

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«АГРОФИЗИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ»

**РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ РАБОТОСПОСОБНОСТИ  
ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА ОСУШИТЕЛЬНЫХ  
СИСТЕМ**

УДК 631.62:626.862  
ББК 40.633

Рекомендации по восстановлению работоспособности закрытого дренажа осушительных систем. Под общей редакцией Н. Н. Дубенка, А. И. Иванова, В. И. Штыкова. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2025. 69 с.

Рекомендации разработаны в ФГБНУ АФИ в соответствии с государственным заданием FGEG-2022-0007 (№ гос. рег. 1021052806344-6). Основаны на обобщении результатов многолетних исследований и накопленного в условиях Северо-Запада РФ опыта эксплуатации и технического обслуживания закрытых осушительных систем. Предназначены для специалистов проектных, мелиоративно-эксплуатационных организаций и сельскохозяйственных предприятий – пользователей закрытых осушительных систем.

Авторский коллектив:

Н. Н. Дубенок (ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева),  
А. И. Иванов, Ю. Г. Янко, А. Ф. Петрушин (ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт),  
В. И. Штыков, А. Б. Пономарев (ФГБОУ ВО Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I),  
В. Е. Молитвин (ООО «Ленводпроект»)

#### РЕЦЕНЗЕНТЫ

**Г. Г. Гулюк**, доктор с.-х. наук, профессор, Заслуженный мелиоратор РСФСР  
**В. Г. Пунтусов**, кандидат технических наук, доцент

Рекомендованы к изданию решением учёного Совета  
ФГБНУ АФИ (протокол № 6 от 27.06.2024).

Утверждены решением секции мелиорации Научно-технического совета  
Минсельхоза России (протокол № 14 от 25.03.2025).

ISBN:

© ФГБНУ АФИ

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ.....	4
2 ЗАДАЧИ И СОСТАВ КОНТРОЛЬНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАБОТ НА КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ.....	5
3 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ.....	7
4 АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РЕЖИМУ ОСУШЕНИЯ.....	14
5 ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ.....	18
6 ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ.....	21
7 НАРУШЕНИЯ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ И МЕРЫ ПО ИХ УСТРАНЕНИЮ.....	28
8 ОБОСНОВАНИЕ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ И МЕТОДОВ ОЧИСТКИ.....	34
9 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ДРЕНАЖА.....	41
10 ПОВЫШЕНИЕ ВОДОПРИЕМНОЙ СПОСОБНОСТИ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ.....	50
11 АГРОМЕЛИОРАТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ НА ЗЕМЛЯХ ОСУШАЕМЫХ ЗАКРЫТЫМ ДРЕНАЖЕМ.....	52
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	57
Приложение 1. Методика определения модуля дренажного стока коллекторно-дренажной сети.....	59
Приложение 2. Методика определения коэффициента фильтрации засыпки по Нестерову.....	61
Приложение 3. Методика определения коэффициента фильтрации защитно-фильтрующих материалов .....	62
Приложение 4. Методика определения коэффициента водоотдачи геотекстильного материала.....	64
Приложение 5. Методика расчета бесполостного дренажа.....	67

# 1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Коллекторно-дренажная сеть является важнейшим гидротехническим компонентом закрытой осушительной системы, определяющим ее общую эффективность. Она представляет собой взаимосвязанную систему трубопроводов и сооружений, обеспечивающую сбор и отвод почвенно-грунтовых вод в открытую проводящую сеть и водоприёмники. В ее состав входят регулирующая сеть дрен и проводящая сеть коллекторов. В сочетании с совокупностью сооружений в форме колодцев (поглотительных, перепадных, смотровых), колонок-поглотителей, промывочных устройств и устьев они формируют заданный проектом водно-воздушный режим корнеобитаемого слоя почвы [1].

В процессе эксплуатации осушительной системы происходит заиливание дренажных труб, вызванное механическим отложением илистых частиц (минеральной, органической, органоминеральной природы) или железистых соединений в форме охры [2]. Процессу кольматажа и заохривания подвержены также водоприемные отверстия дрен, защитные фильтрующие материалы и придренные полости, что существенно снижает дренажный сток. Интенсивность процесса зависит от комплекса сопутствующих геоморфологических, почвенно-литологических, гидрологических и физико-химических условий и существенно возрастает при осушении пылеватых почв легкого гранулометрического состава и обогащенности грунтовых вод закисным железом более 5-10 мг/л.

С целью обеспечения нормативных характеристик дренажного стока и заданного проектом режима осушения коллекторно-дренажная сеть в процессе эксплуатации подлежит регулярному мониторингу и техническому обслуживанию. Оно включает нормативно обоснованный комплекс организационно-хозяйственных и ремонтно-восстановительных работ, направленных на обеспечение стабильной и эффективной работоспособности закрытой осушительной системы. Меры по контролю и восстановлению заданных проектом параметров дренажного стока относятся к числу первоочередных в общем эксплуатационном цикле работ на осушительных системах.

Настоящие «Рекомендации» разработаны на основе обобщения и анализа опыта выполнения научно-исследовательских и ремонтно-восстановительных работ на закрытых дренажных систе-

мах в Ленинградской, Псковской, Новгородской и Калининградской областях Северо-Запада Нечерноземной зоны Российской Федерации.

«Рекомендации» предназначены для землепользователей, а также работников проектных и производственных организаций, связанных со строительством, реконструкцией, ремонтом и эксплуатацией закрытых осушительных мелиоративных систем. Рекомендации устанавливают общий порядок и технические требования, предъявляемые к проведению обследований и восстановлению работоспособности закрытого дренажа.

## **2 ЗАДАЧИ И СОСТАВ КОНТРОЛЬНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАБОТ НА КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ**

Обеспечение надлежащего режима осушения в условиях избыточного поступления грунтовой и атмосферной влаги на мелиорируемые земли требует сочетания высокого качества проектирования и исполнения мелиоративного объекта (в том числе, качества строительных материалов) с правильной организацией эксплуатации коллекторно-дренажной сети и контроля ее технического состояния. Эксплуатация закрытой дренажной сети должна осуществляться в соответствии с требованиями «Правил эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений», утвержденных 26.05.1998 Министерством сельского хозяйства и продовольствия РФ [3] и ГОСТ Р 58376-2019. Мелиоративные системы и гидротехнические сооружения. Эксплуатация. Общие требования [4].

В число основных эксплуатационных задач на коллекторно-дренажной сети входят:

- формирование нормативного дренажного стока, обеспечивающего оптимальный водно-воздушный режим в корнеобитаемом слое почвы для продуктивного роста и развития возделываемых сельскохозяйственных культур и проведения комплекса агротехнологических мероприятий по их возделыванию;

- планирование и проведение регламентных организационных и технических мероприятий по обслуживанию и охране всех компонентов коллекторно-дренажной сети;

- контроль за техническим состоянием коллекторно-дренажной сети и мероприятия по его поддержанию и улучшению.

Эксплуатационный контроль представляет собой сочетание повседневного надзора за соблюдением правил и качеством выполнения работ с регулярными производственными обследованиями состояния закрытой дренажной сети [5].

В состав надзорных работ входят такие их виды как: контроль исполнения правил пользования отдельными компонентами закрытой коллекторно-дренажной сети; визуальный контроль внешнего состояния дренажных систем и сооружений в их составе; выявление мест возможного возникновения аварий; надзор за исполнением плана природоохранных мероприятий; контроль общего количества дренажного стока с осушительной системы и качества дренажных вод.

Производственные обследования включают в себя периодический мониторинг мелиоративного состояния осушенного угодья и технического состояния элементов коллекторно-дренажной сети с обоснованием видов (технический уход, текущий, планово-предупредительный, капитальный или аварийный ремонт) и объемов ремонтно-восстановительных работ, необходимых для обеспечения заданного проектом режима осушения сельскохозяйственного угодья.

Исходя из характера решаемых задач, производственные обследования могут быть сезонными (весеннее – для оценки готовности к работе в полевой период и осеннее – для составления плана ремонтно-восстановительных работ в осенне-зимний период и на следующий год), текущими (наблюдение за режимом поверхностных и грунтовых вод, влажностью почвы в корнеобитаемом слое, дренажным стоком и техническим состоянием отдельных сооружений), особыми (при возникновении стихийных бедствий и аварий) и специальными (проводятся комиссионно с привлечением экспертов и составлением дефектного акта).

### **3 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ**

Работы по обследованию и оценке состояния дренажа являются важной составляющей регулярного мониторинга мелиоративного состояния осушаемых земель и технического состояния осушительных мелиоративных систем в целом [5-7]. Результаты мониторинга являются фактологической базой для: оценки мелиоративно-

го состояния угодья в целом, а также технического состояния закрытой осушительной системы и её отдельных компонентов, в том числе коллекторно-дренажной сети; контроля надлежащей эксплуатации и охраны осушенных земель; планирования текущих эксплуатационных и ремонтно-восстановительных работ на закрытых дренажных системах.

В отличие от регулярного (сезонно-повседневного) характера наблюдений за элементами осушительной системы в режиме контрольно-эксплуатационных работ детальный мониторинг состояния коллекторно-дренажной сети осуществляется с периодичностью, отвечающей специфике почвенно-экологических, инженерно-технических и организационно-хозяйственных условий.

Введенные в эксплуатацию после строительства, капитального ремонта и реконструкции объекты подлежат мониторинговому обследованию в течение первых (1-3) лет эксплуатации. Именно в этот период наиболее высока

вероятность проявления нарушений в работе коллекторно-дренажной сети, связанных как с интенсивной осадкой грунтов, осаждением ила, заохриванием, так и со строительным браком.

Принимая во внимание, положительные результаты эксплуатации осушительных систем в ряде ведущих сельскохозяйственных предприятий региона (ООО «Племенной завод «Приневское», СПК «Кобраловский» Ленинградской области и др.), обоснованной является периодичность мониторингового обследования в пределах от 4-5 до 7-8 лет. Этот режим, обычно, соответствует одному разу за ротацию полевого или специального севооборота. Правильная организация всего комплекса мероприятий от оценки состояния до выполнения ремонтно-восстановительных работ предполагает выделение осушаемого земельного угодья в режим мелиоративного чистого пара. В нём последовательно выполняется следующий комплекс работ:

- мониторинг агромелиоративного состояния угодья и технического состояния элементов осушительной системы;
- регламентное техническое обслуживание коллекторно-дренажной сети и сооружений;
- ремонт и восстановление работоспособности отдельных элементов, в том числе в форме капитального ремонта или реконструкции;
- культуртехническая мелиорация в составе мероприятий по сведению древесно-кустарниковой растительности, удалению камней, формированию дренирующего микрорельефа, обеспечивающего

поверхностный сток;

- окультуривающая химическая мелиорация почвы, предполагающая нормированное внесение известковых мелиорантов и повышенных доз органических удобрений в сочетании со сплошной истребительной борьбой с сорной растительностью;

- агромелиоративные мероприятия по улучшению условий внутрипочвенного и поверхностного стока.

При такой организации работ оптимальными сроками проведения мониторинга в Нечерноземной зоне являются осенние (сентябрь-ноябрь) до формирования снежного покрова или ранневесенние (март-май) после таяния снега. В целом же, в отсутствие жесткого графика регламентных работ, мониторинговое обследование может осуществляться в течение всего весенне-летне-осеннего периода года.

Выполнение задач мониторинга носит последовательный поэтапный характер:

**1 этап – подготовительный** (камеральный). Включает в себя сбор и обработку:

- материалов проектной и исполнительной документации осушительной системы (технические паспорта коллекторно-дренажной сети, её элементов, отдельных сооружений, пояснительные записки к результатам обследований, тематические карты (топографическая, почвенная, гидрогеологическая), картограммы и схемы. Важным его элементом является оцифровка имеющегося картографического материала и схем осушительных систем, представляющая собой самостоятельную прикладную задачу, выполняемую с использованием современного оборудования геопозиционирования и геоинформационного программного обеспечения;

- объективные данные текущих наблюдений за погодноклиматическими условиями, режимом осушения, уровнем грунтовых вод, а также проведения регламентного технического обслуживания, ремонтно-восстановительных работ в предшествующий период;

- данных отчетной документации и опросов агрономической службы хозяйства о качестве регулирования водного режима почв в пределах осушительной системы, наличии повреждений, локальных переувлажненных участков, общем уровне урожайности культур и потерях урожая;

- основных параметров геоморфологических, почвенно-грунтовых и гидрологических условий, контролирующих поверх-

ностный и дренажный сток, переувлажнение почвы, потенциальные риски заиления и заохривания коллекторно-дренажной сети;

- данных гиперспектрального космического зондирования высокого разрешения (при наличии доступа к ним).

На завершающей стадии подготовки к проведению мониторинга формируется план полевого обследования, включающего 2 этапа: дистанционное и визуальное зондирование агромелиоративного состояния осушаемого сельскохозяйственного угодья и технического состояния отдельных элементов дренажной и проводящей сети и точное инструментальное определение основных технических характеристик дренажно-коллекторной сети.

**2 этап – дистанционное и визуальное полевое зондирование** осуществляются в рамках регулярного мониторинга мелиоративного состояния осушаемых земель и технического состояния осушительных систем. Современная методология дистанционного зондирования, разработанная в ФГБНУ АФИ [7], позволяет успешно решать такие важные задачи, как:

- точная пространственная оценка агромелиоративного состояния мелиорированного угодья (координатное положение и занимаемая площадь участков временного переувлажнения, вторичного заболачивания, зарастания древесно-кустарниковой растительностью), технического состояния открытой проводящей сети и отдельных сооружений с определением аварийных и аварийно опасных элементов и участков (рис. 1);

- выявление участков и координатного положения отдельных элементов закрытой осушительной системы, не обеспечивающих нормативный дренажный сток и нуждающихся в детальной инструментальной оценке и первоочередных ремонтно-восстановительных работах;

- определение на основе цифровой 3d-модели поверхности фактических объемов заиления открытой проводящей сети (рис. 2 а) и древесно-кустарниковой растительности, подлежащей к сведению в ходе культур-технических работ (рис. 2 б);

- 3d-моделирование поверхностного стока с определением потенциальных зон водотока и застоя атмосферной влаги на осушаемом угодье (рис. 3).

Данная модель поверхности, характеризующая мезо- и микро-рельеф с субсантиметровым разрешением, является фактологической базой для проектирования работ по организации поверхностного стока избыточных вод, что имеет особенно важное значение



Рисунок 1. Аэрофотоснимок агромелиоративного состояния осушаемого угодья и нарушений ЗК-11 и МЗК-1

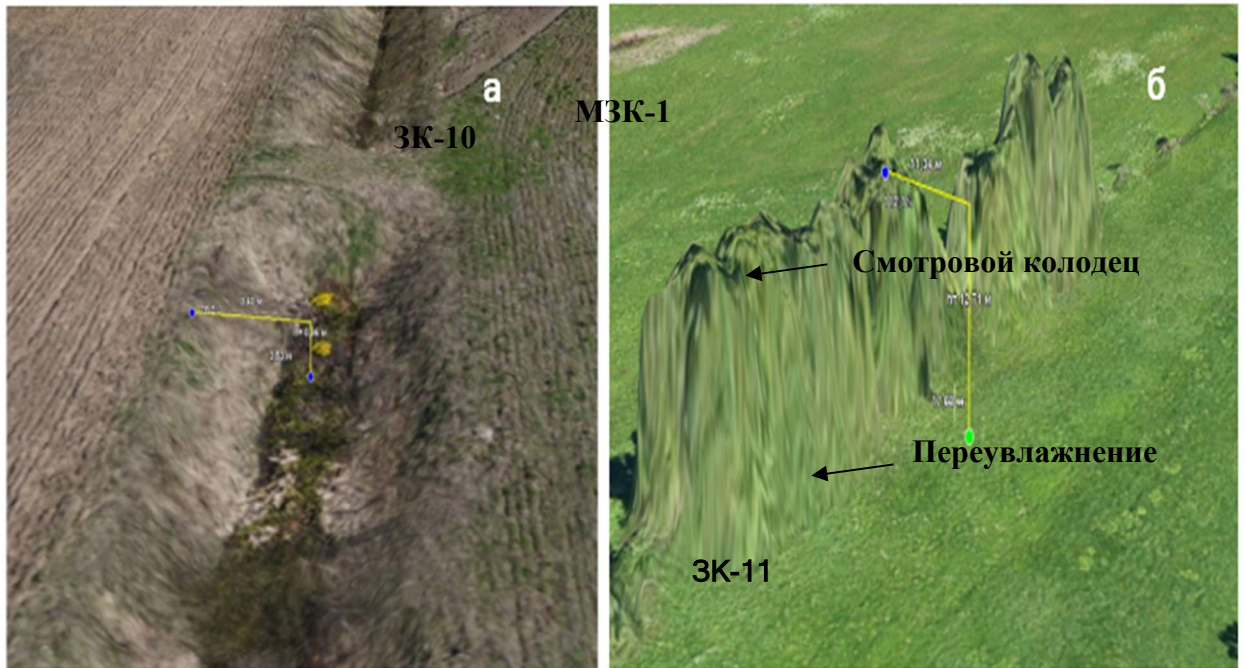


Рисунок 2. Цифровые 3d-модели поверхности для расчета объемов иловых отложений в канале (а) и древесно-кустарниковой растительности (б)

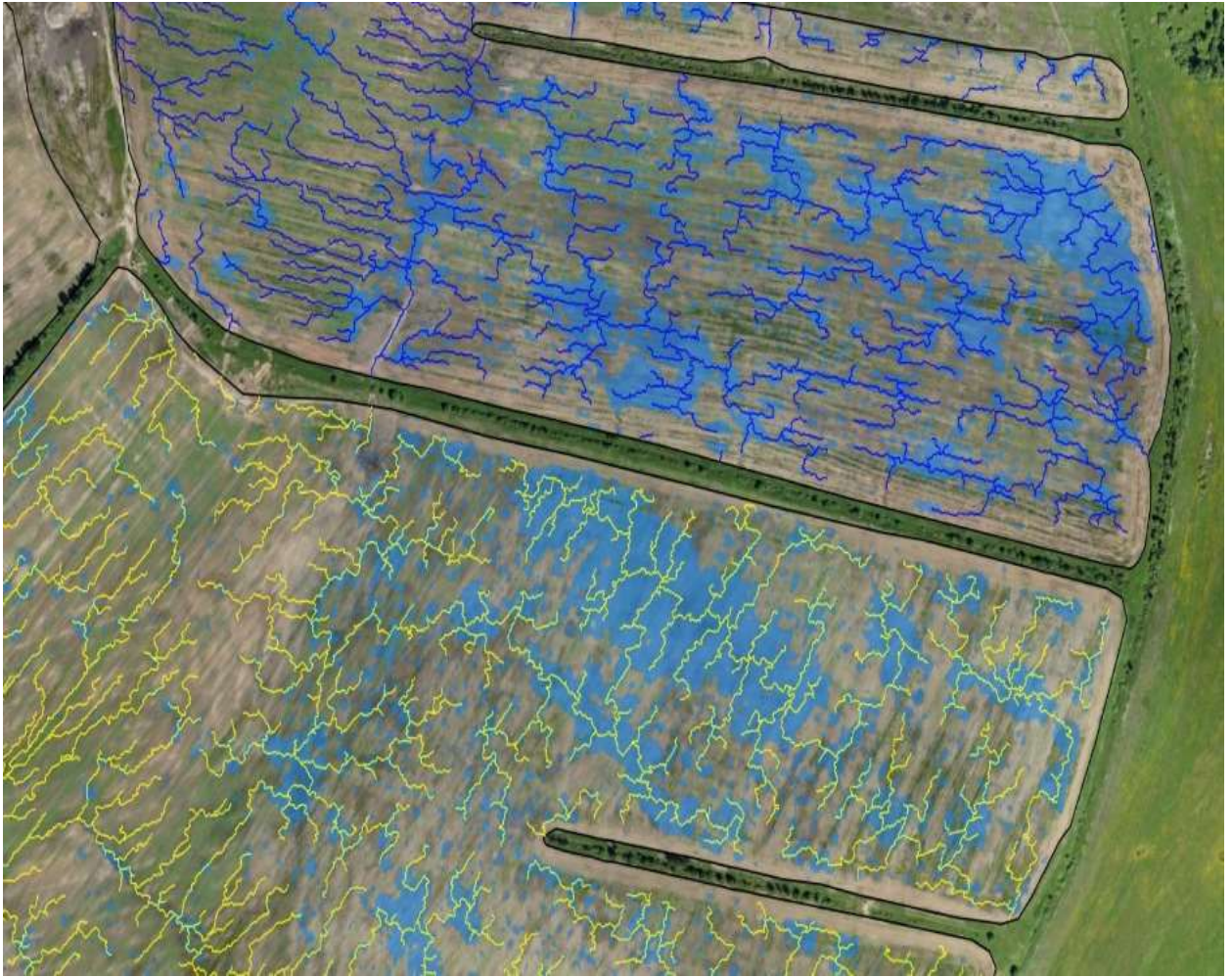


Рисунок 3. 3d-модель поверхностного стока и зон временного застоя атмосферной влаги на осушаемом угодье

для повышения эффективности осушения на почвах тяжелого гранулометрического состава, а также при обеспечении работоспособности открытой регулирующей и проводящей сети;

- точное координатное положение отдельных объектов осушительной системы, в том числе и закрытой дренажно-проводящей сети (рис. 4).

Комплекс технических требований к подготовке, проведению дистанционного зондирования, его инструментальному и геоинформационному обеспечению в настоящее время регламентируется ГОСТ Р 59328-2021 [8]. Разработанная в Агрофизическом институте методика дистанционного зондирования [7] опирается на использование отечественного оборудования (беспилотных летательных аппаратов, навигаторов, фотоаппаратуры и др.), программно-аппаратных и геоинформационных средств, предлагаемых ООО «Геоскан».



Рисунок 4. Геореференсированная схема дренажа, восстановленная по данным аэрофотозондирования [7]

Визуальное полевое обследование направлено на уточнение фактических параметров агромелиоративного состояния угодья (степень переувлажнения, заболоченности, зарастания ДКР, завалуненности, заочкаренности и т.п.) и оценку технического состояния внешних элементов и сооружений: поглощительных, перепадных, смотровых колодцев, колонок-поглощителей, промывочных устройств и устьев.

По результатам дистанционного зондирования выстраивается многослойная цифровая картографическая система, фиксирующая фактическое пространственное распределение отдельных параметров агромелиоративного состояния угодья и технического состояния осушительной системы на момент проведения мониторинга. Все данные полевого обследования при этом фиксируются в соответствующих разделах полевого журнала обследования мелиоративной системы [7].

Материалы полевого обследования служат основной фактологической базой для проектирования культуртехнических работ, а

также ремонтно-восстановительных мероприятий на открытой проводящей сети и сооружениях закрытой дренажной системы. Они же принимаются во внимание при определении точных мест для инструментальной оценки технических параметров всех элементов коллекторно-дренажной сети, предполагающих в том числе их вскрытие.

**3 этап – инструментальное обследование** технического состояния элементов осушительной системы выполняется с целью оценки его работоспособности, а также обоснования выбора и проектирования ремонтно-восстановительных работ. В число наиболее важных параметров, характеризующих работоспособность коллекторно-дренажной сети входит модуль дренажного стока (объем дренажных вод за единицу времени с единицы площади, обычно л/сек/га), в свою очередь зависящий от её водоприемной и водоотводящей способности. Расход воды из каждого коллектора определяется объёмным методом. Для точной оценки технического состояния, вида и степени нарушения дренажной системы используются современные поисковые (ОД-100, ПУ-2, «TRASKA») [5], радиолокационные и телекоммуникационные средства [7].

Доступ к проводящей коллекторной сети обеспечивается через устья и смотровые колодцы. В случае нарушений коллекторно-дренажной сети и сооружений на ней оценка технического состояния осуществляется посредством вскрытия отдельных элементов осушительной системы. При этом оценивается состояние устьевой части коллектора, колодцев и трубных примыканий к ним, соединений дрен с коллектором, состояние коллекторных и дренажных труб, а также трубной полости, защитно-фильтрующего материала, дренажной засыпки. При вскрытии коллекторно-дренажной сети устанавливается глубина дренажа, уклон дренажных линий, виды и пространственное положение механических нарушений, степень заиления и заохривания полостей коллекторов и дрен, а также водопроницаемости дренажной засыпки и защитно-фильтрующего материала. В отсутствие внешних признаков нарушения деятельности регулирующая закрытая сеть обследуется менее детально (один шурф на 1-2 га площади).

На завершающем камеральном этапе из накопленных материалов обследования выстраивается геоинформационная система в составе многослойного цифрового картографического описания объекта осушения, пространственно распределенной базы данных технического состояния и работоспособности осушительной систе-

мы, коллекторно-дренажной сети и ее элементов, её технического обслуживания и агротехнологического использования осушенного земельного угодья. На основе совокупности полученных данных устанавливаются причины неудовлетворительной работы дренажа, оцениваются риски потерь урожая и прямых экономических издержек, определяются эффективные меры по их устранению.

#### **4 АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РЕЖИМУ ОСУШЕНИЯ**

Нормативно функционирующая осушительная система должна обеспечивать регулирование водно-воздушного режима почвы в пределах оптимума для роста и развития возделываемых сельскохозяйственных культур и надлежащей деятельности агротехнологического оборудования на всей осушаемой территории. Любые формы нарушения режима осушения, в том числе и локальные, связанные с прогнозным уровнем потерь урожая и ростом издержек более 10 % являются предметом особенного внимания и анализа как в рамках контрольно-эксплуатационной деятельности, так и в ходе мониторингового обследования.

Востребованный культурными растениями водно-воздушный режим почв характеризуется совокупностью показателей, наиболее важными среди которых являются незначительно варьирующие в течение вегетационного периода оптимальные диапазоны влажности (в % от наименьшей или полевой влагоемкости), общей, капиллярной и некапиллярной пористости почвы и уровня грунтовых вод.

Оптимальное обеспечение корневых систем растений почвенной влагой и воздухом обеспечивается при общей пористости дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв в 50-60 % и равном ее распределении между капиллярными и некапиллярными порами. Пористость почвы наиболее зависима от её гранулометрического состава, плотности сложения и структурного состояния. У почв легкого гранулометрического состава (песчаных и супесчаных), не способных к устойчивому оструктурированию и разуплотнению общая пористость менее динамична и чаще находится в пределах 35-45 %. Заметного улучшения их агрофизических свойств удастся добиться только при повышении содержания органического вещества до 4-5 % в результате интенсивного применения органических удобрений. Н.А. Качинским предложена оценочная шкала общей

пористости для почв тяжёлого гранулометрического состава (табл. 1).

Таблица 1 - Оценочная шкала общей пористости пахотного слоя суглинистых и глинистых почв в период вегетации (по Н.А. Качинскому)

Общая пористость, %	Качественная оценка
>70	избыточная
55-65	отличная
50-55	удовлетворительная
<50	неудовлетворительная
25-40	чрезмерно низкая (иллювиальный горизонт)

При уменьшении пористости аэрации ниже 10-12 % корневые системы растений и аэробные микроорганизмы гибнут от недостатка кислорода, поэтому её уровень в 15 % признан минимально необходимым. Наименее требовательны к ней многолетние травы с минимальным пределом некапиллярной пористости в 15-20 %. Аналогичный уровень для большинства зерновых культур и однолетних трав составляет 20-30 %, для пропашных культур (овощные, картофель, кормовые корнеплоды, кукуруза) – 30-40 %.

Оптимальный уровень полевой влажности почвы зависит от биологических особенностей сельскохозяйственных культур и агрофизических свойств почвы. В связи с изменением потребностей растений в воде в течение вегетации его значение варьирует, но практически никогда не бывает менее 60 % и более 85 % от наименьшей влагоёмкости. Наибольшая нуждаемость в воде приходится на периоды максимального нарастания вегетативной биомассы. Для большинства полевых культур уровень оптимальной влажности почвы в течение вегетационного периода от всходов и активного роста (75-80 % НВ) до созревания и уборки (60-70 % НВ) постепенно снижается на 5-15 %.

Важным интегральным показателем водного режима почвы, закладываемым в проект осушительной системы, является норма осушения - оптимальный для возделываемых культур и хозяйственного использования осушаемых земель уровень грунтовых вод, выражаемый в метрах [9, 10]. Ее значение зависит от сочетания в конкретных условиях ряда факторов: вида растений и фазы их развития; почвенных и метеорологических условий, типа водного питания; агротехнологических требований [9]. Ее повышению спо-

способствует увеличению мощности корнеобитаемого слоя, потребности растений в почвенном воздухе, высоты капиллярного поднятия влаги в почве, количества осадков, удельного давления агротехнологического оборудования и др. Норма осушения, как и уровень оптимальной влажности почвы для сельскохозяйственных культур изменяется в течение вегетационного периода в соответствии с динамикой требований растений к водно-воздушному режиму почвы в разные фазы развития. Поэтому принято нормировать предпосевные (период начала обработки почвы), посевные (посев и 1-й месяц вегетации) и средние за последующий основной вегетационный период нормы осушения (табл. 2).

Таблица 2 - Рекомендуемые нормы осушения для минеральных почв Нечерноземной зоны  
(по Н.Н. Дубенку, К.Б. Шумаковой [9])

Группа культур	Норма осушения (м) по периодам		
	предпосевной	посевной	основной
Яровые зерновые и однолетние травы	0,45-0,50	0,70-0,80	0,70-0,90
Озимые зерновые	0,50-0,60	0,70-0,80	0,70-0,90
Картофель, кормовые корнеплоды и сахарная свекла	0,50-0,60	0,85-1,00	0,90-1,00
Овощные и силосные (кукуруза, подсолнечник в смеси)	0,50-0,60	0,70-0,80	0,80-1,00
Многолетние травы на корм	0,40-0,50	0,50-0,60	0,60-0,75
Многолетние травы на выпас	0,50-0,60	0,60-0,70	0,70-0,80

Так как, норма осушения в значительной мере определяется высотой капиллярного поднятия влаги в почве, контролируемой ее гранулометрическим составом, то её уровень дифференцируется и по почвенным разновидностям (табл. 3).

Режим осушения сельскохозяйственных земель во многом определяется динамикой отвода избыточных вод с осушаемой территории, являющейся важной проектной характеристикой мелиоративной системы. К избыточному увлажнению и затоплению в ранневесенний период сельскохозяйственные культуры адаптированы в разной степени. Поэтому длительность паводкового затопления не должна превышать для многолетних трав 10-20 суток, кормовых и полевых севооборотов (без озимых культур) – 8-15 суток,

Таблица 3 - Норма осушения минеральных почв Нечерноземья

Группа культур	Средняя норма осушения (м) за вегетационный период по разновидностям почв				
	песчаная	супесчаная	среднесуглинистая	тяжелосуглинистая	глинистая
Зерновые и однолетние травы	0,45-0,55	0,50-0,65	0,65-0,80	0,70-0,80	0,70-0,75
Овощные, корне- и клубнеплодные	0,50-0,65	0,65-0,75	0,75-0,85	0,80-0,90	0,75-0,85
Силосные (кукуруза, подсолнечник в смеси)	0,60-0,80	0,75-0,85	0,85-0,95	0,90-1,00	0,75-0,95
Многолетние травы на корм	0,35-0,45	0,40-0,50	0,60-0,70	0,65-0,75	0,60-0,70
Многолетние травы на выпас	0,40-0,50	0,45-0,55	0,70-0,80	0,80-0,90	0,70-0,85

овощных севооборотов – 3-8 суток. При возделывании практически всех полевых и овощных культур их затопление в процессе вегетации недопускается, так как их необратимая гибель начинается уже через 3-5 часов кислородного голодания.

Допустимые сроки отвода избыточных вод определяются, главным образом, биологическими особенностями сельскохозяйственных культур (табл. 4).

Таблица 4 - Предельные сроки отвода избытка воды с осушаемой территории в летне-осенний период [10]

Группа культур	Срок отвода избыточной воды по слоям почвы, сут.		
	поверхность	0-25 см	0-50 см
Зерновые и однолетние травы	0,5	1,2	2-3
Овощные, корне- и клубнеплодные	0,8	1,5	2-3
Многолетние травы	1-1,5	2-3	4-5

Фиксация и оценка текущих параметров режима осушения осуществляются в ходе контрольно-эксплуатационных работ. Нарушение нормативов, предусмотренных проектом, влекущее потери урожая на уровне 10 и более %, служит основанием для про-

ведения внеочередного обследования осушительной системы и её отдельных элементов. По результатам такого обследования разрабатывается порядок мер по приведению коллекторно-дренажной сети и других гидротехнических сооружений в нормативное состояние.

## **5 ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ**

Надлежащая эксплуатация, обслуживание и ремонт коллекторно-дренажной сети – весьма затратные мероприятия, требующие четкого обоснования и эффективной практической реализации. Сформированная к настоящему времени методическая база оценки агромелиоративного состояния осушаемого угодья и технического состояния ее элементов, в том числе и коллекторно-дренажной сети, исходит из трехуровневой системы: «хорошо» - полное соответствие установленному нормативному требованию; «удовлетворительно» - соответствие минимально допустимому нормативному требованию; «неудовлетворительно» - выход за рамки этого минимального норматива. Неудовлетворительная оценка является основанием к принятию решения о проведении капитального ремонта, удовлетворительная – текущего ремонта, хорошая – работ по техническому уходу за элементами коллекторно-дренажной сети.

Работоспособность коллекторно-дренажной сети в целом оценивается по результатам дистанционного зондирования и регулярного инструментального контроля за режимом осушения: дренажным стоком, нормой осушения, сроками отвода избытка воды и водно-воздушным режимом почвы.

В ходе дистанционного зондирования устанавливается доля переувлажненных почв (полевая влажность почвы выше 90 % НВ или угнетенное состояние посева, выражающееся в отклонении нормализованного индекса отражения посева (NDVI) на 10 и более % от нормативного для текущих агротехнологических условий) и (или) вымочек сельскохозяйственных культур от общей площади осушенного земельного угодья. Полученные результаты оцениваются применительно ко всей осушительной системе в целом и ее отдельным коллекторно-дренажным подсистемам с учетом текущих погодных-климатических условий и критериев, разработанных СевНИИГИМ (табл. 5) [6].

Таблица 5 - Оценка работоспособности коллекторно-дренажной сети по доле (%) площади почвенных переувлажнений и вымочек сельскохозяйственных культур [6]

Характеристика года	Месячная сумма осадков, % от нормы	Доля вымочек/переувлажнений (%) по уровням работоспособности		
		хороший	удовлетворительный	неудовлетворительный
Маловодный	30-70	0 / 0	$\leq 1 / \leq 5$	$> 1 / > 5$
Средний	70-130	0 / $< 5$	$\leq 3 / 5-10$	$> 3 / > 10$
Многоводный	130-200	$< 3 / < 10$	3-5 / 10-15	$> 5 / > 15$

Важным показателем работоспособности осушительной системы и мелиоративного состояния сельскохозяйственных угодий в её пределах является срок отвода избыточных вод, поступающих в вегетационный период (табл. 6) [6], устанавливаемый в ходе оперативного эксплуатационного контроля работы системы.

Таблица 6 - Оценка работоспособности коллекторно-дренажной сети по срокам отвода поверхностных и гравитационных вод из пахотного (25 см) слоя в вегетационный период [6]

Группа культур	Сроки (сут.) отвода избыточных (поверхностных / гравитационных) вод по уровням работоспособности		
	хороший	удовлетворительный	неудовлетворительный
Севообороты с озимыми культурами	$< 0,5 / < 0,5$	0,5-1,0 / 1,0-1,5	$> 1,0 / > 1,5$
Севообороты без озимых культур	$< 0,8 / < 1,5$	0,8-1,5 / 1,5-2,5	$> 1,5 / > 2,5$
Многолетние травы на корм	$< 1,5 / < 3,0$	1,5-2,5 / 3,0-5,0	$> 2,5 / > 5,0$

Его дифференциация принята в зависимости от адаптивного потенциала наиболее чувствительной группы сельскохозяйственных культур. В Нечерноземной зоне к таковым относятся озимые культуры (озимые рожь, пшеница, тритикале, рапс, ячмень), характеризующиеся самым продолжительным среди однолетних культур вегетационным периодом. В целом, их чувствительность к избытку влаги в почве мало отличается от других однолетних полевых культур, однако повышенная требовательность к режиму осушения

диктуется высокими рисками длительного переувлажнения даже осушенных земель в осенний и ранневесенний периоды.

Не менее объективным и точным показателем работоспособности дренажной сети является количественная оценка фактического модуля дренажного стока контролируемой осушительной системы в сравнении с аналогичной осушительной системой, находящейся в сходных геоморфологических, гидрологических условиях и хорошем техническом состоянии, принимаемой за эталон (табл. 7, прил. 1).

Таблица 7 - Оценка работоспособности коллекторно-дренажной сети по модулю дренажного стока [9, 11]

Уровень работоспособности	Отношение модулей дренажного стока обследуемой ( $q$ ) и эталонной системы ( $q_э$ )
Хороший	$q/q_э \geq 1,0$
Удовлетворительный	$1,0 > q/q_э \geq 0,6$
Неудовлетворительный	$q/q_э < 0,6$

Важным естественным ограничением применимости данного метода является грунтово-напорный тип водного питания, не позволяющий выполнить объективную сравнительную оценку.

Аналогичным образом объемным методом по расходу воды осуществляется оценка состояния коллекторно-дренажных подсистем, формирующих дренажный сток с коллекторов равнозначного порядка. Таким способом уже в ходе оперативного эксплуатационного контроля или при проведении мониторингового обследования отдельные участки коллекторно-дренажной сети дифференцируются по фактическим параметрам модуля дренажного стока, позволяющим вести оценку эффективности осушения.

В качестве оценочных могут быть использованы экспериментально установленные примерные параметры модуля дренажного стока для почв различного гранулометрического состава: средние и тяжелые суглинки – 0,4-0,5; супеси и легкие суглинки – 0,6-0,7; связные пески – 0,7-0,8 л/сек/га. При сборе и отводе поверхностного стока показатели модуля дренажного стока могут увеличиваться до 0,9-2,0 л/сек/га.

Текущие параметры оценки общей работоспособности коллекторно-дренажной сети, являющиеся результатом правильно функционирующего эксплуатационного контроля в сочетании с

зондированием, служат фактологической базой для более детального обследования технического состояния элементов коллекторно-дренажной сети.

## **6 ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ**

В ходе полевого обследования по трехбалльной шкале ведется комбинированная (визуальная и инструментальная) оценка технического состояния отдельных элементов коллекторно-дренажной сети. Наиболее высоки риски различных форм нарушений у устьевых сооружений дренажных систем, во многом определяющих работоспособность и долговечность всей осушительной сети в целом. По этой причине контроль их состояния и восстановление работоспособности осуществляются в регулярном режиме.

Смотровые и поглоотительные колодцы оцениваются на предмет комплектности, механических повреждений, наличия мусора, заиливания и заохривания отстойника, уровня и проточности воды в колодце (табл. 8).

Таблица 8 - Оценка технического состояния смотровых и поглоотительных колодцев

Уровень технического состояния	Оценочные параметры по показателям				
	мех. повреждения	мусор	заиливание	уровень воды	дренажный сток
Хороший	отсутствуют	отсутствует	до 5 см	в сечении трубы	интенсивный
Удовлетворительный	мин. зазоры в стыках	незначит.	до 50 % диаметра трубы	на 10-20 % выше уровня трубы	заметный
Неудовлетворительный	сдвиг или поврежд. колец, значит. зазоры	значит., затрудняет сток	выше 50 % диаметра трубы	на 20 % и более выше уровня трубы	слабозаметный или отсутств.

Гидрологические параметры колодцев характеризуют не только их собственное техническое состояние, но и наличие нарушений в работе сочлененных с ними элементов коллекторно-дренажной сети.

Дренажная сеть является ключевым элементом осушительной

системы, обеспечивающим сбор и отвод избыточных вод в проводящую сеть. На этапе ввода в эксплуатацию к ней предъявляется ряд технических требований, допускающих отклонение:

- расхождения параллельных дрен на концах – не более 1/500 их длины;
- отметки устья коллектора или дрены –  $\pm 3$  см;
- бокового смещения керамических труб в стыках – не более 1/3 толщины стенки трубы;
- толщины слоя объемного фильтра или присыпки – не более 5 см;
- длины дрены – не более 1 м.

Эффективность дренажной сети в целом определяется двумя факторами водоприемной и водоотводящей способностью. Водоприемная способность во многом зависит от водопроницаемости почвы (гранулометрического состава и суффозионности), фильтрационного сопротивления (количества, размера дренажных отверстий, вида защитно-фильтрующих материалов). К хорошо водопроницаемым относятся песчаные почвы, к слабоводопроницаемым – супесчаные и легкосуглинистые, к условно водопроницаемым – почвы тяжёлого гранулометрического состава. По коэффициенту фильтрации принято выделять пять категорий водопроницаемости почвенных грунтов: хорошая –  $\geq 2$ , средняя – 1-2, ниже средней – 0,5-1, слабая – 0,1-0,5, очень слабая –  $< 0,1$  м/сут.

При этом защитно-фильтрующий материал дрены, сочетающий в себе объемный фильтр (мох, песчано-гравийная смесь, гравий, керамзит и др.) и полимерные нетканые материалы (стеклохолст, геотекстиль и др.) должен: четко соответствовать техническим условиям; не пропускать частицы грунта размером более 0,05 мм и обладать коэффициентом фильтрации при нагрузке 20 кПа не менее 20-40 м/сут [1,11]; иметь не менее, чем пятикратное превосходство над коэффициентом фильтрации почв лёгкого гранулометрического состава и двадцатикратное – для тяжёлых почв.

Формирование дополнительного фильтрационного сопротивления вследствие колюматажа порового пространства фильтрующих материалов, ведет к резкому сокращению водоприемной способности коллекторно-дренажной сети. По этой причине точное количественное определение водопроницаемости дрены является важным предметом оценки технического состояния дренажной системы.

В ходе мониторинга определению подвергается коэффициент фильтрации обратной засыпки дрены по методу Нестерова (прил. 2)

и защитно-фильтрующих материалов (прил. 3). С этой целью в зависимости от мелиоративного состояния угодья закладывается серия шурфов (от 1 на 1 га нормативно осушенной территории до 3 на 1 га переувлажненного участка).

Для обеспечения беспрепятственного отведения воды из пахотного слоя в наиболее напряженный период работы закрытого дренажа коэффициенты фильтрации засыпки и геотекстиля должны соответствовать следующим параметрам:

- для обратной засыпки:

$$K_3 \geq \frac{1,48 \cdot K_n \cdot h_n}{b}, \quad (1)$$

где  $K_3$  – коэффициент фильтрации обратной засыпки, м/сут;

$K_n$  – коэффициент фильтрации пахотного слоя, м/сут;

$h_n$  – мощность пахотного слоя в м;

$b$  – ширина дренажной траншеи в м;

- для геотекстиля:

$$K_2 \geq \frac{1,48 \cdot K_n \cdot h_n}{\pi(d_n + 2\delta)}, \quad (2)$$

где  $K_2$  – коэффициент фильтрации частично заcolmатированного геотекстиля, см/с;

$K_n$  – коэффициент фильтрации пахотного слоя, см/с;

$h_n$  – мощность пахотного слоя, см;

$d_n$  – наружный диаметр дренажной трубы, см;

$\delta$  – толщина слоя защитно-фильтрующего материала, см;

- для обратной засыпки с использованием геотекстиля:

$$K_3 \geq \frac{K_2 \cdot \pi(d_n + 2\delta)}{b}, \quad (3)$$

где  $K_2$  – коэффициент водоотдачи частично заcolmатированного геотекстиля, см/с;

$d_n$  – наружный диаметр дренажной трубы, см;

$\delta$  – толщина слоя защитно-фильтрующего материала, см;

$b$  – ширина дренажной траншеи, см.

В случае применения в качестве защитно-фильтрующих средств современных геотекстильных материалов они должны удовлетворять таким требованиям как: осаждение частиц крупнее 0,05 мм, коэффициент фильтрации –  $\geq 100$  м/сут, пористость ( $n$ ) –  $\geq 0,80$ , коэффициент фильтрации в талом состо-

янии –  $\geq 0,65$ . Водоотдача геотекстильного материала представляет его способность освобождаться от гравитационной влаги после насыщения до полной влагоемкости.

Коэффициент водоотдачи геотекстильных материалов должен соответствовать критериям коэффициента фильтрации в мерзлом состоянии, исходя из максимально возможной приточности по оттаявшему пахотному слою к дренажу в ранневесенний период:

- в случае трубчатого дренажа:

$$K_m \geq \frac{1,48 \cdot K_n \cdot h_n}{\pi(d_n + 2\delta)}, \quad (4)$$

где  $K_m$  – коэффициент фильтрации геотекстиля в мерзлом состоянии, м/сут;

$h_n$  – мощность пахотного слоя, м;

$K_n$  – коэффициент фильтрации пахотного слоя в талом состоянии, м/сут;

$d_n$  – внешний диаметр трубы, м.

- в случае бесполостного дренажа при защите только сверху для исключения просыпания засыпки в заполнитель дрены, выполняемой более мелкозернистым материалом:

$$K_m \geq \frac{1,48 \cdot K_n \cdot h_n}{b}, \quad (5)$$

где  $b$  – ширина бесполостной дрены поверху, м.

Коэффициент фильтрации геотекстильного материала в мерзлом состоянии может быть вычислен по формуле:

$$K_m = K_m \frac{n_3 (\sqrt{\pi} - \sqrt{1-n_3})^2 \cdot (1-n) \cdot \rho_l}{(\sqrt{\pi} - \sqrt{1-n})^2 (1-n_3) \cdot [\pi \cdot \rho_l - 4(n-\mu)\rho]}, \quad (6)$$

где  $K_m$  – коэффициент фильтрации геотекстильного материала в исходном (талом) состоянии, м/сут;

$n_3$  – эффективная пористость, в долях;

$\rho_l$  – плотность льда, принимаемая  $0,917$  г/см<sup>3</sup>;

$n$  – пористость геотекстильного материала, в долях;

$\mu$  – коэффициент водоотдачи, в долях;  $\rho$  – плотность воды, г/см<sup>3</sup>.

Эффективная пористость геотекстильного материала определяется по формуле:

$$n_3 = n - \frac{(n - \mu)\rho}{\rho_n} \quad (7)$$

В паспортных данных современных геотекстильных материалов содержатся параметры коэффициента фильтрации и пористости. Однако данные по коэффициенту водоотдачи геотекстильного материала не приводятся. Его величина в зависимости от марки материала варьирует от 0,01 до 0,78, а коэффициент фильтрации в мерзлом состоянии от 0 до 30 м/сут. При этом пористость всех материалов более 0,8. При выборе геотекстильного материала фактический коэффициент водоотдачи может быть определен в лабораторных условиях (прил. 4).

Водоотводящая способность коллекторно-дренажной сети целиком и полностью определяется гидравлическими характеристиками составляющих ее элементов. В процессе эксплуатации осушительной системы это ключевое свойство регулирующей и проводящей сети постепенно ухудшается вследствие заиления, заохривания, смещения и разрушения трубок, проникновения в них корней растений и иных посторонних предметов.

Постепенное заиление и заохривание труб – одна из наиболее частых причин утраты работоспособности закрытых осушительных систем. Особенно подвержены заилению дрены на суффозионно неустойчивых почвах легкого гранулометрического состава, а заохриванию – закрытая осушительная сеть, отводящая воды с обогащенностью железом выше 5-10 мг/л (табл. 9).

Таблица 9 - Зависимость опасности заохривания дренажа от концентрации железа в воде [9]

Степень опасности	Концентрация железа, мг/л	Внешний вид воды	Внешний вид дна канала в сухое время
Низкая	2-4	Небольшие масляные пятна и слабое заохривание	Следы ржавчины
Средняя	5-8	Средние и крупные масляные пятна и среднее заохривание	Тонкий слой ржавчины
Высокая	9-15	Сплошная масляная пленка и сильное заохривание	Комки ржавчины
Очень высокая	>15	Мутный коричневый цвет воды, очень сильное заохривание	Толстый слой ржавчины

При заилении 30 % полости трубы водоприемная способность

дренажа снижается на 40 %, при заилении 70 % полости – более чем на 80 % (рис. 5).

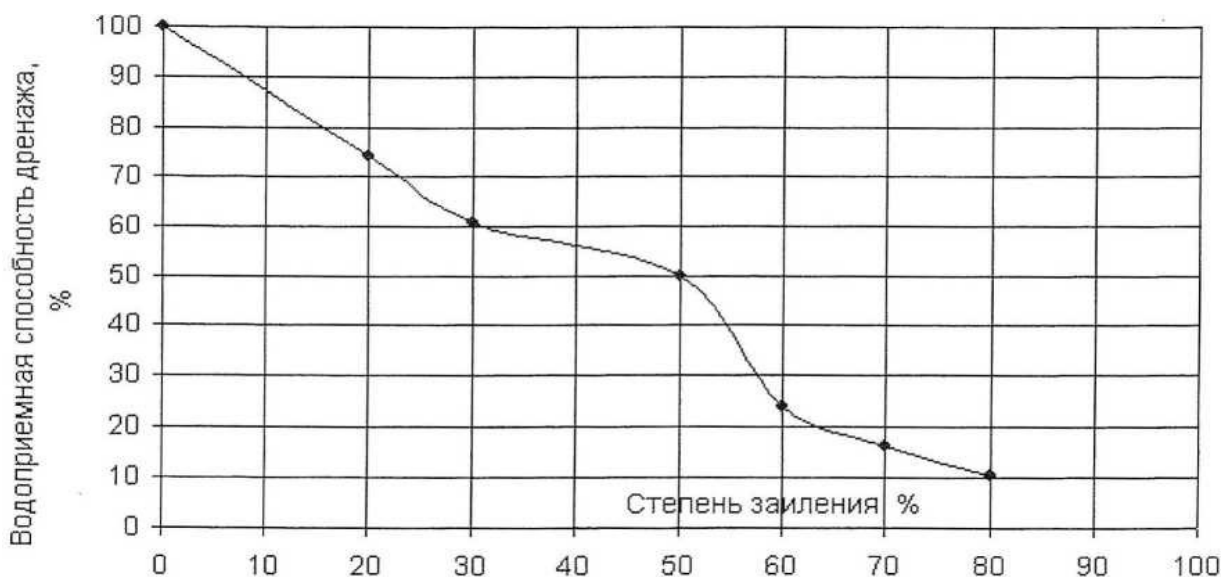


Рисунок 5. Зависимость водоприемной способности дренажного трубопровода от степени заиления

В результате заиления и заохривания резко снижается и водопропускная способность дрен (рис. 6).

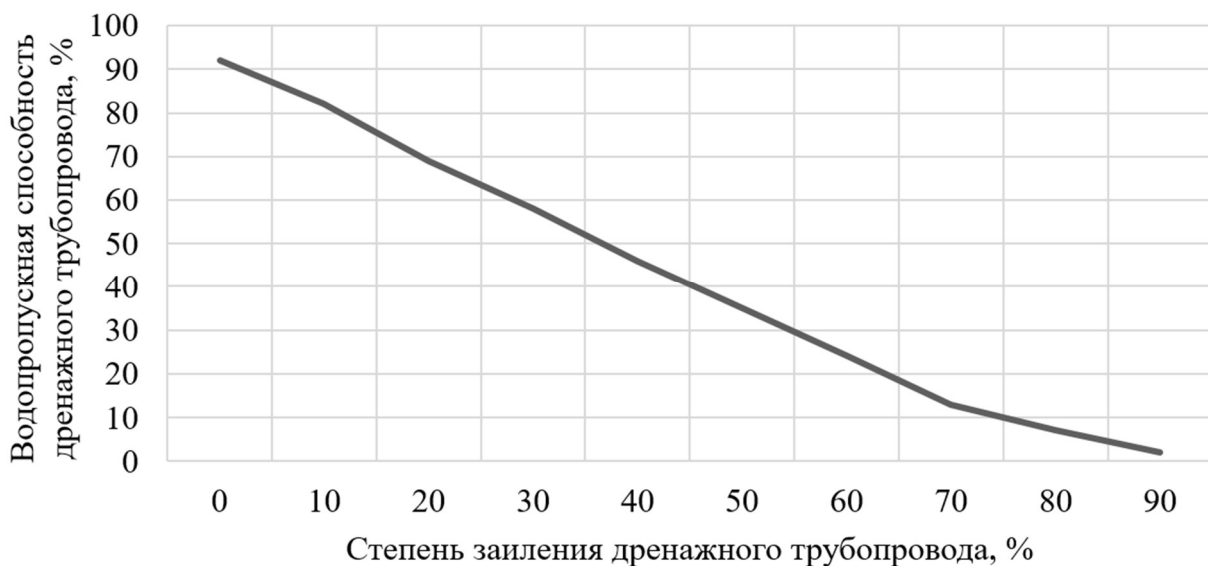


Рисунок 6. Зависимость водопропускной способности дренажного трубопровода от степени заиления

С целью оценки вида и степени нарушения дренажной системы используются современные поисковые (ОД-100, ПУ-2, «ТРАСКА») [5], радиолокационные и телекоммуникационные средства [7]. Они позволяют с высокой точностью устанавливать степень за-

иления и заохривания дрен и коллекторов, а также местоположение механических повреждений.

При заилении дренажной или проводящей трубы до 15 % ее водопропускная способность снижается на 25 %, что, в целом, позволяет сохранять хороший режим осушения при 20 %-ной обеспеченности. Исходя из этого, при заилении коллекторно-дренажной сети до 15 % - её техническое состояние по данному показателю признается «хорошим», 15-35 % - «удовлетворительным», более 35 % - «неудовлетворительным».

Кроме того, в ходе мониторингового обследования при вскрытии проблемных трасс дренажных трубопроводов (исток, середина, места микропонижений и устье) устанавливаются уклон и глубина их заложения, а также качество стыковки и сопряжения дренажных трубок (табл. 10).

По результатам мониторинга: формируется пространственно-атрибутивная база данных, составляющая основу геоинформационной системы обеспечения эффективной деятельности конкретного мелиоративного объекта; дается общая оценка мелиоративного состояния осушаемого сельскохозяйственного угодья и технического

Таблица 10 - Оценка качества стыковки и сопряжения дренажных трубок [11]

Оценка стыковки трубок	Зазор между трубками (мм) при их диаметре (мм)			Отклонение по оси сопряжения трубок, доля от толщины стенки
	50	75-125	150-250	
Хорошая	≤1,5	≤2,0	≤3,0	1/5
Удовлетворительная	1,5-3,0	2,0-4,0	3,0-5,0	1/3
Неудовлетворительная	>3,0	>4,0	>5,0	>1/3

состояния закрытой осушительной системы и её элементов; осуществляется прогнозирование ожидаемой динамики мелиоративного состояния сельскохозяйственного угодья и технического состояния сети и сооружений; обосновываются организационно-хозяйственные решения, в том числе по проведению ремонтно-восстановительных, культур-технических и агро-мелиоративных мероприятий.

## **7 НАРУШЕНИЯ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ И МЕРЫ ПО ИХ УСТРАНЕНИЮ**

Нарушения в работе коллекторно-дренажной сети, ухудшающие осушительный режим и агромелиоративное состояние сельскохозяйственного угодья, обычно вызваны сочетанием негативных естественных процессов (заиливание, заохривание, кольматаж, морозное пучение, уплотнение, осадка грунтов, криогенез, размыв, смыв и др.) с технологическими и агротехническими ошибками: механическим повреждением устьевых сооружений при проведении окашивания и очистки каналов, выпасе скота; повреждением смотровых и поглочительных колодцев при выполнении агротехнических работ; необоснованным гиперинтенсивным применением жидких органических удобрений; нарушением регламента технического обслуживания отдельных элементов закрытой осушительной системы.

В зависимости от вида и степени нарушения отдельных элементов закрытой осушительной системы негативные последствия переувлажнения могут носить сплошной или локальный характер. Чем выше порядок сооружения в коллекторно-дренажной сети, тем больший пространственный масштаб принимают негативные последствия от любых форм нарушений в его работе. Так проблемы переувлажнения в границах целого угодья или значительной его части, чаще вызваны нарушениями в работе водоприёмной и проводящей сети или постепенной деградацией всех элементов объекта вследствие ненадлежащего режима эксплуатации сооружений осушительной системы. Напротив, локальные вымочки полевых культур обычно являются следствием неисправностей на отдельных участках дрен или коллекторов. Несмотря на то, что в каждом конкретном случае происхождение и внешнее проявление нарушений в работе сети имеет определенную специфику, длительный опыт эксплуатации закрытых осушительных систем позволяет выделить наиболее типичные из них. В таблице 11 представлена характеристика наиболее часто встречающихся нарушений, определяющих эффективность отведения избыточных вод коллекторно-дренажной сетью осушительных систем.

Таблица 11 - Типичные нарушения в работе коллекторно-дренажной сети и меры по их устранению

Элемент сети	Недостатки и нарушения в работе	Причины	Меры восстановления работоспособности
1	2	3	4
Коллекторная сеть	Застой воды в коллекторе	Подпор воды магистральным каналом или водоприемником (заиливание, зарастание ДКР, засорение)	Регулирование, углубление или очистка водоприемника и открытых проводящих каналов
	Снижение проводящей способности	Заиливание, заохривание коллекторной трубы	Промывка коллектора, частичная или полная переукладка
		Засорение и механическое повреждение коллекторной трубы	Обнаружение места засора/повреждения и устранение промывкой или переукладкой
		Заиливание, заохривание и засорение смотровых колодцев	Очистка отстойников, удаление мусора, восстановление геометрии
		Механическое повреждение устьевого сооружения вследствие деформации грунта, работы техники и др.	Восстановление устьевого сооружения, обозначение маркерной вешкой
Смотровые и поглотительные колодцы	Снижение проводящей способности и повышение уровня воды	Засорение	Очистка колодца от мусора, установка крышки

1	2	3	4
		Механические повреждения	Устранение механических повреждений с заменой при необходимости отдельных элементов и очисткой отстойника, обозначение маркерной вешкой
		Нарушения трубных соединений в колодцах	Восстановление поврежденных соединений
		Заплывание грунта	Удаление грунта, очистка колодца, устранение смещений, повреждений и восстановление фильтрующей засыпки
		Переполнение отстойника илом и охрой	Очистка отстойника от иловых и охристых отложений
	Повышение уровня воды при нормативном состоянии	Нарушения в работе ниже расположенной проводящей сети	Поиск и устранение нарушений
Дренажная сеть	Снижение дренажного стока при исправном состоянии проводящей сети	Заиление и заохривание дренажной трубы	Промывка дренажной трубы при заилении до 50% Частичная или полная переукладка дренажной трубы при неразмываемом заилении
		Механические повреждения, локальное закупоривание корнями и др., воздушная пробка	Обнаружение места нарушения, вскрытие и частичная переукладка дренажной трубы

1	2	3	4
	Снижение дренажного стока при исправном состоянии проводящей сети и дренажных труб	Кольматаж защитно-фильтрующего материала и объёмного фильтра	Вскрытие дрены, замена защитно-фильтрующего материала и объёмного фильтра
		Низкая водопроницаемость обратной засыпки дрены	Устройство пунктирной фильтрующей засыпки. при необходимости, закрытых собирателей, поглотительных колодцев
	Снижение дренажного стока при нормативном состоянии проводящей и регулирующей сети	Снижение водопроницаемости подпахотного слоя	Глубокое рыхление, щелевание, кротование
			Проектирование и устройство второго дренажного яруса в форме бесполостного дренажа
		Снижение водопроницаемости пахотного слоя	Агромелиоративная система обработки почвы с разрушением плужной подошвы
			Окультуривание и оструктурирование почвы (известкование, применение органических удобрений, посев сидератов с мощной стержневой корневой системой, увеличение мощности пахотного слоя)

1	2	3	4
	Застой атмосферных вод на поверхности понижений	Недостаточная эффективность мероприятий по отведению поверхностного стока	<p>Восстановление мелиоративного микрорельефа почвенной поверхности в приканальной зоне</p> <p>Планировка поверхности с устранением микро- и мезозападин</p> <p>Вскрытие замкнутых понижений, формирование ложбин стока</p> <p>Агромелиоративная система обработки почвы с формированием направленного микрорельефа</p> <p>Применение агромелиоративных систем (технологий) возделывания отдельных культур</p>

## 8 ОБОСНОВАНИЕ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ И МЕТОДОВ ОЧИСТКИ

По данным оперативного эксплуатационного контроля и мониторингового обследования устанавливаются параметры и причины ухудшения режима осушения, принимаются организационно-хозяйственные решения по повышению эффективности осушительной системы. В общем случае «хорошая» оценка состояния элементов осушительной системы позволяет ограничиться режимом регламентного технического обслуживания, «удовлетворительная» - означает планирование и выполнение текущих ремонтно-восстановительных работ, «неудовлетворительная» - ведет к проектированию и реализации мероприятий по капитальному ремонту или реконструкции осушительной системы в целом.

В случае спонтанного нарушения объектов коллекторно-дренажной сети вследствие стихийного бедствия или пренебрежения правилами технической эксплуатации составляется акт обследования сооружения, в котором устанавливается объём и стоимость аварийных ремонтно-восстановительных.

Выбор конкретного вида неаварийного технического обслуживания коллекторно-дренажной сети можно произвести с использованием примерных критериев заиленности коллекторов (табл. 12) [5].

Таблица 12 - Обоснование вида технического обслуживания по степени заиления коллекторно-дренажной сети [5]

Степень заиления, %	Вид технического обслуживания
До 15	Технический уход
15-35	Текущий ремонт
35-50	Капитальный ремонт
>50, корни, недостаточная глубина заложения	Реконструкция

Однако практическое решение вопроса в производственных условиях носит более сложный характер, связанный с обеспеченностью денежными и материально-техническими средствами для выполнения регламентных работ, проведения детального мониторингового обследования, разработки проектно-сметной документации и др.

В условиях ограниченности ресурсов важное практическое

значение имеет и обоснование очередности отдельных объектов в плане выполнения ремонтно-восстановительных работ в рамках сельскохозяйственного предприятия. Алгоритм принятия правильного решения в этом случае опирается на оценку производственной востребованности осушаемого угодья, ожидаемого устойчивого экономического эффекта, уровня потенциального и эффективного плодородия почвы, возможных рисков погодно-климатического и экологического характера и др.

Длительный опыт обслуживания закрытых осушительных систем, показывает, что правильный эксплуатационный контроль и регламентное повседневное обслуживание в формате технического ухода служит главным фактором длительной безаварийной эксплуатации коллекторно-дренажной сети и кратного сокращения затрат на проведение ремонтно-восстановительных работ [1,5,10,11].

В состав наиболее трудоемких работ по техническому уходу, сочетающему в общем виде регламентное повседневное обслуживание и устранение возникающих неисправностей, входят:

- механическая очистка устьев и устьевых труб закрытых коллекторов с применением устройства ОД-100 с совковой, корневой и винтовой насадками [5];
- профилактическая очистка смотровых и поглощающих колодцев от мусора, ила и др.;
- восстановление повреждений открытых элементов коллекторно-дренажной сети;
- частичная последовательная промывка коллекторной сети;
- скашивание трав и удаление (механическое и гербицидное) древесно-кустарниковой растительности на откосах открытой проводящей сети и в приустьевых зонах коллекторной сети.

Работы выполняются специализированным звеном под руководством агронома-мелиоратора с использованием необходимого технологического оборудования.

При привлечении для их выполнения подрядной организации предварительно на основании дефектных ведомостей, составляемых в ходе эксплуатационного контроля, разрабатывается сметная документация.

Планирование текущего ремонта приурочено, как правило, к устранению локальных дефектов и повреждений коллекторно-дренажной сети, имеющей физический износ до 20 %. Фактологической базой для его проектирования и проведения являются данные детального мониторингового обследования каждого элемента

системы. Составление проектно-сметной документации с использованием дефектных ведомостей является важным организационно-хозяйственным мероприятием планирования ремонтно-восстановительных работ.

Ее исполнение может носить комплексный или выборочный характер. В первом случае, ремонту подвергаются все неисправные элементы осушительной системы. Во втором – только те элементы, что формируют максимальные риски для нарушения заданного режима осушения почвы сельскохозяйственного угодья. Выполнение работ по текущему ремонту возлагается на внутривладельческое мелиоративное звено или подрядную организацию. В соответствии с проектно-сметной документацией составляется годовой план проведения текущего ремонта в масштабе конкретной осушительной системы или хозяйства в целом.

В сельскохозяйственных предприятиях с отлаженной системой и службой эксплуатации закрытых осушительных систем ежегодное планирование объемов текущего ремонта включает регламентное комплексное обслуживание 2-3 систем (периодичность 1 раз в 3-5 лет) и выборочный ремонт отдельных риско-опасных объектов на других системах вне регламентных сроков.

Состав основных ремонтно-восстановительных работ здесь практически такой же, что и при техническом уходе. Существенно отличает их значительно превосходящий объем ремонтно-восстановительных работ, затрагивающих не только устьевую и приустьевую, но и практически всю пригодную для промывки часть коллекторно-дренажной сети с заилением до 35 %, а также фильтрующую часть поглощительных колодцев и т.п.

В наиболее трудных условиях, сочетающих в себе серию естественных и антропогенных деградиационных процессов, коллекторно-дренажная сеть утрачивает свой функционал до критических значений, когда прогнозные (для погодноклиматических условий с 10 %-ной обеспеченностью) потери урожая исчисляются десятками процентов. Успешное преодоление комплекса нарушений в пределах осушительной системы с уровнем износа коллекторно-дренажной сети в 20-50 % возможно при правильном проектировании и проведении работ в рамках капитального ремонта осушительной системы.

Для проектирования капитальных ремонтно-восстановительных работ требуется предварительное проведение детального мониторинга агро-мелиоративного состояния осушаемо-

го угодья и технического состояния элементов коллекторно-дренажной сети в соответствии с описанной выше методологией с привлечением специализированных проектно-изыскательских организаций.

В состав наиболее затратных работ по капитальному ремонту входят:

- приведение в нормативное состояние открытой проводящей сети;
- механическая очистка, ремонт или замена устьевых сооружений коллекторов;
- очистка, промывка, частичная замена коллекторной и дренажной сети;
- пунктирное вскрытие дренажных траншей с частичной заменой грунта траншейной засыпки хорошо фильтрующим материалом (устройство пунктирной фильтрующей засыпки или колонок-поглотителей);
- ремонт и восстановление смотровых и поглотительных колодцев, замена отдельных элементов;

Кроме того, к проведению капитального ремонта принято приурочивать химико-мелиоративные работы по окультуриванию почвы, культуртехнические мероприятия по удалению древесно-кустарниковой растительности, камней и профилированию поверхности осушаемого угодья.

Одним из наиболее дискуссионных вопросов нормативно-технического обеспечения ремонтно-восстановительных работ по-прежнему остается выбор обоснованного решения между промывкой избыточно заиленной или заохренной коллекторно-дренажной сети и ее частичной или полной заменой. С одной стороны, технические возможности промывочных устройств постоянно совершенствуются, что позволяет размывать и удалять наилки до 70 и более %. С другой стороны, промывка успешно решает проблему лишь при условии надлежащей работы объемного фильтра и защитно-фильтрующего материала.

Принятие обоснованного решения здесь требует наличия полного набора объективной мониторинговой информации, характеризующей работоспособность всех компонентов коллекторно-дренажной сети. Основанием для вскрытия и переукладки дрен, коллекторов и их участков, является:

- строительный брак (недостаточная глубина заложения, наличие обратных уклонов, воздушных пробок) и т.п.;

- отсутствие или предельный кольматаж объемного фильтра и защитно-фильтрующего материала;
- закупоривание дрен и коллекторов корнями древесно-кустарниковой растительности;
- заиление и заохривание дрен на всем протяжении на 50 и более % при кольматаже защитно-фильтрующего слоя;
- заиление дрен в суффозионно неустойчивых грунтах при нарушении межтрубных зазоров и защитно-фильтрующих материалов.

Принятие решения о промывке дренажа с заилением выше 50 % будет правильным лишь в случае нормативного состояния объемного фильтра и защитно-фильтрующего материала, а также пространственного положения дрены.

В некоторых случаях даже полное восстановление проектных характеристик коллекторно-дренажной сети не гарантирует достижения искомых параметров режима осушения или есть производственная необходимость в их изменении. Наряду с такими определяющими факторами как предельный физический износ, существенное ухудшение почвенно-гидрологических и физических условий, изменение требований к режиму осушения, реконструкция осушительной системы может быть обоснована и внесением современных конструктивных решений.

Особенно трудно обеспечить нормативный режим осушения на слабоводопроницаемых почвах тяжёлого гранулометрического состава. При реконструкции осушительных систем в таких условиях помимо использования новых нормативов и материалов обосновано применение двухъярусных дренажных систем, когда над заложённой ранее и нормативно восстановленной коллекторно-дренажной сетью закладывается сеть бесполостного дренажа или иных технических дренажных решений [1]. Весьма эффективными среди них показали себя колодцы-поглотители и поглотительные колонки. Колодцы-поглотители устраивают для сброса воды из замкнутых понижений площадью водосбора не менее 3 га. Располагают их по границам полей, у дорог, чтобы они не мешали проведению полевых работ. В противном случае их местоположение закрепляется на местности 1-2 бетонными столбами, обеспечивающими визуальное положение колодца при проведении полевых сельскохозяйственных работ.

Кроме того, при современной реконструкции закрытых осушительных систем, особенно на суффозионно неустойчивых пыле-

ватых почвах легкого гранулометрического состава и в иных условиях высоких рисков заиления и заохривания коллекторно-дренажной сети следует предусматривать оснащение дрен стационарными промывочными устройствами (рис. 7).

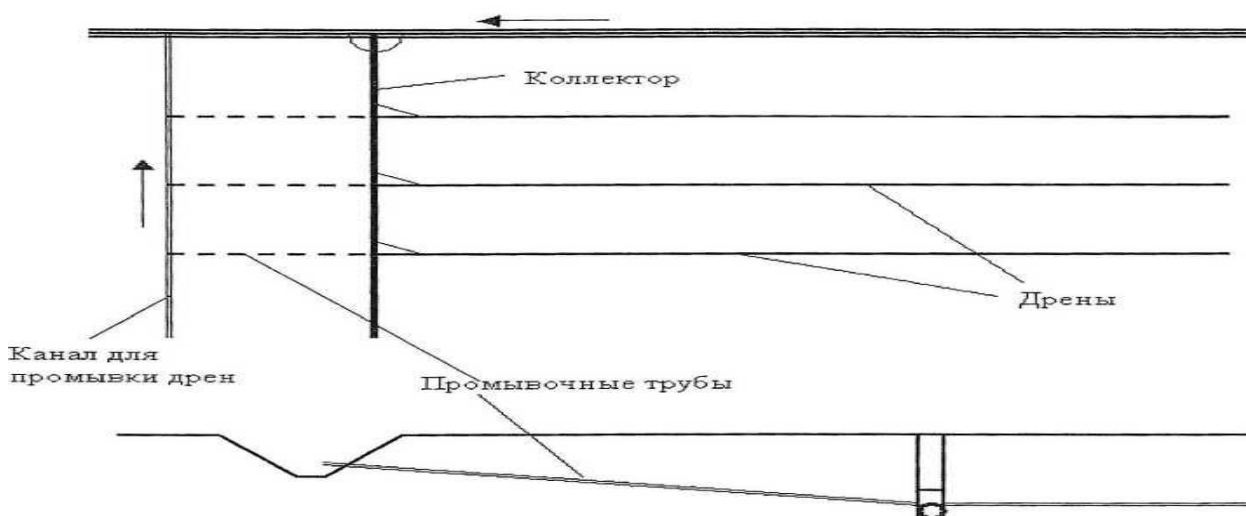


Рисунок 7. Схема оборудования дренажа промывочными устройствами

Их экспериментальная проверка выполнена ранее на опытно-мелиоративных системах, заложенных СевНИИГиМ в Ленинградской области. Их схематические профили применительно к одиночной дрене и закрытому коллектору представлены на рис. 8. Они позволяют вести регулярную высокопроизводительную промывку дренажной сети, обеспечивая долговременное нормативное функционирование коллекторно-дренажной сети.

Нормативная очистка коллекторно-дренажной сети является основным предметом технического обслуживания закрытых осушительных систем на всех его этапах от ухода до капитального ремонта. Многообразие форм и условий сокращения проводящей способности коллекторных и дренажных труб диктует наличие определенного набора методов и реализующих их технических средств. Каждый из них обладает некоторыми ограничениями применимости и комплексом технико-технологических характеристик, позволяющих вести проектирование ремонтно-восстановительных работ.

Очистка коллекторно-дренажной сети с уровнем ее заиления до 15 % малоэффективна с экономических позиций, поэтому работы по её очистке начинают проводить при преодолении этого уровня. Тем не менее, в некоторых неблагоприятных условиях (после введения в строй осушительных систем на суффозионно

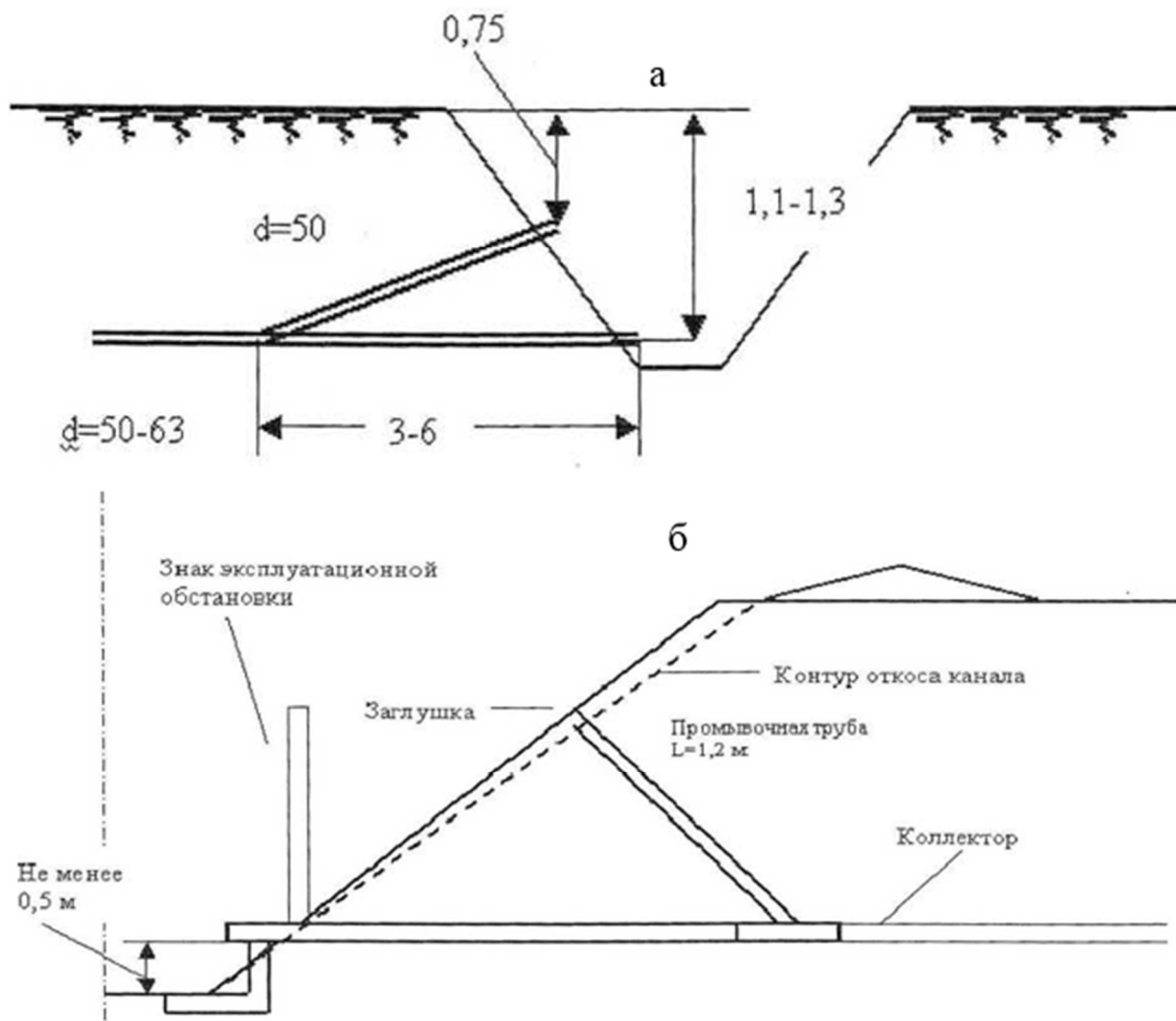


Рисунок 8. Схема промывочного устройства одиночной дрены (а) и дренажного коллектора (б)

неустойчивых пылеватых почвах легкого гранулометрического состава или ожелезненности отводимых вод более  $8$  мг/л) процесс заиления и заохривания может происходить настолько быстро, что нуждаемость в промывке возникает уже на 1-ый или 2-ой год эксплуатации. Такой вид промывки принято называть «строительной».

Наиболее распространёнными методами очистки внутренних полостей труб коллекторов и дрен являются механическое, гидродинамическое и гидроакустическое удаление минеральных, органо-минеральных и охристых отложений, корневых и иных засоров.

Преимущество механической очистки состоит в простоте, дешевизне оборудования и минимальной затратности. Механическим методом в большинстве случаев очищаются устьевые части коллекторов. Важным ограничением применимости механического метода очистки является отсутствие дренажного стока и, как следствие, твердое состояние отложений.

Для механической очистки коллекторов, имеющих дренажный сток, эффективно использовать устройство ОД-100 [5], разработанное в РУП «Институт мелиорации» и производимое в Беларуси, или аналогичные приспособления со сменными рабочими органами для удаления отложений в связно-пластичном состоянии, корневых засоров, илистых и охристых отложений на расстоянии до 100 м. Данное оборудование имеет положительный опыт эксплуатации при заилении дренажа на уровне 15-50 %.

Для удаления локальных корневых засоров в некоторых случаях могут применяться электромеханические приборы со специальными режущими насадками.

В отсутствие дренажного стока и при наличии воды в открытой проводящей сети возможно проведение промывки устьевых частей коллекторов агрегатом УПК-30 на удаление до 30 м [5]. Однако его эффективная работа ограничена еще и средним (15-35 %) уровнем заиления коллекторной сети, что ограничивает его применение преимущественно текущими ремонтно-восстановительными работами. Напротив, для работы в более тяжёлых условиях заиления (35-50 и более %) в режиме капитального ремонта предназначена дренопромывочная машина ОАО «Пинский завод средств малой механизации» УПД-120 (рис. 9).



Рисунок 9. Дренопромывочная машина УПД-120

Для гидродинамической промывки коллекторной сети в широком диапазоне условий пригодны современные мобильные агрегаты с использованием оборудования высокого давления, в т.ч. раз-

работанные в Агрофизическом институте (рис. 10).



Рисунок 10. Опытный образец дренопромывочной машины АФИ

## **9 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ДРЕНАЖА**

Регулярная промывка коллекторно-дренажной сети – одно из самых трудоемких мероприятий в регламенте ее обслуживания. Поэтому обоснованное планирование и проведение промывочных работ, осуществляемое на всех этапах надлежащего технического ухода и обслуживания закрытых осушительных систем, требует точной количественной оценки технического состояния коллекторных и дренажных труб, а также нормативных требований и технических параметров технологического оборудования.

Проведение в ходе мониторинга точной объективной оценки технического состояния коллекторно-дренажной сети с координатной привязкой ее отдельных элементов снижает трудоемкость ремонтно-восстановительных работ на 18-24 %, а оснащение мелиоративного звена дополнительным поисковым радиолокационным, телекоммуникационным и навигационным оборудованием – на 11-19 %. Аналогичные расчеты РУП «Институт мелиорации» из Беларуси оценивают вклад объективного мониторингового обследования в снижение трудоемкости и энергоемкости гидродинамической

очистки коллекторно-дренажной сети в 17 и 39 % соответственно [7].

Выбор оборудования для проведения промывки коллекторно-дренажной сети в значительной мере определяется степенью заиления, объемом илистых отложений, их составом, физическими условиями, определяющими податливость гидродинамическому воздействию, доступностью воды для промывки и рядом других факторов.

Общий объем иловых и охристых отложений существенно варьирует в зависимости от степени заиления и диаметра труб (табл. 13).

Таблица 13 - Объем отложений в зависимости от степени заиления и диаметра труб на 100 м дренажно-коллекторной сети [7,12]

Степень заиления, %	Степень перекрытия периметра	Объем наносов (м <sup>3</sup> /100 м) при диаметре труб					
		50	75	100	150	175	200
10	26,0	0,02	0,04	0,08	0,18	0,24	0,314
20	34,0	0,04	0,09	0,16	0,35	0,48	0,628
30	39,5	0,06	0,13	0,24	0,53	0,72	0,94
50	50,0	0,10	0,22	0,39	0,88	1,20	1,57
70	83,6	0,14	0,31	0,55	1,24	1,69	2,20
80	89,6	0,16	0,35	0,63	1,41	1,92	2,50

При качественном проектировании и строительном исполнении осушительной сети его величина и интенсивность отложения определяется сочетанием местных почвенно-физических, - физико-химических и -гидрологических условий с эксплуатационным режимом закрытой осушительной системы.

Производимые в настоящее время дренажно-промывочные машины для размыва и транспортировки 1 м<sup>3</sup> отложений в отстойники расходуют в среднем 6-10 м<sup>3</sup> воды (табл. 14). Удельные затраты воды во многом зависят от объемов и состояния илистых отложений (табл. 15). Определяющими здесь также являются и технические характеристики дренажно-промывочных машин, устанавливаемые их производителями (табл. 16).

Более современные разработки в формате мобильных установок обладают рядом преимуществ, связанных с автономностью работы, сопровождением поисковым телекоммуникационным, радиолокационным и навигационным оборудованием, позволяющим

Таблица 14 - Расход воды для промывки коллекторной трубы [7]

Диаметр коллектора	Расход воды (м <sup>3</sup> ) на 100 м коллектора при степени заиления (%)		
	<30	30-50	> 50
75	0,5-1,5	1,5-2,5	2,5-3,5
100	1,5-2,5	2,5-4,0	4,0-6,0
125	2,0-3,5	3,5-6,5	6,5-10,0
150	2,5-5,0	5,0-9,0	9,0-14,0
175	3,0-7,0	7,2-12,0	12,0-19,0
200	3,5-9,5	9,5-15,5	15,5-20,5

Таблица 15 - Зависимость расхода технологической воды от вида отложений и степени заиления

Вид наилка	Диаметр трубы, мм	Расход воды (м <sup>3</sup> ) на 100 м коллектора при степени	
		до 50	50-80
Влажные мягкие песчаные наносы и железистые отло-	50-75	1-2	2-3
	≥100	2-3	6-12
Сухие твердые песчаные наносы	50-75	4-5	5-8
	≥100	7-8	10-11
Влажные глинистые отложе-	50-75	5-6	6-9
	≥100	9-10	-
Твердые глинистые отложе-	50-75	8-10	-
	≥100	-	-

Таблица 16 - Техническая характеристика дренопромывочных машин

Показатель	Ед.изм.	Параметры по маркам дренопро-		
		мывочных машин		
		Д-910	УПД-120	АФИ
Тип машины		прицепная	навесная	мобильная
Раб. давление насоса	МПа	2,0	5,0	20-40
Емкость бака	л	1375	-	1000
Расход воды	л/мин	85	115	14-76
Диаметр труб	мм	40-150	50-200	50-200
Производительность	м/мин	1,5-5,0	3,0-30,0	4,2-35,0
Длина промыв. рукава	м	100	300	100
Персонал	чел.	3	3	2

только за счет детального обследования в целом сократить трудовые и эксплуатационные затраты. В частности, опытный образец дренапромывочной машины АФИ оснащен заборным насосом, способным наполнить рабочую емкость за 1,5 мин. Набор оригинальных форсунок высокого давления реактивного и фрезерного типа в сочетании с регулируемым в широком диапазоне рабочим давлением позволяет решать задачу размыва наилка с пониженными на 10-15 % удельными затратами воды. Кроме того, их технические возможности позволяют размывать и транспортировать на расстояние до 20-30 м отложения из дрен с заилением до 80 %. Обслуживается двумя квалифицированными рабочими. Другим важным достоинством таких технических решений является построение промывочной машины под четко заданные потребности эксплуатанта.

Сама же технология промывки в своем принципиальном наборе технологических приёмов для машин разных марок имеет общую схему. Она включает в себя:

- формирование водозабора на открытой сети (при наличии технической возможности);
- закладку шурфов в соответствии с плановой схемой промывки;
- вскрытие и извлечение из шурфа коллекторных или дренажных трубок, с формированием отстойника;
- извлечение трубок из шурфа, очистка, обратная укладка с использованием защитно-фильтрующих материалов;
- подготовку дренапромывочной машины к работе (развертывание рукавов и рабочих органов, при необходимости заправка водой)
- промывку рабочего участка коллектора или дрены;
- удаление ила и формирование траншейного дна дрены;
- очистку и укладку трубок на дно с использованием защитно-фильтрующего материала;
- формирование объемного фильтра из песчано-гравийной смеси или аналогичного фильтрующего материала;
- обратную засыпку шурфа;
- свертывание оборудования и переезд к следующему шурфу.

Вода является основным и высокообъемным производственным средством промывки дренажных труб (табл. 14, 15). Физические затраты на её транспортировку составляют значительную долю общих технологических издержек даже при её свободной до-

ступности в открытой проводящей сети. При проведении работ в неблагоприятных (засушливых) условиях издержки на ее транспортировку возрастают кратно. Так в отсутствие дренажного стока наилок переходит в твердое состояние, что увеличивает потребность в воде в 3-5 раз. В производственных условиях это обстоятельство нередко заставляет переносить сроки промывки на более благоприятные погодные условия. Вследствие этого организация локального забора технологической воды из открытой проводящей системы является важным залогом снижения производственных затрат на промывку. В случае недостаточного уровня (менее 0,2-0,3 м) и расхода воды в канале (менее 1 л/с) для формирования водозабора применяется мягкая плотина МП-2 [7].

Промывка дренажного коллектора осуществляется через устье, смотровые колодцы, специально смонтированные на дренаже промывочные устройства и сеть закладываемых на определенном расстоянии шурфов с прямыми-отстойниками. Промывают, как правило, проводящую коллекторную сеть. Промывку начинают с устьевого участка коллектора до первого шурфа, затем от шурфов далее по длине коллектора. При промывке очередного участка ниже расположенный промытый отрезок защищается пробкой.

После промывки коллектора последовательно промываются дрены. Промывка регулирующей сети дрен весьма трудоемка и может проводиться от мест подключения к коллектору, а также от истоков дрен.

Схема закладки шурфов является основным рабочим документом при проведении промывки (рис. 11). Ее проектирование осуществляется по результатам детального мониторингового обследования технического состояния коллекторно-дренажной сети. Фактологической базой для ее проектирования являются рабочая схема коллекторно-дренажной сети с результатами определения уровня заиления дренажных труб (в геоинформационной системе мониторинга это один из картографических слоев) и технические параметры дренопромывочной машины.

Предельные расстояния промывки (100 м и более) допустимы при заиленности до 30 %, хорошей податливости наилка размыву, гидравлической транспортировке и отсутствии нарушений внутри дрены. При использовании ряда промывочных машин эта величина ограничивается техническими возможностями агрегатов (УПК-30 – 30 м, Д-910 – 50 м) поэтому в рабочую схему закладывается режим

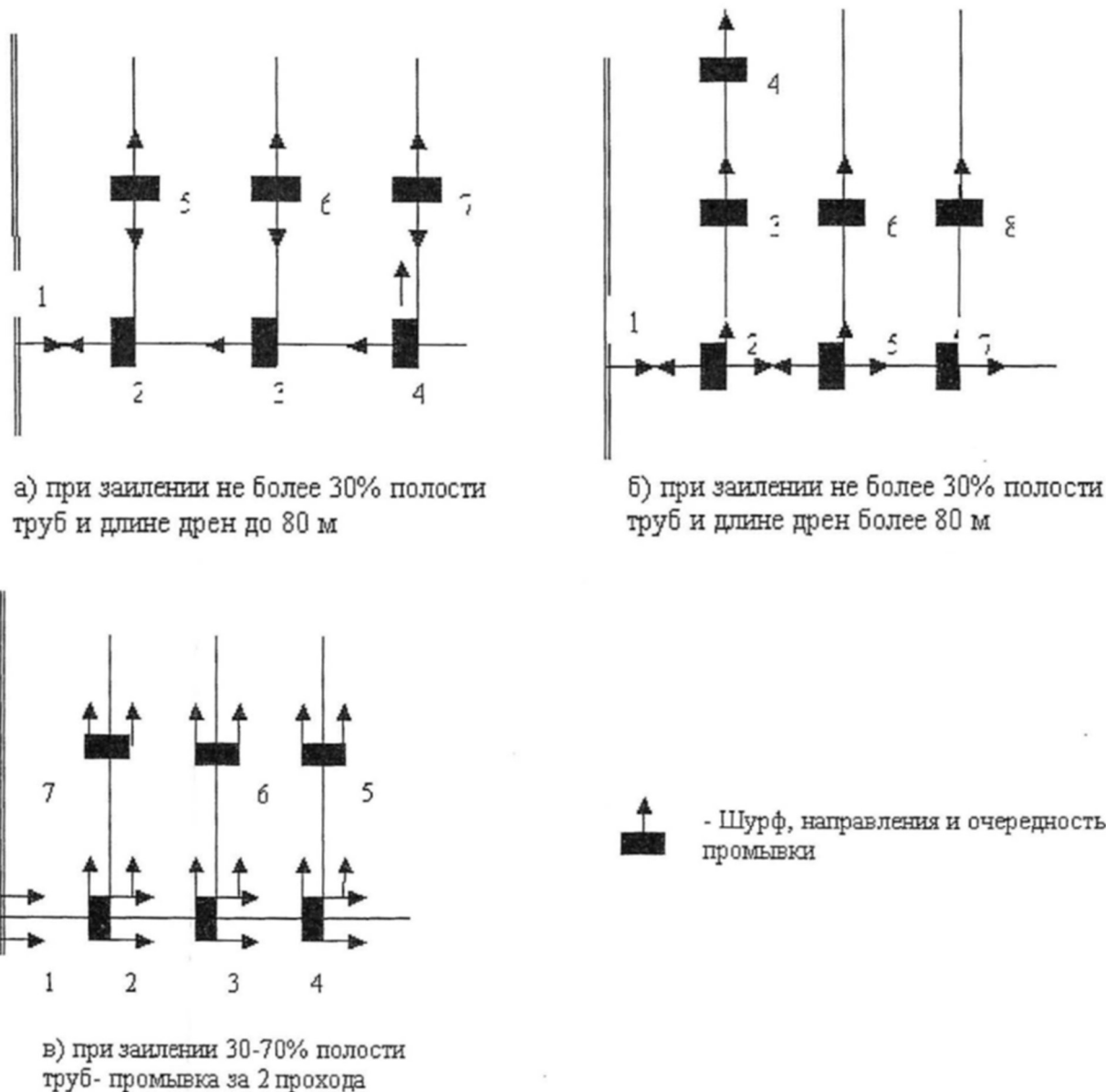


Рисунок 11. Рабочая схема закладки шурфов, последовательность и направление промывки коллекторно-дренажной сети [1]

шурфования в 25-50 м. Кроме того, дополнительные шурфы закладываются во всех точках нарушения (закупорки) дрен.

При промывке коллекторно-дренажной сети диаметром 100-150 мм и более, а также высокой степени заиления (50 % и более) физическая возможность гидравлической транспортировки наносов ограничивается 25-30 м. Поэтому в наиболее тяжёлых условиях промывки шаг шурфления (промывки) принимается в 20-25 м.

Закладка и обратная засыпка шурфов производится с использованием экскаватора с ковшом 0,2-0,3 м<sup>3</sup> и шириной 0,5-0,6 м на глубину менее верхней кромки трубы на 0,10-0,20 м (рис. 12, 13). Его доработка с изъятием 2-5 трубок и формированием отстойника глубиной 0,3-0,5 м осуществляется вручную. На вскрытый участок

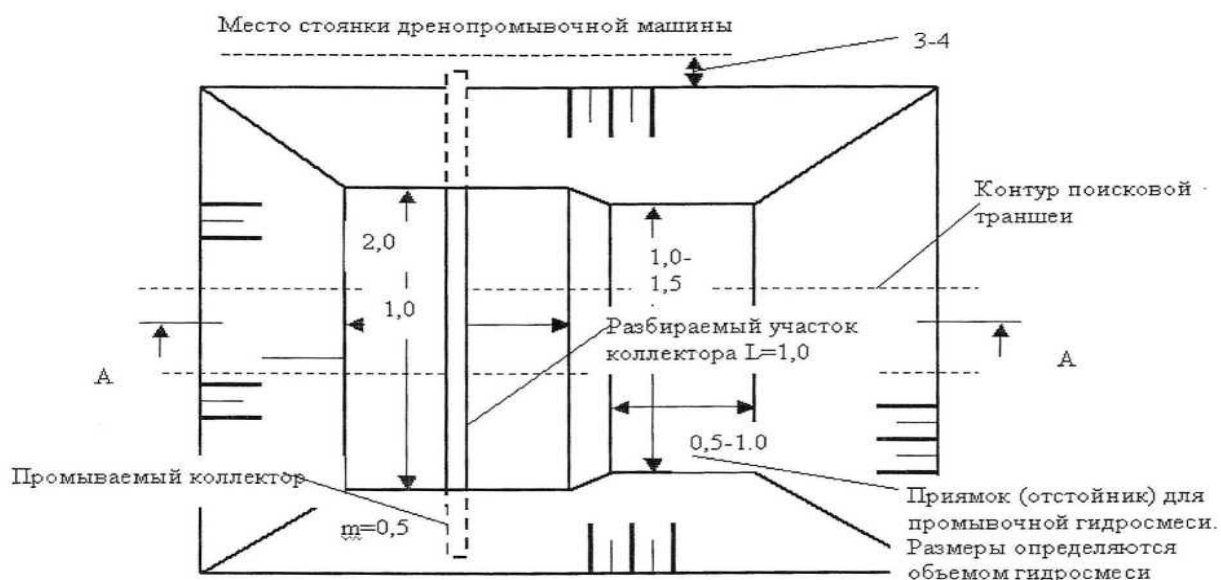


Рисунок 12. Продольный разрез промывочного шурфа коллектора [12]

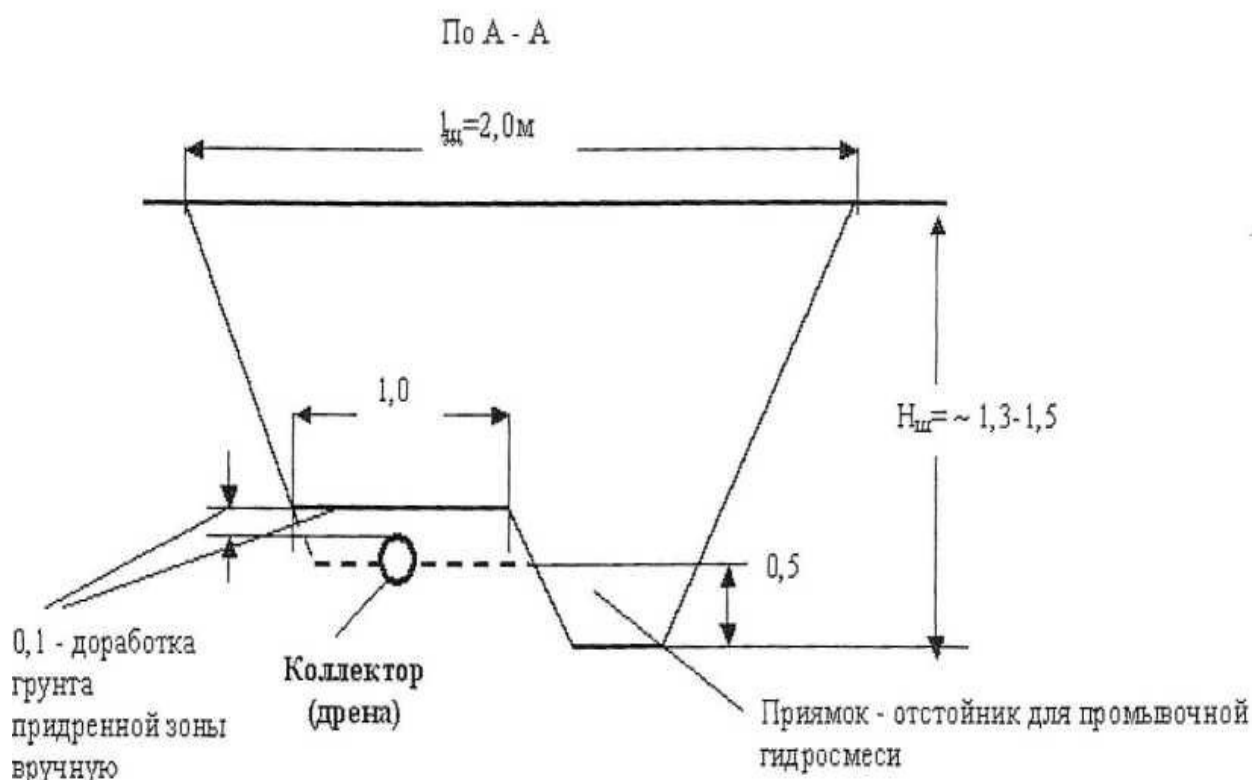


Рисунок 13. План устройства промывочного шурфа коллектора [12]

устанавливают временные заглушки для ограничения стока воды.

Процесс гидравлической промывки (рис. 14) представляет последовательное введение рабочего органа (реактивной головки) на плановую длину и её изъятие из дренажной трубы. Рабочая скорость подачи промывочного рукава в зависимости от особенностей отложений и технических характеристик машины составляет от 0,1



Рисунок 14. Схема промывки дрены в месте подключения к коллектору [12]

до 0,5 м/сек. Эти же факторы определяют и количество возвратно-поступательных движений (проходов) рабочего органа для достижения заданного эффекта промывки (табл. 17). При возвратном

Таблица 17 - Количество проходов рабочего органа УПД-120 в зависимости от диаметра и степени заиления коллектора [12]

Диаметр коллектора, мм	Количество проходов при степени заиления (%)		
	<30	30-50	>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

движении рабочее давление в системе может снижаться в 1,5-3 раза.

В большинстве случаев, при промывке заиленных до 30 % дренажных труб малого (до 100 мм) диаметра достаточно одного прохода рабочего органа на установленную промывочную длину. Увеличение их заиленности до 70 % заставляет удваивать и утраивать количество промывочных проходов рабочего органа. Основным критерием успешного завершения процесса является свободное передвижение рабочего органа по трубе, отсутствие в ней твер-

дых частиц и вытекание осветленного рабочего раствора с минимальным количеством взвеси.

При промывке значительно заиленных участков коллекторов и дрен возникает необходимость удаления избытка взвеси из отстойника с использованием мотопомпы или дренажного насоса.

Обратная укладка дренажных и коллекторных трубок осуществляется после их очистки или замены на новые, восстановления дренажного дна, и оборачивания в слой защитно-фильтрующего материала, отвечающего требованиям п. 7. Трубы восстановленных участков надежно соединяют с дренажной или коллекторной трубой и по всему периметру защищают рулонным геотекстилем. Для соединения труб используют соединительные муфты соответствующих диаметров. Наиболее ответственно с использованием соединительных муфт (тройников) восстанавливаются подключения дрен к коллектору.

Затем формируется объемный фильтр из песчано-гравийной смеси слоем не менее 0,2 м. В благоприятных почвенно-физических условиях допустимо использование грунта с коэффициентом фильтрации не менее 1 м/сут. Напротив, на заплывающих почвах тяжелого гранулометрического состава обратную траншейную засыпку правильнее проводить песчаной гравийной смесью вплоть до нижней границы пахотного слоя.

Минимально необходимый состав мелиоративного звена по промывке коллекторно-дренажной сети варьирует от 2 человек при проведении технического ухода и текущего ремонта на коллекторах с использованием УПК-30 и мобильных комплексов (типа ДПМ АФИ) до 4-5 и более человек – при выполнении капитальных ремонтно-восстановительных работ. Так максимальная производительность дренопромывочной машины в 105-132 м/час (на коллекторе диаметром 100 мм с заилением от 30 до 70 %), разработанной в АФИ, обеспечивается при использовании 2 человек (1 рабочий и 1 обслуживающий специалист) на промывке и 3 человек (машинист экскаватора и 2 рабочих) на закладке и обратной засыпке шурфов. Отказ от самостоятельной землеройной группы сокращает производительность промывки более, чем в 1,5 раза.

## 10 ПОВЫШЕНИЕ ВОДОПРИЕМНОЙ СПОСОБНОСТИ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ

Накопленный ранее в СевНИИГиМ опыт [1] эксплуатации опытно-мелиоративных систем на территории Северо-Запада РФ показал, что труднее всего заданный проектом режим осушения достигался на заплывающих почвах тяжёлого гранулометрического состава. В большинстве случаев его было не достигнуто без проведения дополнительного комплекса агро-мелиоративных мероприятий, связанных с организацией поверхностного стока и повышением водоприемной способности коллекторно-дренажной сети.

Лучшие результаты оптимизации водного режима осушаемых почв были достигнуты при проектировании для таких сложных почвенных условий двухъярусных осушительных систем [1]. Опыт их экспериментальной оценки показал, что проектирование и закладка второго бесполостного дренажного яруса является высокоэффективным мероприятием при реконструкции закрытых осушительных систем, характеризующихся хорошими параметрами водоотводящей способности при неудовлетворительной водоприёмной способности. При этом лимитирующим фактором в таких условиях выступает низкая водопроницаемость обратной дренажной засыпки. Отводящая же способность регулирующей и проводящей сети должна соответствовать модулю дренажного стока не менее 2 л/с/га.

Примерная рекомендуемая схема устройства бесполостного дренажа представлена на рисунках 15, 16.

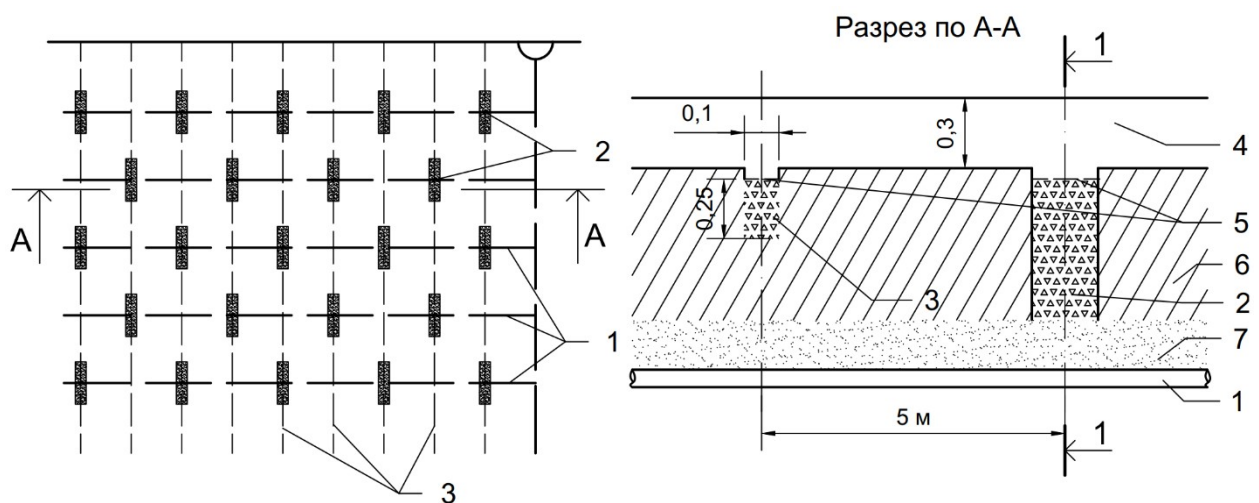


Рисунок 14. Конструкция двухъярусного дренажа с поглотительными колонками (1 – трубчатые дрены нижнего яруса; 2 – узлы сопряжений дрен верхнего яруса с трубчатыми дренами (поглотительные колонки); 3 – бесполостные дрены верхнего яруса через 5 м; 4 – пахотный сло

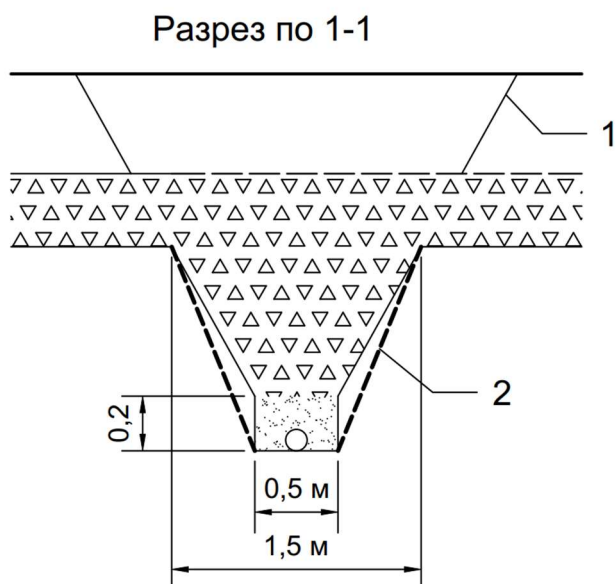


Рисунок 15. Узел сопряжения бесполостной дрены и трубчатой дрены нижнего яруса (поглотительная колонка) (1 – контур приемка для устройства узла сопряжения; 2 – контур узла сопряжения при отсутствии объемного фильтра трубчатой дрены)

Ниже приведены результаты гидравлического расчёта бесполостных дрен для представленной системы двухъярусного дренажа с использованием оригинальной методики (прил. 5).

Гидравлический расчет бесполостных дрен в системе двухъярусного дренажа с использованием исходных данных (заполнитель бесполостных дрен и узлов сопряжения бесполостных дрен с трубчатыми - щебень фракции 5 – 10 мм; ширина бесполостных дрен по основанию – 10 см. Расстояние между дренами нижнего яруса – 30 м. Бесполостные дренаи подключаются к дренам нижнего яруса через одну дренаю, то есть через 60 м и прокладываются без уклона. Величина расчётного модуля дренажного стока принята 2 л/(с\*га), чтобы даже в критические периоды бесполостные дренаи работали в безнапорном режиме. Принимаем также, что бесполостные дренаи включаются в работу весной с момента оттаивания пахотного слоя и в этот период нижний ярус работает только на прием стока из дрен верхнего яруса) показал, что практически на всей длине каждой из бесполостных дрен будет ламинарный режим движения воды, при котором связные грунты на контакте с заполнителем дрен не подвергаются размыву. Высота бесполостных дрен принята равной 25 см. В этом случае защита от заиления осуществляется только по горизонтальной поверхности контакта заполните-

ля бесполостных дрен и узлов сопряжения сверху от просыпания в заполнитель частиц грунта как в период строительства, так и их эксплуатации. Самым распространённым защитным материалом для всех видов дренажей здесь также рекомендуется геотекстиль, требования к которому изложены в разделе 6.

## **11 АГРОМЕЛИОРАТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ НА ЗЕМЛЯХ ОСУШАЕМЫХ ЗАКРЫТЫМ ДРЕНАЖЕМ**

Если в ходе анализа данных мониторингового обследования установлено, что скопление поверхностных вод в понижениях происходит из-за развитого микрорельефа участка или недостаточной эффективности мероприятий по регулированию поверхностного и внутрипочвенного стока, то необходимо разработать комплекс мероприятий по ускоренному удалению воды с поверхности. Он должен включать выравнивание и планировку поверхности, срезку бровок каналов, устройство искусственных ложбин, колодцев-поглотителей, поглотительных колонок на дренах. Без этих мероприятий осушительная сеть, особенно на тяжелых почвах, не будет справляться со своевременным отводом поверхностных вод.

Агромелиоративные мероприятия представляют собой комплекс агротехнологических решений по организации поверхностного и повышению внутрипочвенного дренажного стока [2]. Необходимость в их реализации существует практически на всей территории Нечернозёмной зоны. Однако набор конкретных мероприятий и технологические требования к их исполнению всегда будут дифференцированы применительно к каждому объекту, а в определённых случаях – и внутри объекта. В число наиболее эффективных мероприятий этой группы входят:

- организация поверхностного стока за счет формирования искусственного микрорельефа;
- повышение внутрипочвенного стока, водопроницаемости и водовместимости почвы за счет кротования, щелевания, глубокого рыхления и химико-мелиоративного окультуривания почвы.

Направленное формирование микрорельефа обработкой почвы – это одна из частных задач основной системы обработки почвы на всей территории гумидной зоны. На мелиорированных же землях – это обязательное агротехнологическое требование, нарушение которого чревато существенными потерями урожая даже при избытке

осадков с обеспеченностью в 15-20 %. На слабоводопроницаемых почвах тяжелого гранулометрического состава его значение существенно возрастает.

Формирование стокового микрорельефа должно осуществляться на основе анализа 3d-модели поверхности осушенного угодья. Модель позволяет с высокой точностью зафиксировать крупные и малые микро- и мезозападины, препятствия на пути поверхностного стока и принять обоснованные решения по организации стока. В целом, одним из главных условий эффективного применения является наличие естественных уклонов поверхности. К числу эффективных технологических агро-мелиоративных приемов этой группы относятся:

- профилирование поверхности, исполняемое в зависимости от условий с использованием планировщиков или направленной свальной загонной вспашки для формирования искусственного уклона поверхности почвы;

- узкозагонная (30-50 м) направленная вдоль естественного уклона зяблевая свально-развальная вспашка, при которой развальные борозды служат своеобразными микроложбинами для быстрого стока талых поверхностных вод;

- планировка поверхности, направленная на устранение микрозападин в условиях региона имеет весьма ограниченную применимость по причине маломощности окультуренного гумусово-аккумулятивного слоя почвы. Должна выполняться длиннобазовыми планировщиками с обязательным химико-мелиоративным восстановлением плодородия участков снятия плодородного грунта. При выравнивании и планировке поверхности следует сохранять верхний плодородный слой почвы. При этом обычно засыпают различные понижения, канавы, ямы и т.д. Отдельные планировочные работы включают засыпку понижений глубиной до 25 см и шириной 20 – 30 м, ликвидацию микропонижений и качественное выравнивание поверхности. Поверхность считается ровной, если глубина микропадин не превышает 5 см.

Искусственные ложбины глубиной до 0,4 м для отвода поверхностных вод из понижений устраивают после завершения строительных и планировочных работ и поддерживают в работоспособном состоянии в период эксплуатации осушительных систем.

Для сброса воды в открытую проводящую сеть из естественных тальвегов, ложбин или понижений, примыкающих к каналу,

устраивают воронки-водовыпуски, преимущественно в местах естественных размывов бровок и откосов, выявленных в период обследования осушенных участков. Воронки-водовыпуски укрепляют одерновкой, каменной отмосткой или другими способами.

Выборочное бороздование применяется в тех случаях, когда поверхность осушенного участка недостаточно выровнена и на ней имеются бессточные впадины или слабо выраженные тальвеги. Роль борозд особенно велика в период снеготаяния, когда необходимо сбрасывать паводковые воды, поэтому более эффективным является осеннее бороздование (после сева озимых культур или зяблевой обработки почвы). Нарезка гребней и гряд являются эффективными мероприятиями поверхностного осушения на безуклонных участках с тяжелосуглинистыми и глинистыми слабо-водопроницаемыми почвами.

Кротование, щелевание и глубокое рыхление – агро-мелиоративные технологические приёмы направленные на перераспределение части поверхностного стока во внутрпочвенный и дренажный. При правильном исполнении они способны временно увеличить водопроницаемость тяжелых почв в разы. Однако несмотря на видимую простоту, обоснование их эффективного применения также опирается на точные данные почвенно-мелиоративного обследования и мониторинга.

Кротование – прием формирования кротовин на глубине 0,4-0,6 м, обычно выполняемый вместе с зяблевой вспашкой вдоль естественного уклона путем оснащения отвального плуга кротователем. На заплывающих почвах устойчивость кротовин низкая и эффективность приема ограничивается одним годом. Как правило, стабильность кротовин возрастает вместе с оструктурированием почвы и повышением водопрочности почвенных агрегатов, т.е. при окультуривании зональных автоморфных и полугидроморфных почв дерново-подзолистого типа. По мере увеличения степени окультуренности почвы со средней до хорошей и высокой периодичность кротования увеличивается с ежегодного режима до 1 раза в 2-3 и 4 года. Важным условием высокой эффективности кротования почв является наличие плотных волоупорных в разной степени оглеенных горизонтов. Оно практически неэффективно на хорошо оструктурированных пойменных дерновых почвах тяжелого гранулометрического состава, у которых водопроницаемость не является лимитирующим фактором.

Глубокое мелиоративное рыхление – один из наиболее дискуссионных в современной агротехнологической практике приёмов агромелиоративной обработки почвы. Данный приём – выполняемый на тяжелых почвах на глубину до 0,6 м, а на легких почвах – до 0,7-0,9 м имеет весьма определенные условия эффективного применения. На легких почвах предназначен исключительно для рыхления плотных водоупорных железистых и карбонатных прослоек. В их отсутствие применение фактически бессмысленно. На тяжелых почвах с коэффициентом фильтрации в подпахотных слоях менее 0,3 м/сут наиболее эффективен при исполнении в сочетании с химико-мелиоративными окультуривающими мероприятиями (известкованием, внесении высоких мелиоративных доз органических удобрений).

Глубокое рыхление без учета всей совокупности почвенно-генетических и агротехнологических условий чревато существенными потерями урожая. На не дренированных угодьях оно может приводить к формированию в условиях интенсивного выпадения осадков т.н. «гидрологического мешка» и постепенному заболачиванию. Основными ограничениями для применения сплошного или полосного глубокого рыхления являются такие факторы как:

- формирование почвы на кислых тонкослоистых озерно-ледниковых ленточных глинах;
- отсутствие ресурсов для интенсивного химико-мелиоративного окультуривания почвы за счет применения высоких доз извести (с расчетом на подпахотный горизонт) и органических удобрений;
- высокая степень оглеенности почвы в отсутствие эффективного внутрипочвенного дренирования;
- высокая завалуненность почвы;
- обработка почвы с использованием тяжелой техники в условиях неудовлетворительного физического состояния.

Положительное последствие глубокого рыхления сохраняется до 6-10 лет. Это значит, что проводиться оно должно не чаще одного раза за ротацию севооборота. А с периодичностью 1 раз в 3-4 года следует выполнять сплошные чизельные рыхления почвы на глубину до 0,4 м для разрушения «плужной подошвы», формирующей дополнительный искусственный водоупор.

Безусловной «альфой и омегой» всех мелиоративных усилий земледельца в Нечерноземье является искусственное формирование

высокоплодородного корнеобитаемого слоя почвы. Без этого колоссальные затраты на проведение осушительной мелиорации просто бесполезны. Акад. Д.Н. Прянишников, подводя итоги длительных исследований почв гумидной зоны заключил: «Дерново-подзолистые почвы настолько бесплодны от природы, что земледельцу больше приходится заботиться не о сохранении их плодородия, а о воссоздании его заново». Практическое решение этой задачи связано с обоснованием интенсивных химико-мелиоративных работ, рассчитанных на повышение плодородия не только пахотного, но и подпахотного слоя. Особенностью такой химической мелиорации является не просто применение повышенных доз мелиоративных средств, но и их послойная заделка в почву.

В качестве таковых, наибольшую агрономическую и экономическую эффективность в регионе продемонстрировали сыромолотые известковые мелиоранты, обладающие потенциалом пролонгированного действия, а также органические и органоминеральные удобрения на основе птичьего помёта [13,14].

Постепенная скрытая деградация эффективного плодородия окультуренных дерново-подзолистых почв вызывает утрату ее благоприятного структурного состояния, как следствие ухудшается целый комплекс водно-воздушных свойств. В ходе длительных экспериментов в АФИ показано, что постепенный (за 20 лет) возврат почвы из хорошо в слабоокультуренное состояние вызывает сокращение диапазона активной влаги дерново-подзолистой почвы на 23 % отн., снижение коэффициента фильтрации – в 2,4 раза, коэффициентов структурности и водопрочности агрегатов – в 2,2 и 3 раза соответственно.

Мелиоративное окультуривание дерново-подзолистых почв – важнейший фактор управления агро-мелиоративным состоянием, эффективным плодородием осушаемых почв и продукционным процессом сельскохозяйственных культур на мелиорированных землях. Оно во многом предопределяет эффективность, адаптивность и устойчивость сельскохозяйственного производства в Нечерноземной зоне РФ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гулюк Г.Г., Янко Ю.Г., Штыков В.И. и др. Руководство по мелиорации полей. СПб.: Изд. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский университет Петра Великого», 2020. 217 с.
2. Зайдельман Ф.Р. Мелиорация почв. М.: КДУ Университетская книга, 2017. 290 с.
3. Правила эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений. М.: МСХиП РФ, 1998. 41 с.
4. ГОСТ Р 58376-2019. Мелиоративные системы и гидротехнические сооружения. Эксплуатация. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2019. 37 с.
5. Анженков А.С., Погодин Н.Н., Болбышко В.А., Левин Г.Ю., Закржевский В.П. Рекомендации по техническому обслуживанию закрытого дренажа и очистке водопропускных сооружений на открытой регулирующей сети с применением новых способов и технологий. Минск: РУП «Институт мелиорации», 2019. 66 с.
6. Бишоф Э.А. и др. Методические указания по оценке мелиоративного состояния и проведению агро мелиоративных мероприятий на осушаемых землях Ленинградской области. Л.: СевНИИ-ГИМ, 1987. 29 с.
7. Янко Ю.Г., Петрушин А.Ф. Методические рекомендации по обследованию осушительных мелиоративных систем дистанционными методами. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2019. 32 с.
8. ГОСТ Р 59328-2021. Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования. М.: Стандартинформ, 2021. 45 с.
9. Черняк М.Б., Решетов А.Э., Жупаков К.П., Ахматович Н.А. Словарь мелиоратора. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. 93 с.
10. Дубенок Н.Н., Шумакова К.Б. Практикум по гидротехническим сельскохозяйственным мелиорациям. М.: Колос, 2008. 439 с.
11. Методика оценки технического состояния осушительных систем для обоснования их реконструкции. М.: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 1989. 39 с.
12. Лихацевич А.П., Погодин Н.Н., Болбышко В.А., Левин Г.Ю. Восстановление работоспособности закрытой мелиоративной сети посредством промывки // Мелиорация. 2011. № 1 (65). С. 197-221.

13. Производство, изучение и применение удобрений на основе птичьего помёта. Под общей редакцией А.И. Иванова и В.В. Лапы. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2018. – 317 с.
14. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечернозёмной зоны Российской Федерации до 2030 года. Под ред. С.Г. Митина, А.Л. Иванова. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева, 2021. 400 с.

## Приложение 1 – Методика определения модуля дренажного стока коллекторно-дренажной сети

Принцип метода основан на сопоставлении модулей дренажного стока обследуемой дренажно-коллекторной сети ( $q$ ) и объекта аналога ( $q_э$ ), принимаемого за эталон. Данный метод оценки неприемлем для осушаемых участков с грунтово-напорным типом водного питания. Обе оцениваемые дренажные системы должна обладать примерно одинаковыми агротехническими, почвенными и гидрогеологическими условиями. Мелиоративное состояние эталонного объекта-аналога должно быть хорошим, а осушительная система должна обеспечивать оптимальный водно-воздушный режим почвы без реконструкции.

Определение модуля дренажного стока осуществляется в периоды избыточного увлажнения пахотного слоя почвы весной и осенью одновременно на обследуемой и эталонной коллекторно-дренажной сети. С этой целью объёмным методом устанавливается расход дренажного стока по объему воды, собираемому с коллектора в мерный сосуд за промежуток времени:

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (8)$$

где  $Q$  – расход дренажного стока (л/сек),  $V$  – объем дренажных вод (л) за  $t$  – период времени (сек) их сбора.

Расход дренажного стока устанавливается как среднее значение из трех последовательных определений на обследуемой системе и определений на трех коллекторно-дренажных сетях эталонной закрытой осушительной системы.

В случае подтопления дренажного устья расход дренажного стока устанавливается по его скорости (определяется с использованием красителей или соответствующих приборов) и площади сечения коллектора:

$$Q = 10^{-1} v f_k, \quad (9)$$

где  $Q$  – расход дренажного стока (л/сек),  $v$  – скорость течения воды (м/сек),

$f_k$  - площадь внутреннего сечения коллектора (см<sup>2</sup>).

После установления фактических параметров расхода дренажного стока рассчитывается модуль дренажного стока для обследуемой ( $q$ ) и эталонной ( $q_э$ ) коллекторно-дренажной сети:

$$q = \frac{Q}{F}, \quad (10)$$

где  $q$  – модуль дренажного стока (л/сек/га),

$Q$  – расход дренажного стока (л/сек),

$F$  – площадь дренажной системы (га).

По отношению модулей дренажного стока обследуемой ( $q$ ) и эталонной ( $q_э$ ) коллекторно-дренажной сети, находящейся в хорошем техническом состоянии и обеспечивающей хорошее или удовлетворительное мелиоративное состояние угодья оценивается уровень работоспособности. Хорошему уровню соответствует параметр  $q/q_э \geq 1$ , удовлетворительному –  $0,6 \leq q/q_э < 1$ , неудовлетворительному –  $q/q_э < 0,6$ .

## Приложение 2 – Методика определения коэффициента фильтрации засыпки по Нестерову

В намеченной точке на выбранной дрене поперёк траншеи закладывается шурф шириной 0,5 и длиной 1,2 м. Один конец шурфа должен располагаться непосредственно на засыпке траншеи. Шурф отрывается до подошвы пахотного слоя. Непосредственно над засыпкой дно шурфа углубляется не менее чем на 10 см с размерами углубления 0,5х0,5 м. В дно измерительного шурфа врезаются концентрично два стальных цилиндра высотой 20 – 22 см: диаметр внутреннего цилиндра равен 0,25 м; внешнего 0,5 м.

На дно обоих цилиндров монтируются линейки или стержни, размеченные как линейки. На дно насыпается слой мелкого гравия толщиной около 2 см.

Для подачи воды во внутренний и внешний цилиндры служат два сосуда Мариотта. Вода в цилиндрах поддерживается на уровне 10 см от дна. Колебания уровня не должны превышать 1 см. Необходимо следить за своевременной доливкой воды в сосуды. Сосуды Мариотта градуируются; периодически делаются замеры расхода воды из сосуда, подающего воду во внутренний цилиндр. Наблюдения ведутся до стабилизации расхода.

Расчёт коэффициента фильтрации производится по формуле

$$K_3 = \frac{q}{F}, \quad (11)$$

где  $K_3$  – коэффициент фильтрации в см/с;

$q$  - установившийся расход воды в см<sup>3</sup>/с;

$F$  – площадь основания внутреннего цилиндра, см<sup>2</sup>.

Для дальнейших оценочных расчетов коэффициент фильтрации переводится из см/с в м/сут путем применения переводного коэффициента 864.

Аналогичным образом определяется и коэффициент фильтрации почвы в пределах пахотного слоя, для чего на его поверхности подготавливается выровненная площадка 0,5×1,2 м.

### Приложение 3 – Методика определения коэффициента фильтрации защитно-фильтрующих материалов

Начиная с конца 80-х годов 20-го века рекомендуемой конструкцией закрытого дренажа для осушения слабоводопроницаемых грунтов являлся систематический дренаж с расстоянием между дренами 10 м и присыпкой дрен по всей длине песчано-гравийными смесями (ПГС) слоем 20 см. При этом в ряде случаев в зависимости от размеров щелей пластмассовых дренажных труб и грансостава ПГС дополнительной защиты труб не требовалось. Соответственно при установлении состояния защитно-фильтрующих материалов или материалов, выполняющих их роль, в настоящее время возможны два варианта:

- роль защитно-фильтрующего материала выполняет ПГС. Кольматироваться может только зона контакта ПГС с вышерасположенной засыпкой вынутым грунтом. Величина коэффициента фильтрации этой зоны определяется в процессе обследования состояния дренажной засыпки и изложена в Приложении 2;

- в качестве защитно-фильтрующего материала использовался геотекстиль. Его кольматированность в полевых условиях может быть с достаточной для практики точностью определена при отсутствии дренажного стока по следующей методике. Вдоль дренажной траншеи на расстоянии 2-3 м друг от друга закладываются два шурфа размерами 0,5-1,5 м, позволяющими выполнить необходимые фильтрационные исследования. Первый шурф отрывается до отметки расположения основания дрен. В самом шурфе рядом с раскопанным участком дрены длиной 15 - 20 см располагается площадка для наблюдателя, которая должна быть выше верха дрены не менее чем на 3 - 4 см. Вторым шурфом закладывается на глубину, превышающую отметку основания дрен (считая от поверхности) на 15 см. Длина участка трубы около 20 см. Вторым шурфом располагается по ходу движения воды в дрене, то есть по направлению к коллектору. Во втором шурфе вырезается участок трубы 25-35 см для измерения стока из дрены. По окончании обследования вырезанный участок трубы подлежит восстановлению, как и в целом засыпка в обоих шурфах.

В месте расположения раскопанного участка в дно вставляются два стержня (деревянных или металлических). Верх одного на уровне верха дрены, а второго на величину  $\Delta h$  равную 2-3 см выше. Рядом с первым шурфом устанавливается емкость с оборудованием

для нормированного подачи воды. Во втором шурфе второй наблюдатель, имеющий часы, устанавливает мерную ёмкость под обрезанным концом трубы. Вода в мерную ёмкость должна поступать только через внутреннюю полость трубы. Наружная поверхность торца трубы, покрытая геотекстилем, на время проведения обследования должна быть гидроизолирована. Углубление в первом шурфе заполняется водой до верха самого высокого стержня. Как только уровень опустился до верха второго стержня снова доливается вода до прежней отметки. Во втором измерительном шурфе поступающая вода, в том числе и в процессе замеров удаляется. Контрольное измерение расхода воды проводится с момента установления его равновесного состояния.

По результатам определения выполняются следующие расчёты:

$$K_f = \frac{2 \cdot W \cdot \delta}{\pi (d_n + 2\delta)(d_n + 2\delta + \Delta) \cdot l \cdot t}, \quad (12)$$

где  $K_f$  – коэффициент фильтрации частично закольматированного геотекстиля, см/с;

$W$  – объем профильтровавшейся воды, см<sup>3</sup>;

$\delta$  – толщина слоя защитно-фильтрующего материала, см.;

$d_n$  – наружный диаметр дренажной трубы, см;

$\Delta$  – разность отметок верха стержней, см;

$l$  – длина раскопанного участка дренажной трубы, см;

$t$  – время, с.

Более точно коэффициент фильтрации защитно-фильтрующего материала может быть определен в лаборатории по существующим методикам.

## Приложение 4 – Методика определения коэффициента водоотдачи геотекстильного материала

Для определения коэффициента водоотдачи используется специальная лабораторная установка (рис. 17). Она состоит из двух разъемных цилиндри-

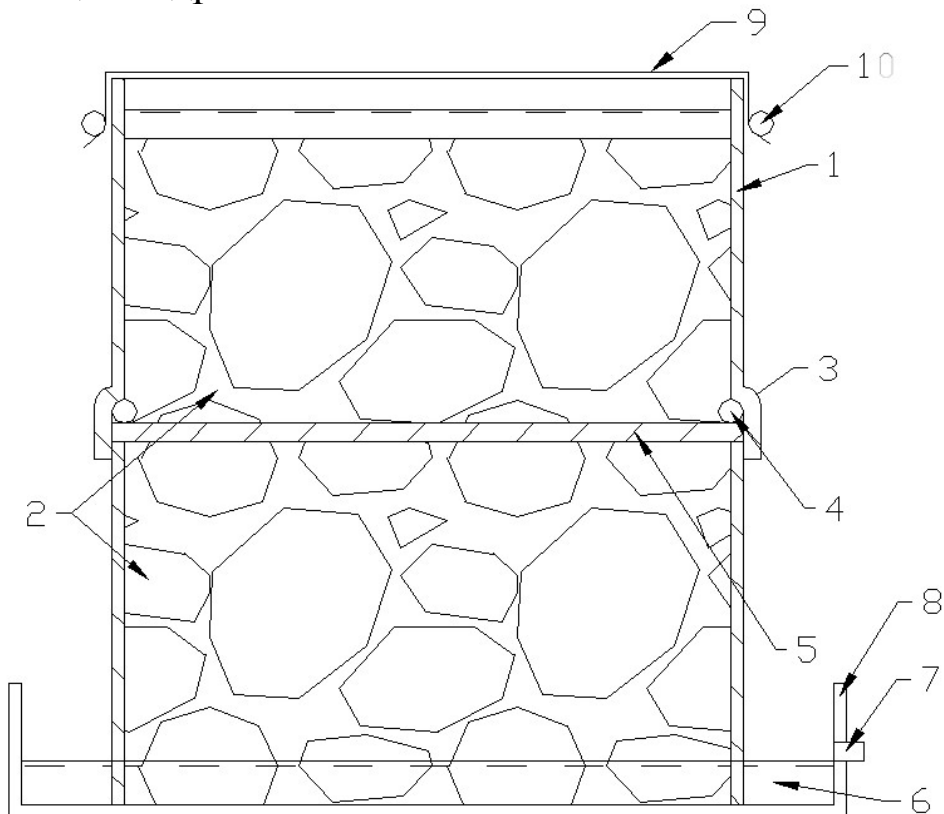


Рисунок 17. Схема загрузки прибора для определения коэффициента водоотдачи геоматериалов

(1 – цилиндр; 2 – щебень; 3 – раструба; 4 – резиновое кольцо; 5 – образец геотекстиля; 6 – вода; 7 – штуцер для отвода избыточной воды; 8 – поддон; 9 – полиэтиленовая пленка; 10 – резиновый жгут)

ческих блоков высотой 75 мм и диаметром 100 мм, поддона высотой 40 мм. В стенку поддона вмонтированы два патрубка диаметром 10 мм для слива профильтрованной через образец геоматериала воды. Геотекстиль укладывается внутрь щебневой засыпки.

Для анализа из имеющегося образца геотекстиля вырезается три аналитических пробы диаметром 98 мм. Образцы маркируются. Штангенциркулем уточняется средняя величина диаметра каждого образца и его толщина с точностью до 0,1 мм. Образцы взвешиваются на электронных весах с точностью до 0,01 г и помещаются в металлический ковшик с водой ёмкостью до 1 л с целью более быстрого насыщения образцов водой и удаления растворённого

воздуха, заземленного в образцах. ковшик с образцами подогревается на газовой или электрической плитке до температуры 60 °С. Через полчаса длинным медицинским пинцетом прямо в воде образцы простукивают до прекращения выделения из них воздуха. Через 1 час насыщения водой образцы загружаются в прибор.

На поддон 8 устанавливается нижняя половина разъемного цилиндра 2. Далее в него послойно до верха установленной половины цилиндра загружается щебень с крупностью частиц не более 25 мм. Затем с помощью пинцета укладывается образец геоматериала. На торец нижнего кольца укладывается резиновое кольцо и устанавливается верхний цилиндр, который также загружается щебнем слоем 75 мм. Для каждого из образцов заранее готовятся тонкие полиэтиленовые пакеты размером 150×200 мм, которые маркируются также, как и образцы геотекстиля. Каждый пакет взвешивается, вместе с купюрной резинкой (резиновым жгутом). Полиэтиленовые пакеты в дальнейшем необходимы для размещения в них образцов в процессе разгрузки приборов. Одновременно с загрузкой прибора с целью удаления воздуха в металлической ёмкости объемом не менее 3 л на газовой или электрической плите подогревается до кипячения вода, а затем охлаждается до комнатной температуры.

Вода наливается в верхнюю половину цилиндра с помощью мерного стакана емкостью 1 л с интенсивностью, обеспечивающей появление слоя воды на уровне щебня, загруженного в верхнюю половину прибора, что свидетельствует о фильтрации воды через образец геотекстиля при полном его водонасыщении, а также о полном смачивании всех частиц загруженного в прибор щебня. После этого верхний цилиндр с целью исключения испарения с поверхности образца закрывается полиэтиленовой пленкой, которая крепится на корпусе верхнего цилиндра купюрной резинкой (резиновым жгутом). В таком виде прибор с образцом выдерживается в течение 3-х суток. Затем прибор разбирается. Полиэтиленовая пленка снимается, а частицы щебня осторожно вынимаются из цилиндра пинцетом с тем, чтобы не встряхнуть образец. Верхний цилиндр снимается, а образец с помощью пинцета осторожно переносится в свой заранее подготовленный для него пакет и тщательно упаковывается с помощью резинового жгута, после чего взвешивается вместе с пакетом с точностью 0,01 г.

Исходные данные и результаты испытания заносятся в журнал определения водоотдачи геоматериалов:

№ образца	Масса сухого образца, г	Масса пакетика с резиновым образцом и резиновым комом	Масса влажного образца с пакетиком и резиновым комом	Масса воды в образце, г	Объем образца, см <sup>3</sup>	Объемная масса образца, г/см <sup>3</sup> , $\gamma_0$	Пористость образца $n$ , в долях	Влажность образца по массе $W_{вес.}$ , в долях	Объемная влажность образца $W_0$ , в долях	Коэффициент водоотдачи образца $\mu$ , в долях	Примечание
1	$a$	$b$	$c$	$c-a-b$	$V = F \cdot S$	$\gamma_0 = \frac{a}{V}$	$\frac{\gamma - \gamma_0}{\gamma}$ ,	$\frac{c - a - b}{a}$	$\frac{W_{вес.} \cdot \gamma_0}{\rho_{воды}}$ ,	$\mu = n - W_0$	

где  $F$  – площадь образца,  $S$  – толщина;  $\gamma$  – плотность материала, из которого изготовлен геотекстиль, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_{воды}$  – плотность воды, г/см<sup>3</sup>

Результат испытания представляется как среднее арифметическое из трех величин коэффициентов водоотдачи, определенных для трех аналитических проб образца одной марки геотекстильного материала.

## Приложение 5 – Методика расчета бесполостного дренажа

Расчет бесполостного дренажа осуществляется с использованием комплекса исходных данных, включающих физические свойства почвы объекта осушения, материала заполнителя бесполостной дрены верхнего яруса, а также параметры фактического размещения коллекторно-дренажной сети.

На первом этапе в результате обследования коллекторно-дренажной сети и проектирования ремонтных работ восстанавливаются план её пространственного размещения и основные технические характеристики, обеспечивающие требуемый водный режим в корнеобитаемом слое почвы.

Исходя из зафиксированных при обследовании коллекторно-дренажной сети расстояний между дренами, составляется расчетная схема, на которой в плане и на разрезе обозначается дополнительное размещение бесполостных дрен во втором ярусе с фиксацией основных технических характеристик: расстояние между ними, ширина по основанию, глубина заложения, места расположения узлов подключения бесполостных дрен к трубчатым дренам первого яруса через поглотительные колонки.

В качестве примера рассмотрим осушительную систему на почвах тяжёлого гранулометрического состава, когда исходные расстояния между трубчатыми дренами составляют 10 м (рис. 18). Расстояние между бесполостными дренами принимаем 5 м. Подключение к дренам нижнего яруса предлагается выполнить через 60 м, то есть через каждые пять дрен. Так как коллекторно-дренажная сеть располагается в слабоводопроницаемых грунтах, то, как следует из теоретических и экспериментальных исследований по пахотному слою в бесполостные дренаы поступает до 87% от общего объема воды, отводимой дренажно-коллекторной сетью. В рассматриваемом случае трубчатые дренаы наряду с участием в отведении избыточной внутрипочвенной влаги (до 13% от общего объема), выполняют роль коллекторов.

Поглотительная колонка в разрезе показана на рис. 19.

На следующем этапе с использованием исходных данных осуществляется расчет основных характеристик непосредственно бесполостных дрен.

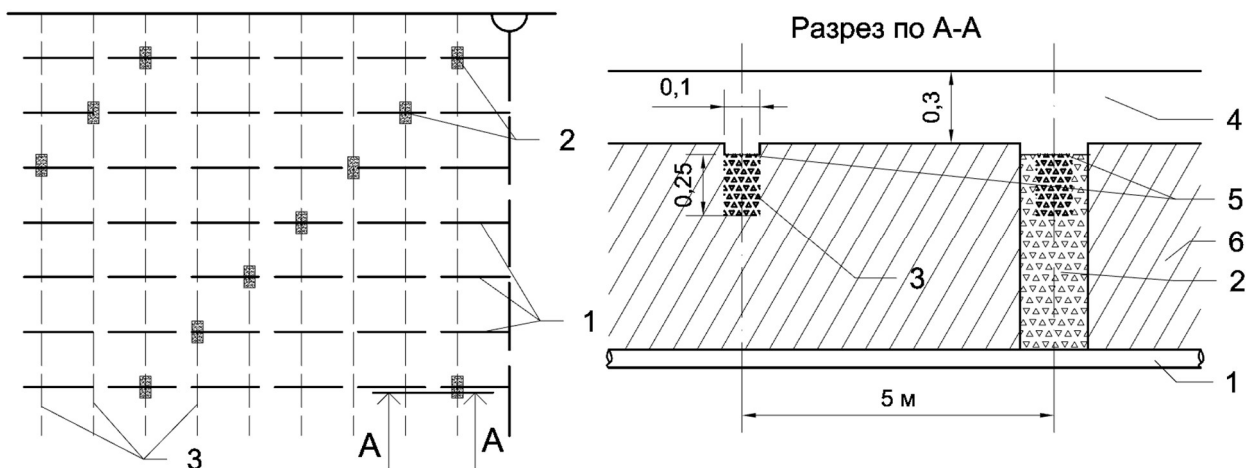


Рисунок 18. Схема и конструкция двухъярусного дренажа (1 – трубчатые дрены нижнего яруса; 2 – поглотительные колонки; 3 – бесполостные дрены верхнего яруса через 5 м; 4 – пахотный слой; 5 – геотекстиль для защиты бесполостных элементов; 6 – слабоводопроницаемый грунт)

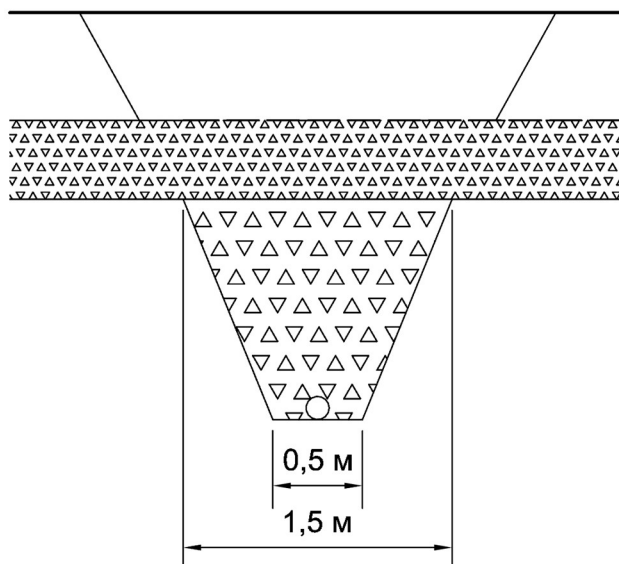


Рисунок 19. Поглотительная колонка (узел соединения верхнего и нижнего яруса)

При выборе в качестве материала заполнителя бесполостной дрены верхнего яруса щебня фракции 5-10 мм: диаметр материала заполнителя, мельче которого в его составе содержится 17 % частиц по массе  $d_{17} = 0,6$  см; коэффициент неоднородности  $\eta = 1,9$ ; пористость засыпки  $n = 0,48$ ; коэффициент формы частиц  $\psi = 1,68$ ; кинематический коэффициент вязкости воды  $\nu = 0,0131$  см<sup>2</sup>/с; длина бесполостных дрен верхнего яруса  $l = 2000$  м/га; модуль дренажно-го стока  $q_{дс} = 2$  л/(с\*га); удельный приток на 1 п.м. дрены  $q = 10 * q_{дс} / l = 2 * 10 / 2000 = 0,01$  см<sup>3</sup>/с =  $1 * 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/с; ширина бесполостной дрены  $b = 0,1$  м.

Далее расчет производится в следующем порядке:

- определяется диаметр фильтрационного хода:

$$d_u = 0,57 \sqrt[6]{\eta} \frac{n}{1-n} \cdot \frac{d_{17}}{\psi} = 0,57 \sqrt[6]{1,9} \frac{0,48}{1-0,48} \cdot \frac{0,6}{1,68} = 0,21 \text{ см}, \quad (13)$$

- вычисляется коэффициент фильтрации при ламинарном режиме:

$$K_l = \frac{n \cdot g \cdot d_u^2}{8\pi^2 \cdot \nu} = \frac{0,48 \cdot 9,8 \cdot 0,0024^2}{8 \cdot 3,14^2 \cdot 0,0131 \cdot 10^{-4}} = 0,20 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (14)$$

- определяется максимальная глубина воды в бесполостных дренах  $h_0$ , которая устанавливается посередине каждой из дрен. Из расчетной схемы следует, что расстояние между точками подключения бесполостных дрен к трубчатым через поглощательные колонки составляет  $L = 60$  м, поэтому дальность кривой спада  $L_{\text{сп}} = L/2 = 30$  м.

Бесполостная дрена прокладываются без уклона под прямым углом к трубчатым. Глубина в устьях бесполостных дрен  $h_k = 0,125 h_0$ . Величина  $h_0$  определяется путем решения следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} h_0 = \sqrt{h_k^2 + \frac{q}{K_l \cdot b} L_{\text{сп}}^2} \\ h_k = 0,125 h_0 \end{cases} \quad (15)$$

В результате получаем  $h_0 = 0,22$  м;  $h_k = 0,03$  м.

Учитывая сезонные колебания отметок поверхности поля как в результате проведения полевых работ, так и вследствие процессов пучения, высоту бесполостных дрен принимаем равной  $h_{\text{др}} = 25$  см. Расстояние между верхом заполнителя дрен и подошвой пахотного слоя должно равняться не менее 5 см.