывочной воды, дно которого заглубляют на 0,5 м ниже дренажного лотка, где должны оседать крупные частицы наносов. После устройства шурфа из коллектора вынимают 2–3 трубки. Открытую полость нижерасположенного участка очищенного дренажного коллектора закрывают сеткой размерами ячеек не более 5 мм, которая пропускает отработанную воду, задерживает мусор и т. п., не допуская засорения полости очищенного участка. Если намечено отработанную воду из шурфа откачивать насосом, то торец очищенного участка коллектора можно закрыть специальной пробкой. Затем перемещают дренопромывочную машину к подготовленному шурфу и устанавливают агрегат поперек трассы очищаемого коллектора в расчете, чтобы барабан с намотанным рукавом был в его створе. Затем в полость коллектора вводят рукав и промывают аналогично вышележащий участок. Второй и последующие шурфы отрываются в местах встречи промывочной головки с препятствиями в соответствии с рекомендациями.

При промывке заиленных коллекторов из пластмассовых материалов, шурфы отрывают в том же порядке, как и при очистке гончарного дренажа. В шурфах вырезают участки труб длиной 0,4–0,5 м. После промывки вырезанные куски устанавливают на место. Соединение осуществляют с помощью муфт или коротких отрезков труб большего диаметра.

Для трассировки коллектора рекомендуется отрывать шурф на расстоянии 5–10 м от бровки канала. На поверхности земли у шурфа устанавливается вешка в створе коллекторной трубы (по оси). Вторая вешка устанавливается по оси устьевой или коллекторной трубы на откосе канала. По установленным вешкам производится трассировка коллектора.

Отрывка указанного шурфа дает возможность оценить состояние коллектора и снизить стоимость работ, так как во многих случаях неудовлетворительная работа закрытой сети связана с заилинием устьевой части коллектора на расстоянии от устьевой части коллектора до бровки канала.

После очистки коллектора при необходимости, проводят по аналогичной технологической схеме.

При промывке дренажа важно обеспечить водой бесперебойную работу машины УПД-120. При комплектовании звена трактором с двумя емкостями объемом 2–3 м³ последний по ходу работы доставляет воду до израсходования воды из первой емкости.

При наличии в канале необходимого уровня воды, возможен забор воды непосредственно из канала. Для этих целей может устраиваться гибкая тканевая плотина (рис. 11.17).



Рис. 11.17. Гибкая тканевая плотина

С помощью устройства данного сооружения создается подпор воды в открытом канале, благодаря этому уровень воды в канале способствует ее качественному забору заборным устройством установки для промывки дренажа.

Применение данного сооружения позволяет существенно сэкономить затраты на подвоз воды к установке, а следовательно, и финансовые ресурсы.

11.5. Подбор фильтров дренажа для мелиоративных систем

Осушительная мелиорация направлена на улучшение водного режима, обеспечивающего повышение плодородия почв, и получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Состояние мелиорированных земель оценивается величиной соответствия существующего водного режима почв к благоприятному для сельскохозяйственного производства. Причины, вызывающие переувлажнение осушаемых земель, могут быть различными. Например, причиной переувлажнения могут послужить ошибки при проектировании и строительстве: неверно выбранный метод осушения, некачественная стыковка дрен с коллектором. Признаками неудовлетворительной работы дренажа является запаздывание сроков сева и уборки сельскохозяйственных культур, вымоканием их в вегетационный период. На почвах с грунтовым и грунтово-напорным водным питанием избыточное переувлажнение обусловлено высоким уровнем грунтовых вод, несоответствующим норме осушения, а почвах с атмосферным и склоновым питанием – застаиванием воды на поверхности, приводящим к образованию переувлажненных участков площадью 10–15 % от всей осушаемой территории [31, 32].

Водный режим осушенных почв зависит от эффективности работы всей мелиоративной системы, в том числе и горизонтального дренажа. Показателями его работы являются водопримная и водоотводящая способности дрен, т. е. способность принимать избыточную воду из корнеобитаемого слоя в полость дренажной трубы и своевременно удалять ее по дренажной сети в водоприемник. Основные характеристики и показатели дренажа приведены в ТКП 45-3.04-177-2009.

Современные дренажные трубы выпускают с фильтрующими материалами, структурными фильтрами. К ним относят кокосовое волокно, геотекстиль и другие подобные материалы. Неструктурные (сыпучие) фильтры используют при устройстве колонок-поглотителей, обсыпке дрен, а также комбинированной и сплошной засыпке дренажной траншеи. Применение объемных неструктурных фильтров увеличивает приток воды в дренау или собиратель.

В процессе эксплуатации дренажа происходит заилиение и заохривание труб, кольматаж водоприемных отверстий дрен и защитно-фильтрующих материалов (ЗФМ), что снижает водоприимную способность дрен. Признаком низкого осушительного действия дренажа является наличие воды над дренами при безнапорном движении воды в

их полости. Этот фактор наряду со степенью заилиenia труб необходимо учитывать при оценке мелиоративного состояния осушаемой площади и работоспособности дренажной системы в целом.

На минеральных землях основной причиной неудовлетворительной работы дренажа является недостаточная фильтрующая способность дренажной засыпки, обсыпки труб, сплошной или комбинированной засыпки дренажной траншеи песчано-гравийной смесью (ПГС), коэффициент фильтрации которой ухудшается в результате кольматажа поровых ходов, а также уплотнения после многократного прохождения сельскохозяйственной техники.

Исследования механизма действия закрытого дренажа в слабопроницаемых почвах показывают, что с течением времени водопроницаемость дренажных засыпок уменьшается за счет их уплотнения или кольматажи и изменяется в пределах $K_{\phi} = 0,2 \div 0,01$ м/сут. Нормативные требования к коэффициенту фильтрации неструктурных фильтров $K_{\phi} \geq 10$ м/сут.

По данным Юрченкова Н. П., проводившим исследования в Калининградской области, опасность закупорки стыков и заилиenia дренажа железистыми соединениями возникает при содержании закисного железа в грунтовой воде более 4 мг/л и скорости воды в дренажных линиях менее 0,35 м/с. В данных условиях закупорка стыков и заилиение труб железистыми соединениями наступает через 4–5 лет. Наибольшему заилиению подвергается закрытый дренаж, заложенный в плывунах, супесях и легком или пылеватом суглинках.

Определение работоспособности фильтров горизонтального трубчатого дренажа при эксплуатации в условиях возможности заилиenia полости дрен и кольматажи структурного и неструктурного фильтров является важным показателем при оценке работоспособности дренажной системы в целом.

Подбор фильтров дрен.

Защита дренажных труб является важной составляющей осушительной мелиорации, поскольку от правильно подобранного фильтра и его характеристик зависит работоспособность дренажа в целом. Для проектирования дренажа с тем или иным ЗФМ должны учитываться физико-механические характеристики грунтов, количество закисного железа в грунтовых водах, почвенно-грунтовые условия и гидрогеологический режим подземных вод.

При правильно подобранном фильтре дренируемая вода, проходя из почвы в дренажные трубы, вымывает только мелкие частицы грунта, диаметр которых менее 0,03–0,05 мм. Такие частицы не вызывают заилиenia дренажных труб, поскольку транспортирующая скорость дренажной воды, выше скорости выпадения этих частиц в осадок. Для пылеватых частиц диаметром 0,005–0,05 мм она составляет

0,1–0,18, а для глинистых – 0,25–0,35 м/с. После вымывания мелких частиц соединительная структура крупных частиц прилегает к фильтрующему материалу и образуется естественный фильтр, который последовательно уменьшает вымывание, вплоть до его полного прекращения. Данная система эффективна в силу своей высокой пропускной способности и долговечности. Дренажная система, работающая по принципу «обратного фильтра», увеличивает водозаборную способность дрен.

Важно, чтобы фильтрующий материал не был подвержен кольматажи. В поровом пространстве фильтра не должно происходить механического осаждения частиц грунта. В противном случае кольматажи мельчайшими частицами верхнего слоя гравийной обсыпки приведет к снижению водопроницаемости засыпки из ПГС или других неструктурных фильтров. Кольматаж различают по двум основным принципам:

- механизму действия: биологический, механический, химический, зарастание полостей дренажных труб корнями растений.
- месту расположения: кольматаж защитных фильтров, водоприемных отверстий, видообразующей придранной области грунта или неструктурных фильтров.

Кольматаж водоприемных отверстий является результатом отложения на них карбонатов и гидроксидов железа. В результате контакта дренажной воды с кислородом происходит выпадение в осадок. Присутствие в воде катионов кальция и магния, нарушение углекислотного равновесия приводят к образованию трудно растворимых соединений CaCO_3 и MgCO_3 .

Причиной уменьшения эффективности осушительной способности дренажа может являться его заиливание, т. е. частичная или полная закупорка полости трубы минеральными частицами грунта. Факторами, обуславливающими заиливание дренажа являются: большие градиенты потока вблизи дрен, отсутствие либо механическое повреждение фильтров, чаще до укладки, или неправильный их подбор, смещение или разрушение дренажных труб, окислительные процессы при аэрации дренируемой воды с высоким содержанием закисного железа, деятельность железобактерий, низкое качество выполнения строительных работ.

Горизонтальный трубчатый дренаж будет длительно функционировать в нормальном режиме только в том случае, если материал фильтра долговечен, а его параметры соответствуют механическому составу осушаемого грунта и условиям фильтрации. После завершения деформационных процессов в фильтрах и частичной их кольматации снижение коэффициента фильтрации фильтра должно быть не более 50 % от первоначального. Параметры ЗФМ определяются путем про-

ведения полевых и лабораторных исследований. При проектировании защитных мероприятий для выбора материала фильтра должны быть известны уровни грунтовых вод на период строительства для наиболее характерных участков мелиоративной системы. Для минеральных грунтов определяется гранулометрический состав, связность, пористость, плотность и фильтрационные свойства. Для торфяных грунтов – степень разложения и ботанический состав. Кроме того, необходимо знать пористость, плотность и удельный вес твердого вещества.

Пластмассовые дренажные трубы должны соответствовать СТБ 2119-2010 [8] в первую очередь, по размерам водоприемных отверстий и кольцевой жесткости. Защитные фильтры дренажных труб должны соответствовать СТБ 1980-2009 по фильтрационным, прочностным характеристикам и не допускать вероятности кольматации осушаемым грунтом.

Подбор структурных фильтров в несвязных грунтах.

Выбор фильтрационного материала для защиты дренажа от заиливания осуществляется в зависимости от гранулометрического состава, суффозионных свойств и водопроницаемости осушаемого несвязного грунта. Для обеспечения нормального функционирования дренажа в песчаном грунте защитный фильтр должен:

- обеспечивать непросыпаемость частиц скелета грунта через фильтр в количестве свыше допустимого;
- не кольматироваться суффозионными частицами;
- увеличивать водозахватную способность дрена.

Подбор структурных фильтров в супесях и пылеватых суглинках.

Супеси по механическому составу характеризуются следующим распределением фракций – незначительное количество зерен, крупнее 1 мм, содержание частиц от 0,1 до 0,25 мм – не более 7 %; от 0,25 до 0,005 мм – более 30 % и частиц от 0,05 до 0,11 мм – не менее 16 % по весу. В пылеватых суглинках содержатся частицы меньше 0,01 мм, но их не более 42 %.

При разработке дренажной траншеи и последующей обратной засыпке структура супесей и пылеватых суглинков нарушается, при насыщении водой они размокают и могут проникать в дренажные трубы, заиливая их. При правильно подобранном фильтре истечение грунтовой массы исключается. Наиболее подходящими фильтрами дрена в указанных грунтах являются геотекстили. Они надежно предохраняют дрена от заиливания и сами существенно не кольматируются.

Для уменьшения степени кольматации фильтра и улучшения условий притока воды к дренам присыпку дренажных труб необходимо осуществлять растительным грунтом. Допускается присыпка труб песком крупным, который обладает значительно большей водопроницаемостью, чем супеси и пылеватые суглинки.

Подбор защитных фильтров в тяжелых суглинках.

В ненарушенном состоянии тяжелые суглинки обладают большой фильтрационной устойчивостью. При нарушении их структуры в процессе разработки и обратной засыпки траншеи водопрочность отдельных агрегатов значительно снижается, особенно, если грунты содержат катионы легких металлов Li^+ , Na^+ , K^+ . После обратной засыпки дренажной траншеи возникает опасность размокания агрегатов грунта и проникновения их в полость труб. На дренажных трубах следует применять объемный фильтр, например, из кокосового волокна. Для обеспечения достаточного осушительного эффекта дрены необходимо присыпать растительным слоем почвы на высоту минимум 20–30 см. На равнинных участках рекомендуется выполнять сплошную, либо пунктирную засыпку траншеи ПГС или другим неструктурным фильтром, коэффициент фильтрации которого составляет не менее 10 м/сут, а при западном рельефе устраивать в понижениях колонки-поглотители различных конструкций.

Подбор защитных фильтров в торфяных грунтах.

Торфяные грунты обладают высокой фильтрационной устойчивостью. В период строительства слой первичной присыпки находится в рыхлом состоянии и при насыщении водой нередко превращается в бузу, которая кольматирует защитные фильтры. После обратной засыпки траншеи уплотнение грунта происходит постепенно. Фильтрационная прочность торфа небольшая и опасность кольматации довольно высока.

Основное назначение защитных фильтров в торфяных грунтах состоит в предотвращении деформаций выпора, предохранении перфорационных отверстий труб от закупорки частицами торфа. В качестве фильтров дрен в торфяных грунтах следует применять геотекстиль.

Заохривание перфорационных отверстий дрен, коллекторов и образование в них нерастворимого осадка – гидроксида железа происходит в результате химических реакций и деятельности железобактерий. Для предотвращения заохривания и снижения скорости химических реакций следует уменьшить доступ кислорода в полость дренажных труб, т. е. устраивать подтопленные и затопленные устья. Можно также вносить в дренажную траншею ингибиторы (например, известь, смесь извести с гипсом). При эксплуатации дренажа в таких условиях следует промывать коллектора дрен промывочными машинами, можно добавлять в воду растворы кислот. При этом следует учитывать, что промыть дренаж (являющуюся водопоглощающей частью коллекторно-дренажной сети) невозможно. На таких участках обычно устраивают одиночные дрены, диаметр которых позволяет проводить их промывку. Следует учитывать и экономические показатели, так как частые и дорогостоящие промывки могут существенно увеличить стоимость эксплуатации мелиоративной сети. При экономической нецелесообразности осушения закрытым дре-

назем используют открытые осушители либо оставляют земли в естественном состоянии. При содержании закисного железа в грунтовой воде более 8 мг/л устройство закрытой сети не рекомендуется.

Полевые исследования одиночных дрен. Летом 2012 г. проводились полевые исследования на объекте «Волма» Минского района Минской области, включавшие раскопки и отбор образцов дренажных труб для лабораторных исследований. Грунт на объекте – торф, подстилаемый супесью сизой. В процессе раскопок одиночных дрен и осмотра образцов труб, было выявлено заохривание внутренней полости труб и перфорационных отверстий (рис. 11.18). Заохривание уменьшает площадь перфорационных отверстий, скважность дренажных труб, снижает эффективность их работы. При определении водоприемной способности дрен в полевых условиях, после подачи воды в шурф и замера дренажного стока объемным способом (рис. 11.19) выявлено, что дренажные воды имели характерную бурю окраску, указывающую на избыток железистых соединений.



Рис. 11.18. Образец трубы, взятой с одиночной дрены № 26 объекта «Волма», срок эксплуатации 1,5 года



Рис. 11.19. Вода с избыточным содержанием закисного железа из дрены № 26 объекта «Волма»

Для исследования работоспособности фильтров дрен необходимо проводить их обследование в полевых и лабораторных условиях. Для этого проводится комплекс работ и исследований.

При раскопках дрен следует определять:

- размеры и состояние перфорационных отверстий в пластмассовых трубах, соответствие их техническим условиям, наличие или отсутствие их кольматажа;
- состояние ЗФМ: наличие круговой защиты всей поверхности пластмассовых труб, кольматация ЗФМ;
- величину слоя заилиения дрен;

– грунт обсыпки дренажных труб, его вид и состояние, особенно в слабопроницаемых грунтах и торфе с высокой степенью разложения, которые при переувлажнении могут образовывать своеобразный противофильтрационный экран;

– грунты в шурфе, в который уложена дрена с фильтром;

– состав и состояние обратной засыпки дренажных траншей, эффективность работы которой следует устанавливать путем послыоного определения ее коэффициента фильтрации в полевых условиях.

Причиной неудовлетворительной работы дренажа может послужить уплотнение переувлажненной обсыпки под действием веса насыпки, гидравлического действия и кольматации, а также использование непригодного материала и низкое качество работ.

Оценку технического состояния ЗФМ необходимо выполнять на дренажных системах с неудовлетворительным водным режимом. При обследовании дренажных систем, в первую очередь необходимо определить место расположения коллекторов и дрена. Следует ознакомиться с проектом мелиоративной системы и исполнительной документацией. Затем на местности произвести осмотр и оценку осушительных каналов, определить места расположения дренажных устьев, выполнить отбор образцов труб с ЗФМ для лабораторных испытаний, провести визуальный осмотр фильтров, дренажных труб, обратной насыпки траншеи в полевых условиях.

Сначала следует найти месторасположение дренажных устьев и расчитать их. Направление коллектора или одиночной дрена определяется согласно проектному плану. Найти расположение коллектора можно при помощи поискового устройства.

Способы нахождения дрена.

Обнаружение дрена в полевых условиях производится по плану проектного расположения коллекторно-дренажной сети. При движении вдоль водоприемника (канала, реки и др.) находится местоположение устья коллектора и, в соответствии с картой, определяются места впадения дрена (левосторонняя компоновка, правосторонняя компоновка, двухсторонняя компоновка).

Методика оценки технического состояния ЗФМ в полевых условиях состоит в визуальном осмотре ЗФМ, который может быть выполнен только при раскопках дрена или коллекторов. Весьма трудоемкой работой при этом является нахождение месторасположения дрена. Их рекомендуется отыскивать следующим образом:

– мерной лентой замеряется расстояние до места расположения дрена (изначально измеряется по карте и умножается на масштаб);

– отрывается траншея, параллельная дренажной траншее коллектора на глубину заложения дрена и до пересечения с ней.

– обнаружения дрен с помощью поисково-диагностических приборов (может использоваться комплекс средств диагностики закрытого дренажа КСД-160, телеинспекция трубопроводов, георадар ОКО-3).

После обнаружения места расположения дрен или коллекторов над ними отрывают шурф 60×30 см (по дну), чтобы можно было изъять отрезок пластмассовой трубы, длиной до 50 см. Примечание: место расположения шурфа не должно быть ближе 3 м от соединительных деталей (муфты устьевой трубы, тройника, ответвителя и др.).

Участок дрены, длиной 33–50 см вырезается для осмотра состояния трубы и фильтрующего материала, с него осторожно удаляют грунт, отрезком трубы соответствующего диаметра с применением соединительных муфт восстанавливают существующую дренажную трубу (коллектор). Для исследований может сниматься только фильтрующий материал, тогда дрена в месте снятия обертывается новым ЗФМ.

Восстановление дренажной линии в шурфе следует производить трубами того же типоразмера. Длина вновь устанавливаемого отрезка пластмассовой трубы должна быть на 2–4 мм короче вырезаемого отрезка. Под восстанавливаемый участок дрены укладывается ЗФМ, после обворачивается. Засыпка шурфа на высоту 10–15 см над трубой выполняется вручную. Окончательная засыпка шурфа может выполняться бульдозером.

Далее проводится визуальный осмотр внутренней и внешней поверхности ЗФМ, отмечается наличие заохривания, частиц грунта или торфяной бузы. Сведения заносятся в журнал полевых исследований с указанием: названия объекта; шифра коллектора и номера дрены; марки ЗФМ (по проекту); даты забора образца; приводят краткое описание внешнего вида (целостность фильтра, наличие частиц грунта между трубой и фильтром, наличие заохривания и кольматации фильтра, заохривание водоприемных отверстий трубы, высота наилка в полости трубы и т. д.). В завершении фотографируются фильтр, полость дренажной трубы и шурф.

Для проведения последующих лабораторных исследований (по определению фильтрационных характеристик, водоприемной способности и др.) отобранный образец ЗФМ или трубы с ЗФМ заворачивается в полиэтиленовую пленку для сохранения его в естественном состоянии до проведения лабораторных испытаний. Все образцы подписываются с указанием даты забора образца, названия объекта, шифра коллектора, номера дрены, наименования и марки ЗФМ, наименования грунта, из которого изъят образец.

Устанавливаются следующие показатели для определения технического состояния пластмассовых дрен:

- размеры и состояние перфорационных отверстий в пластмассовых трубах, соответствие их техническим условиям;
- вид и состояние обсыпки дренажных труб особенно в слабопроницаемых грунтах и торфе с высокой степенью разложения, которые при переувлажнении могут образовывать своеобразный противодиффузионный экран;
- визуальная оценка повреждений (если имеются);
- наличие кольматажа водоприемных отверстий и фильтрующего материала.

Определение водопроницаемости засыпки дренажной траншеи и колонок-поглотителей

Эффективность работы обратной засыпки дренажных траншей коллекторов и дрен, колонок-поглотителей и др. следует устанавливать в полевых условиях путем определения послойно ее коэффициента фильтрации. Для вышеназванных целей РУП «Институт мелиорации» рекомендует полевой фильтрационный прибор ППФ-1 и методику Шупилова Я. М. и Черника П. К.

Водопроницаемость определяется через каждые 0,2–0,3 м по глубине траншеи в зависимости от типа грунта или неструктурного фильтра.

В 2010 году на объекте «Мазоловский» была апробирована эта методика исследований для определения водопроницаемости дренажных засыпок. Коэффициент фильтрации траншейной засыпки определялся на опытном участке № 4 на дрене 3 коллектора 18. Дрена выполнена из пластмассовой трубы диаметром 63 мм с защитно-фильтрующим материалом «ТайпарPRO». Результаты приведены в табл. 11.4.

По профилю траншеи верхний горизонт почвы на глубину до 12–30 см представлен пахотным гумусовым слоем, а нижележащие слои - лессовидные суглинки. Коэффициент фильтрации гумусового слоя составляет 0,44 м/сут (табл. 11.4), что значительно больше нижележащего горизонта. При таких величинах коэффициента фильтрации трудно рассчитывать на хорошую водоприемную способность дренажа, без дополнительных мероприятий.

Таблица 11.4. Водопроницаемость траншейной засыпки, определенная на дрене 3 коллектора 18

Слой грунта от поверхности, см	Коэффициент фильтрации, 10 см/с	Коэффициент фильтрации, м/сут
0–10	5,1	0,44
30–40	3,0	0,026
60–70	0,254	0,022
90–100	0,189	0,016

Полученные данные по водопроницаемости траншейных засыпок указывают на необходимость проведения детального изучения их влияния как одного из основных факторов, обуславливающих эффективную работу дренажа на слабопроницаемых грунтах. Глубина закладки дренажа на объекте 1,7 м и более объясняет малые величины модулей дренажного стока, которые составляют 0,07–0,1 л/с с гектара. Для повышения эффективности работы дрен следует производить засыпку дренажных траншей песчано-гравийной смесью либо устанавливать колонки-поглотители.

11.6. Использование полимерных материалов в мелиоративном строительстве

Подбор современных материалов и устройств для крепления откосов гидротехнических сооружений водохозяйственных систем зависит от ряда условий, в том числе от финансовых возможностей организаций, являющимися заказчиками строительства или реконструкции.

Использование биополотна (синтетического материала) получило широкое распространение при укреплении насыпей, которое подкладывается под объемную георешетку. Биополотно или геотекстиль осуществляет разделительную функцию, а также задерживает наполнитель в ячейках. Кроме того, геотекстиль обладает высокой водопропускной способностью и предусматривает выполнение свойств обратного фильтра. Реализуя мероприятия по фиксации склонов устройство рассматриваемого геосинтетика осуществляется послойно на различной высоте. Как итог – конструкция имеет достаточно высокую прочность.

Панасенко Г. А. в своих исследованиях освещает, что можно осуществить гидропосев трав, одерновку, посадку кустарников либо деревьев, произвести устройство сплошных покрытий шлаком, обеспечить установку монолитных железобетонных или асфальтобетонных плит, а также волноотбойных стен и другое. Однако по мнению Панасенко Г. А. наиболее известным способом является применение геосинтетических материалов.

Для целей крепления (в качестве заполнителя) могут использоваться различные горные породы, рекомендуется применять новейшие геосинтетические материалы. К таким материалам можно отнести геотекстиль, представляющие собой плоское и прочное техническое полотно, геосетка – рулонный материал с сетчатой структурой, геоматы – хаотично расположенных решеток, а также биоматы – трехслойный нитепрошивной или нетканый геокомпозитный материал из травосмеси.

Геополотно получило наибольшее распространение в укреплении откосов земляного полотна с уклоном 60 %.

Технология укладки материалов при усилении склонов состоит в следующем:

- на первом этапе работы необходимо произвести выравнивание поверхности, подлежащей в последующем укреплению;
- на втором - обустройство площадки.

В случае образования площадки выше земли, необходимо положить геотекстиль. Перекрытие должно составлять 20 см. По технологии укладки геотекстиля, по всей длине создают опалубку, на материал засыпают камень или песок, затем повторяют технологию, при необходимости проводят работы по укладке плитки. В случае площадки на одном уровне с поверхностью земли, извлекают грунт до углубления в 20–50 см. Затем укладывается геополотно, поверх полотна насыпается гравий и щебень, застилается геосинтетикой, и наверх насыпают песок. Вследствие чего укладывают брусчатку или плитку с помощью цементного раствора. В третьем случае материал, укладывают внахлест, швы крепятся скобами. Также швы можно закрепить природными материалами.

Укрепление откосов 70 %, используется такой материал как геомат.

Первое что необходимо сделать при укладке геоматериала, так это выровнять и уплотнить поверхность почвы. Далее необходимо вырыть углубление, глубиной 30 сантиметров, провести водоотвод. Затем выложить и подогнать по размеру рулон геоматериала. Материал необходимо укладывать гладкой стороной вниз к поверхности земли, ровно и плотно. Нахлест должен равняться 15 см в длину, 20 см – в поперек.

Материал натягивают и крепят к траншее с помощью специальных крепежей-анкеров. По итогу материал засыпают грунтом, и уплотняют.

Следует отметить то, что каналы в земляном русле в процессе эксплуатации подвержены заилению, оплыванию и зарастанию сорной растительностью и кустарником. Традиционно применяемые грунтовые противофильтрационные экраны, получаемые методами поверхностного и послойного уплотнения, как показывают исследования, разуплотняются через 2–3 года и требуют первоначального конструктивно-технологического восстановления, что ограничивает их использование.

Бетонные и железобетонные облицовки по своей прочности, долговечности и технологии производства работ имеют определенные преимущества перед другими типами покрытий. Однако они имеют и недостатки: сложность работ, влияние изменения температур на растрескивание покрытия; наиболее слабым звеном их являются швы, способы герметизации которых оказываются неэффективными, и особенно

швы с горячими битумными мастиками, долговечность которых не превышает 5–10 лет.

Эффективным способом предотвращения от фильтрации и разрушений на объектах мелиоративного и водохозяйственного назначения страны является крепление откосов гибким покрытием – биополотном. Биополотно относится к геосинтетическому материалу, который производится из полиэфирного волокна в виде ковра, состоящего из двух слоев с внесением между слоями семян трав. Трубку материала разворачивают по спланированному откосу канала на слой грунта растительного происхождения. В результате укладки биополотна осуществляют его присыпку слоем почвы толщиной 3–5 мм, обеспечивая при этом сохранение влаги достаточно сильное примыкание материала к откосу. Произрастание семян формирует устойчивое и надежное покрытие, которое в свою очередь обеспечивает защиту почвенной поверхности от разрушений, вызванных негативным влиянием ветра и воды. Откосы каналов, крепление которых осуществляется биополотном, в сравнении с универсальным методом – посевом трав, имеют достаточно высокую надежность. Показатель заилиения дна каналов снижается в 1,5–2 раза и также в свою очередь снижаются издержки на их очистку. Вышеуказанный материал создает достаточно высокую степень устойчивости покрытия, а также повышает срок эксплуатации до 15 лет.

На территории Гродненской области выполнены работы по восстановлению белорусской части Августовского канала. Это уникальное гидротехническое сооружение, построенное 190 лет назад как водный путь для перевозки грузов из бассейна рек Вислы и Немана к Балтийскому морю, включало в себя 29 водопропускных плотин, 18 шлюзов, 14 мостов и 24 объекта для обслуживания канала. По территории Беларуси проходит пятая часть (22 км) его пути. Реконструкция канала была связана с различными техническими сложностями, где использование современных строительных материалов обеспечило возведение надежных и долговечных конструкций. Для защиты откосов канала от разрушения использован геотекстильный материал (рис. 11.20) «Пинема», укладываемый на откос в зоне переменного уровня воды с покрытием грунтовой засыпкой.

Геотекстиль «Пинема» также использовали при восстановлении конструкций 4-й камеры судоходного шлюза «Немново», крупнейшего на всей протяженности канала. Подход к шлюзу выполнен в виде направляющих пал, в поперечном сечении представляющих собой подпорную стенку. Ее нижняя часть устроена из железобетонного шпунта, забиваемого на глубину 4 м от дна котлована. Для предотвращения суффозии грунта 25 через стыки шпунтовой стенки с тыловой ее части выполнена укладка геотекстиля.

пластифицированного ПВХ. В России, Беларуси полимерная пленка недостаточно эффективна из-за уязвимости к морозам, поэтому не нашла широкого применения. К недостаткам пленочных полимерных экранов следует отнести возможность их повреждения при сооружении, в связи с чем принимаются различные меры вплоть до запрещения передвижения по растянутой пленке людей, обутых в сапоги, но, несмотря на это иногда отмечаются протечки сквозь экраны из-за случайных повреждений, даже разрыв пленки. Контроль и ремонт пленочных экранов очень затруднены.

Помимо использования синтетических материалов ведутся работы по совершенствованию применения традиционных креплений из железобетона. В последние годы в стране применяются гибкие бетонные плиты для крепления откосов.

Такая конструкция крепления откосов (на основе из гравийной подсыпки) включает сочетание мелкогабаритных заанкеренных элементов из железобетона. Конструкция представляет собой гибкое, сквозное крепление. Однако такие элементы подвержены быстрой коррозии соединительной арматуры, как следствие разрушению всей конструкции. Достаточно широкое распространение данная конструкция крепления откосов получила на мелиоративных объектах и водохранилищах Беларуси.

В мелиоративном, водохозяйственном строительстве в условиях Республики Беларусь крепление откосов открытой проводящей сети в основном производят посевом трав, а для обустройства подводящих каналов и рисберм водохозяйственных сооружений, защиты откосов земляных плотина используются унифицированные железобетонные изделия. В случае большой глубины канала возможно использование объемных георешеток, подстилаемых биополотном, но данная конструкция крепления откосов мелиоративных каналов используется редко.

11.7. Перспективы развития автоматизированных систем регулирования мелиоративного режима орошаемых земель

В отечественной теории эволюции агропроизводства и за рубежом приоритетными инновациями в достижении рационального мелиоративного режима орошаемых агроэкосистем в настоящее время являются технологии малообъемного орошения и прецизионные автоматизированные системы управления технологическими процессами мелиорируемых агроценозов. Под автоматизацией управления технологическими процессами понимается оборудование мелиоративных систем средствами автоматики и телемеханики, позволяющими полностью или частично осуществлять их использование, по возможности, не

требующее вмешательства человека и гарантирующее выполнение установленной последовательности технологических процедур агропроизводства, обеспечивающими формирование планируемого мелиоративного режима агроэкосистем с максимальной скоростью и точностью [34].

Анализ достигнутого уровня автоматизации операций по регулированию мелиоративного режима орошаемых агроэкосистем в сфере АПК выявил потребность в активном становлении теории и практики цифрового управления агропроизводством на мелиорируемых землях в соответствии с лучшими мировыми достижениями и результатами успешных секторов экономики страны.

Цель настоящих исследований – оценить перспективы и приоритеты становления автоматизированных систем прецизионного регулирования формирования мелиоративного режима орошаемых агроэкосистем (рис. 11.21), обеспечивающего устойчивое повышение их энергетического потенциала и, как следствие, урожайности сельскохозяйственных культур.



Рис. 11.21. Контроль процедур полива (по данным сайта SgorX)

Теоретической основой НИР послужили научно-исследовательские работы российских и зарубежных авторов по вопросам развития автоматизированных систем регулирования мелиоративного режима в агропроизводстве, публикации по теме исследования в периодической печати и Интернете. Методологической основой являются классические общенаучные методы исследования: анализ, синтез, индукция, дедукция, обобщение и классификация, а также сравнительный и системный анализ.

По оценкам экспертов к 2050 г. население Земли возрастет до 9 миллиардов человек, увеличившись более чем на 30 %, что обуславливает нарастающую жесткость требований к обеспечению продо-

вольственной безопасности планеты. В настоящее время до 40 % общего объема мирового производства продовольствия гарантирует орошаемое земледелие. В свете возрастающей конкуренции на водопотребление с другими секторами развивающейся экономики и необратимости требований к экологизации и устойчивости агропроизводства приоритетными направлениями эволюции систем управления мелиоративным режимом агроэкосистем настоящего периода признаются технологии: контроля процедур полива; точного орошения; автоматизации процессов орошения.

Контроль процедур полива обеспечивает помощь сельхозтоваропроизводителям в реализации рационального ирригационного процесса для повышения действенности использования воды. Сегодня на рынке предлагается достаточно систем контроля параметров почвы и метеорологических условий в режиме реального времени, которые помогают наблюдать трансформацию условий агропроизводства, управлять процессами ирригации в удаленном режиме и принимать действенные управленческие решения по организации агропроизводства на мелиорируемых землях в целом.

Они широко представлены компаниями John Deere, Lindsay Corp.'s. Передачу данных о влагообеспеченности агроценозов на смартфон успешно осуществляют датчики влажности компании CropX. Оснащение дождевальных систем контроллерами от компании Sprinkl позволяет экономить воду за счет дифференцированного подхода к орошению, обеспечивая мониторинг потребности в поливе для конкретных участков поля по данным почвенной влажности.

Система диспетчерского контроля и сбора данных SCADA (Supervisory control and data acquisition), представленная на рынке исследовательской лабораторией Водных ресурсов университета штата ЮТА (США), выполняет точный, интегрированный контроль водообеспечения гидромелиоративной сети и мелиорируемых земель в режиме реального времени. Автоматизируется учет количества воды, поступающей из водоемисточника, аккумулирующейся в каналах, и подаваемой на поля. Пользователи системы SCADA могут всегда получить сведения о водораспределении и водопользовании на системе, что повышает качество управляющих воздействий.

Сельхозтоваропроизводителям предлагаются также многочисленные технологии информационной поддержки регулирования процедур полива, обеспечивающих передачу на сенсорные дисплеи соответствующих рекомендаций, формирующихся по результатам анализа и оценки данных, поступающих со спутниковых снимков; датчиков состояния агроэкосистем, условий эвапотранспирации; картографирования контролируемой территории.

Стабильное и ресурсоэффективное будущее ирригации связывается и с применением режимов поливов, учитывающих локализацию ин-

формации о прогнозе погоды, почвенной влажности, испарении на основе рекомендаций, сформированных по фактически наблюдаемым данным. В качестве примера может служить проект SCORRES компании UK в Индии, в составе которого реализация микроорошения с учетом рекомендаций снизила водопотребление на 80 % при увеличении урожайности, практически, вдвое.

Технологии точного орошения оптимизируют на поле способы водоподдачи сельхозкультурам, обеспечивают учет конфигурации поля, потребности в поливе различных участков одного поля и его топографии, а также прочей специфики поливаемых полей, что способствует рационализации водопотребления и экономии водных ресурсов.

Например, для совершенствования полива углов и выступов поля компанией Trimble предлагается оснащение дождевальных машин разворачивающейся секцией – кронштейном, дождеватели которой включаются и отключаются автоматически, в зависимости от положения секции (рис. 11.22). Это исключает переполив проблемных участков поля и непроизводительный расход воды.



Рис. 11.22. Технология точного орошения (по данным сайта Trimble)

Растущую популярность у аграриев приобретают системы точного мобильного малообъемного орошения (PMDI), предусматривающие установку на поливной машине кругового или фронтального действия вместо дождевателей шлангов для подачи воды непосредственно растению. Это способствует ликвидации пробуксовки дождевальной машины, сокращению времени хода и непроизводительных затрат воды за счет сохранения сухой колеи для колесной секции машины. Результат достигается объединенным эффектом снижения стоимости при использовании поливных машин и высокой действенности воды на малообъемном орошении.

Проблема достижения равномерности полива с учетом различий структуры и влажности почвы, топографии участков поля решается

применением полива с переменной скоростью (VRI). Скорость движения консоли и включение/отключение дождевателей регулируются по показаниям соответствующих датчиков.

Снижение непроизводительных затрат воды на поверхностный сток, обусловленный микрорельефом отдельных участков поля, осуществляется планировкой последнего, выполняющейся и для ликвидации возможного переувлажнения других участков с использованием лазерного оборудования.

Автоматизированные системы управления технологическим процессом орошения (далее по тексту АСУ ТПО) широко представлены на активно развивающемся рынке компаниями John Deere, Growsmart Lindsay, Tevatronik, Acromag SM и др.

В общем виде архитектура АСУ ТПО включает: датчики контроля состояния объекта наблюдения; устройства автоматической обработки данных – регуляторы (контроллеры); исполнительные устройства, формирующие исходные данные и реализующие управляющие воздействия; системы учета и визуализации данных (экраны, табло и др. носители).

Принципиальная организационная схема системы управления орошением фирмы Tevatronik приводится на рис. 11.23 (по данным сайта фирмы Tevatronik).

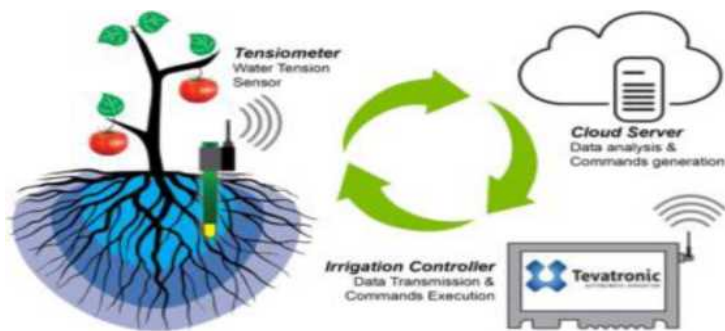


Рис. 11.23. Принципиальная организационная схема автоматизированной системы управления орошением (по данным сайта фирмы Tevatronik)

В составе системы управления орошением фирмы Tevatronik реализованы технологические операции, обеспечивающие полив сельскохозяйственных культур и внесение удобрений без вмешательства человека. Архитектура системы представлена:

- беспроводными тензиометрами, для определения и передачи данных о затратах корневой системой растения энергии по извлечению почвенной влаги;

- контроллером переключателя затворов ирригационных каналов для сбора данных с тензиометров и их передачи по сотовой связи на облачный сервер для анализа и выработки управляющих воздействий;

- дистанционным беспроводным переключателем гидравлического затвора, работающим по управляющему воздействию соответствующих контроллеров;

- облачным интернет-сервером, использующим математические модели и алгоритмы для анализа данных и принятия управляющих решений, транслирующийся на переключатель затворов для выполнения;

- беспроводным передатчиком, расширяющим зону приема сигнала от тензиометров;

- датчиками температуры и относительной влажности воздуха.

Предлагаемые на рынке инновационные продукты компании Growsmart Lindsay основаны на методах управления поливами, обеспечивающими удобство пользователю и снижение эксплуатационных затрат за счет оптимизации используемого количества времени, труда, электроэнергии и воды при высоком качестве реализованных технологических операций.

Система автоматизированного управления орошением FieldNET, реализуемая фирмой Growsmart Lindsay, базируется на веб-платформе, осуществляющей беспроводное управление технологическими процессами ирригационной системы и предающей пользователю сообщения о важных изменениях условий производства в удаленном режиме. Интерфейс системы FieldNET русифицирован, что повышает действенность его применения в России, как и наличие приложения FIELDNET MOBILE для смартфонов и планшетных ПК.

Базовые функции системы управления поливом включают:

- мониторинг метеоусловий;

- управление круговыми и фронтальными дождевальными машинами, водяными пушками, инжекторами и насосами;

- формирование статистических данных по расходу ресурсов на поливы.

Наряду с реализацией системы FieldNET фирма Growsmart Lindsay осуществляет проектирование и установку инфраструктуры широкополосной связи в поле, компоновку полей полива и общий дизайн системы ирригации, поставляет интегрированные насосные станции и системы фильтрации, дождевальные машины и установки кругового и фронтального действия.

Компания Acromag SM-Autonomous Irrigation Control реализует систему контроля поливов с возможностями удаленной связи, использующей локальные источники солнечной, ветровой, водной, геотермальной или аккумуляторной энергии и сервис беспроводной сети. Мощный процессор системы и встроенные модули ввода/вывода информа-

ции гарантируют действенность мониторинга датчиков и автоматическое управление системой полива.

Программно-технический комплекс системы управления Field Connect фирмы John Deere выполняет контроль влажности почвы на различной глубине с помощью датчиков, осуществляющих передачу данных на веб-интерфейс, с последующей их визуализацией на компьютере или мобильном устройстве в виде графика, который используется для принятия своевременных решений по организации поливов в удаленном режиме с учетом целевых установок всех и отдельно взятого пользователя.

Система настраивается на конкретные природно-хозяйственные условия каждого поля (почвы, возделываемые сельхозкультуры и др.). Предусмотрена возможность интеграции сведений, получаемых в системе Field Connect, с данными по урожайности, типу почвы, плодородию и прочей агрономической информации, использующейся технологиями оптимизации продуктивности агроценозов.

Анализ становления и эволюции теоретических аспектов и практики создания, внедрения и применения автоматизированных систем управления мелиоративным режимом агроэкосистем со всей очевидностью выявил факторы, не способствующие их действенности в отечественном АПК:

- низкий уровень использования инновационных технологий прецизионного управления орошаемыми агроэкосистемами в агропроизводстве российского АПК;

- фактическое отсутствие на рынке отечественных современных автоматизированных систем прецизионного управления орошением;

- отсутствие в составе процедур информационной поддержки принимаемых решений АСУ постоянно действующих моделей мелиоративных систем;

- фрагментарность функциональной структуры предлагаемых рынком систем прецизионного регулирования мелиоративного режима агроэкосистем, обеспечивающих, как правило, непосредственное управляющее воздействие на их водный и только в ряде незначительных случаев питательный режимы, и лишь опосредованно влияющих на широкий спектр параметров (солевого, температурного, газового, микробиологического и пр.) мелиоративного режима орошаемых земель, в целом;

- недостаточное использование аналитических методов обоснования управляющих воздействий, назначаемых в большинстве случаев по физическим параметрам (влажность почвы, расходы воды и т. п.) агроэкосистем, без учета технологических и технико-экономических показателей и критериев оперативно-производственных и организационно экономических задач оперативного и каждого вышестоящего уровня иерархии управления агропроизводством;

- низкая степень устроенности в процедуры и операции поддержки решений моделей искусственного интеллекта;

- различия в уровне проработанности, количестве и качестве предлагаемых решений конкретной задачи, как в сфере управления отдельными технологическими процессами мелиоративного воздействия, так и управления отдельно взятой гидромелиоративной системой, мелиоративным водохозяйственным комплексом, мелиоративным сектором экономики, в целом;

- не корректное решение задачи взаимодействия программных комплексов и цифровых технологий управления конкретными производственными процессами с инфраструктурой цифрового ресурса для последующей информационной поддержки участников производственных процессов;

- пониженная интеграция информационного обеспечения систем цифрового управления технологическими процессами производства и предприятием.

Вместе с тем проявились необходимость, возможность и целесообразность ускоренного развития автоматизированных технологий высокоточного регулирования режима агроэкосистем, обеспечивающих решение проблемы энерго- и ресурсосбережения в отечественном агропроизводстве за счет выявления действенных закономерностей управляемых процессов, использования инновационных методов обработки и трансформации исходных и промежуточных данных и сведений.

Представляется, что успешному решению этой проблемы будет способствовать разработка коммерческих вариантов автоматизированных систем управления мелиоративным режимом (АСУ ТПмр) агроэкосистем, ориентированных на максимальную автоматизацию сбора и обработки всех потоков данных о процессах почвообразования, регулирования параметров приземного слоя атмосферы и управления техническим оборудованием, формирующих мелиоративный режим агроэкосистем согласно принятым решениям по результатам моделирования процедур агропроизводства на мелиорируемых землях в режиме реального времени.

Ряд технологий, формирующих технологическую базу новой промышленной революции, уже сейчас успешно используются для развития автоматизированных систем управления производством.

Прежде всего:

- это цифровое моделирование, обеспечивающее использование актуальных данных представления физического мира в виде виртуальной модели, включающей в себя оборудование, изделия в производстве и персонал предприятия;

- аналитика, основанная на работе с большим объемом данных, гарантирующая оптимизацию качества продукции, экономию энергии и повышению работоспособности оборудования;

- нейросети, представляющие самообучаемые системы, и прочие инновационные разработки в области искусственного интеллекта, способные создавать в ходе самообучения программы (в приоритете эвристические) для решения задач определённого класса сложности и решать эти задачи»;

- промышленный Интернет вещей, интегрирующий датчики, контролирующие технологический процесс производства, и его оборудование, взаимодействующее между собой и обеспечивающее самостоятельную обработку данных, обращаясь к централизованной управляющей системе при крайней необходимости;

- облачные технологии, активно расширяющие сферу своего применения за счет повышения качества операций облачного хранения, сокращения времени отклика, что позволит их использование для работы АСУ ТП;

- максимально возможная интеграция коммерческой и производственной деятельности, предполагающая действенное сотрудничество различных подразделений предприятия, а также между предприятия – участниками совместного производственного процесса.

Объединение вышеуказанных технологий в рамках единой концепции позволит преобразовать разработку АСУ ТП. Полностью интегрированный и оптимизированный технологический процесс автоматизированного управления агропроизводством со значительно возросшей эффективностью всех этапов меняет отношения производителей и потребителей, обеспечивая им гибкость посредством обмена информацией через Интернет, что в свою очередь значительно увеличит эффективность труда и сократит издержки в производственных процессах.

Действенность инновационных мероприятий сельскохозяйственных мелиораций во многом гарантирована использованием прецизионных автоматизированных систем управления технологическими процессами формирования мелиоративного режима агроэкосистем.

Дальнейшее развитие и значимость совершенствования цифровых технологий в АПК приобретает от переноса из передовых секторов отечественной и мировой экономики в сельское хозяйство «умных» конструкций, реализующих полный контроль производственного цикла функциональных структур агропроизводства (растениеводства, животноводства и пр.). Это достигается путем интеграции оперативных параметров всех объектов и их окружения (оборудования и датчиков наблюдения, учета, обработки, оценки т. п.), а также линий связи между объектами управления и внешними партнерами агропроизводства.

12. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

12.1. Основные источники экономической эффективности автоматизации

В настоящее время существует большое число различных систем автоматической стабилизации технологических параметров инженерных систем. Некоторые системы автоматизации при выборе соответствующих заданий регуляторам способны поддерживать режимы, близкие к оптимальным (квазиоптимальные), заменяя при этом УВМ. Поэтому системы автоматизации нужно сравнивать между собой не только по стоимости и точности, но и по способности поддержания режимов, близких к оптимальным. При этом может оказаться, что системы автоматизации, лучшие для одной функциональной цели, не являются таковыми для другой цели.

Основная цель автоматизации – оптимизация процессов водоподачи, теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха и т. д., выбор соответствующих заданий регуляторам, способных поддерживать режимы, близкие к оптимальным (квазиоптимальные), снижение эксплуатационных затрат, уменьшение численности оперативного персонала и на этой основе повышение эффективности функционирования инженерных систем.

Экономическая эффективность автоматизации формируется за счет централизованного контроля и управления технологическими процессами с применением средств микропроцессорной техники, обеспечивающих экономию используемых энергетических и природных ресурсов, повышение урожайности сельскохозяйственных культур, производительности труда эксплуатационного персонала, автоматического регулирования различных технологических параметров.

12.2. Оценка экономического эффекта от использования средств автоматизации в сельскохозяйственном производстве

При обосновании экономической целесообразности создания и эксплуатации автоматической или автоматизированной производственной системы необходимо исходить из общепринятых положений теории экономической эффективности капитальных вложений:

1. Экономический эффект от использования средств автоматизации – это экономия общественного труда при производстве каких-либо видов продукции.

2. Целесообразность использования средств автоматизации в конкретной сельскохозяйственной организации обосновывается соотношением экономического эффекта и затрат по каждому варианту.

3. В качестве критерия сравнения вариантов могут приниматься показатели экономической эффективности инвестиций – чистый дисконтированный доход (ЧДД), внутренняя норма доходности (ВНД), индекс доходности (ИД), срок окупаемости с учетом дисконтирования и т. д., отражающие текущие затраты и капитальные вложения (инвестиции).

Формулы чистого дисконтированного дохода позволяют соизмерять разнородные по своему характеру величины – текущие (себестоимость продукции) и единовременные затраты (капитальные вложения в средства автоматизации) – путем отнесения их на весь срок работы средств автоматизации производства при использовании коэффициентов дисконтирования, в течение которого стоимость должна окупиться за счет снижения текущих затрат (себестоимости продукции).

Положительное значение ЧДД говорит об экономической целесообразности внедрения системы автоматизированного производства. Кроме того, определяются вспомогательные показатели с учетом особенностей производства: такт (ритм) потока, часовая производительность, производственная мощность, численность обслуживающего персонала, трудоемкость обработки, выработка на одного работающего, продолжительность производственного цикла, величина незавершенного производства, занимаемая производственная площадь, съем продукции с 1 м² производственной площади, коэффициент сменности и другие.

Текущие затраты по базовому (существующему) варианту с учетом приведения к тождественному эффекту по объему продукции и качеству Z_1 определяются по формуле:

$$Z_1 = Z_1'(N_1, \omega_1) + \Delta Z_1' + \Delta Z_2', \quad (12.1)$$

где $Z_1'(N_1, \omega_1)$ – текущие затраты на годовой объем выпуска продукции до внедрения средств автоматизации производства, руб/год;

$\Delta Z_1'$ – дополнительные текущие затраты, которые были бы необходимы для выпуска дополнительного объема продукции ΔN , на который увеличится объем выпускаемой продукции в условиях автоматизированного производства, руб/год;

$\Delta Z_2'$ – дополнительные текущие затраты, которые были бы необходимы для повышения качества выпускаемой продукции до уровня (ω_1) , достигаемого в условиях автоматизированного производства.

Капитальные вложения по базовому (фактическому) варианту с учетом приведения к тождественному эффекту (K_1) определяются по формуле:

$$K_1 = K_1(K_1, \omega_1) + \Delta K'_1 + \Delta K'_2, \quad (12.2)$$

где $K_1(K_1, \omega_1)$ – капиталовложения в производственную систему базового варианта до внедрения средств автоматизации, руб.;

$\Delta K'_1$ – дополнительные капитальные вложения, необходимые для выпуска дополнительного объема продукции, на который увеличится объем продукции в условиях автоматизированного производства, руб.;

$\Delta K'_2$ – дополнительные капиталовложения, необходимые для того, чтобы повысить качество выпускаемой продукции до уровня, достигаемого в условиях автоматизированного производства, руб.

Текущие затраты по проектируемому варианту (C_2) рассчитываются по формуле:

$$Z_2 = Z_2(N_2, \omega_2) + Z_{\text{экс}}, \quad (12.3)$$

где $Z_2(N_2, \omega_2)$ – текущие затраты на годовой объем выпуска продукции повышенного качества после внедрения средств автоматизации производства, руб/год;

$Z_{\text{экс}}$ – текущие затраты на содержание и эксплуатацию средств автоматизации производства, руб/год.

Капитальные вложения по проектируемому варианту (K_2) определяются по формуле:

$$K_2 = K_2(N_2, \omega_2) + K_{\text{авт}} - \Delta O_{\text{ос}}, \quad (12.4)$$

где $K_2(N_2, \omega_2)$ – капиталовложения в производственную систему по проектируемому варианту после внедрения средств автоматизации, руб.;

$K_{\text{авт}}$ – капитальные затраты, необходимые для реализации мероприятий по внедрению средств автоматизации, руб.;

$\Delta O_{\text{ос}}$ – оборотные средства, высвобождаемые в результате автоматизации производства.

Размер дополнительных текущих затрат ($\Delta Z'_1$) определяется по формуле:

$$\Delta Z'_1 = \sum_{j=1}^m S_j \Delta N_j, \quad (12.5)$$

где S_j – удельная себестоимость продукции j -го наименования, руб.;

ΔN_j – дополнительный объем продукции j -го наименования, который может быть выпущен в условиях автоматизации производства, шт/год;

n – число наименований продукции, выпускаемой производственной системой.

Размер дополнительных текущих затрат ($\Delta Z'_2$) рассчитывается по формуле:

$$\Delta Z'_2 = \sum_{j=1}^m \Delta S_j \Delta \omega_j, \quad (12.6)$$

где ΔS_j – затраты на повышение качества единицы научно-технического уровня продукции j -го наименования, которые были бы необходимы в базовом варианте для доведения уровня качества до его значения в условиях автоматизированного производства;

$\Delta \omega_j$ – приращение научно-технического уровня продукции j -го наименования по сравнению с тем, которое будет иметь место в условиях автоматизированного производства.

Текущие затраты на содержание и эксплуатацию средств автоматизации определяются по формуле:

$$Z_{\text{экс}} = Z_{\text{зп}} + Z_{\text{соц}} + Z_{\text{ам}} + Z_{\text{эл}} + Z_{\text{рем}} + Z_{\text{вм}} + Z_{\text{пр}}, \quad (12.7)$$

где $Z_{\text{зп}} + Z_{\text{соц}}$ – прямая и дополнительная заработная плата персонала, обслуживающего средства автоматизации и производящего их техническое обслуживание с начислением средств на социальное страхование и налогов, руб/год;

$Z_{\text{ам}}$ – амортизационные отчисления в зависимости от стоимости средств автоматизации, руб/год;

$Z_{\text{эл}}$ – затраты на электроэнергию, руб/год;

$Z_{\text{рем}}$ – затраты на выполнение профилактических и текущих ремонтов, руб/год;

$Z_{\text{вм}}$ – затраты на вспомогательные материалы и другие технические средства, необходимые для нормального функционирования средств автоматизации, руб/год;

$Z_{\text{пр}}$ – прочие затраты на эксплуатацию средств автоматизации (затраты на содержание помещения, освещение, вентиляцию и др.), руб/год.

$$Z_{\text{зп}} + Z_{\text{соц}} = \left(\sum_{i=1}^n \chi_{1j} \Phi_{1j} + \chi_{2j} C_{mj} \Phi_{\text{эф}j} K_{\text{прем}} \right) (1 + H_{\text{д.з.н.}}), \quad (12.8)$$

где $Ч_{1j}$ – численность инженерно-технических работников (ИТР) j -й категории, обслуживающих технические средства автоматизации;

Φ_{1j} – годовой фонд заработной платы ИТР j -й категории, руб/чел.-год;

$Ч_{2j}$ – численность рабочих j -го разряда, обслуживающих технические средства;

C_{mj} – часовая тарифная ставка рабочего j -го разряда, руб/чел.-ч;

$\Phi_{эфj}$ – годовой эффективный фонд времени рабочего j -го разряда, ч/год;

$K_{\text{прем}}$ – коэффициент, учитывающий премии по премиальным системам;

$N_{\text{д. з. н.}}$ – коэффициент, учитывающий размер дополнительной заработной платы и отчисления в фонд социальной защиты и другие налоги;

n – число категорий инженерно-технических работников и разрядов рабочих.

В качестве критерия экономической эффективности внедрения системы автоматизации будем рассматривать показатель «минимум эксплуатационных затрат в стоимостном выражении за жизненный цикл технической системы». Критерий «минимум затрат за жизненный цикл технической системы» целесообразно применять в качестве критерия экономической эффективности при выборе альтернативных вариантов таких систем, которые в процессе эксплуатации обеспечивают одинаковый экономический результат, а также в тех случаях, когда они расходуют свой ресурс и для проведения экономического сравнения стоимости дорогого изделия с высокой степенью экономичности с более дешевым изделием и низкой экономичностью. Жизненный цикл включает время от начала эксплуатации до утилизации системы. Стоимость жизненного цикла (LCC – Life Cycle Cost) рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{жц}} = K_{\text{н}} + K_{\text{з}} + Z_{\text{м}} + Z_{\text{эл}} + Z_{\text{зп}} + Z_{\text{соц}} + Z_{\text{а}} + Z_{\text{рто}} + Z_{\text{ут}}, \quad (12.9)$$

где $K_{\text{н}} + K_{\text{з}}$ – капитальные затраты на покупку нового оборудования (системы автоматизации, строительство здания);

$Z_{\text{м}}$ – затраты на монтаж и пусконаладочные работы;

$Z_{\text{эл}}$ – затраты на электроэнергию;

$Z_{\text{зп}} + Z_{\text{соц}}$ – прямая и дополнительная заработная плата персонала, с начислением средств на социальное страхование и налогов, руб/год;

$Z_{\text{а}}$ – амортизационные отчисления;

$Z_{\text{рто}}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание;

$Z_{\text{ут}}$ – затраты на демонтаж и утилизацию.

Все расходы пересчитываются на год приобретения оборудования с помощью соответствующих дисконтирующих коэффициентов и суммируются за весь период жизни (работоспособности) насосов, срок службы которых обычно составляет от 10 до 20 лет. При суммировании единовременных затрат (в начале периода эксплуатации) и текущих затрат, осуществляемых в разные годы жизненного цикла, необходимо привести их к единому моменту времени путем дисконтирования.

Расчет производится для величин, относящихся к разным срокам службы и на протяжении длительного времени, учитывая инфляцию и эффективность инвестиций, по следующей формуле:

$$C_p = \frac{Z_n}{(1+(i-p))^n}, \quad (12.10)$$

где C_p – расчетная стоимость жизненного цикла, руб.;

n – число лет;

p – средний уровень инфляции, %;

i – банковский процент по депозиту, учитывающий эффективность инвестиций;

Z_n – затраты после n лет эксплуатации, руб.

Обычно учитываются только исходные капиталовложения и эксплуатационные затраты. Применение анализа затрат на протяжении жизненного цикла преследует две цели. Первой и наиболее важной является экономия эксплуатационных расходов, поскольку данный метод позволяет определить, какой из вариантов систем автоматизации обеспечивает оптимальное соотношение цены и качества. Во-вторых, он позволяет минимизировать затраты на оплату труда и потребление электроэнергии.

Основные преимущества критерия интегрального экономического эффекта по сравнению с широко применяемым в настоящее время годовым экономическим эффектом заключаются в следующем.

Интегральный экономический эффект позволяет проводить сравнение проектов, различающихся как затратами, так и результатами. Положительное решение может быть принято по проекту, который характеризуется большими затратами, но и обеспечивает при этом высокий результат за рассматриваемый период.

Он позволяет учитывать в расчетах экономическую динамику, обусловленную движением ставок, цен на ресурсы и продукцию, изменения во времени объемов производства в натуральном и в стоимостном выражении.

12.3. Определение ожидаемой годовой экономии при автоматизации технологических процессов в мелиорации земель

Факторами годовой экономической эффективности АСУ ТП оросительной системы в области производственной деятельности являются:

- прибыль от реализации дополнительно полученной сельскохозяйственной продукции в результате увеличения урожайности культур на орошаемых площадях за счет оптимизации сроков и норм водополива и улучшения работы насосных станций;
- дополнительная прибыль от сдачи государству сельскохозяйственной продукции, полученной на землях, орошаемых экономленной водой;
- сокращение численности обслуживающего персонала насосных станций;
- сокращение затрат по расходу, электроэнергии, потребляемой насосными станциями и другими потребителями.

В области управления улучшаются условия труда и повышается производительность труда работников управления.

Годовая экономия определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = (\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4) - P_{\text{экс}}, \quad (12.11)$$

где $\mathcal{E}_1$ – дополнительная прибыль от реализации сельскохозяйственной продукции, полученной за счет повышения урожайности сельскохозяйственных культур, тыс. руб.;

$\mathcal{E}_2$ – дополнительная прибыль от реализации сельскохозяйственной продукции, полученная на землях, орошаемых экономленной водой, тыс. руб.;

$\mathcal{E}_3$ – экономия фонда заработной платы от сокращения численности обслуживающего персонала, тыс. руб.;

$\mathcal{E}_4$ – экономия средств по расходу электроэнергии, тыс. руб.

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур на орошаемых землях достигается за счет совершенствования процесса полива, регулирования и контроля водоподдачи и водораспределения, улучшения организации обслуживания гидросооружений.

Опыт внедрения автоматизированных систем в нашей стране и за рубежом показывает, что в результате обеспечения оптимальных режимов орошения, водораспределения и качественно нового уровня в управлении водным балансом оросительных систем урожайность сельскохозяйственных культур повышается на 10–15 %.

Экономия за счет повышения урожайности основных сельскохозяйственных культур определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_1 = (S_i U_p K_y)(\mathcal{C} - \mathcal{C}), \quad (12.12)$$

где S_i – площадь, занятая под посевами соответствующих культур, га;
 U_p – урожайность с 1 га, ц;
 Π – закупочная цена 1 ц, руб.;
 C – себестоимость 1 ц, руб.;
 K_v – коэффициент, учитывающий повышение урожайности.

В связи с тем, что за воду, подаваемую на орошение, в большинстве случаев не берется плата, возможную экономию от снижения ее расхода определяют за счет получения дополнительной прибыли от реализации сельскохозяйственной продукции, собранной на землях, орошаемых сэкономленной водой.

Возможный объем сэкономленной воды определяется по формуле

$$\Xi_B = (V_1 K_B) + (V_n K_n), \quad (12.13)$$

где V_1 – годовой расход воды на орошаемую площадь, тыс. м³;
 V_n – непроизводительные потери воды, тыс. м³;
 K_B – коэффициент, учитывающий снижение расхода воды;
 K_n – коэффициент, учитывающий снижение непроизводительных потерь воды.

$$S_i = \frac{\Xi_B}{H_n}, \quad (12.14)$$

где S_i – дополнительная площадь, которую можно оросить сэкономленной водой;

H_n – сезонная норма-полива озимой пшеницы, м³/га.

Валовой сбор культур с дополнительно орошаемой площади (ω_0) определяется как разница урожайности на поливных и неполивных участках:

$$\omega_0 = S_i (Y_1 - Y_2) K_{y1}, \quad (12.15)$$

где Y_1 , Y_2 – урожайность соответственно на поливных и неполивных землях, ц;

K_{y1} – коэффициент, учитывающий повышение урожайности после внедрения АСУ ТП.

Экономия определяется по формуле

$$\Xi_2 = (\Pi - C) \omega_0 - (C_2 S_i), \quad (12.16)$$

где C_2 – затраты на эксплуатацию 1 га орошаемой площади, руб.

1. Дуброва, Ю. Н. Использование природных ландшафтов в сельскохозяйственном производстве в условиях изменения климата / Ю. Н. Дуброва, А. А. Боровиков, Д. М. Лейко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия «Современные проблемы сельскохозяйственного производства на орошаемых землях». Научно-практический журнал. Новочеркасск. – № 2(78). – 2020 – С. 112–117.
2. Дуброва, Ю. Н. Проблемы природных ландшафтов, используемых в сельскохозяйственном производстве / Ю. Н. Дуброва, Д. М. Лейко // Вестник мелиоративной науки. – 2019. – № 3. – С. 12–16.
3. Дуброва, Ю. Н. Использование мелиорированных земель в сельскохозяйственном производстве республики Беларусь / Ю. Н. Дуброва, Л. И. Кумачев, Е. А. Савастеева // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сборник научных трудов по материалам заочной международной научной конференции под общей редакцией Ю. А. Мажайского, В. И. Желязко. Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова. Москва, 2020. – Вып. 8. – С. 148–151.
4. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 10 июля 2009 г. № 920 «О некоторых вопросах эксплуатации (обслуживания) и ведения государственного учета мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений» (в редакции Постановлений Совета Министров Республики Беларусь от 23 октября 2012 г. № 962; от 29 сентября 2016 г. № 787).
5. ТКП 45-3.04-176-2009 «Ремонт мелиоративных систем» [Электронный ресурс]. – URL: <http://bresteg.com/library/ntd/1490-tkp-45-304-176-2009-remont-meliorativnyx-sistem.html>. Дата обращения 20.01.2021.
6. ТКП 45-3.04-177-2009 (02250) «Реконструкция осушительных систем. Правила проектирования» [Электронный ресурс]. – URL: <http://bresteg.com/library/ntd/1458-tkp-45-304-177-2009-rekonstrukciya-osushitelnyx.html>. Дата обращения 20.01.2021.
7. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции: ГОСТ 16504-81. – М.: Стандарт информ, 2011. – 24 с.
8. Анженков, А. С. Эксплуатационная диагностика мелиоративных систем / А. С. Анженков // Мелиорация. – 2018. – №4 (86). – С. 12–15.
9. Равовой, П. У. Эксплуатация мелиоративных и водохозяйственных систем: учебник / П. У. Равовой, Т. П. Иванова. – Горки: БГСХА, 2005. – 312 с.
10. Правила эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений. Утверждено Постановление Совета Министров Республики Беларусь 10.07.2009 № 920.
11. Лихацевич, А. П. Перспективы развития орошения в Беларуси – региона со значительным опытом осушительных мелиораций / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина // вестник мелиоративной науки. – 2019. – № 1. – С. 60–64.
12. Васильев, В. В. Оценка эксплуатационной надежности современной дождевальной техники / В. В. Васильев, О. А. Шавлинский // Вестник Белорусской государственной. – 2012. – № 3. – 87–91.
13. Автоматизация инженерных систем: учебно-методическое пособие / Ю. Н. Дуброва [и др.]. – Горки: БГСХА, 2020. – 425 с.
14. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов: учебник / И. Ф. Бородин, Ю. А. Студник. – М.: Колос С, 2007. – 344 с.
15. Государственная программа «Аграрный бизнес» на 2021–2025 гг. Республики Беларусь на период до 2020 года: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 05.07.2012 г., № 622 // Законодательство Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100059&p1=1> – Дата обращения: 30.03.2021.
16. Вайнберг, М. В. Анализ существующих ультразвуковых средств измерения расхода воды на открытых каналах мелиоративных систем / М. В. Вайнберг, Ю. Ф. Снипич, Л. В. Юченко // Эколого-мелиоративные аспекты рационального природопользования: материалы международной научно-практической конференции. – Волгоград, 2019. – Т. 2. – С. 55–62.
17. Воробьев, В. А. Электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства: учебник / В. А. Воробьев. – М.: Колос С, 2007. – 279 с.

18. Рульнов, А. А. Автоматическое регулирование: учебник / А. А. Рульнов, И. И. Горюнов, К. Ю. Евстафьев. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 340 с.
19. Барсукова, Ю. И. Капельная эрозия почв / Ю. И. Барсукова, М. Ю. Дудкин, Е. Н. Коржов, Д. И. Шеглов // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2008. – № 2. – С. 62–70.
20. Левшунов, И. А. Влияние интенсивности атмосферных осадков, уклона поверхности и сельскохозяйственного использования земель на поверхностный сток / И. А. Левшунов // Мелиорация. – 2016. – 4(78). – С. 40–43.
21. Погодин, Н. Н. Критерии для оценки мелиоративного состояния осушенных земель и мероприятия по улучшению водного режима и урожайности / Н. Н. Погодин, Г. В. Латушкина // Мелиорация. – 2019. – 4(90). – С. 5–11.
22. Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования: ТКП 45-3.04-8-2005 (02250). – Введ. 01.11.2005 г. № 279. – Минск, 2006. – С. 7–8.
23. Дуброва, Ю. Н. О реконструкции старых дренажных систем / Ю. Н. Дуброва, Л. И. Кумачев // Актуальные проблемы молодежной науки в развитии АПК материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – 2020. – Ч. 1. – С. 303–308.
24. Печенина, В. С. Совершенствование технологии проектирования осушительных систем на основе применения новых конструкций для Центра Нечерноземной зоны / В. С. Печенина, Е. В. Носова // Материалы юбилейной международной научно-практической конференции. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова». Издательство: ФГБНУ ВНИИА им. Д. Н. Прянишникова ГНУ ВНИИГиМ. – Москва, 2014. – С. 131–142.
25. Мажугин, Е. И. Мелиоративные машины: учебное пособие в 2 ч. Ч. 1 / Е. И. Мажугин, А. Л. Казаков. – Горки: БГСХА, 2018. – 307 с.
26. Богославчик, П. М. Современный опыт проектирования объектов мелиорации и реконструкции мелиоративных систем / П. М. Богославчик, О. А. Батюшко, В. И. Селезнев, А. В. Высоченко // Наука и техника. – 2014. – № 5. – С. 67–74.
27. Погодин, Н. Н. Ресурсосберегающие технологии обслуживания закрытой дренажной сети / Н. Н. Погодин, А. С. Анженков, В. А. Болбышко // Вестник мелиоративной науки. – 2019. – № 1. – С. 55–60.
28. Погодин, Н. Н. Эксплуатационный контроль технического состояния закрытой мелиоративной сети / Н. Н. Погодин, А. С. Анженков, В. А. Болбышко // Мелиорация. – 2017. – № 1 (79). – С. 13–21.
29. Титов, В. Н. Оценка состава и объемов эксплуатационных работ при нормативном обслуживании мелиоративных систем / В. Н. Титов, Г. Ю. Левин // Мелиорация. – 2015. – № 1 (73). – С. 7–18.
30. Титов, В. Н. Эффективность реконструкции мелиоративных систем / В. Н. Титов, Г. Ю. Левин // Мелиорация. – 2015. – № 2 (74). – С. 7–18.
31. Анженков, А. С. Совершенствование структуры работ при проведении технического обслуживания мелиоративных систем. / А. С. Анженков, Г. Ю. Левин // Мелиорация. – 2016. – № 1 (76). – С. 7–15.
32. Анженков, А. С. Рекомендации по обоснованию объемов и затрат на выполнение работ при нормативном техническом обслуживании мелиоративных систем. / А. С. Анженков, В. Н. Титов, Г. Ю. Левин. – Минск: ИВЦ Минфина РБ, 2016. – 28 с.
33. Анженков, А. С. Обслуживание мелиоративных систем – резервы снижения площадей, нуждающихся в реконструкции / А. С. Анженков, Г. Ю. Левин // Мелиорация. – 2017. – 1(79). – С. 5–12.
34. Левкевич, В. Е. Крепление берегов и верховых откосов подпорных сооружений гидроузлов Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск: БНТУ, 2019. – 172 с.
35. Юрченко, И. Ф. Перспективы развития автоматизированных систем регулирования мелиоративного режима орошаемых земель / И. Ф. Юрченко // Московский экономический журнал. – № 9. – 2019. – С. 100–111.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Приложение к положению о порядке
обследования мелиоративных
систем и отдельно расположенных
гидротехнических сооружений

АКТ обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений

_____ района _____ области	_____ «__» _____ 20__ г.
_____ (населенный пункт)	_____

Комиссия в составе:

_____	_____
_____ (фамилия, инициалы)	_____ председатель комиссии (наименование должности)
Члены комиссии:	
_____	_____
_____ (фамилия, инициалы)	_____ (наименование должности)
_____	_____
_____ (фамилия, инициалы)	_____ (наименование должности)
_____	_____
_____ (фамилия, инициалы)	_____ (наименование должности)
_____	_____
_____ (фамилия, инициалы)	_____ (наименование должности)
_____	_____
_____ (фамилия, инициалы)	_____ (наименование должности)
_____	_____
_____ (фамилия, инициалы)	_____ (наименование должности)
_____	_____

**Техническое состояние
мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений**
в _____ районе _____ области

(по состоянию на 1 декабря 20 ____ г.)

№ п/п	Наименование землепользователей, мелиоративных систем, отдельно расположенных гидротехнических сооружений	Площадь осушенных сельскохозяйственных земель, земель лесного фонда, га	Мелиоративные системы подлежат реконструкции, га	Мелиоративные системы находятся на техническом обслуживании, га	Основные данные о техническом состоянии мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений по результатам обследования										Примечание				
					Каналы, км			водорегулирующие сооружения, ед.	переездные сооружения, ед.		насосные станции, ед.		дамбы, км			Дороги, км			
					протяженность	В том числе			наличие всего	из них исправленных	Наличие всего	из них исправленных	Наличие всего	из них исправленных		протяженность всего	из них исправленных	протяженность, всего	из них соответствуют параметрам и характеристикам
						сверхпустимое заиливание, более 30 см	закустарено												
Председатель комиссии _____																			
Члены комиссии _____																			

СВОДНАЯ-ВЕДОМОСТЬ
по результатам обследования технического состояния мелиоративных систем и отдельно
расположенных гидротехнических сооружений
в _____ области

(по состоянию на 1 декабря 20 ____ г.)

№ п/п	Наименование землепользователей, мелиоративных систем, отдельно расположенных гидротехнических сооружений	Площадь осушенных сельскохозяйственных земель, земель лесного фонда, га	Мелиоративные системы подлежат реконструкции, га	Мелиоративные системы находятся на техническом обслуживании, га	Основные данные о техническом состоянии мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружениях по результатам обследования										Примечание					
					Каналы, км			водорегулирующие сооружения, ед.	переездные сооружения, ед.	насосные станции, ед.		дамбы, км		Дороги, км						
					протяженность	В том числе				наличие всего	из них исправленных	Наличие всего	из них исправленных	Наличие всего		из них исправленных	протяженность всего	из них исправленных	Протяженность, всего	из них соответствуют параметрам и характеристикам
						сверхдопустимое заиливание, более 30 см	закустарено													
Председатель комиссии _____																				
Члены комиссии _____																				

Приложение 4

Приложение к правилам эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений

Периодичность оказания услуг по техническому уходу на мелиоративных системах и отдельно расположенных гидротехнических сооружениях

Наименование сооружений, перечень услуг и мероприятий	Срок выполнения	Примечание
Открытая осушительная сеть		
1. Визуальный периодический осмотр и инструментальная проверка параметров сети	постоянно	
2. Составление актов обследования мелиоративной сети и сооружений на ней, подлежащих ремонту	апрель – ноябрь	
3. Устранение в каналах перекатов, очистка отдельных мест вручную, удаление посторонних предметов, препятствующих нормальному стоку	постоянно	
4. Очистка дна каналов от заиления до 30 см и водной растительности каналоочистителями непрерывного действия, очистителями каналов навесными, экскаваторами с циркульным и решетчатым ковшом, а также очистка экскаваторами от заиления более 30 см на отдельных локальных участках протяженностью до 20 процентов длины канала	»	по мере необходимости
5. Аккумуляция и подача воды в каналы, управление уровнями в засушливые периоды, замеры уровней грунтовых вод в наблюдательных колодцах, каналах, а также замеры влажности почв	март – октябрь	
6. Локальное восстановление креплений дна и откосов каналов (до 20 процентов длины канала), крепление откосов посевом трав	апрель – сентябрь	в соответствии с первоначальным проектом мелиорации земель
7. Скашивание и удаление травы, водной растительности по руслам и берегам каналов и водоемов	май – октябрь	ежегодно не менее 1 раза
8. Удаление кустарниковой поросли	апрель – ноябрь	»
9. Удаление древесно-кустарниковой растительности с откосов, дна и берм каналов	постоянно	
10. Уничтожение кустарника, кустарниковой поросли и водных сорняков (камыш, тростник, рогоз и другая растительность) с помощью гербицидов	15 мая – август	

1	2	3
11. Удаление посторонних предметов, срезка и планировка берм каналов для прохода эксплуатационной техники	в безморозный период года	
12. Локальная планировка откосов	апрель – ноябрь	по мере необходимости
13. Контроль за соблюдением противопожарных мероприятий на осушенных торфяниках и дамбах из торфа, организация и выполнение услуг по тушению пожаров	в пожароопасный период, постоянно	
14. Восстановление береговой обстановки, предупреждающих и указательных знаков, устройство и восстановление малых архитектурных форм	март – ноябрь	
15. Контрольные инструментальные проверки фактических отметок водоприемников, магистральных, проводящих каналов и регулирующей сети	апрель – ноябрь	
16. Подсев трав на откосах каналов после обработки гербицидами и сводки сорной растительности	апрель – сентябрь	
17. Уход за лесопосадками, уборка сухостоя, посадка деревьев взамен выбывших	в течение года	
Закрытый дренаж		
18. Сгущение дренажа в замкнутых понижениях в виде одиночных дрен, устройство колонок-поглотителей и колодцев-поглотителей на них	апрель – ноябрь	
19. Поиск дренажных устьев, обозначение знаками, очистка дренажных устьев и смотровых колодцев от наносов с частичной или полной заменой элементов этих сооружений	»	
20. Промывка дренажно-коллекторной сети, восстановление нарушенных участков, устройство дополнительных поглотителей поверхностного стока на существующем дренаже (колонки-поглотители, колодцы-поглотители)	»	
Организация поверхностного стока и послеосадочная планировка земель		
21. Обследования мелиорированных земель после схода снежного покрова, нанесение вымочек на картографический материал, составление дефектной документации	март – апрель	
22. Раскрытие и засыпка понижений и западин глубиной от 0,15 до 0,5 м при площади до 0,1 га местным или привозным грунтом	в теплый период	
23. Восстановление ложбин, раскрытие понижений и западин глубиной от 0,15 до 0,5 м при площади более 0,1 га и при большей глубине независимо от площади ложбинами или колодцами-поглотителями с максимальной длиной ложбин 400 м	»	

1	2	3
24. Раскрытие замкнутых понижений глубины более 0,6 м с площадью водосбора более 10 га путем устройства копаней с регулированием уровня в них (при размере копани не более 0,04 га)	»	
25. Разравнивание валов прошлых лет после сводки древесно-кустарниковой растительности	в течение года	
26. Организация поверхностного стока вдоль существующих автодорог (устройство кюветов, закрытых воронок)	в теплый период	
27. Планировка площадей мелиоративной системы длиннобазовым планировщиком с предварительной разработкой пласта в составе комплекса услуг по организации поверхностного стока и очистке сети на ней	»	
28. Послеосадочная планировка по трассам коллекторов, дрена, засыпанных каналов, понижений, мест захоронения древесно-кустарниковой растительности в составе услуг: вспашка и разделка пласта бульдозерная планировка выравнивание площадей длиннобазовым планировщиком	через 1–2 года после строительной планировки на объектах реконструкции	по мере необходимости
Водорегулирующие, водосборные и переездные гидросооружения		
29. Визуальный осмотр и проверка технического состояния гидротехнических сооружений	постоянно	
30. Подготовка гидросооружений к безаварийному пропуску весеннего паводка (восстановление аварийного запаса материалов и инструментов, обследование, очистка отверстий от снега и льда, освобождение затворов от льда и другие услуги)	февраль – апрель	восстановление запасов материалов, постоянно
31. Ремонт затворов и винтовых подъемников с частичной или полной их заменой, восстановление резиновых уплотнений, замена шандор	в зимнее время в условиях мастерской	по мере выхода из строя
32. Очистка от ржавчины и покраска металлоконструкций гидросооружений масляными красками, нанесение антикоррозийного покрытия битумными материалами, а также покраска бетонных поверхностей гидротехнических сооружений, расположенных вдоль основных автодорог	при положительной температуре	по мере необходимости
33. Расконсервация водорегулирующих гидросооружений, опробование в работе затворов, проверка уплотнений (подготовка к вегетационному периоду)	февраль – март	

1	2	3
34. Надзор и дежурство на ответственных сооружениях, безаварийный пропуск паводка	февраль – апрель	
35. Обследование гидросооружений после паводка	апрель – май	
36. Аккумуляция влагозапасов и управление уровнями воды	апрель – октябрь	
37. Обследование закрытых водорегулирующих сооружений в период аккумуляции воды и устранение утечек	в период поддержания нормального подпорного уровня	
38. Заделка трещин бетонных поверхностей, стыков блоков труб и других железобетонных элементов, штукатурка бетонных частей сооружений с оголенной арматурой, частичная замена железобетонных элементов (до 20 процентов) под защитой перемычек, при необходимости устройство обводного канала (в соответствии с проектом мелиорации земель)	март – октябрь	по мере выявления
39. Очистка пролетов, проезжей части мостов, шлюзов, понуров, рисберм и звеньев труб-регуляторов, труб-переездов от земляных наносов и посторонних предметов, удаление сорной растительности у сооружений, устранение локальных разрушений и дефектов в откосах насыпи, конусов, исправление профиля покрытий переходного и низшего типов дорожных одежд на участке сооружения в соответствии с параметрами, установленными проектами мелиорации земель	»	
40. Техническое обслуживание подъемных механизмов, затворов, шлюзов, водосбросов, труб-регуляторов с обследованием узлов	постоянно	
Плотины, дамбы, водохранилища, пруды, польдерные системы		
41. Визуальное обследование состояния и контрольные нивелировки параметров плотин, дамб	январь – декабрь	нивелировка не реже 1 раза в год
42. Постоянный оперативный контроль за уровнем воды в водоемах	»	по мере необходимости
43. Поддержание гребней дамб, плотин на уровне, установленном проектом мелиорации земель, заделка колеи, выбоин, просадок, ямочности	»	»
44. Исправление профиля покрытия переходного и низшего типов дорожных одежд плотин, дамб с добавлением материалов до 100 м ³ на 1 км	апрель – сентябрь	»

1	2	3
45. Исправление повреждений крепления откосов плотин, заделка стыков, швов и трещин	май – октябрь	»
46. Восполнение запаса аварийных материалов	январь – декабрь	
47. Скашивание и удаление сорной растительности с откосов и дамб	май – октябрь	ежегодно не менее одного раза
48. Восстановление поврежденных надолбов, береговой обстановки, предупреждающих и указательных знаков	апрель – октябрь	по мере необходимости
Автомобильные дороги		
49. Поддержание полосы отвода, обочин откосов в порядке (скашивание травы, свodka древесно-кустарниковой растительности, уборка мусора, камней)	апрель – октябрь	ежегодно не менее одного раза
50. Профилирование кюветов, обеспечение водоотвода на прилегающих землях, очистка переездных сооружений от наносов, устройство дополнительных кюветов, закрытых воронок, ложбин и других мелких сооружений	постоянно	по мере необходимости
51. Исправление профиля покрытия переходного и низшего типов дорожных одежд с добавлением материалов до 100 м ³ на 1 км	январь – декабрь	»
52. Замена и восстановление поврежденных дорожных ограждений, знаков, защитных и направляющих устройств на опасных участках дорог	постоянно	
53. Грейдирование проезжей части	март – ноябрь	по мере необходимости
54. Расчистка автомобильных дорог от снежных заносов	период со снежным покровом	»
Стационарные насосные станции		
55. Проверка в работе электрооборудования, насосов, трубопроводов, задвижек, вантузов, клапанов и других элементов	январь – декабрь	1 раз в 10 дней
56. Очистка, смазка и замена сальников, прокладок, подшипников	январь – декабрь	по мере необходимости
57. Очистка сороудерживающих решеток аванкамеры или водозаборного колодца	январь – декабрь	»
58. Покраска трубопроводов, металлоконструкций, оборудования и фасадов, окон, дверей, зданий насосных станций соответствующими эмалями и красками	1 раз в 2 года при положительной температуре	
59. Поддержание заданных уровней воды в аванкамере польдерных насосных станций или установленного режима работы	январь – декабрь	
60. Регламентные услуги по электро- и насосно-силовому оборудованию согласно Правилам эксплуатации	постоянно	

1	2	3
Оросительные системы		
61. Расконсервация дождевальных машин и подготовка поливного оборудования к работе	апрель	
62. Проведение пробного полива	до 1 мая	
63. Проведение ежедневного технического обслуживания дождевальных машин, насосных станций и другого оборудования	поливной сезон	
64. После сезонное техническое обслуживание дождевального оборудования и насосных станций	после поливного сезона	
65. Обследование технического состояния и составление актов обследования	перед постановкой на осенне-зимнее хранение	
66. Консервация и постановка дождевальных машин, насосных станций и другого поливного оборудования на осенне-зимнее хранение	сентябрь – октябрь	

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. РАЗВИТИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕЛИОРАЦИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ.....	5
1.1. Состояние и перспективы развития мелиорации в Республики Беларусь в условиях изменяющегося климата	5
1.2. Проблемы и перспективы использования мелиорированных земель южной части Республики Беларусь	11
1.3. Проблемы природных ландшафтов, используемых в сельскохозяйственном производстве	16
1.4. Использование мелиорированных земель в сельскохозяйственном производстве	20
2. ЭТАПЫ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕЛИОРАТИВНЫХ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ.....	24
2.1. Обследование мелиоративных и водохозяйственных систем	24
2.2. Очередность проведения обследования и технического обслуживания мелиоративной системы.....	26
2.3. Использование геоардарного оборудования для обследования мелиоративных систем	31
2.4. Эксплуатационная диагностика мелиоративных систем	38
2.4.1. Система телеинспекции трубопроводов.....	44
2.5. Приемы регулирования водного режима почвы.....	47
2.6. Эксплуатационные работы на осушительных системах	52
2.6.1. Правила эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений	52
2.6.2. Деформации осушительных систем и сооружений	55
2.6.3. Особенности эксплуатации (обслуживания) осушительных, осушительно-увлажнительных систем	63
2.7. Особенности эксплуатации (обслуживания) оросительных систем, осушительно-оросительных систем	64
2.7.1. Перспективы использования дождевальных оросительных систем и оросительной техники	66
2.7.2. Оценка эксплуатационной надежности современной дождевальной техники	74
2.8. Особенности эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, расположенных на загрязненных радионуклидами землях	81
2.9. Анализ экологических опасностей создания и функционирования мелиоративных систем.....	82
3. РОЖДЕНИЕ НОВОЙ НАУЧНОЙ ИДЕИ, СПОСОБНОЙ РЕШИТЬ ПРОБЛЕМУ	92
3.1. Измерение давления и разности давления	92
3.2. Измерение расхода и количества вещества.....	100
3.3. Измерение температуры	112
3.4. Измерение и визуализация уровня жидкостей в закрытых емкостях и открытых каналах	121
3.4.1. Анализ существующих ультразвуковых средств измерения расхода воды на открытых каналах мелиоративных систем	130
3.5. Измерение влажности	136
4. ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ.....	141
4.1. Основные понятия и определения	141
4.2. Автоматическое регулирование температуры	147
4.3. Автоматическое регулирование давления	154
4.4. Автоматическое регулирование расхода воды	159
4.5. Автоматическое регулирование уровня воды.....	162
4.6. Автоматическое регулирование с помощью микропроцессоров	168
4.6.1. Регулирующие органы и механизмы	170
5. УСИЛИТЕЛИ, БЛОКИ СРАВНЕНИЯ, ЗАДАТЧИКИ, КОМАНДНЫЕ УСТРОЙСТВА.....	174
5.1. Полупроводниковые усилители	174
5.2. Гидравлические и пневматические усилители	176
5.3. Электромагнитные командные устройства автоматики.....	180

5.3.1. Электромагнитные реле и электромагниты	180
5.3.2. Электромагнитное реле герконового типа	186
5.3.3. Программируемые логические контроллеры	188
6. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ	191
6.1. Классификация исполнительных механизмов	191
6.2. Электрические исполнительные механизмы (сервомоторы)	191
6.3. Гидравлические и пневматические исполнительные механизмы	198
7. АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ	200
7.1. Схемы управления насосными агрегатами	200
7.2. Заливка насосов водой	202
7.3. Автоматический пуск и остановка центробежных насосов	205
7.4. Управление насосным агрегатом с электрифицированной задвижкой на напорном трубопроводе	210
7.5. Управление насосным агрегатом с вакуум-насосом и электрифицированной задвижкой на напорном трубопроводе	211
7.6. Автоматическое, полуавтоматическое и программное управление насосными станциями	212
7.7. Регулирование подачи центробежных насосов	214
8. АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК АРТЕЗИАНСКИХ СКВАЖИН	225
8.1. Особенности автоматизации артезианских насосных установок	225
8.2. Схемы автоматического управления артезианскими насосными агрегатами	228
8.3. Схемы самозапуска артезианских автоматических насосных установок	230
8.4. Электродрельные датчики и их установка в водопонижающих скважинах	231
8.5. Гидропневматические напорно-регулирующие установки	232
9. АВТОМАТИЗАЦИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ	238
9.1. Степень автоматизации мелиоративных систем	238
9.2. Выбор затворов автоматизированных сооружений на мелиоративных системах	241
9.3. Минимальная необходимая мощность электропривода	245
9.4. Выбор электропривода	250
9.5. Скорость маневрирования затворами	251
9.6. Автоматизация капельного орошения	251
10. ПРОБЛЕМА «СЛАБОГО ЗВЕНА» В ОБЪЕКТЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ	260
10.1. Взаимодействие капель дождя с поверхностью почвы	260
10.2. Влияние интенсивности атмосферных осадков, уклона поверхности и сельскохозяйственного использования земель на поверхностный сток	266
10.3. Критерии по оценке состояния мелиорированных земель и мероприятия по улучшению водного режима	269
10.4. О реконструкции старых дренажных систем	276
11. ФОРМУЛИРОВАНИЕ НОВЫХ НАУЧНЫХ ИДЕЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕЛИОРАТИВНЫХ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ	279
11.1. Принципы создания экологически безопасных мелиоративных систем	279
11.2. Совершенствование технологии проектирования осушительных систем на основе применения новых конструкций	284
11.3. Анализ эффективности эксплуатации и проектирования мелиоративных систем	297
11.4. Ресурсосберегающие технологии обслуживания закрытой дренажной сети	303
11.5. Подбор фильтров дренажа для мелиоративных систем	317
11.6. Использование полимерных материалов в мелиоративном строительстве	326
11.7. Перспективы развития автоматизированных систем регулирования мелиоративного режима орошаемых земель	330
12. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ	339
12.1. Основные источники экономической эффективности автоматизации	339
12.2. Оценка экономического эффекта от использования средств автоматизации в сельскохозяйственном производстве	339
12.3. Определение ожидаемой годовой экономии при автоматизации технологических процессов в мелиорации земель	345
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	347
ПРИЛОЖЕНИЯ	349

У ч е б н о е и з д а н и е

Дуброва Юрий Николаевич
Кукреш Александр Сергеевич
Афанасенко Дмитрий Евгеньевич и др.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ
И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Учебно-методическое пособие

Редактор *Е. П. Савиц*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 23.09.2021. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 20,92. Уч.-изд. л. 20,37.
Тираж 50 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.