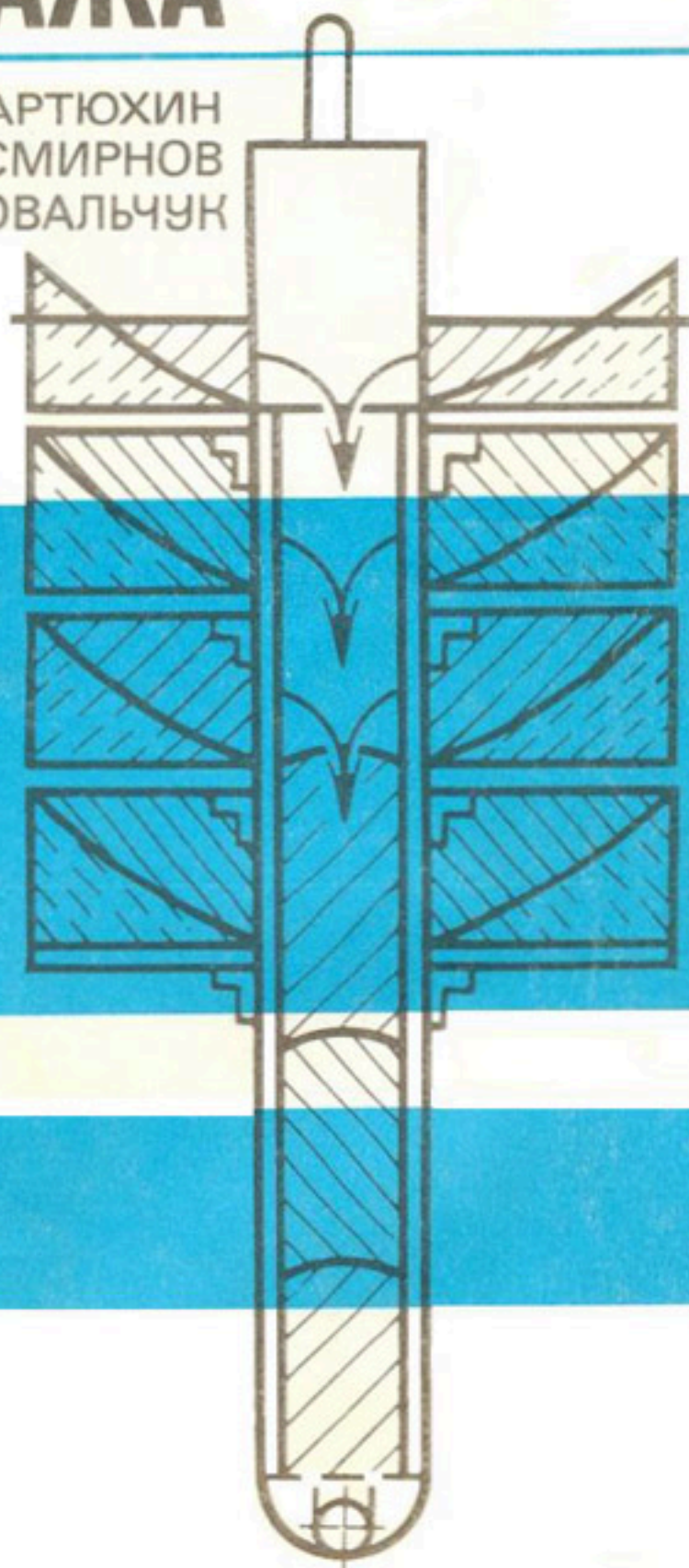


# СТРОИТЕЛЬСТВО БЕСТРАНШЕЙНОГО ДРЕНАЖА

Ю.Н.АРТЮХИН  
А.М.СМИРНОВ  
Н.Н.КОВАЛЬЧУК



Ю.Н.АРТЮХИН  
А.М.СМИРНОВ  
Н.Н.КОВАЛЬЧУК

# СТРОИТЕЛЬСТВО БЕСТРАНШЕЙНОГО ДРЕНАЖА



МОСКВА  
ВО "АГРОПРОМИЗДАТ"  
1987

ББК 38.778  
А86  
УДК 626.862

Рецензенты: кандидаты техн. наук З. М. Маммаев (ВНИИГим) и Е. И. Кормыш (ВО "Союзводпроект")

Артюхин Ю. Н. и др.

А 86 Строительство бестраншейного дренажа / Ю. Н. Артюхин, А. М. Смирнов, Н. Н. Ковальчук. — М.: Агропромиздат, 1987. — 84 с.: ил.

Изложены опыт устройства дренажа бестраншейным способом в Нечерноземной зоне РСФСР, организация и технология строительства. Освещены основные технологические схемы выполнения работ; описаны конструкции применяемых машин и механизмов. Обоснована экономическая эффективность строительства дренажа бестраншейным способом.

Для специалистов строительных мелиоративных организаций, занимающихся осушением избыточно увлажненных земель в Нечерноземной зоне РСФСР.

3802030200-256  
А ————— 12-87  
035 (01) -87

ББК 38.778

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Интенсификация сельскохозяйственного производства в Нечерноземной зоне РСФСР, повышение его продуктивности требуют дальнейшего ускорения темпов мелиоративных работ, улучшения качества строительства, повышения надежности мелиоративных систем.

В Долговременной программе мелиорации подчеркивается, что осушение земель должно осуществляться на основе широкого внедрения технически совершенных осушительных систем. Реализация этого решения неразрывно связана с разработкой и внедрением высокопроизводительных машин и механизмов для строительства закрытого дренажа, прогрессивной технологии и применением новых материалов. Значительные объемы работ по осушению переувлажненных земель предстоит выполнить в ближайшие годы в Нечерноземной зоне РСФСР, развитию которой ЦК КПСС и Советское правительство уделяют особое внимание.

В настоящее время в зоне избыточного увлажнения страны около 80 % дренажа строят траншейным способом. При этом дренажные трубы укладывают в траншею шириной 50 см, образующуюся в результате экскавации грунта многоковшовым рабочим органом дреноукладчика.

Переход от траншейного способа строительства дренажной сети к более прогрессивному — бестраншейному, при котором трубы укладывают в щель, образующуюся в результате разрезания грунта пассивным рабочим органом дреноукладчика, позволит в значительно большей степени сохранить плодородие почвы, сократить сроки строительства, улучшить условия ведения работ и повысить производительность труда.

Особенно очевидны преимущества бестраншейного способа строительства дренажа в сложных гидрогеологических условиях, в неустойчивых грунтах, в торфяниках, в грунтах с наличием каменных включений и слоя промерзания.

В настоящее время в Нечерноземной зоне РСФСР на строительстве бестраншейного дренажа применяют дреноукладочный комплекс МД-4, МД-5, который был разработан в научно-производственном объединении ВНИИЗемМаш и с 1979 г. выпускается серийно. За период 1978—1985 гг. с помощью этого комплекса уложено более 116 тыс. км дренажных труб.

В 1985 — 1986 гг. прошел испытания более производительный дреноукладчик МД-12 с двигателем от трактора К-701 и с ходовой частью от гусеничного трактора Т-130Г-1.

Опыт применения бестраншейного пластмассового дренажа в зоне избыточного увлажнения нашей страны показывает, что при этом значительно повышаются темпы мелиоративного строительства, ускоряется ввод мелиорированных земель в сельскохозяйственный оборот, повышается качество выполняемых работ. Вместе с тем, как свидетельствуют результаты наблюдений за действием ряда систем, построенных бестраншейным способом, его осушающее действие в различных почвенно-грунтовых условиях неодинаково. Так, при осушении слабоводопроницаемых почв бестраншейный дренаж не обеспечивает необходимого режима осушения, и его действие снижается по сравнению с действием траншейного дренажа,

так как в этих условиях не обеспечивается гидравлическая связь пахотного слоя с дренажной.

В ряде случаев повысить эффективность бестраншейного дренажа удастся путем применения различных фильтрующих элементов, закладываемых в дренажную щель одновременно с укладкой труб, а также проведения дополнительных мероприятий, повышающих фильтрационные свойства дренируемых почвогрунтов и усиливающих приток воды к дренам.

В настоящее время одна из актуальнейших задач проектных и строительных организаций, занимающихся вопросами осушения избыточно увлажненных земель в Нечерноземной зоне РСФСР, — разработка критериев, которые позволили бы четко устанавливать целесообразность бестраншейного строительства дренажа в этом регионе, а также мероприятий, позволяющих расширить границы применения этого способа.

## Глава 1. ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА БЕСТРАНШЕЙНОГО ДРЕНАЖА

При бестраншейном способе строительства закрытого горизонтального дренажа дренажные трубы укладывают в щель, прорезаемую в толще грунта ножом дреноукладчика, без отрывки траншей. После прохода рабочего органа машины щель смыкается, а на поверхности остаются валики вспученного грунта.

В последние годы бестраншейный дренаж получает все большее распространение как в СССР, так и в других странах. К числу основных его преимуществ следует отнести минимальное повреждение пахотного горизонта, высокие рабочие скорости дреноукладочных машин, простоту и надежность конструкции рабочего органа и агрегата в целом, высокую степень механизации и автоматизации процесса укладки труб. При бестраншейном дренаже улучшаются условия труда, обеспечивается возможность их работы в слабоустойчивых и оплывающих грунтах и в грунтах, содержащих мелкие камни. Существенный недостаток способа — необходимость приложения значительных тяговых усилий (до 25...30 кН и более) для протаскивания в грунте пассивного рабочего органа, что требует применения дополнительного тягача, например для дреноукладчика МД-4 — тягача МД-5. Кроме того, закрытый характер укладки не позволяет обеспечивать действенный контроль ее качества.

Очевидные преимущества способа, при котором не требуется предварительная отрывка траншей, побудили к созданию большого числа специальных машин и механизмов. В еще большей степени этому способствовало появление гофрированных пластмассовых дренажных труб длиной, практически равной длине дренажной линии.

По способу строительства бестраншейного дренажа существующие конструкции машин можно разделить на четыре группы: 1) укладывающие трубы заводского изготовления в щель; 2) втягивающие трубы заводского изготовления в "кротовую" полость; 3) укладывающие в щель трубы, формируемые при укладке из ленты; 4) изготавливающие трубы в процессе строительства путем нагнетания в "кротовые" щели различных материалов.

В практике строительства машины первой и третьей групп оказались наиболее работоспособными и нашли широкое распространение. Машины второй группы оказались непригодными вследствие больших напряжений, возникающих во время протягивания труб в налипающих грунтах, а также из-за повреждения труб каменистыми включениями и заиливания водоприемных отверстий. Машины четвертой группы не получили распространения из-за трудности равномерной подачи материала и его уплотнения в кротовине.

Рассмотрим конструкции наиболее известных отечественных бестраншейных дреноукладчиков.

Наиболее распространен дреноукладчик БМД-301А, разработанный ВНИИГиМом. Он предназначен для укладки на глубину до 3 м пластмассовых труб диаметром до 125 мм с фильтром из синтетического материала,

песчано-гравийной смеси или из комбинации этих материалов. Основное оборудование — полый нож, бункер, откидной приемный ковш и барабан, вмещающий до 500 м труб. В бункере установлен вибропобудитель для равномерной подачи фильтра. Оборудование смонтировано на поворотной раме, шарнирно закрепленной на базовом тракторе ДЭТ-250. Рабочий орган состоит из ступенчато расположенных трех ножей и двух установленных между ними острозаточенных рассекателей. Плоская режущая кромка двух верхних ножей книзу уширена, что способствует лучшему разрыхлению грунта в придренной зоне.

Глубину дрены регулируют путем поворота рамы с помощью двух гидроцилиндров, опорных лыж, скользящих по поверхности земли, где несущая способность грунта выше. Базовый трактор развивает тяговое усилие до 280 кН. Вспомогательный тягач ДЭТ-250 в агрегате с дреноукладчиком увеличивает силу тяги до 500 кН. Полевые исследования рабочего цикла машины проводили при строительстве закрытого дренажа в районе Голодной степи.

Процесс строительства дренажа включает следующие операции: разбивка дренажной сети, устройство корыта по трассе под заданным углом с помощью скреперов Д-374А, доставка труб и материалов на тележках, прикрепляемых к трактору МТЗ-50 (2 шт.), отрывка одноковшовым экскаватором заходного шурфа, погрузка и разгрузка гравия, укладка труб, уплотнение вспученного грунта тягачом ДЭТ-250, устройство устья дрены, установка истокового колодца, засыпка корыта и планировка наддренной полосы бульдозером. В состав механизированного отряда входит 30 машин; обслуживающий персонал 67...74 чел.; сменная производительность — не менее 2 км.

Исследования позволили установить, что при бестраншейном способе строительства происходит уплотнение стенок дренажной щели, при этом фильтрационные свойства грунтов в придренной зоне снижаются на 20...30 % по сравнению с ненарушенным слоем. По результатам контрольных измерений степень уплотнения грунта в зависимости от его вида и влажности колеблется в пределах 0,12...0,15 г/см<sup>3</sup> и составляет в среднем 3...5 % плотности грунта естественного сложения. Зона распространения изменений коэффициента фильтрации практически равна зоне распространения уплотнения (10...15 см).

Дреноукладчики БДМ-301А успешно работают в Голодной, Каршинской и Джизакской степях. Здесь уложено более 2600 км дренажа с круговой обсыпкой гравием из гофрированных пластмассовых труб диаметром 63 и 75 мм. Использование этих машин позволяет полностью механизировать процесс укладки труб в различных гидрогеологических условиях, в том числе и при высоком уровне стояния грунтовых вод. Эффект от экономии капиталовложений в строительство составил около 12 млн. р.

Исследования возможности бестраншейного строительства дренажа в зоне осушения в нашей стране начались с середины 1950-х годов. В этот период в опытном хозяйстве СевНИИГиМ кротодренной машиной (КАР-1100) были заложены первые системы бестраншейного дренажа.

В дальнейшем были разработаны варианты бестраншейных дреноукладчиков УДМ-151-152.

В 1971 г. во ВНИИГиМе были составлены агротехнические требования к дренаукладчику для бестраншейного строительства дренажа на осушаемых землях. В соответствии с этими требованиями в НПО ВНИИЗемМаш был разработан и изготовлен опытный образец дренаукладчика МД-4, предназначенный для укладки пластмассовых труб наружным диаметром до 120 мм на глубину до 1,8 м в грунтах I...III групп с наличием каменных включений размером не более 30 см и погребенной древесины диаметром не более 10 см.

Машина представляет собой трактор Т-130Г-1, установленный на гусеничные тележки, с навесным оборудованием, состоящим из ножа и непосредственно трубоукладчика. Оборудование смонтировано на раме, шарнирно соединенной с трактором, и перемещается с помощью гидроцилиндра подъема. Бухту труб размещают на барабане, расположенном на раме трактора. В процессе укладки труба прижимается ко дну щели роликом. Для разрезания дерна на глубину до 30 см служит дисковый дернорез, установленный впереди ножа также на раме трактора. Дернорез и барабан переводят из транспортного в рабочее положение с помощью гидроцилиндра. Для увеличения тягового усилия дренаукладчика используют тягач МД-5.

Система регулирования глубины укладки дрен состоит из двух самостоятельных систем: системы регулирования высоты дрены относительно копира и системы угловой стабилизации ножа, которая поддерживает постоянный угол его резания. В качестве копира служит натянутый трос или оптическая ось теодолита, устанавливаемые параллельно уклону дрены, а датчиком высотного положения — щуп или мишень. По сигналу датчика управляющий цилиндр перемещает нож по вертикали относительно трубоукладчика, рама при этом находится в плавающем положении. При использовании троса глубина укладки дрены регулируется автоматически, а при работе теодолитом сигналы управления передаются оператором вручную с пульта с помощью кабельной связи. Угловая стабилизация осуществляется автоматически по сигналам датчика гидроцилиндром поворота ножа относительно рамы.

Дренаукладчик МД-4 обеспечивает бестраншейную укладку гофрированной дренажной трубы при рабочих скоростях движения 0,51...1,03 км/ч в смешанных грунтах I...III категорий с наличием камней до 6 %. Максимальные местные отклонения по вертикали от средней линии составляют 18...25 мм.

В процессе работ на грунтах I...III категорий при наличии камней до 6,7 % и глубине укладки дрен 130 см средняя производительность укладчика составила 554 м/ч чистой работы, а эксплуатационная — 150 м/ч на грунтах, содержащих скрытые камни диаметром более 30 см, укладка дрены не прерывалась, в ряде случаев камни выкорчевывались рабочим органом на поверхность, однако наличие крупных камней отрицательно сказывалось на производительности машины и не позволяло выдерживать постоянный проектный уклон.

Анализ затрат времени на отдельные операции показывает, что 28,7 % его приходится на заправку трубами спускного лотка, 18,8 % — на заправку трубами барабана дренаукладчика и 25,5 % — на соединение труб, что свя-

зано с применением ручного труда на этой операции, а также отсутствием фасонных соединительных деталей; время, затрачиваемое непосредственно на укладку, — 27 %.

Дреноукладчиком МД-4 в агрегате с тягачом МД-5 можно укладывать дрены в зимних условиях в минеральных и торфяных грунтах при глубине их промерзания до 30 см со скоростью 0,487 км/ч. Тяговое усилие, развиваемое дреноукладчиком и тягачом, достаточно для преодоления отдельных скрытых камней, а также кустарниковой растительности. Лобовое попадание камней на режущее лезвие ножа приводит к буксованию машины.

С 1985 г. в ряде областей Нечерноземной зоны РСФСР используется усовершенствованный дреноукладчик МД-12. Он представляет собой самоходную машину на гусеничном ходу с навесным пассивным рабочим органом. Тягач включает силовую установку трактора К-701 с кабиной, капотом, органами управления. Гусеничная лента состоит из элементов гусеничной цепи трактора Т-130Г. Система выдерживания уклона дрен смонтирована на базе аппаратуры Профиль-20 и работает по копирному тросу. Для управления уклоном по лучу лазера может быть использована аппаратура УКЛ-1. Обслуживающий персонал — 4 чел. (2 — на основных работах, 2 — на вспомогательных).

#### Техническая характеристика дреноукладчика МД-12

|                                |             |
|--------------------------------|-------------|
| Глубина укладки дрен, м        | 1,6...1,8   |
| Ширина ножа, мм                | 200         |
| Среднее давление на грунт, МПа | 0,035       |
| Тяговое усилие, кН             | 300         |
| Мощность, кВт                  | 220         |
| Рабочие скорости, м/ч:         |             |
| вперед                         | 4000...4350 |
| назад                          | До 3270     |
| Диаметр дренажной трубы, мм    | 75...90     |
| Масса, т                       | 35          |
| Производительность, км/год     | 450         |

В настоящее время для бестраншейного дренажа в основном применяют пластмассовые трубы, которые по сравнению с наиболее распространенными в практике осушения керамическими трубами (ГОСТ 8411 — 74) имеют ряд преимуществ.

Использование пластмассовых дренажных труб позволяет полностью механизировать их укладку, снизить затраты труда, в несколько раз уменьшить транспортные расходы. Важное преимущество пластмассового дренажа по сравнению с керамическими — более высокая водоприемная способность.

Для изготовления труб используют многие полимерные материалы. Наибольшее распространение получили трубы из непластифицированного поливинилхлорида (НПВХ), а также из свето- и термостабилизированного полиэтилена высокой плотности (ПВП) и низкой плотности (ПНП).

В мелиоративной практике применяют цельнотянутые и формируемые пластмассовые дренажные трубы самых разнообразных конструкций. Первые получают методом непрерывной шнековой экструзии с последующей разработкой водоприемных отверстий различных форм и размеров,

вторые — путем спиральной сварки профилированной полосы или путем свертывания ленты. Экструдированные трубы изготавливают на заводах пластмассовых изделий и транспортируют к месту строительства дренажа уже полностью подготовленными для укладки в грунт. Пленочные трубы можно формировать как в промышленных условиях, так и в процессе строительства из предварительно нарезанных лент, свернутых в бобины.

Ранее использовали пленочные трубы с соединениями типа "в нахлестку", "молния", "строчка". Однако они не получили широкого распространения из-за недостаточной прочности и водозахватной способности.

Цельнотянутые дренажные трубы из полимерных материалов изготавливают двух видов — гладкостенные и гофрированные. Гладкостенные трубы выпускают в отрезках с продольно-щелевой или круглой перфорацией. В последние годы для дренажных работ в СССР и за рубежом применяют в основном трубы с гофрированными стенками. Они обладают гораздо большей, чем гладкостенные, продольной гибкостью, что обеспечивает уменьшение их габаритов и снижение остаточных деформаций при укладке в траншеи, а также требуют меньшего расхода материала для обеспечения равной прочности. При одинаковой площади отверстий на 1 м трубы водозахватная способность гофрированных труб с перфорацией, расположенных во впадинах гофр, выше, чем гладкостенных. Недостатки гофрированных труб: снижение пропускной (транспортирующей) способности и усложнение технологии изготовления по сравнению с изготовлением гладкостенных.

Форма и размеры отверстий в трубах, их расположение и общая площадь оказывают существенное влияние на гидравлические характеристики труб, их водозахватную способность и заиляемость.

За рубежом используют главным образом гофрированные трубы из НПВХ с замкнутыми гофрами и короткими продольными щелями на внутренних или наружных выступах, а также с гофрами, идущими по одной и двухзаходной винтовой линии. Очертание принимают по синусоиде, прямоугольнику, двум полуокружностям или трапеции. Абсолютные значения высоты гофра, шага и их составляющих колеблются в широких пределах. В СССР применяют преимущественно гофрированные трубы из ПВХ.

Дренажные гофрированные трубы из ПВХ выпускают по ТУ 6-19-224 — 83, из ПВХ — по ТУ 33-291 — 83 диаметром 50; 63; 75 и 90 мм с кольцевым коробчатым профилем гофра. Этими техническими условиями предусматривается также выпуск труб диаметром 110 и 125 мм; толщина стенок труб — 0,4...0,9 мм; масса в зависимости от их диаметра колеблется от 0,18 до 0,59 кг/м.

Трубы для строительства бестраншейного дренажа поставляют в бухтах общей длиной 200...600 м в зависимости от диаметра, наиболее широко используются трубы диаметром 63 мм.

В зарубежной практике широко применяют гофрированные дренажные трубы из поливинилхлорида (ПВХ). Наиболее известны Флекспайп, Лемфлекс (Англия), Дренфлекс, Вавин, Рехау (Голландия), Вето (Финляндия) и др.

В ФРГ гофрированные дренажные трубы из ПВХ изготавливают на

предприятиях фирмы "Ольтманс" в основном на стационарных поточных линиях, рассчитанных на работу в три смены в течение 7200 ч/год. Создана передвижная установка Дреномобиль для производства в полевых условиях дренажных труб из поливинилхлоридной пленки со щелевой перфорацией. Производительность установки в зависимости от диаметра труб (50; 65; 80; 100; 125 мм) колеблется в пределах 30...7,6 км/сут.

Устройство дренажа неизбежно связано с необходимостью соединения труб различных диаметров. Для этой цели используют соединительную арматуру. Применение готовых деталей такой арматуры позволяет значительно усовершенствовать дренажные работы, повысить производительность труда и улучшить качество дренажа.

Соединительная дренажная арматура должна иметь одинаковую прочность с соединяемыми трубами, обеспечивать надежность соединения, простоту и удобство его выполнения, компенсировать температурные изменения длины труб, быть экономичной.

При строительстве дренажа из пластмассовых труб применяют тройники или специальные элементы для соединения дрен с коллектором, выполненным из керамики или пластмассы; муфты и переходники для соединения труб одного или разных диаметров или пластмассовых и керамических труб; концевые заглушки для закрытия истока дрены (ТУ 6-05-1378 — 70).

При проектировании и строительстве горизонтального дренажа на осушаемых землях предусматривают специальные меры по его защите от заиления. Заиление зависит от гранулометрического состава грунта, конструкции дренажных труб, их качества и технологии укладки, от уклона линии, материала фильтров, степени подтопления дренажных устьев и др. Наибольшая опасность заиления возникает при строительстве дренажа в мелкозернистых и пылеватых песчаных грунтах, глинах и легких супесях.

Материал фильтров должен обеспечивать незаиляемость дренажа в течение нормативного срока эксплуатации, быть пригодным для механизированной укладки линии, иметь малую массу и небольшие габаритные размеры, кроме того, он должен быть устойчивым к воздействию агрессивных грунтовых вод, экономичным. В отечественной и зарубежной практике в качестве защитных применяют органические и синтетические материалы: опилки, стружку, торфяную крошку, растительный слой почвы, перфорированную пленку из полиэтилена, вереск, солому, мох, дерн, шлаковату, кокосовое волокно, различного рода стекловолоконные материалы, вспененный полистирол-стиромуль, песчано-гравийные смеси и др.

В СССР наибольшее распространение получили стекловолоконные холсты типа ВВ (ВВ-Г и ВВ-Т). Стеклохолст — практически единственный материал, применяемый для защиты дренажа от заиления. Размеры фильтрационных ходов стекловолоконных холстов колеблются в пределах 0,12...0,20 мм. Многочисленные лабораторные и полевые испытания, практика строительства подтвердили, что стеклохолст — надежный и долговечный фильтр, отличающийся хорошими защитными свойствами, транспортабельный и недорогостоящий. Основным недостатком стеклохолста — низкая прочность на разрыв, что затрудняет механизацию процесса укладки фильтров. Кроме того, обращение с ним требует определенных мер предо-

сторожности (работчие должны быть обеспечены спецодеждой, очками, перчатками, марлевыми повязками). До укладки в грунт холсты следует предохранять от влаги, так как при намокании они теряют прочность.

К числу новых отечественных защитно-фильтрующих материалов следует отнести полиэтиленовые холсты и иглопробивное нетканое полотно, прочностные характеристики и невысокая стоимость которых позволяют рекомендовать их для использования при строительстве дренажа бестраншейным способом.

В зарубежной практике широко применяют круговые фильтры из кокосового волокна, волокнистого торфа и искусственных материалов (изготавливаемых, например, фирмой "Ольтманс" и др.).

В нашей стране испытаны и рекомендованы к производству для бестраншейной укладки дренажа в связных грунтах поглотительные колонки из торфокрошки и различных отходов производства (в частности, отходов швейной промышленности). Изготовление и выпуск мелиоративных торфоблоков (ТБМ) регламентировано ТУ 33-07 — 82. Торфоблоки изготавливают из торфа, моховой и травяно-моховой групп, степень разложения которых не превышает 15%; допускаются древесные включения. Блоки имеют прямоугольную форму, предусмотрено два типоразмера: 0,5 x 0,5 x 0,08 м массой 3 — 3,5 кг и 1,0 x 0,5 x 0,8 м массой 6...6,5 кг. Более длинный блок используют при большой глубине дрен. Коэффициент фильтрации блоков 3...5 м/сут.

Фильтрующие элементы из синтетических и хлопчатобумажных тканей-отходов текстильного или швейного производства в оболочке из проницаемой ткани выпускают в соответствии с ТУ 32-320 — 86. Их размеры: длина 0,8 м, диаметр 0,12 м, масса 1...1,2 кг; они выдерживают нагрузку на сжатие 0,1 МПа; коэффициент фильтрации 20...30 м/сут.

Для устройства поглотительных колонок на дренах обычно используют один торфоблок или два фильтрующих элемента, увязанных в пакет. Колонки устанавливают одновременно с укладкой дрен, используя специальный бункер-приставку, прикрепляемый к задней стенке рабочего органа дреноукладчика. Колонки располагают по длине дрены через каждые 3...5 м.

В СевНИИГиМе разработана конструкция непрерывного фильтрующего элемента из проницаемого жгута, укладываемого в дренажную щель в виде ломаной линии таким образом, чтобы водоприемная часть контактировала с пахотным слоем, а проводящая — с дренажной трубой.

## **Глава 2. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ БЕСТРАНШЕЙНОГО ДРЕНАЖА**

Эффективность работы бестраншейного дренажа оценивается по степени его влияния на водный режим осушаемых земель, обеспечению оптимальных условий для развития сельскохозяйственных культур и по возможности проведения полевых работ.

По данным зарубежной печати, наиболее эффективно применение бестраншейного дренажа при осушении земель с более легкими по механи-

ческому составу почвами. Так, в Голландии такой дренаж укладывают глубже 1,2 м только в песчаных почвогрунтах. При осушении связных переувлажненных грунтов бестраншейный дренаж допускается устраивать на глубине не более 1,0 м. В Дании этим способом укладывают 10...15 % дренажа, в основном в легких и торфяных почвах.

В США были проведены исследования по изучению действия бестраншейного дренажа по сравнению с траншейным в слабопроницаемых грунтах на орошаемых землях в низовьях долины р. Рио-Гранде, штат Техас. Дрены укладывали на глубину 1,8...1,95 м. При залегании уровня грунтовых вод 1,2 м модуль дренажного стока на опытном участке составил 0,013...0,020 л/(с · га), на контрольном с траншейными дренажами — 0,09...0,11 л/(с · га). Снижение осушающего действия бестраншейного дренажа по сравнению с траншейным объясняют уплотнением грунта в процессе укладки труб, что вызвало уменьшение к ним притока воды.

В отечественной практике имеются данные, свидетельствующие о снижении в среднем в два раза осушающего действия бестраншейного дренажа в плотном торфянике.

В то же время, как показали наблюдения, при наличии фильтрующего заполнения в щели (мякина) бестраншейный дренаж, проложенный через 10 м в суглинистых грунтах (Япония), оказал такое же осушающее действие, как и траншейный (модуль стока в периоды интенсивного выпадения осадков составил 0,4...0,5 л/(с · га)).

По данным исследований, проведенных за последние годы в нашей стране и за рубежом, эффективность бестраншейного дренажа определяется главным образом водно-физическими и фильтрационными свойствами почвогрунта в околосредной зоне, которые особенно в первые годы после строительства во многом зависят от характера деформационных процессов, происходящих в нем при укладке труб.

Установлено, что при бестраншейной укладке дренажа в зависимости от геометрии рабочего органа и почвенно-грунтовых условий (механического состава, влажности по глубине) могут происходить либо деформации сдвига, скола, отрыва, сопровождающиеся крошением грунта и его перемещением в сторону открытой поверхности, либо упругопластические деформации, либо их сочетания.

Отмечено, что воздействие на грунт рабочего органа дреноукладчика характеризуется наличием двух зон деформации: в верхней происходит сдвиг почвенных агрегатов и разрыхление почвогрунта, в нижней — его поперечные перемещения и уплотнение. Уровень перехода доминирующего вида воздействия определен как критическая глубина (КГ). На значение КГ влияют ширина рабочего органа машины и свойства почвогрунта: механический состав и его влажность. В более плотных почвах тяжелого механического состава, особенно находящихся в переувлажненном состоянии, КГ, как правило, не превышает 50...70 см. Толщина уплотненного слоя ниже КГ также незначительна — не более 2...10 мм, но его проницаемость снижалась почти в восемь раз (до 0,006 м/сут). Прокладка дренажа на глубине, меньшей КГ, создает более благоприятные условия для его работы.

В Дании при изучении работы бестраншейного дренажа на моренных

суглинистых почвах выявлена менее эффективная его работа, чем уложенного в траншею. Особенно заметное снижение осушающего действия бестраншейного дренажа по сравнению с траншейным отмечено в тех случаях, когда дрены укладывали в переувлажненную почву.

В ФРГ в Институте гидротехнического строительства при Техническом университете г. Брауншвейга обследованы осушительные системы, построенные как траншейным, так и бестраншейным способом в 69 водохозяйственных управлениях Баварии, Северной Рейн-Вестфалии, Нижней Саксонии и Шлезвиг-Гольштейна, где сосредоточено 70 % всех дренированных площадей страны. За период 1978 – 1980 гг. в этих районах на площади около 41 тыс. га дренаж был заложен бестраншейным способом, а на площади около 20 тыс. га – траншейным. В результате были установлены площади осушенных земель с неудовлетворительной работой дренажа при обоих способах строительства (табл. 1), а также сделан вывод, что основные причины неудовлетворительной работы бестраншейного дренажа – отклонения от стандарта, допущенные во время строительства (отклонение от проектных уклонов, строительство в неблагоприятное время года, а на объектах реконструкции – пересечение старых дренажей без подключения их к новым). В случаях когда требования стандарта не нарушались, работоспособность бестраншейных дренажей не отличалась от работоспособности траншейных.

1. Результаты определения эффективности дренажа

| Способ строительства | Наличие вымочек |        |        | Всего  |
|----------------------|-----------------|--------|--------|--------|
|                      | нет             | редкие | частые |        |
| Бестраншейный        | 5/12            | 32/78  | 4/10   | 41/100 |
| Траншейный           | 7/35            | 13/65  | 0/0    | 20/100 |

Примечание. В числителе – дренированная площадь, тыс. га, в знаменателе – ее отношение к общему объему построенного дренажа, %.

### 1. Эффективность действия бестраншейного дренажа в легких почвах и торфяниках

Действие бестраншейного дренажа в минеральных почвах было изучено на участке "Правобережный" (совхоз "Петровский" Приозерского района Ленинградской обл.), построенном летом 1978 г. Участок расположен на правом берегу р. Петровки. Площадь опытно-производственного участка 3,5 га, он расположен на дерново-подзолисто-глеевых почвах, сформированных из мелкозернистых песков и легких супесей; участок атмосферного водного питания. Здесь заложены следующие варианты дренажа: одиночные дрены и дренажная система ЗК-39а построены бестраншейным способом, причем часть дренажей и система уложены с применением изоляции стеклохолстом. Контрольными вариантами были одиночные дрены и система ЗК-42а, заложенные из пластмассовых труб траншейным способом экскаватором ЭТЦ-202А.

## 2. Дренажный сток на участке "Правобережный"

| Вариант                                      | 1978 г.                          |         |                 | 1979 г.                          |         |                 |
|----------------------------------------------|----------------------------------|---------|-----------------|----------------------------------|---------|-----------------|
|                                              | 10 – 11                          |         |                 | 05 – 06                          |         |                 |
|                                              | $q_{\text{max}},$<br>л/ (с · га) | $h,$ мм | $K_{\text{др}}$ | $q_{\text{max}},$<br>л/ (с · га) | $h,$ мм | $K_{\text{др}}$ |
| Опыт (дрены в песках и легких супесях)       | 0,48                             | 55      | 0,53            | 0,80                             | 85      | 0,60            |
| Контроль (дрены в песках и легких супесях)   | 0,49                             | 50      | 0,58            | 0,81                             | 87      | 0,61            |
| Опыт (система ЗК-39а в легких суглинках)     | 0,47                             | 53      | 0,51            | 0,70                             | 70      | 0,49            |
| Контроль (система ЗК-42а в легких суглинках) | 0,50                             | 58      | 0,56            | 0,75                             | 78      | 0,55            |

Опытные и контрольные одиночные дрены проходят в мелкозернистых песках и легких супесях с коэффициентом фильтрации ( $K_{\text{ф}}$ ) 0,3...0,5 м/сут, расстояния между дренами 12 м, их длина 100 м. Системы ЗК-39А и ЗК-42а заложены в легких суглинках с коэффициентом фильтрации 0,1...0,05 м/сут, расстояния между дренами такое же. В табл. 2 приведены обобщенные результаты измерений дренажного стока за период наблюдений (1978 – 1980 гг.). Значение  $K_{\text{др}}$  в весенний период вычислено с учетом водонакопления на поверхности почвы на начало дренажного стока за счет запасов воды в снеге.

Как видно из таблицы, дренажный сток на опытных и контрольных системах, заложенных в песках и легких супесях, отличается незначительно. Разница в его объеме не превысила 5 %, на системах, заложенных в легких суглинках, она составила в среднем 20...30 %. В первый год после строительства разницы в дренажном стоке по всем вариантам практически не было. На третий год эксплуатации осушающее действие дренажа, заложенного в легких супесях и песках, оставалось на прежнем уровне, а на системах в легких суглинках отмечалось его падение в полтора-два раза, причем на бестраншейном дренаже оно оказалось более выраженным.

В 1981 – 1985 гг. на участке "Правобережный" в периоды прохождения весенних и осенних паводков проводили контрольные измерения дренажного стока (по пять-шесть в сезон). Модули дренажного стока на контрольных и опытных дренах в супесях практически были одинаковыми, а на системах ЗК-39а и ЗК-42 – в 1,2...1,8 раза меньше. При этом дренажный сток на системе, уложенной бестраншейным способом, был в среднем на 28...35 % меньше, чем на траншейном варианте (ЗК-42а).

В целом на участке с супесями видимых следов переувлажнения не наблюдалось. На участке с легкими суглинками в микропонижениях наблюдался кратковременный застой поверхностных вод, однако вымочек сельскохозяйственных культур практически не было.

Исследования водно-физических свойств почвогрунтов в придренированной зоне были проведены в первый год после строительства дренажа на дрине 8,

| 1979 г.                       |         |                 | 1980 г.                       |         |                 |                               |         |                 |
|-------------------------------|---------|-----------------|-------------------------------|---------|-----------------|-------------------------------|---------|-----------------|
| 08 – 10                       |         |                 | 04 – 05                       |         |                 | 09 – 10                       |         |                 |
| $q_{\text{max}},$<br>л/(с·га) | $h,$ мм | $K_{\text{др}}$ | $q_{\text{max}},$<br>л/(с·га) | $h,$ мм | $K_{\text{др}}$ | $q_{\text{max}},$<br>л/(с·га) | $h,$ мм | $K_{\text{др}}$ |
| 0,50                          | 98      | 0,41            | 0,80                          | 56      | 0,48            | 0,85                          | 162     | 0,66            |
| 0,52                          | 104     | 0,43            | 0,76                          | 48      | 0,41            | 0,72                          | 154     | 0,63            |
| 0,39                          | 75      | 0,31            | 0,25                          | 28      | 0,24            | 0,35                          | 62      | 0,26            |
| 0,44                          | 81      | 0,34            | 0,7                           | 53      | 0,59            | 0,5                           | 78      | 0,32            |

а также на дрене 2 основного варианта. В результате установлены некоторые особенности резания грунта ножом дренаукладчика МД-4 с плоской передней режущей кромкой. Раскопки на дрене 8 (мелкозернистый песок) показали, что от воздействия ножа над дренаой образовалась разрыхленная зона конусообразной формы, имеющая у основания (на глубине закладки дренажа) ширину 0,25 м, а на поверхности — 0,60 м. Щель, образующаяся сразу же после прохода ножа, заполняется смесью грунта с гумусом. Плотность грунта на глубине 60 см от поверхности была равна: над дренаой 1,34 г/см<sup>3</sup>, на границе разрыхленной зоны 1,62...1,66 г/см<sup>3</sup>, а ненарушенного грунта 1,68...1,70 г/см<sup>3</sup>, т. е. на границе щели грунт не уплотнялся, а наоборот, наблюдалось некоторое его разуплотнение.

На дренах, уложенных в мелкозернистых песках и супесях, коэффициент фильтрации грунта по следу рабочего органа увеличился до 1,0...1,5 м/сут; через 2 года эксплуатации его проницаемость уменьшилась до исходной (0,3...0,4 м/сут). В связи с уплотнением грунта его плотность в придренной зоне возросла за этот период на 18 % — с 1,25 до 1,5 г/см<sup>3</sup>.

Аналогичные результаты получены на участке "Чекрыжино", сложённого из мелкозернистых песков с  $K_{\text{ф}} = 0,5...0,8$  м/сут (табл. 3 и 4).

Участок "Правобережный" строили в сухое время года при влажности грунта 18...20 % (по массе), а на участке "Чекрыжино" дренаж укладывали в переувлажненный грунт — 30...35 % (по массе). Тем не менее в обоих случаях заметного уплотнения грунта в придренной зоне не было.

Раскопки показали, что деформации сдвига и отрыва происходили до глубины 0,3...0,4 м от открытой поверхности, высота призмы вспучивания была 0,25...0,30 м, ширина — 0,3...0,4 м. По всей высоте щели после прохождения рабочего органа дренаукладчика МД-4 немедленно происходило визуально наблюдаемое обрушение стенок, грунт разуплотнялся; остаточной деформации практически не обнаруживалось. Полученные данные говорят о том, что деформационные процессы в песчаном грунте практически не зависят от его влажности, при этом критическая глубина достигает 0,3...0,4 м, а ниже, в зоне сжатия, преобладают упругие деформации.

**3. Плотность грунта в зоне следа рабочего органа МД-4 на участках "Силино" и "Чекрыжкино", г/см<sup>3</sup>**

| Слой, см | Расстояние от оси дрены, см |           |           |           |           |
|----------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|          | 0                           | 10        | 20        | 40        | 60        |
| 0...25   | 1,11/1,10                   | 1,34/1,12 | 1,43/1,20 | 1,42/1,27 | 1,42/1,25 |
| 20...40  | 1,44/1,25                   | 1,48/1,28 | 1,52/1,30 | 1,50/1,40 | 1,56/1,43 |
| 40...60  | 1,50/1,22                   | 1,46/1,35 | 1,63/1,37 | 1,58/1,43 | 1,64/1,45 |
| 60...80  | 1,24/1,30                   | 1,48/1,30 | 1,55/1,45 | 1,62/1,45 | 1,63/1,45 |
| 80...100 | 1,30/1,25                   | 1,50/1,35 | 1,57/1,45 | 1,63/1,50 | 1,64/1,45 |

Примечание. В числителе – данные по участку "Силино" (июнь 1979 г.), в знаменателе – по участку "Чекрыжкино" (октябрь 1979 г.).

**4. Твердость грунта в зоне следа рабочего органа МД-4 на участках "Силино" и "Чекрыжкино", МПа (в среднем по слою 0...30 см)**

| Участок                           | Расстояние от оси дрены, см |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                   | 0                           | 10  | 20  | 25  | 30  | 35  | 40  | 45  | 50  |
| "Силино"<br>(июнь 1979 г.)        | 1,8                         | 2,2 | 2,3 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 5,0 | 6,0 | 5,9 |
| "Чекрыжкино"<br>(октябрь 1979 г.) | 1,0                         | 1,0 | 1,5 | 2,5 | 4,3 | 4,6 | 4,5 | 4,6 | 4,6 |

Для анализа характера деформационных процессов в связных грунтах были проведены раскопки на дренах сразу после их укладки на участке "Правобережный" на системе ЗК-39 и на участке "Силино" совхоза "Красноозерный" (легкосуглинистые грунты). Участок "Силино" строили осенью (в сентябре 1980 г.) при влажности грунтов 30...33 % (по массе).

Наблюдения за работой дренаукладчика МД-4 и раскопки показали, что перед режущей кромкой ножа частицы грунта стремятся в сторону открытой поверхности. Причем грунт вблизи рабочего органа вспучивается и образуется конус рыхления. Ниже зоны рыхления по контуру передней режущей кромки ножа вырезается полоса. Таким образом, нижняя часть ножа работает в режиме струга, а верхняя образует зону рыхления.

В пределах конуса рыхления происходят деформации скола и отрыва, грунт распадается на отдельные перемещающиеся комья и агрегаты, пронизывается сетью трещин, упругопластические деформации в нем выражены незначительно. Ниже, в зоне сжатия, преобладают упругопластические деформации. В зависимости от механического состава грунта, степени его связности и влажности меняются глубина зоны рыхления, степень разрыхляемости и соотношение упругих и пластических деформаций.

Раскопки показали, что в зоне конуса рыхления границы дренажной щели четко не прослеживаются, так как после прохода рабочего органа

дреноукладчика здесь происходит обрушение стенок щели с частичным перемещением грунта пахотного и подпахотного слоев. По следу рабочего органа плотность грунта составляла  $1,19...1,31 \text{ г/см}^3$ , а  $K_f$  был равен  $0,8...1,1 \text{ м/сут}$ . В границах конуса плотность изменялась в пределах  $1,47...1,55 \text{ г/см}^3$ ,  $K_f - 0,6...0,2 \text{ м/сут}$  (по направлению к внешней границе конуса). Деформации сдвига наиболее полно проявлялись в средней части конуса рыхления, которая была заполнена отдельными комьями диаметром до 50 мм и более и содержала большое количество некапиллярных пор. Ближе к периферии деформации сдвига выражались слабее; грунт в основном имел трещиноватую структуру. Глубина конуса рыхления составляла 40...60 см (меньшее значение — для более влажных грунтов).

В зоне сжатия, где преобладали упругопластические деформации, происходило главным образом сближение стенок щели, причем без обрушения. Ее границы просматривались четко, ширина составляла 12...18 см и с глубиной увеличивалась. Полость щели была засыпана грунтом из разрыхленной зоны с вкраплениями гумуса, просыпавшегося из пахотного слоя.

На участке "Правобережный" плотность грунта непосредственно у стенки щели была  $1,55...1,59 \text{ г/см}^3$ , т. е. на 5...7 % меньше плотности окружающего грунта; на расстоянии 10...15 см от стенки грунт был более уплотнен —  $1,57...1,65 \text{ г/см}^3$ , или на 3...5 % больше. Таким образом, непосредственно у стенки грунт несколько разуплотнился, а на расстоянии 10...15 см от нее сохранилась остаточная деформация.

На участке "Силино", где дренаж укладывали во влажные грунты, глубина конуса рыхления составила 30...35 см, а в зоне сжатия пластические деформации оказывались более выраженными. На расстоянии 15...20 см от стенки щели плотность оказалась на 5...7 % больше, чем плотность окружающего грунта. На стенке по-прежнему наблюдалась тенденция к разуплотнению, особенно в верхней ее части (см. табл. 3 и 4).

Плотность грунта и его  $K_f$  в траншее, выполненной экскаватором ЭТЦ-202А (система ЗК-42а), на участке "Правобережный" сразу после строительства были равны соответственно  $1,20...1,25 \text{ г/см}^3$  и  $1,5 \text{ м/сут}$ .

Раскопки, выполненные на тех же дренах через 2 года эксплуатации, позволили установить изменение водно-физических свойств грунтов, деформированных в процессе строительства.

На дренах, построенных траншейным способом, плотность грунта дренажной засыпки увеличивалась до  $1,52...1,56 \text{ г/см}^3$ , значение  $K_f$  снизилось до  $0,5 \text{ м/сут}$ .

На бестраншейных дренах (ЗК-39) дренажная щель прослеживалась по включениям гумусированного грунта пахотного слоя, разрыхленная зона отсутствовала, плотность грунта по следу рабочего органа составила  $1,62...1,65 \text{ г/см}^3$ ,  $K_f$  был равен  $0,2 \text{ м/сут}$ .

Проведенный на участке "Прибрежный" в 1981 г. учет урожая картофеля показал, что на опытной системе ЗК-39а в суглинистых грунтах он снизился до 180 ц/га по сравнению с урожаем на контрольной системе ЗК-42а — 230 ц/га. В легких по механическому составу почвах на опытной и контрольной системах разница в урожайности оказалась несущественной (соответственно 250 и 260 ц/га).

Приведенные данные говорят о том, что в хорошо проницаемых грун-

тах с  $K_{\phi} > 0,3$  м/сут разницы в действии дренажа, уложенного траншейным и бестраншейным способами, не обнаруживается. Этот вывод подтверждается наблюдениями на участках "Чекрыжкино" и "Харья" (совхоз "Ударник", Приозерский район), где  $K_{\phi}$  подпахотных горизонтов также составлял 0,3...0,5 м/сут.

В грунтах, менее проницаемых (при  $K_{\phi}$  менее 0,3 м/сут), наблюдается снижение осушающего действия бестраншейного дренажа по сравнению с траншейным в среднем на 20...30 %. Аналогичные данные по соотношению максимальных модулей и объемов дренажного стока на контрольных и опытных системах получены на участке "Силино" ( $K_{\phi} = 0,1$  м/сут).

Участок "Золотая долина" совхоза "Красноозерный" того же района расположен на южном берегу оз. Красное. На участке залегают торфяно-болотистые почвы, хорошо разложившийся торф низинного типа слоем более 1 м подстиляется суглинком — от легкого до тяжелого. Тип водного питания — грунтово-напорный на участке № 1 и атмосферный на участке № 2. Оба участка осушены системами одиночных пластмассовых дрен, уложенных через 20 м в феврале 1978 г. Опытные дрены 4...7 и 13...21 уложены бестраншейным способом, контрольные — 1...3 и 8...12 — траншейным.

Анализ деформационных процессов, происходящих в придренированной зоне при бестраншейной укладке дренажа, показал, что при прорезании торфяника рабочим органом дреноукладчика МД-4 зона рыхления, в которой происходили деформации сдвига и отрыва, была незначительной и изменялась в пределах 15...30 см (максимальные значения наблюдались для переходных и низинных торфяников с хорошей степенью разложения торфа). В зоне сжатия повсеместно наблюдались упругие деформации; остаточной деформации установлено не было.

После прохода рабочего органа в торфяных грунтах образуется прямоугольная щель, стенки которой сразу же смыкаются на высоте 0,5...0,6 м от дна. При заполнении щели водой отмечены случаи всплывания пластмассовых труб. При повторных раскопках через 3 мес щель визуально не прослеживалась.

Значения  $K_{\phi}$  торфяного грунта по следу рабочего органа составляли 0,2...0,3 м/сут, грунта в околodrенированной зоне сразу после строительства — 0,3 м/сут. В условиях грунтово-напорного питания (участок № 1) дренажный сток наблюдался круглогодично. В летний период 1978 г. разница в модулях и в объеме стока контрольных и опытных дрен не превышала 10 % (0,40 л/(с · га) и 206,5 мм — опытные дрены; 0,42 л/(с · га) и 223 мм — контрольные).

На участке № 2 с атмосферным типом водного питания существенного различия в дренажном стоке между опытными и контрольными системами обнаружено не было. В летний период 1978 г. максимальные модули стока на опыте и в контроле составили 0,6 и 0,63 л/(с · га) соответственно,  $K_{др}$  в обоих случаях был равен 0,68. При контрольных измерениях, систематически проводившихся в течение 1979 — 1985 гг., разницы в дренажном стоке на контрольных и опытных дренах на участках № 1 и 2, а также следов переувлажнения обнаружено не было.

Как следует из приведенных данных, изменения приточности при бестраншейном способе строительства дренажа по сравнению с траншейным не произошло. Аналогичные результаты получены на участке "Центральное отделение" совхоза "Раздолье" того же района, где дренаж укладывали в глубоких (более 2 м) торфяниках.

Необходимо отметить, что на участках "Золотая долина" и в совхозе "Раздолье" грунтовые воды отличаются повышенным содержанием закиси железа с концентрацией его более 14 мг/л. В пластмассовых дренах были обнаружены осадки железистых соединений, которые заполняли трубу примерно на  $\frac{3}{4}$  сечения. В дальнейшем процесс выпадения в осадок прекращался, и дрены работали с полным заполнением водой оставшейся части сечения. После прочистки дрен в течение короткого периода (обычно в течение 1 мес) дрена вновь заполнялась осадком на прежнюю высоту. Наиболее интенсивно процесс выпадения железистых соединений в осадок проходил в весенний период. В проложенных на этих участках дощатых дренах за более чем двадцатилетний срок эксплуатации следов загрязнения железистыми соединениями практически не было.

## **2. Эффективность действия бестраншейного дренажа в почвах тяжелого механического состава**

Осушительное действие бестраншейного дренажа в слабопроницаемых почвогрунтах изучали на ряде объектов Ленинградской области.

Объект "Житково-центр" совхоза "Житково" Выборгского района осушен пластмассовым дренажем, уложенным осенью 1977 г. дренажником МД-4; расстояние между дренами 10...25 м. Площадь исследуемого участка 8,0 га, здесь преобладают дерново-подзолистые почвы длительного избыточного увлажнения и низкой окультуренности, подстилаемые пылеватými суглинками,  $K_f < 0,01$  м/сут.

Участок наблюдений осушен системой одиночных дрен, уложенных через 16 м, впадающих в открытые каналы. На участке № 1 пластмассовые дрены 1...7, 11...13; 15 заложены бестраншейным дренажником МД-4, керамические — 8, 9, 14 — траншейным экскаватором ЭТЦ-202. На участке № 2 все дрены уложены бестраншейным способом. На дренах 4, 5, 6 в 1978 г. выполнено рыхление подпахотного слоя на глубину до 60 см.

За период 1979 — 1980 гг. на опытных участках проводили систематические наблюдения за дренажным стоком и определяли водно-физические и фильтрационные свойства грунтов. Весной и осенью 1981 — 1983 гг. выполняли контрольные измерения дренажного стока.

В суглинистых пылеватых грунтах при влажности подпахотных горизонтов 30...32% после прохода рабочего органа дренажника МД-4 образовалась прямоугольная щель шириной 12...15 см, которая была заполнена смесью грунта пахотного слоя и обрушившегося грунта. Плотность грунтов, отобранных непосредственно в области щели, колебалась от 1,48 до 1,24 г/см<sup>3</sup>, по мере удаления от щели она резко возрастала,

бывая на расстоянии 20...30 см от оси дрены 1,75...1,78 г/см<sup>3</sup>.  $K_f$  по следу рабочего органа здесь и в траншее на контрольном участке сразу после строительства был равен соответственно 0,06 и 0,20 м/сут.

При раскопках, проведенных через 2 года, щелевая зона по следу рабочего органа МД-4 визуально не обнаруживалась, так как грунт в ней значительно уплотнился и по своим характеристикам как на опытной дрене, так и на контрольной приблизился к характеристикам грунта естественного сложения;  $K_f$  составил 0,2 и 0,1 м/сут соответственно. На отдельных контурах этого же объекта суглинистые грунты имели пластичную консистенцию; в таких условиях щель над дренажной вообще не формировалась, а за ножом дренажного укладчика полностью "заплывала" грунтом.

Наблюдения за водным режимом на контрольном и опытном участках показали, что на участке № 1 дренажный сток из гончарных дрен был значительно больше, чем из бестраншейных пластмассовых. Так, за период наблюдений в 1980 г. максимальный модуль стока на контрольных и опытных системах составил 0,15 и 0,08 л/(с · га), а объем стока соответственно 51 и 28 мм. За это время выпало около 165 мм осадков. Следовательно, через дренаж было отведено: на участке без рыхления (на контрольном участке гончарного дренажа) — 31 %, на бестраншейных пластмассовых дренажах — 13 % объема осадков. Несмотря на то что уклон поверхности земли не превышает 0,005, на участках, не подвергавшихся рыхлению, значительная часть осадков была отведена поверхностным стоком, тогда как на рыхленном участке стока почти не наблюдалось. Вместе с тем на участке рыхления почти весь период наблюдений происходило переувлажнение пахотного слоя, и потери урожая зеленой массы от вымокания составили в среднем 80 %. На остальных участках посевы вымокали в местах скопления поверхностной воды в замкнутых понижениях. Потери урожая здесь достигали в среднем 30...40 %.

Таким образом, в условиях низкой окультуренности почв и недостаточной интенсивности осушения глубокое рыхление привело к ухудшению водно-воздушного режима корнеобитаемого слоя растений.

В последующий период (до 1983 г.) осушающее действие бестраншейного дренажа еще более снизилось. Изменения дренажного стока во время пиков паводков показали, что модули дренажного стока на бестраншейных дренажах не превысили 0,05...0,07 л/(с · га), на траншейных керамических оставались в прежних пределах, т. е. 0,12...0,18 л/(с · га). Необходимо отметить, что осушения объекта как на контрольном, так и на опытном участке достигнуто не было. Застой воды в понижениях местности наблюдался в течение 13...35 сут. Избыток воды отводился в основном поверхностным стоком, а из понижений — за счет испарения. Площадь вымочек на объекте достигала 35...40 %.

В опытном хозяйстве СевНИИГиМ на участке "Новоселье" в 1979 — 1980 гг. бестраншейным дренажным укладчиком МД-4 были заложены опытные системы пластмассового дренажа и контрольные системы керамического дренажа траншейным экскаватором ЭТЦ-202. Каждая система состоит из шести дрен длиной 70...110 м, расстояние между которыми 10 м. Дрены уложены на глубину 0,9...1,0 м.

Участок представлен в основном дерново-подзолисто-глеевыми почвами длительного избыточного увлажнения, атмосферного водного питания. Земли старопахотные, хорошо окультуренные. Почвенный покров весьма пестрый. Встречаются почвы от легкого до тяжелого механического состава

ва, а также с двухчленным строением профиля, мощность проницаемых песчаных и супесчаных слоев которого колеблется в пределах 0,2...0,5 м,  $K_{\phi} = 1,0...2,0$  м/сут.

В период 1979 — 1985 гг. на экспериментальных системах вели наблюдения за водным режимом грунтов и их водно-физическими и фильтрационными свойствами (табл. 5 и 6).

##### 5. Дренажный сток на экспериментальных системах траншейного и бестраншейного дренажа на участке "Новоселье"

| Система   | Почвенно-грунтовые условия                                      | Период наблюдений     | $h$ , мм  | $q_{\max}$ , л/(с · га) | $K_{др}$  |
|-----------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| 46/1/46/2 | Двухчленный насос с глубины 0,5...0,6 м, подстилаемый суглинком | 12...28.11. 1979 г.   | 11,5/15,6 | 0,09/0,12               | 0,38/0,5  |
|           |                                                                 | 20...28.11. 1980 г.   | 24,9/46,3 | 0,29/0,52               | 0,25/0,46 |
|           |                                                                 | 1...30.05. 1981 г.    | 17,6/16,9 | 0,22/0,22               | 0,45/0,43 |
|           |                                                                 | 1.09...25.10. 1981 г. | 35,2/56,1 | 0,21/0,49               | 0,30/0,49 |
|           |                                                                 | Весна 1982 г.         | 32,9/64,0 | 0,31/0,42               | 0,18/0,34 |
| 47/1/48/2 | То же                                                           | " 1983 г.             | 21,4/28,5 | 0,69/0,73               | 0,26/0,35 |
|           |                                                                 | 1...30.05. 1980 г.    | 13,6/15,5 | 0,15/0,20               | 0,35/0,39 |
|           |                                                                 | 1.10...20.12. 1980 г. | 27,5/52,7 | 0,12/0,26               | 0,23/0,35 |
| 10/2/11/2 | Тяжелый суглинок с глубины 0,2 м                                | 1.10...20.12. 1981 г. | 39,0/74,7 | 0,26/0,64               | 0,22/0,42 |
| 19/18     | Мелкозернистый песок до глубины 1 м                             | 1.10...20.12. 1981 г. | 68,6/73,7 | 0,50/0,59               | 0,38/0,41 |

Примечания. 1. 46/1, 47/1, 10/2, 19 — опытные системы дренажа из пластмассовых труб, уложенных бестраншейным способом; 46/2, 48/2, 11/2 — контрольные системы дренажа из керамических труб, уложенных траншейным способом, 18 — то же, из пластмассовых труб. 2. На системах 46/1 и 46/2 10.11.1980 г. проведено глубокое рыхление.

Приведенные в табл. 5 цифры свидетельствуют, что в первый год после строительства систем значительной разницы между дренами, полученными на опытных и на контрольных участках, не обнаружено. За осень 1979 г. объем и максимальные модули дренажного стока на системе 46/2 траншейного керамического дренажа составили 15,6 мм и 0,12 л/(с · га), а на системе 46/1 бестраншейного дренажа 11,5 мм и 0,09 л/(с · га) соответственно. В последующие годы осушающее действие бестраншейного дренажа по сравнению с траншейным снизилось почти в два раза. На системах 19 и 18, заложенных в песчаных грунтах, снижения осушающего действия на второй год после строительства обнаружено не было.

График связи между напором грунтовых вод и дренажным стоком на системах 46/1, 46/2, 47/1 и 47/2 в двухчленном насосе (рис. 1) свидетельствует о снижении интенсивности осушения при бестраншейном дренаже в слабопроницаемых грунтах. Дренажный сток на контрольных системах начинался при напоре 0,15 м, модуль стока составлял 0,15...0,2 л/(с · га); на опытных системах эти значения соответственно составляли 0,20...0,25 м и 0,01...0,02 л/(с · га). При напорах 0,6...0,8 м модули стока достигали максимальных значений, но отличались в 1,5...2 раза.

6. Водно-физические и фильтрационные свойства грунтов на участке "Новоселье"

| Место определения                           | K <sub>ф</sub> , м/сут  |            |            |            |            |                             |            |            |            |            | Плотность, г/см <sup>3</sup> |            |                                |            |
|---------------------------------------------|-------------------------|------------|------------|------------|------------|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------------------------|------------|--------------------------------|------------|
|                                             | пахотный слой 0...30 см |            |            |            |            | подпахотный слой 50...60 см |            |            |            |            | пахотный<br>слой 0...30 см   |            | подпахотный<br>слой 50...60 см |            |
|                                             | 10.1979 г.              | 06.1980 г. | 08.1981 г. | 07.1983 г. | 10.1979 г. | 06.1980 г.                  | 08.1981 г. | 07.1983 г. | 10.1979 г. | 07.1983 г. | 10.1979 г.                   | 06.1980 г. | 07.1983 г.                     | 10.1979 г. |
| По оси дрена<br>опытной сис-<br>темы 46/1   | 5,4                     | 2,3        | 2,7        | 2,4        | 1,6        | 0,5                         | 0,3        | 0,1        | 1,29       | 1,23       | 1,3                          | 1,50       | 1,60                           |            |
| По оси дрена<br>контрольной<br>системы 46/2 | 4,5                     | 2,5        | 2,8        | 2,6        | 1,8        | 0,9                         | 0,7        | 0,6        | 1,30       | 1,24       | 1,06                         | 1,20       | 1,43                           |            |
| Между дренами                               | 2,6                     | 2,0        | 2,2        | 2,4        | 0,004      | —                           | 0,01       | 0,008      | —          | —          | 1,65                         | 1,65       | 1,67                           |            |

Рис. 1. График зависимости дренажного стока от напора грунтовых вод при двучленном строении почвенного профиля.

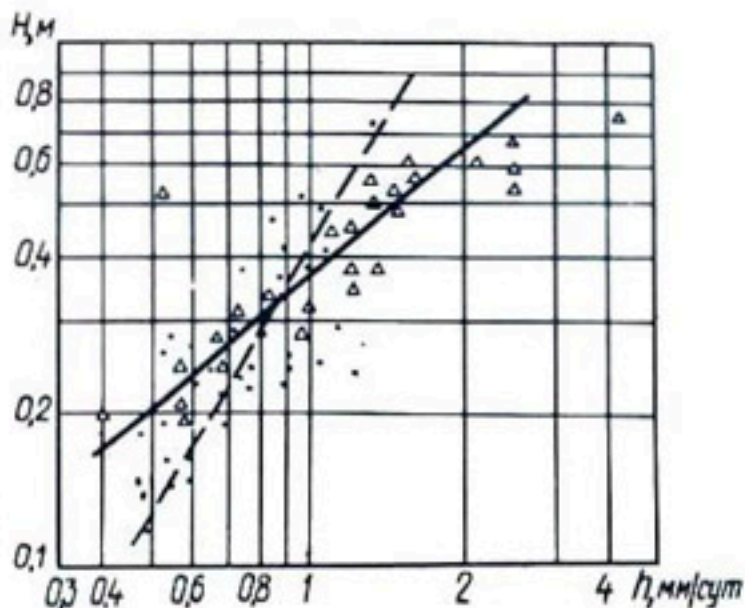
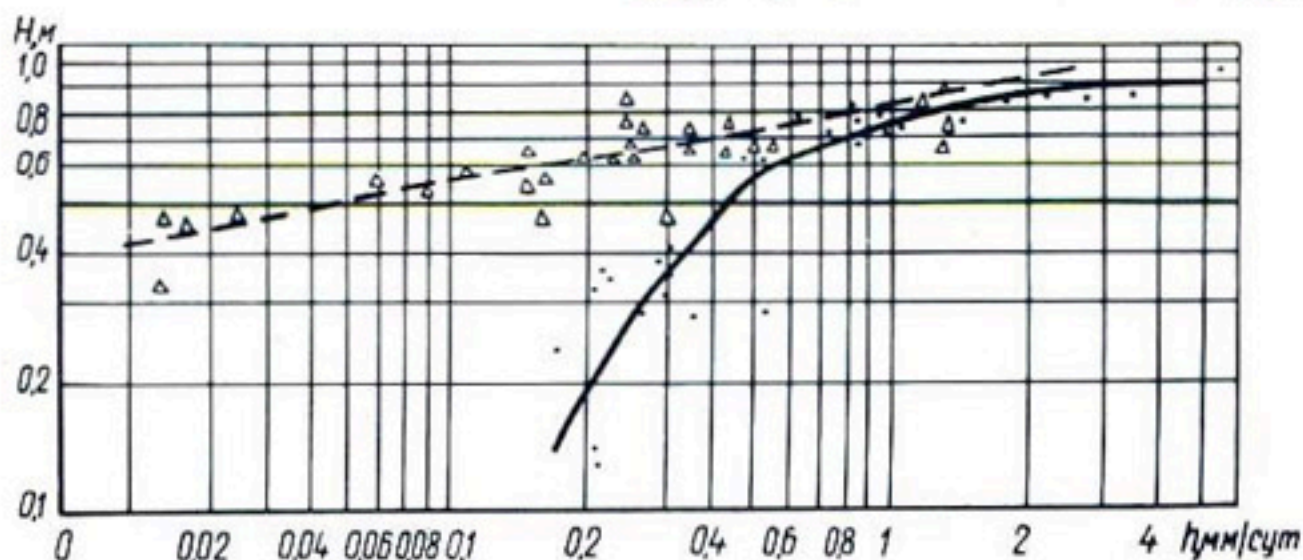


Рис. 2. График зависимости дренажного стока от напора грунтовых вод в тяжелых суглинках.



В тяжелых суглинках (системы 10/2 и 11/2) снижение интенсивности осушения при бестраншейном дренаже по сравнению с траншейным выражено более явно. График зависимости дренажного стока от напора грунтовых вод между дренами (рис. 2) показывает, что при напоре 0,9 м модуль стока на бестраншейном дренаже почти в три раза меньше, чем на траншейном; слой стока за период наблюдений и  $K_{др}$  были почти в два раза меньше.

Данные табл. 6 характеризуют изменение фильтрационных свойств грунтов тяжелого механического состава за 4 года эксплуатации систем. Уже к концу третьего года работы бестраншейного дренажа проницаемость слоя засыпки щели незначительно отличалась от проницаемости дренируемого грунта, что явилось следствием его уплотнения — на 07.1983 г. плотность составила  $1,6 \text{ г/см}^3$ , т. е. всего на 6 % меньше, чем плотность нетронутого грунта. Засыпка дренажной траншеи за это время уплотнилась значительно меньше: плотность была на 14 % выше плотности окружающего грунта,  $K_{ф}$  был больше почти в 60 раз.

Результаты обследований, проведенных на объектах осушения с бестраншейным дренажем в Ленинградской обл. (Воронино, Балаханово и др.), на участке "Горынево-1" в Новгородской обл. и на других участках с суглинистыми грунтами, подтвердили полученные выводы. На всех обследованных объектах интенсивность осушения оказалась ниже проектной. Модули стока не превышали  $0,3...0,4 \text{ л/(с} \cdot \text{га)}$ , площади вымочек

составляли 25...30 %, отмечалась задержка в сроках начала полевых работ от 5 до 10 дней. Проницаемость грунта в околосредной зоне на третий-четвертый год эксплуатации оказалась близка к плотности грунта с ненарушенной структурой и была менее 0,01...0,05 м/сут.

Таким образом, ухудшение осушающего действия бестраншейного дренажа по сравнению с действием траншейного (керамического и пластмассового) в грунтах с  $K_f < 0,2...0,3$  м/сут вызвано главным образом быстрым (в течение первых двух-трех лет эксплуатации) уменьшением фильтрационных свойств грунта, разрыхленного при прокладке дрен.

### **3. Усиление действия бестраншейного дренажа в почвах тяжелого механического состава**

Приведенные выше данные показывают, что в почвах тяжелого механического состава с  $K_f < 0,3$  м/сут дренаж, уложенный бестраншейным способом, работает недостаточно эффективно, так как в образующейся после прохода ножа дрепоукладчика щели не возникает надежной гидравлической связи между осушаемым пахотным слоем и дренажной трубой, уложенной в слабопроницаемый подпахотный горизонт. Глубокое рыхление подпахотных горизонтов без наличия такой гидравлической связи не может улучшить осушительное действие дренажа, а в определенных условиях, например при низкой окультуренности почв, наоборот, приводит к переувлажнению сельскохозяйственных угодий и к потерям урожая, как это было на опытном участке "Житково-центр". При высокой степени окультуренности пахотного слоя и хорошей проницаемости грунта по следу рабочего органа укладчика глубокое рыхление способствует усилению осушающего действия бестраншейного дренажа.

Таким образом, при осушении грунтов тяжелого механического состава закрытым дренажем, укладываемым бестраншейным способом, необходимо предусмотреть комплекс дополнительных мер по обеспечению отвода избыточной влаги из пахотного горизонта к дренажным трубам, например обеспечение гидравлической связи пахотного горизонта с дренажной трубой с одновременным проведением глубокого рыхления. При этом дренажная щель заполняется хорошо фильтрующим материалом, имеющим более высокую проницаемость, чем окружающий грунт. Щель заполняют до подошвы пахотного горизонта, заполнение может быть либо сплошным, либо пунктирным. В качестве фильтрующего заполнителя могут быть использованы сыпучие материалы, такие как песчано-гравийная смесь или фильтрующие элементы из пористых блоков, изготавливаемых промышленным способом. Фильтрующие элементы закладывают в щель пунктирно с образованием поглотительных колонок.

С целью изучения осушительного действия поглотительных колонок при бестраншейном способе строительства пластмассового дренажа на участке "Житково-центр" в октябре 1979 г. и "Центральный" совхоза "Красноозерный" летом 1980 г. были заложены поглотительные колонки из различных материалов.

На участке "Житково-центр" колонки располагали через 15...20 м по

длине дрены в котлованах, вырытых одноковшовым экскаватором, с помощью металлической опалубки длиной 1 м, высотой 0,5 м, шириной 15 см. Для засыпки колонок использовали песчано-гравийную смесь с  $K_{\phi} = 6$  м/сут.

Применение поглотительных колонок на бестраншейных дренах привело к увеличению максимального модуля стока и объема дренажного стока (октябрь — ноябрь 1979 г.) на 20...30 %. Однако дренажный сток на опытных системах оказался почти в два раза меньше, чем на контрольной системе гончарного дренажа, уложенного экскаватором ЭТЦ-202.

Измерения дренажного стока, проведенные весной 1980 г., показали, что до начала оттаивания грунта (18 апреля) максимальные модули стока на участке с поглотительными колонками были почти в 2,5 раза выше по сравнению с участком без колонок — соответственно 0,04...0,05 и 0,015...0,02 л/(с · га), но почти в два раза меньше, чем на контрольном участке, — 0,08...0,1 л/(с · га). После полного оттаивания почвы разница в стоке уменьшилась до 20...30 %. Таким образом, наиболее заметным влияние поглотительных колонок на дренажный сток оказалось в условиях промерзания грунтов, когда вода поступала в дрены через фильтрующую засыпку колонок. В целом на участке с поглотительными колонками через 15...20 м и дренажем через 10 м необходимая интенсивность осушения достигнута не была. Площадь вымочек составила 20...30 %. Застой воды на поверхности почвы достигал 25...28 сут.

Участок "Центральный" совхоза "Красноозерный" расположен на северо-западном берегу оз. Красное. Территория представляет собой всхолмленную равнину с общим уклоном к озеру. Общая площадь участка 174 га, опытного — 3 га.

Опытный участок представлен суглинками — от легких до тяжелых. Питание грунтовых вод и образование верховодки в пахотном слое происходят за счет инфильтрации атмосферных осадков. На участке развиты дерново-подзолисто-глеевые почвы.  $K_{\phi}$  подпахотного слоя составляет 0,03...0,01 м/сут. Пахотный слой средней окультуренности, его мощность 0,20 м,  $K_{\phi} = 0,5$  м/сут.

Опытно-производственный участок осушен системой одиночных пластмассовых дренах (через 10 м) укладчиком МД-4. Летом 1980 г. на участке были заложены следующие варианты опытов. На дренах 1...5 устроены поглотительные колонки с засыпкой их торфокрошкой, на дренах 6...8 — с засыпкой песчано-гравийной смесью, причем на дренах 1 и 2 колонки были заложены до прокладки дрена. Котлованы для колонок размером 1 × 1 м отрывали одноковшовым экскаватором. Отметка дна котлованов на действующих дренах 3; 4; 5; 7; 8 была на 15...20 см выше глубины закладки дрена. Перед засыпкой фильтрующим материалом дрена вскрывали вручную. Глубина котлованов на трассах дрена 1 и 2 была на 20...30 см больше глубины закладки последних.

Расстояние между колонками было принято 15 см. На дренах 13 и 14 фильтрующие элементы из отрезков пластмассовых труб длиной 70 см, связанных пучками по четыре отрезка в каждом, располагали через 5 м, на дрене 15 устанавливали фильтрующие элементы (блоки) из вспененного полистирола. Блоки из полистирола изготавливали путем кипячения в воде

## 7. Дренажный сток и коэффициенты фильтрации почвогрунтов на участке "Центральный"

| Вид дренажа                                                                             | 15.10 – 22.11.80 г.             |         |                 |                                 | 14.04. – 12.05.81 г. |                 |                                 |         | 24.09 – 3.11.81 г. |                                 |         |                 | Средние<br>$K_{\text{ф}}$<br>засыпки,<br>м/сут |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------|-----------------|---------------------------------|----------------------|-----------------|---------------------------------|---------|--------------------|---------------------------------|---------|-----------------|------------------------------------------------|
|                                                                                         | $q_{\text{max}},$<br>л/(с · га) | $h,$ мм | $K_{\text{др}}$ | $q_{\text{max}},$<br>л/(с · га) | $h,$ мм              | $K_{\text{др}}$ | $q_{\text{max}},$<br>л/(с · га) | $h,$ мм | $K_{\text{др}}$    | $q_{\text{max}},$<br>л/(с · га) | $h,$ мм | $K_{\text{др}}$ |                                                |
| Пластмассовый, уложенный<br>дреноукладчиком МД-4 с<br>фильтрующими блоками<br>через 5 м | 0,28                            | 35      | 0,30            | 0,12                            | 14                   | 0,27            | 0,11                            | 0,26    | 0,31               | 0,07                            |         |                 |                                                |
| То же, с поглопительными<br>колонками через 15...20 м                                   | 0,23                            | 26      | 0,22            | 0,15                            | 16                   | 0,31            | 0,22                            | 29      | 0,35               | 0,65*                           |         |                 |                                                |
| То же, без фильтрующих<br>элементов                                                     | 0,15                            | 15      | 0,13            | 0,05                            | 11                   | 0,21            | 0,06                            | 18      | 0,21               | 0,07                            |         |                 |                                                |
| То же, с засыпкой грунтом<br>пахотного слоя                                             | 0,22                            | 33      | 0,27            | 0,07                            | 12                   | 0,23            | 0,14                            | 26      | 0,31               | 0,22                            |         |                 |                                                |
| Контроль – керамический,<br>уложенный экскаватором<br>ЭЦ-202                            | 0,26                            | 39      | 0,34            | 0,40                            | 29,2                 | 0,36            | 0,40                            | 55      | 0,65               | 0,30                            |         |                 |                                                |

Примечание. Значения  $K_{\text{ф}}$  определяли в августе 1980 г.

\*  $K_{\text{ф}}$  поглопительных колонок.

исходного сырья — бисера, загружаемого в специальную форму размером 15 x 30 x 50 см. Плотность блоков 0,10...0,20 г/см<sup>3</sup>, масса 300...400 г, пористость 30...40 %,  $K_f$  изменялся от 5 до 12 м/сут в зависимости от плотности.

Блоки устанавливали с помощью приставки, прикрепляемой к задней стенке рабочего органа МД-4. На дренах 9 и 10 щель после прохода дрена-укладчика вручную засыпали грунтом пахотного слоя до плужной подошвы. Дрены 11...14 представляют собой контрольную систему гончарных дрен, уложенных экскаватором ЭТЦ-202.

В периоды прохождения дренажного стока (с 15 октября по 25 ноября 1980 г.), а также весной и осенью 1981 г. его систематически измеряли (табл. 7). Применение фильтрующих элементов на бестраншейном дренаже способствовало усилению его осушительного действия.

Как видно из таблицы, дренажные стоки на опытных вариантах бестраншейного пластмассового дренажа с блоками и сплошной присыпкой грунтом пахотного слоя, а также на контрольном варианте керамического дренажа отличались мало. Значения максимальных модулей слоя стока также были близки (в первый год после закладки).

На дренах с поглотительными колонками (через 15...20 м), выполненными в виде котлованов и заполненных фильтрующим материалом (песок, торф), слой дренажного стока так же, как и на участке "Житково-центр", был в 1,5 раза ниже, чем на контроле, однако максимальные модули стока на опытном варианте были меньше лишь на 11 %, что связано с более высокой водопрпускной способностью поглотительных колонок. Последние, в свою очередь, обеспечивали быстрый сброс избыточной воды из зоны радиусом 2...2,5 м в период прохождения паводка, хотя вследствие больших расстояний между колонками общее осушающее действие на опытном участке оказалось ниже, чем на контрольном. Радиус влияния поглотительных колонок, изготовленных из отрезков труб и вспененного полистирола, не превысил 2 м, из песчано-гравийной смеси и торфокрошки — 3 м. Осушающее действие пластмассового дренажа без фильтрующих элементов по сравнению с контрольными было снижено почти в 2 раза.

На участках, где проводилась засыпка грунтом пахотного слоя, и на контрольном керамическом дренаже уровни почвенно-грунтовых вод за период наблюдений находились в среднем на глубине 15...22 см от поверхности, т. е. на 5...7 см ниже, чем на остальных вариантах.

На второй год (1981) дренажный сток на опытных участках оказался ниже, чем на контрольных, почти в 2 раза, причем весной этого года на всех опытных вариантах максимальный модуль и слой дренажного стока были близки. Осенью 1981 г. на бестраншейном дренаже без фильтрующих элементов слой стока оказался примерно в 1,5 раза меньше, чем на дренах с фильтрами, и в 3 раза меньше, чем на контрольной системе траншейного дренажа. Последующие (1982 — 1985 гг.) контрольные измерения показали, что это соотношение сохранялось.

В 1981 г. на участке выращивали озимую рожь. По всем вариантам опытов урожай зерна изменялся в пределах 2,8...3,0 т/га. Отличие было несущественным. На контрольном участке урожайность была 2,5 т/га, или в среднем на 10...15 % ниже, чем на опытных системах.

Таким образом, данные наблюдений на опытных участках "Житково-центр" и "Центральный" показывают, что применение фильтров в целом увеличивает осушающее действие бестраншейного дренажа за счет усиления притока воды из пахотного слоя в дренажные трубы через поглощательные колонки. При этом степень увеличения притока к дренам зависит главным образом от частоты расположения фильтрующих элементов и в меньшей — от их размера. Это вызвано тем, что влияние каждой отдельной колонки незначительно, даже при увеличении ее параметров. Число колонок на участках "Центральный" и "Житково-центр" при расстоянии между дренами 15...20 м было недостаточным для отвода воды из пахотного слоя в дренажи. Уменьшение шага между колонками до 4...5 м на участке "Центральный" с пластмассовыми дренами способствовало значительному увеличению притока воды к ним.

На участке "Новоселье" в 1981 г. были заложены опытные системы бестраншейного дренажа с фильтрующими элементами из субстратных торфоблоков, изготавливаемых промышленным способом (ТУ 214 РСФСР 9-153 — 78). Размер блоков 50 × 50 × 4 см, масса 2,0...2,5 кг,  $K_{\phi} = 1,0...1,5$  м/сут. Блоки связывали по 2 шт. и устанавливали на дренажи с помощью приставки конструкции СевНИИГиМ. Результаты наблюдений приведены в табл. 8. Для контроля взяты данные по системе 46/2 траншейного дренажа.

Как видно из данных таблицы, на опытной системе в год строительства (осень 1981 г.) дренажный сток был даже несколько выше, чем на контрольной, заложенной летом 1979 г. В последующие годы он выравнивался, и значения  $q_{\max}$  и  $h$  на опытном и контрольном участках оставались близкими.

8. Дренажный сток на опытной и контрольной системах бестраншейного дренажа с фильтрующими элементами из торфоблоков на участке "Новоселье"

| Система          | Осень 1981 г.           |          |                 | Весна 1982 г.           |          |                 |
|------------------|-------------------------|----------|-----------------|-------------------------|----------|-----------------|
|                  | $q_{\max}$ , л/(с · га) | $h$ , мм | $K_{\text{др}}$ | $q_{\max}$ , л/(с · га) | $h$ , мм | $K_{\text{др}}$ |
| Опытная 15/2     | 0,42                    | 64,5     | 0,56            | 0,67                    | 45,3     | 0,24            |
| Контрольная 46/2 | 0,49                    | 56,1     | 0,49            | 0,42                    | 64,0     | 0,34            |

*Продолжение*

| Система          | Осень 1982 г.           |          |                 | Весна 1983 г.           |          |                 |
|------------------|-------------------------|----------|-----------------|-------------------------|----------|-----------------|
|                  | $q_{\max}$ , л/(с · га) | $h$ , мм | $K_{\text{др}}$ | $q_{\max}$ , л/(с · га) | $h$ , мм | $K_{\text{др}}$ |
| Опытная 15/2     | 0,24                    | 52       | 0,42            | 0,54                    | 27,9     | 0,34            |
| Контрольная 46/2 | 0,29                    | 48,8     | 0,40            | 0,73                    | 28,5     | 0,35            |

Раскопки на дренах, проведенные в 1983 г., т. е. на третий год после закладки опытных систем, показали, что торфоблоки практически не разрушались — разложение торфяной основы не превысило 3...5 %, хотя и отмечено некоторое снижение их водопроницаемости (на 10...15 %).

Влияние глубокого рыхления на работу бестраншейного дренажа изучали на участке "Новые материалы" (ОПХ СевНИИГиМ) в период 1977...1980 гг. Здесь распространены тяжелосуглинистые почвы, хорошо окультуренные, мощность пахотного слоя составляет 30...35 см, его  $K_f = 2,0...4,0$  м/сут, содержание гумуса 4...7 %, реакция слабокислая,  $K_f$  подпахотного слоя  $< 0,01$  м/сут.

Участок осушен системой одиночных полиэтиленовых дрен, заложенных бестраншейным способом (в 1959 г.) через 14 м. Для контроля несколько дрен уложено траншейным способом с помощью канавокопателя. Средняя глубина закладки 0,8 м.

Ко времени начала опыта в 1977 г. (через 18 лет после строительства) водно-физические и фильтрационные свойства грунта в траншеях и по оси дрен на бестраншейном дренаже стабилизировались и были близки соответственно 0,6 и 0,2...0,3 м/сут. Разницы в дренажном стоке практически не наблюдалось, а общая интенсивность осушения была высокой: в критические периоды максимальные модули стока достигали 1...1,5 л/(с · га), переувлажнение корнеобитаемого слоя было кратковременным (не более 2...3 сут) и не оказывало вредного влияния на растения.

Первое глубокое рыхление проводили 12.10.1977 г. рыхлителем РУ-65,2,5 на базе трактора Т-100, повторное с одновременным известкованием разрыхленного слоя — в октябре 1979 г. Известкование выполняли с помощью специального устройства (изготовленного в СевНИИГиМе), подающего порошкообразные химические мелиоранты одновременно с рыхлением. Водно-физические и фильтрационные свойства грунтов на участке с глубоким рыхлением и на контрольном, а также данные об урожайности приведены в табл. 9. Результаты измерений показали, что в дренажной щели содержится большое количество гумусированного грунта пахотного слоя.

Данные измерений дренажного стока свидетельствуют, что глубокое рыхление вызвало значительные изменения водно-воздушного режима почвы. В осенний период 1977 г. сток из дрен на контрольном участке начался на две недели позже. Модуль стока в местах глубокого рыхления был больше, но объем стока — несколько меньше.

Весной 1978 г. дренаж на разрыхленном участке начал действовать на 6 сут раньше. Объем и модули дренажного стока здесь были значительно выше, чем на контрольном (в 3,2 и 2,2 раза соответственно), причем на опытном участке практически вся вода была сброшена через дренаж ( $K_{др} = 0,72$ ), зато осенью различие было незначительным — соответственно 18 и 7 %. Через дренаж была сброшена примерно половина стока. Весной 1979 г. разница в дренажном стоке на обоих участках была еще меньше.

Выравнивание дренажного стока обусловлено потерей с течением времени фильтрационных свойств разрыхленного слоя. Данные табл. 9 показывают, что водно-физические свойства разрыхленного подпахотного слоя в течение двух-трех лет возвращаются в исходное состояние. Так, если

9. Дренажный сток, водно-физические свойства почвы, урожайность культур на участке "Новые материалы"

| Показатели                            | 1977 г.     |       | 1978 г.    |       | 1979 г.     |             | 1980 г. |
|---------------------------------------|-------------|-------|------------|-------|-------------|-------------|---------|
|                                       | осень       | весна | осень      | весна | осень       | весна       | весна   |
| <i>Рыхление на глубину 55...60 см</i> |             |       |            |       |             |             |         |
| $h$ , мм                              | 19,1        | 99,4  | 54,9       | 19,7  | 45,2        | 62,3        |         |
| $q_{\text{max}}$ , л/ (с · га)        | 0,55        | 1,40  | 0,75       | 0,40  | 1,19        | 1,12        |         |
| $K_{\text{др}}$                       | 0,41        | 0,72  | 0,58       | 0,39  | 0,37        | 0,53        |         |
| $K_{\text{пов}}$                      | 0,0         | 0,10  | 0,05       | 0,15  | 0,05        | 0,12        |         |
| $K_{\text{ф}}$ , м/сут:               |             |       |            |       |             |             |         |
| 0...30                                | 2,4 (14.10) | —     | 1,9 (8.09) | —     | 2,8 (21.10) | 1,7 (24.05) |         |
| 30...60                               | 3,0         | —     | 0,3        | 0,01  | 2,2         | 0,4         |         |
| Водоотдача $\mu$ :                    |             |       |            |       |             |             |         |
| 0...30                                | 0,12        | —     | 0,07       | —     | 0,11        | 0,08        |         |
| 30...60                               | 0,06        | —     | 0,04       | —     | 0,05        | 0,04        |         |
| Плотность, г/см <sup>3</sup> :        |             |       |            |       |             |             |         |
| 0...30                                | 1,22        | —     | 1,29       | 1,15  | 1,18        | 1,23        |         |
| 30...60                               | 1,39        | —     | 1,58       | 1,51  | 1,38        | 1,49        |         |
| УГВ (средний за период), м            | 0,47        | 0,45  | 0,62       | 0,34  | 0,58        | 0,41        |         |
| Влагозапасы, мм:                      |             |       |            |       |             |             |         |
| 0...60                                | 240         | 236   | 238        | 224   | 267         | 238         |         |
| 0...30                                | 115         | 117   | 124        | 116   | 137         | 114         |         |

|                                |                                  |      |             |      |               |       |
|--------------------------------|----------------------------------|------|-------------|------|---------------|-------|
| Пористость, %:                 | 54,0                             | 49,0 | 48,5        | 47,0 | 55,0          | 46,0  |
| 0...30                         | 49,8                             | 45,0 | 42,1        | 40,0 | 48,0          | 42,0  |
| 30...60                        | —                                | —    | 3,90 (овес) | —    | 3,10 (ячмень) | —     |
| Урожайность, т/га              | Обычная вспашка на глубину 20 см |      |             |      |               |       |
| h, мм                          | 20,0                             | 28,8 | 44,7        | 13,6 | 34,2          | 32,1  |
| q <sub>max</sub> , л/ (с · га) | 0,52                             | 0,64 | 0,6         | 0,25 | 0,40          | 0,63  |
| K <sub>др</sub>                | 0,44                             | 0,22 | 0,48        | 0,27 | 0,26          | 0,25  |
| K <sub>пов</sub>               | 0,1                              | 0,35 | 0,15        | 0,27 | 0,15          | 0,18  |
| K <sub>ф</sub> , м/сут:        | 1,1                              | —    | 0,8         | —    | 0,5           | 0,8   |
| 0...30                         | 0,006                            | —    | 0,004       | —    | 0,004         | 0,005 |
| 30...60                        |                                  |      |             |      |               |       |
| Водоотдача μ:                  | 0,11                             | —    | 0,09        | —    | 0,08          | 0,11  |
| 0...30                         | 0,02                             | —    | 0,015       | —    | 0,02          | 0,025 |
| 30...60                        |                                  |      |             |      |               |       |
| Плотность, г/см³:              | 1,25                             | 1,31 | 1,27        | 1,30 | 1,28          | 1,30  |
| 0...30                         | 1,63                             | 1,61 | 1,64        | 1,61 | 1,63          | 1,62  |
| 30...60                        | 0,46                             | 0,41 | 0,54        | 0,28 | 0,51          | 0,31  |
| УГВ (средний за период), м     |                                  |      |             |      |               |       |
| Влагозапасы, мм:               | 222                              | 222  | 230         | 220  | 248           | 226   |
| 0...60                         | 120                              | 118  | 127         | 109  | 143           | 116   |
| 0...30                         |                                  |      |             |      |               |       |
| Пористость, %:                 | 49,0                             | 48,5 | 47,0        | 52   | 57,0          | 53    |
| 0...30                         | 39,0                             | 40,0 | 38,0        | 41,0 | 39,0          | 40,0  |
| 0...60                         | —                                | —    | 3,08 (овес) | —    | 2,40 (ячмень) | —     |
| Урожайность, т/га              |                                  |      |             |      |               |       |

Примечание. Глубокое рыхление проводили осенью 1977 и 1979 гг.

непосредственно после рыхления  $K_{\phi}$  в слое 30...60 см был в 500 раз больше, чем в неразрыхленном грунте, то через год различие не превысило 50 раз, а в июне 1979 г. он вернулся к первоначальному значению.

Улучшение водно-воздушного режима сказалось и на урожае овса и ячменя: прибавка в результате рыхления составила 23 %.

Глубокое рыхление привело к значительному перераспределению дренажного стока. По мере стабилизации водно-физических свойств разрыхленного слоя дренажный сток на опытном и контрольном участках выравнился. Так, осенью 1977 г. на участке с рыхлением поверхностный сток отсутствовал, и практически все выпавшие атмосферные осадки пошли на насыщение слоя. В последующие годы на этом участке поверхностный сток возрастал, причем весной  $K_{\text{пов}}$  достиг 0,15, а осенью 0,05. После повторного рыхления  $K_{\text{пов}}$  осенью также составил около 0,05. На контрольном участке  $K_{\text{пов}}$  менялся от 0,35 в весенний период до 0,1 осенью.

Таким образом, глубокое рыхление, проведенное на старопахотных, хорошо окультуренных почвах в условиях достаточной их проницаемости в придренной зоне и высокой интенсивности осушения, существенно улучшило их водный режим и повысило урожайность посевов.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что глубокое рыхление может быть эффективным только при условии надежной работы дренажа, обеспечивающего расчетную интенсивность осушения.

Как показывает практика, широкое применение как при траншейном, так и бестраншейном дренаже привозных сыпучих материалов (таких, как песчано-гравийная смесь, гравий, доменные шлаки, торф и др.) сдерживается вследствие больших транспортных затрат, отсутствия в необходимом количестве средств механизации, дефицитности самих материалов. Кроме того, затраты на устройство дренажа возрастают в полтора-два раза. Использование же фильтрующих элементов, например торфоблоков или блоков из вспененного полистирола, более перспективно, однако широкое их внедрение пока ограничено, так как еще не налажено их промышленное производство.

Вместе с тем опыт строительства и эксплуатации траншейного дренажа свидетельствует, что при соблюдении технологии строительства и правильном использовании местных грунтов засыпка траншей обеспечивает удовлетворительную работу дренажа в течение длительного периода. Поэтому в ряде случаев оказывается, что в качестве проницаемой засыпки щели при бестраншейном способе целесообразно также использовать местные грунты. также использовать местные грунты.

Как показывают данные полевых наблюдений на почвах тяжелого механического состава, наибольшей проницаемостью обладает пахотный слой. В зависимости от окультуренности, оструктуренности, а также механического состава его проницаемость может изменяться в широких пределах. В табл. 10 приведены значения коэффициентов фильтрации пахотного слоя ( $K_{\Pi}$ ) засыпки дренажной щели перемешанным грунтом пахотного и подпахотного слоев ( $K_3$ ) и мощности пахотного слоя ( $h_{\Pi}$ ).

Расчеты и данные натурных наблюдений показывают, что проницаемость грунта для засыпки дренажной щели должна быть не ниже 0,4...0,5 м/сут. Из таблицы 10 видно, что только на хорошо окультуренных почвах с содер-

10. Значения  $K_{\Pi}$ ,  $K_3$  и  $h_{\Pi}$  для почв различной степени окультуренности

| Характеристика пахотного слоя | Содержание частиц < 0,01 мм, % | Мощность пахотного слоя $h_{\Pi}$ , м | Коэффициент фильтрации, м/сут |           |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-----------|
|                               |                                |                                       | $K_{\Pi}$                     | $K_3$     |
| Хорошо окультуренный          | 30...40                        | 0,25...0,3                            | 2...3                         | 0,8...1,3 |
|                               | 40...60                        | 0,25...0,3                            | 1...2                         | 0,3...0,8 |
| Слабо- и средне-окультуренный | 30...40                        | 0,20...0,25                           | 1,0...1,5                     | 0,3...0,5 |
|                               | 40...60                        | 0,20...0,25                           | 0,5...1,0                     | 0,1...0,3 |

Примечание. Большие значения коэффициентов фильтрации относятся к более легким почвам.

жанием частиц физической глины размером менее 0,01 мм в количестве, не превышающем 30...40 % (легкие и средние суглинки), пахотный слой может иметь  $K_{\phi}$ , близкий к указанным значениям. Пахотный слой почв средней степени окультуренности легкосуглинистого механического состава при содержании частиц глины не более 30...40 % можно считать ограниченно пригодным для засыпки. В остальных случаях грунт пахотного слоя при бестраншейном способе строительства непригоден для засыпки.

В Нечерноземной зоне значительные площади сельскохозяйственных земель заняты почвами, имеющими двучленное строение профиля. В этом случае с поверхности залегают флювиогляциальные супесчано-песчаные слои,  $K_{\phi}$  которых, по данным натурных наблюдений, колеблется от 0,5 до 2,5 м/сут. Мощность этих слоев изменяется в пределах 0,5...1,3 м, подстилаются они суглинистой мореной. Проницаемость песчаных и супесчаных слоев достаточна для обеспечения пропуска расчетного расхода воды, что позволяет использовать их для засыпки дренажной щели.

В зависимости от условий, в которых проводили дренаукладочные работы, в щель просыпалось определенное количество гумусированного грунта. В табл. 11 приведены данные (лето 1981 г.) о содержании гумуса в дренажной щели при бестраншейном способе строительства. Для сравнения приведены данные по содержанию гумуса в дренажной траншее.

Как видно из данных таблицы, на хорошо окультуренных почвах (участки ОПХ СевНИИГиМ и "Центральный") в щель просыпается значительное количество гумусированного грунта, что обеспечивает более высокую проницаемость засыпки и повышает осушающее действие бестраншейного дренажа.

На участке с высокой влажностью почвы ("Житково-центр") фильтрационные свойства засыпки на третий год эксплуатации оказались близкими к ненарушенному грунту, что привело к значительному снижению осушительного действия бестраншейного дренажа по сравнению с траншейным.

Вместе с тем неравномерность распределения гумусированного грунта в щели на участках с хорошо окультуренными почвами вызывает более интенсивное уменьшение фильтрационных свойств засыпки, чем в траншее (см. табл. 6 и 7), что также приводит к снижению осушительного действия бестраншейного дренажа.

11. Содержание гумуса в грунте дренажной щели на участках "Центральный", "Житково-центр" и ОПХ СевНИИГиМ

| Участок         | Влажность грунта при строительстве дренажа, % (по массе) | Слой, см | Бестраншейный дренаж |              | Междренье | Траншейный дренаж |              |
|-----------------|----------------------------------------------------------|----------|----------------------|--------------|-----------|-------------------|--------------|
|                 |                                                          |          | по оси дрены         | 25 см от оси |           | по оси траншеи    | 25 см от оси |
| "Центральный"   | 25...28                                                  | 0...10   | 3,82                 | 5,0          | 4,10      | 4,0               | 3,8          |
|                 |                                                          | 10...20  | 2,64                 | 2,83         | 3,50      | —                 | —            |
|                 |                                                          | 20...30  | 1,00                 | 0,74         | 0         | 1,9               | 1,7          |
|                 |                                                          | 30...40  | 1,10                 | 0,43         | 0         | 0,8               | 1,1          |
|                 |                                                          | 40...60  | 0,40                 | 0,23         | 0         | 1,2               | 0,9          |
|                 |                                                          | 70...80  | 1,0                  | 0,23         | 0         | 1,5               | 1,3          |
| ОПХ СевНИИГиМ   | 25...30                                                  | 0...10   | 2,50                 | 2,55         | 2,76      | 3,30              | 2,7          |
|                 |                                                          | 10...20  | 3,76                 | 1,30         | 2,50      | —                 | —            |
|                 |                                                          | 20...40  | 2,1                  | 0,20         | —         | 1,67              | 1,7          |
|                 |                                                          | 40...50  | 1,25                 | 0,13         | 0         | 1,20              | 1,1          |
|                 |                                                          | 50...60  | 0,56                 | —            | 0         | —                 | —            |
|                 |                                                          | 70...80  | 2,03                 | 0,31         | 0         | 1,84              | 1,9          |
| "Житково-центр" | 35...38                                                  | 0...20   | 1,5                  | 1,6          | 1,3       | 1,4               | 1,3          |
|                 |                                                          | 20...50  | 0,5                  | 0,2          | 0         | 1,0               | 0,8          |
|                 |                                                          | 50...80  | 0,3                  | 0            | 0         | 0,5               | 0,6          |

Изучение влияния засыпки дренажной щели местным проницаемым грунтом проводили на ряде участков Ленинградской области. Опытнo-производственный участок "Сибелево" совхоза "Красносельский" осушен системой одиночных дрен, уложенных бестраншейным способом через 10 м и выведенных в открытый канал. Участок сдан в эксплуатацию летом 1980 г. На участке распространены дерново-подзолистые глеевые почвы суглинистого механического состава, высокой степени окультуренности со слабокислой реакцией. Мощность пахотного слоя достигает 30...35 см, содержание гумуса 2,5...4,5 %,  $K_{\phi} = 1,5...2,5$  м/сут. Проницаемость подпахотного слоя  $< 0,1$  м/сут.

При раскопках было обнаружено, что содержание гумусированного грунта пахотного слоя в щели по всем горизонтам до дрены колебалось в пределах 1,5...3 %. В год строительства  $K_{\phi}$  засыпки составил 1,0...1,5 м/сут, плотность 1,3...1,4 г/см<sup>3</sup>. После трех лет эксплуатации (летом 1983 г.) состояние засыпки было удовлетворительным, уплотнение не превысило 10...15 %, плотность увеличилась до 1,4...1,5 г/см<sup>3</sup>, а  $K_{\phi}$  находился в допустимых пределах (0,5...0,8 м/сут). К 1985 г. существенных изменений водно-физических свойств грунта в околodренной зоне не произошло.  $K_{\phi}$  в июле этого года составлял 0,4...0,7 м/сут, плотность в среднем была близкой 1,5 г/см<sup>3</sup>.

За период наблюдений (1980 — 1985 гг.) на участке обеспечивалась необходимая интенсивность осушения.

Так, в осенний период (15.09...30.10.1981 г.) слой дренажного стока в среднем составил 56 мм при объеме осадков за этот период 137 мм, на контрольной системе траншейного дренажа — 52 мм. Максимальные модули стока по отдельным дренам колебались в пределах 0,5...1,2 л/(с·га).

Выраженных следов переувлажнения обнаружено не было, влажность почвы в слое 0...20 см колебалась в пределах 46...62%; уровни грунтовых вод за этот период находились на глубине 60...70 см от поверхности земли. Урожай зерновых культур на зеленый корм составил около 15,0 т/га, на контрольном участке — 15,3 т/га.

Более детальное изучение осушающего действия бестраншейного дренажа с засыпкой щели гумусированным грунтом проводили на опытных участках "Дальние поля" в ОПХ СевНИИГиМ, построенных летом 1983 г. Опытный участок № 1 был осушен системой одиночных дрен, уложенных через 10 м дренаукладчиком МД-4, для засыпки щели гумусированным грунтом использовали присыпатель ступенчатого типа конструкции СевНИИГиМ. Контрольные пластмассовые дрены уложены этим же дренаукладчиком (без присыпателя), а керамические — траншейным экскаватором ЭТЦ-202.

Присыпатель состоит из двух боковых стенок со ступенчатыми верхними кромками. На горизонтальных частях ступеней закреплены ножи-присыпщики. Общая ширина захвата ножей 50...60 см. Расстояние между стенками соответствует ширине рабочего органа дренаукладчика. Для МД-4 зазор между стенками принят равным 180 мм. В задней нижней части стенок сделан наклонный срез во избежание заклинивания грунта между стенками. Присыпатель крепится к задней стенке трубоукладчика.

При движении дренаукладчика присыпатель послойно срезает грунт по обе стороны от дренажной щели и последовательно подает его в щель. При этом наиболее проницаемые, верхние слои, оказываются в нижней части щели, на дрене, нижележащие, менее проницаемые, — разрыхляются. Схема работы присыпателя показана на рис. 3.

На опытном участке № 2 дрены были уложены без присыпки. На обоих участках проводили глубокое рыхление и кротование, третий участок был контрольным.

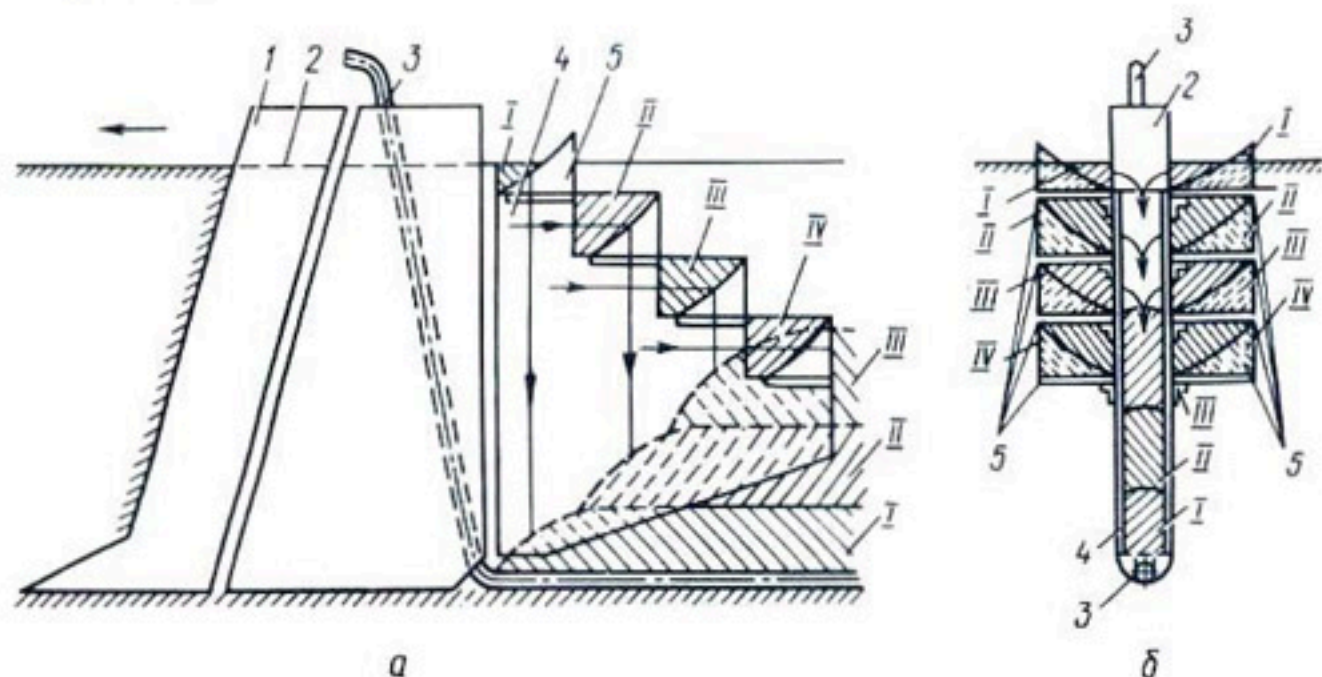


Рис. 3. Схема работы ступенчатого присыпателя:

а — вид сбоку; б — вид сзади; 1 — нож, 2 — трубоукладчик; 3 — дренажная труба; 4 — боковая стенка присыпателя; 5 — ножи; I...IV — срезаемые слои.

12. Свойства грунтов придренной зоны на участке № 1 "Дальние поля", 1983 г.

| Вид дренажа                               | Слой, см | K <sub>ф</sub> , м/сут |                    |                    |              |
|-------------------------------------------|----------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------|
|                                           |          | по оси дрены           | 20 см от оси дрены | 40 см от оси дрены | в меж-дренях |
| Бестраншейный с присыпкой местным грунтом | 0...10   | 2,4                    | 1,6                | 1,8                | 1,9          |
|                                           | 30...40  | 1,3                    | 1,1                | 0,4                | 0,1          |
|                                           | 70...80  | 0,8                    | 0,7                | 0,08               | 0,09         |
|                                           | 90...100 | 0,6                    | 0,3                | 0,02               | 0,01         |
| Бестраншейный без присыпки                | 0...10   | 2,0                    | 1,2                | 1,3                | 2,1          |
|                                           | 30...40  | 0,34                   | 0,24               | 0,28               | 0,1          |
|                                           | 70...80  | 0,23                   | 0,03               | 0,05               | 0,01         |
|                                           | 90...100 | 0,20                   | 0,02               | 0,01               | 0,01         |
| Контроль – траншейный керамический        | 0...10   | 1,2                    | 1,4                | —                  | 2,1          |
|                                           | 30...40  | 0,8                    | 0,6                | —                  | 0,03         |
|                                           | 70...80  | 0,6                    | 0,65               | —                  | 0,01         |
|                                           | 90...100 | 0,65                   | 0,54               | —                  | 0,01         |

Раскопки показали, что после прохождения рабочего органа дреоукладчика с присыпателем в грунте вырезается полость шириной, равной ширине захвата ножей-присыпщиков, и по высоте равной расстоянию от нижнего ножа до поверхности земли. Пустота засыпается разрыхленным перемешанным грунтом пахотного и подпахотного слоев. Щель от нижнего ножа-присыпщика до дрены засыпается по высоте в основном грунтом пахотного слоя.

Наиболее эффективным оказалось применение ступенчатого присыпателя на почвах с двучленным профилем. В этом случае полость, вырезанная ножами-присыпщиками, и дренажная щель заполняются проницаемым грунтом пахотного слоя и залегающими под ним проницаемых супесчаных и песчаных прослоев. Опыты по засыпке щели местным грунтом при двучленном строении почвенного профиля были проведены в 1983 г. на участке "Ситенка" совхоза "Коммунар".

Результаты определения водно-физических свойств грунтов по разрезам и наблюдений за дренажным стоком, выполненных на участках "Дальние поля" и "Ситенка", приведены в табл. 12...15.

На участке "Ситенка" осенью 1983 г. максимальный модуль стока на дренах с присыпкой проницаемым грунтом из песчаного слоя составил 0,8 л/(с · га) при УГВ, равном 38 см от поверхности земли, на контрольной системе соответственно 0,65 л/(с · га) и 33 см. Контрольные измерения модуля в 1985 г. показали, что спустя два года после постройки на системах с присыпкой он оказался почти в 1,5 раза больше, чем на системах, построенных без присыпателя (0,32 и 0,21 л/(с · га) соответственно).

Данные табл. 12 и 14 показывают, что при использовании ступенчатого присыпателя зона рыхления увеличивается на глубину расстановки ножей-присыпщиков, т. е. до 80 см от поверхности земли, и на ширину, равную ширине ее захвата, т. е. на 50 см. В зоне рыхления достигается сплошное рыхление с частичным заполнением межагрегатных промежутков мелкоземом пахотного горизонта.

| Плотность, г/см <sup>3</sup> |                       |                       |                       |                  | Содержание гумуса, % |                       |                  |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|----------------------|-----------------------|------------------|
| по оси<br>дрены              | 20 см от<br>оси дрены | 40 см от<br>оси дрены | 60 см от<br>оси дрены | в меж-<br>дреньи | по оси<br>дрены      | 20 см от<br>оси дрены | в меж-<br>дреньи |
| 1,15                         | 1,01                  | 1,06                  | 1,14                  | 1,12             | 2,8                  | 1,8                   | 4,2              |
| 1,56                         | 1,60                  | 1,55                  | 1,68                  | 1,70             | —                    | —                     | —                |
| 1,35                         | 1,50                  | 1,69                  | 1,75                  | 1,76             | 1,0                  | 0,4                   | 0                |
| 1,43                         | 1,90                  | 1,80                  | 1,85                  | 1,87             | 1,6                  | 0                     | 0                |
| 1,25                         | 1,24                  | 1,30                  | 1,25                  | 1,18             | 2,6                  | 3,2                   | 3,8              |
| 1,43                         | 1,69                  | 1,66                  | 1,80                  | 1,82             | —                    | —                     | —                |
| 1,44                         | 1,71                  | 1,93                  | 1,82                  | 1,82             | 0,8                  | 0                     | 0                |
| 1,43                         | 1,90                  | 1,80                  | 1,82                  | 1,80             | 0,7                  | 0                     | —                |
| 1,21                         | 1,22                  | —                     | —                     | 1,14             | 1,6                  | 1,9                   | —                |
| 1,35                         | 1,32                  | —                     | —                     | 1,70             | —                    | —                     | —                |
| 1,42                         | 1,51                  | —                     | —                     | 1,75             | —                    | —                     | —                |
| 1,28                         | 1,40                  | —                     | —                     | 1,76             | 1,3                  | 1,5                   | —                |

Непосредственно на дрене в месте засыпки щели отмечалось значительное содержание гумуса. По высоте щели его распределение оказалось более равномерным, а слой более высоким, чем на дренаже без присыпки.

На контрольном варианте траншейного дренажа содержание гумуса оказалось несколько ниже, чем на бестраншейных дренах с присыпкой, что вызвано перемешиванием гумусированного и вынутого грунтов при обратной засыпке.

На участке "Ситенка" зона рыхления и дренажная щель были заполнены перемешанным грунтом пахотного и пронизываемого песчаного подпахотного слоев с достаточно высокими фильтрационными свойствами.

Улучшение фильтрационных свойств в околосредней зоне в результате увеличения области и степени рыхления, увеличения фильтрационных свойств разрыхленного грунта и засыпки щели способствовали усилению притока воды в дрены и улучшению осушающего действия дренажа.

Данные табл. 15 показывают, что в первый год после строительства осушающее действие бестраншейного дренажа, построенного с помощью ступенчатого присыпателя, оказалось даже несколько выше, чем на контрольных траншейных дренах: уровень грунтовых вод в среднем находился на 4 см ниже,  $K_{др}$  на 18 % больше. Осушающее же действие бестраншейного дренажа без присыпки было значительно ниже: УГВ на 11 см выше, максимальные модули дренажного стока почти в 2 раза меньше, а  $K_{др}$  на 31 % ниже, чем на дренаже с присыпкой.

На третий год после строительства отмечалось заметное снижение осушающего действия бестраншейного дренажа, заложенного без присыпки. Осушающее действие бестраншейного дренажа с присыпкой оставалось примерно таким же, как на контрольном варианте траншейного дренажа.

За два года эксплуатации заметно снизились водно-физические свойства грунта в разрыхленной зоне околосредней пространства, особенно выраженным было уплотнение на системе без присыпки, где в слое 70...80 см над дренажной щелью грунт уплотнился почти до естественного состояния.

### 13. Свойства грунтов на участке № 1 "Дальние поля", 1984 – 1985 гг.

| Вид дренажа                               | Место отбора проб | Слой, см | K <sub>ф</sub> , м/сут |            | Плотность, г/см <sup>3</sup> |            |
|-------------------------------------------|-------------------|----------|------------------------|------------|------------------------------|------------|
|                                           |                   |          | 08.1984 г.             | 07.1985 г. | 08.1984 г.                   | 07.1985 г. |
| Бестраншейный с присыпкой местным грунтом | По оси дрены      | 0...25   | 2,6                    | 2,1        | 1,22                         | 1,26       |
|                                           |                   | 30...40  | 0,30                   | 0,18       | 1,41                         | 1,43       |
|                                           |                   | 70...80  | 0,29                   | 0,1        | 1,48                         | 1,49       |
| Бестраншейный без присыпки                | То же             | 0...25   | 2,2                    | 0,86       | 1,31                         | 1,29       |
|                                           |                   | 30...40  | 0,53                   | 0,06       | 1,48                         | 1,49       |
|                                           |                   | 70...80  | 0,12                   | 0,05       | 1,53                         | 1,58       |
|                                           | Междренье         | 0...25   | 1,1                    | 1,1        | 1,26                         | 1,27       |
|                                           |                   | 30...40  | 0,07                   | 0,01       | 1,69                         | 1,68       |
| Контроль – траншейный                     | По оси дрены      | 0...25   | 3,1                    | 1,1        | 1,3                          | 1,3        |
|                                           |                   | 30...40  | 1,5                    | 0,7        | 1,51                         | 1,51       |
|                                           |                   | 70...80  | 1,05                   | 0,52       | 1,54                         | 1,55       |

На контрольном варианте засыпка траншей по всей высоте от дрены до пахотного слоя оставалась достаточно разрыхленной. Различие в водном режиме сказалось и на урожае зеленой массы. Если на второй год (1984) урожайность на всех участках была примерно одинаковой (см. табл. 15), то в 1985 г. наблюдалось ее снижение на участке без присыпки примерно на 5...7 % по сравнению с контрольным и участком с присыпкой.

Для сравнения можно привести результаты наблюдений на участке бестраншейного дренажа с фильтрующими элементами из торфо плит, установленных в щель через 4 м. Система заложена на одном из участков "Дальние поля" в 1983 г. На этом участке в 1984 и 1985 гг. водный режим был близок к режиму на участке с присыпкой, урожайность зеленой массы (1984 г.) составила 11,2 т/га, ячменя (1985 г.) – 1,8 т/га.

На участке № 2 "Дальние поля" изучали влияние глубокого рыхления и кротования на работу бестраншейного дренажа. Участок осушен системой одиночных дрен, проложенных через 10 м с применением присыпателя (табл. 16). Влияние рыхления и кротования на работу дренажа было выраженным. Максимальные модули стока на опытных системах были значительно выше, чем на контрольном, уровни грунтовых вод на 6...7 см ниже. Разница в объемах стока была меньше, наибольший урожай в 1984 и 1985 гг. был получен на участке с глубоким рыхлением, на участке, подвергавшемся кротованию, урожай был меньше на 9,2 %, но больше, чем на контрольном, на 22 %.

Для решения вопроса о пригодности грунта пахотного слоя для засыпки дренажной щели необходимо оценивать структуру почвы. При этом различаются микроструктура (диаметр частиц 0,25 мм), макроструктура (0,25...10 мм) и мегаструктура (10 мм). Процесс структурообразования в основном заключается в том, что отдельные механические элементы почвы и группы частиц покрываются кольматационными пленками, которые способствуют последовательному "склеиванию" групп частиц в комплексы. Важное значение в этом процессе имеют органические коллоиды, осо-

14. Водно-физические свойства грунтов\* в придренной зоне на участке "Ситенка", 1983 г.

| Вид дренажа                               | Слой, см | K <sub>ф</sub> , м/сут |                    |              | Плотность, г/см <sup>3</sup> |                    |              |
|-------------------------------------------|----------|------------------------|--------------------|--------------|------------------------------|--------------------|--------------|
|                                           |          | по оси дрены           | 20 см от оси дрены | в междреньях | по оси дрены                 | 20 см от оси дрены | в междреньях |
| Бестраншейный с присыпкой местным грунтом | 0...20   | 2,8                    | 2,3                | 2,4          | 1,12                         | 1,13               | 1,15         |
|                                           | 20...50  | 1,8                    | 2,0                | 1,5          | 1,15                         | 1,20               | 1,45         |
|                                           | 50...60  | 1,2                    | 1,1                | 1,0          | 1,20                         | 1,43               | 1,62         |
|                                           | 60...80  | 1,3                    | 0,8                | 0,03         | 1,33                         | 1,68               | 1,65         |
| Бестраншейный без присыпки                | 0...20   | 2,6                    | 2,0                | 2,6          | 1,18                         | 1,20               | 1,14         |
|                                           | 20...50  | 1,6                    | 1,3                | 1,4          | 1,15                         | 1,32               | 1,48         |
|                                           | 50...60  | 1,1                    | 0,5                | 0,06         | 1,21                         | 1,45               | 1,51         |
|                                           | 60...80  | 1,2                    | 0,04               | 0,02         | 1,28                         | 1,60               | 1,57         |

\* В слое 25...50 см — мелкозернистый песок.

15. Водный режим и урожай зеленой массы на участке № 1  
"Дальние поля", 1983 – 1985 гг.

| Вид дренажа                                     | Показатели                     | 1983 г.   | 1984 г.     |      | 1985 г. |      |
|-------------------------------------------------|--------------------------------|-----------|-------------|------|---------|------|
|                                                 |                                | 1.10–5.12 | 12.04–20.04 | 10   | 05      | 08   |
| Бестраншейный с<br>присыпкой местным<br>грунтом | $q_{\text{max}}$ , л/ (с · га) | 0,69      | 0,4         | 1,9  | 0,29    | –    |
|                                                 | $h$ , мм                       | 79        | 9           | 55   | 13,7    | –    |
|                                                 | $K_{\text{др}}$                | 0,67      | –           | 0,43 | 0,62    | –    |
|                                                 | УГВ (сред-<br>ний), м          | 38        | –           | 31   | –       | –    |
|                                                 | Урожай, т/га                   | –         | –           | 11,8 | –       | 21,3 |
| Контроль – бестран-<br>шейный без присып-<br>ки | $q_{\text{max}}$ , л/ (с · га) | 0,46      | 0,13        | 0,91 | 0,18    | –    |
|                                                 | $h$ , мм                       | 61        | 5           | 44   | 9,1     | –    |
|                                                 | $K_{\text{др}}$                | 0,52      | –           | 0,35 | 0,43    | –    |
|                                                 | УГВ (сред-<br>ний), м          | 27        | –           | 37   | –       | –    |
|                                                 | Урожай, т/га                   | –         | –           | 11,5 | –       | 20,2 |
| Контроль – траншей-<br>ный                      | $q_{\text{max}}$ , л/ (с · га) | 0,73      | 0,20        | 1,49 | 0,23    | –    |
|                                                 | $h$ , мм                       | 97        | 6           | 69   | 12,6    | –    |
|                                                 | $K_{\text{др}}$                | 0,83      | –           | 0,54 | 0,56    | –    |
|                                                 | УГВ (сред-<br>ний), м          | 36        | –           | 38   | –       | –    |
|                                                 | Урожай, т/га                   | –         | –           | 11,7 | –       | 21,8 |

бенно вновь образующийся перегной (гумус). В результате взаимопри-  
жжения и склеивания почвенных частиц последовательно возникают микроаг-  
регаты, которые соединяются в агрегаты разной величины. При этом их по-  
стоянная водопрочность создается перегнойными веществами. Чем больше  
в почве перегной, состоящего из гуминовых и ульминовых веществ, тем аг-  
регаты пористее и прочнее. Наличие гумуса в различных почвах может ме-  
няться от долей процента до 10 %. Таким образом, наличие определенного  
количества гумуса в почве служит критерием ее структурности, а следо-  
вательно, водопроницаемости и водопрочности.

Проведенные исследования позволили установить, что грунт пахотного  
слоя при содержании в нем более 1,5 % гумуса может быть использован  
для засыпки щели. Важную роль играют растворенные в воде соли (карбо-  
наты, сульфаты, хлориды), которые действуют на дисперсную часть грунта  
и способствуют образованию агрегатов.

Приведенные данные показывают, что при бестраншейном способе  
строительства необходимо не только заполнять дренажную щель проникае-  
мым материалом, но и создавать также в придренном пространстве раз-  
рыхленную зону.

Наилучшие результаты могут быть получены, если рыхлить наддренные  
полосы предварительно, до закладки дренажа, на глубину 80...90 см.

Исследования, проведенные в совхозе "Победа" в сентябре 1983 г.,  
показали, что наибольший эффект от рыхления наддренных полос дости-  
гается при использовании рыхлителя РГ-0,8 (конструкция ВНИИГиМа).

16. Водный режим на участке с проведением агрометеорологических мероприятий  
бестраншейного дренажа "Дальние поля", 1984 — 1985 гг.

| Вид дренажа                                                                    | 14.04 – 12.05.1984 г.            |       |                 |         | 1.10 – 1.11.1984 г.              |       |                 |         | 1985 г.                                        |                                  |       |                 |                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------|-----------------|---------|----------------------------------|-------|-----------------|---------|------------------------------------------------|----------------------------------|-------|-----------------|---------------------------------------|
|                                                                                | $q_{\text{max}},$<br>л/ (с · га) | h, мм | $K_{\text{др}}$ | УГВ, см | $q_{\text{max}},$<br>л/ (с · га) | h, мм | $K_{\text{др}}$ | УГВ, см | Урожай-<br>ность зе-<br>леной мас-<br>сы, т/га | $q_{\text{max}},$<br>л/ (с · га) | h, мм | $K_{\text{др}}$ | Урожай-<br>ность яч-<br>меня,<br>т/га |
| Бестраншей-<br>ный (10 ×<br>× 1,0 + кро-<br>тование в<br>1984 и в<br>1985 гг.) | 0,19                             | 6,1   | 0,075           | 32...90 | 1,65                             | 52,5  | 0,56            | 5...75  | 20,5                                           | 0,24                             | 29,5  | 0,31            | 2,33                                  |
|                                                                                | 0,16                             | 7,53  | 0,094           | 21...70 | 1,71                             | 59    | 0,62            | 5...85  | 23,0                                           | 0,30                             | 30,0  | 0,32            | 2,00                                  |
| Бестраншей-<br>ный (10 ×<br>× 1,0 + глу-<br>бое рыхле-<br>ние в 1983 г).       | 0,16                             | 4,8   | 0,06            | 24...85 | 0,9                              | 51,2  | 0,54            | 1...75  | 16,0                                           | 0,16                             | 19,0  | 0,20            | 1,83                                  |
| Контроль                                                                       |                                  |       |                 |         |                                  |       |                 |         |                                                |                                  |       |                 |                                       |

Для стабилизации структуры грунта одновременно с рыхлителем в разрыхленную зону вносили известь. После прохода рыхлителя бестраншейным дреноукладчиком МД-4 с присыпателем укладывали дрены.

Раскопки показали, что ниже зоны рыхления до уровня дрены на глубину до 1,0...1,2 м грунт не уплотнялся. В этой зоне он вытеснялся вверх в сторону зоны рыхления. Незначительное уплотнение наблюдалось в дне дренажной щели. Щель и зона сплошного рыхления по ходу ножей-присыпщиков была заполнена хорошо раскрошившимся грунтом, перемешанным с гумусированным грунтом пахотного слоя. Известь, которая при вдувании в процессе рыхления оказалась в зоне захвата ножей, была равномерно распределена, следы ее обнаружены и в дренажной щели до самой дрены.

Необходимо отметить, что на участке испытаний распространены грунты суглинистого механического состава с  $K_{\phi} = 0,05...0,1$  м/сут. После прохода рыхлителя в зоне разрыхления  $K_{\phi}$  был 0,8...1,0 м/сут, а в зоне захвата ножей — 1,0...1,3 м/сут. Распределение гумусированного грунта в зоне захвата, по визуальным наблюдениям, было равномерным, в дренажной щели — сплошным.

Осенью 1983 г., непосредственно после закладки, осушающее действие дренажа было достаточно высоким: отмечались модули дренажного стока 0,6...0,8 л/(с · га).

Исследования, проведенные во ВНИИГиМе, показали, что предварительное рыхление трасс дрен с одновременным внесением в разрыхляемую зону химмелиорантов позволит применять бестраншейный способ строительства в грунтах с  $K_{\phi} = 0,1...0,05$  м/сут. Наличие разрыхленной зоны даст возможность за счет снижения тягового усилия увеличить рабочие скорости машин до 40 %, т. е. на 12...14 % повысить их производительность.

#### 4. Расчет параметров бестраншейного дренажа

Задача осушительной системы — отведение воды с поверхности почвы и из пахотного слоя в сроки, устанавливаемые в соответствии с сельскохозяйственным использованием осушаемой территории согласно действующим нормативам.

Как указывалось, усиление притока воды в дрены в тяжелых грунтах достигается путем установки фильтрующих элементов, обеспечивающих гидравлическую связь между пахотным слоем и дренажной, и проведением мероприятий, увеличивающих водопроницаемость почвенного профиля (глубокое рыхление, кротование). Вода поступает в дрены главным образом через фильтрующие элементы. Приток воды определяется в основном частотой расстановки элементов или расстоянием между ними. Размеры самих элементов влияют на величину притока в меньшей степени.

Результаты опытов, проведенных в СевНИИГиМе на жидкостной пространственной модели ЭГДА, показали, что закономерность изменения водоприемной способности дренажа находится в зависимости от размеров фильтрующих элементов (ФЭ) и расстояния между ними на дренах. Так, для  $l_1 = 4,5$  м и  $b_1 = 0,2$  м (где  $l_1$  — расстояние между центрами ФЭ;  $b_1$  — их длина) фильтрационное сопротивление  $\xi = 1,15$ , с другой стороны, при

$l_1 = 4,5$  м и  $b_1 = 1,0$  м  $\xi = 1,73$ . Следовательно, уменьшение  $l_1$  в 5 раз уменьшило  $\xi$  в 2,3 раза, а увеличение также в 5 раз  $b_1$  уменьшило  $\xi$  в 1,54 раза, или на 33 %.

При увеличении  $l_1$  снижается расход фильтрующего материала и уменьшаются общие затраты, но ухудшается осушающее действие дренажа. Таким образом, задача определения расстояний между ФЭ может быть решена технико-экономическим способом, при котором оптимальное значение  $l_1$  находится из условия получения максимального дифференциального дохода от осушения  $D$ .

Рассматривая ФЭ на дренах как систему вертикальных скважин, принимающих воду из пахотного горизонта, выражение для  $D$  имеет следующий вид:

$$D = 0,675 C \Delta Y + \frac{0,1125}{R} \sqrt{4R^2 - l_1^2} C \Delta Y - \frac{750 C_{\Phi\Xi}}{l_1 R}, \quad (1)$$

где  $C$  – цена единицы продукции, р. за 1 т;  $\Delta Y$  – прибавка урожая в результате осушения, т;  $C_{\Phi\Xi}$  – затраты на закладку одного ФЭ, р. за 1 шт.;  $R$  – радиус влияния ФЭ, м.

Для определения оптимального значения  $l_1$ , при котором функция  $D = f(l_1)$  достигает максимума, необходимо решить следующее уравнение относительно  $l_1$ :

$$dD/dl_1 = 0. \quad (2)$$

Дифференцируя выражение для  $D$  по  $l_1$ , получаем

$$\frac{dD}{dl_1} = -\frac{0,1125 l_1 C \Delta Y}{R \sqrt{4R^2 - l_1^2}} + \frac{750 C_{\Phi\Xi}}{l_1^2 R} = 0. \quad (3)$$

На основании (3) записываем следующее уравнение:

$$l_1^6 + \frac{443 \cdot 10^5 l_1^2}{C^2 \Delta Y^2} C_{\Phi\Xi} - \frac{177 \cdot 10^6}{C^2 \Delta Y^2} R C_{\Phi\Xi}^2 = 0; \quad (4)$$

решение (4) относительно  $l_1$  имеет вид

$$l_1 = 21,1 \sqrt[3]{N(R^2 + M)} + \sqrt[3]{N(R^2 - M)}, \quad (5)$$

где  $N = C_{\Phi\Xi}^2 / C^2 \Delta Y^2$ ;  $M = \sqrt{4,2 \cdot 10^5 N + R^4}$ .

Для определения радиуса влияния  $R_0$  фильтрующего элемента необходимо решить следующее уравнение радиального притока грунтового потока к вертикальной скважине:

$$Q_R = 2\pi R \frac{dF}{dR} = E \pi (R_0^2 - R^2), \quad (6)$$

где  $Q_R$  – расход фильтрационного потока в сечении, удаленном от скважины на расстоянии  $R$  от оси скважины, м<sup>3</sup>/сут;  $E$  – интенсивность инфильтрационного питания, м/сут;  $R_0$  – радиус влияния скважины, м;  $F$  – потенциал Гиринского.

Интегрируя уравнение (6) в пределах от  $F_{R_0}$  до  $F_{r_0}$  — значений потенциала Гириного на контурах питания и стока и от  $r_0$  — радиуса скважины до  $R_0$ , получаем следующее уравнение для определения  $R_0$ :

$$R_0 = \sqrt{\frac{A}{2 \ln \frac{R_0}{r_0} - 1}}, \quad (7)$$

$$\text{где } A = \frac{8 (F_{R_0} - F_{r_0}) - E r_0^2}{2E}. \quad (8)$$

Для однородного грунта, например, в случае когда подпахотный слой служит водоупором, а приток к ФЭ происходит только по пахотному слою, при глубине воды в скважине, равной 0, имеем  $F_{r_0} = 0$ ;  $F_{R_0} = K_{\Pi} h^2 / 2$ , где  $K_{\Pi}$  — коэффициент фильтрации пахотного слоя, м/сут;  $h$  — глубина фильтрационного потока в этом слое, м. Тогда при малых  $r_0$  получим

$$A = 2 K_{\Pi} h^2 / E. \quad (9)$$

Для двухслойного грунта, например, при глубоком рыхлении или при двучленном строении почвенного профиля, в случае если кривая депрессии пересекает линию раздела слоев,

$$F_{r_0} = 0; F = \frac{K_1 (2 h m + m^2) + K_{\Pi}}{2} h \text{ м}^3/\text{с};$$

тогда при малых  $r_0$

$$A = \frac{2 [K_1 (2 h m + m^2) + K_{\Pi} h^2]}{E} \text{ м}^2, \quad (10)$$

где  $K_{\Pi}$  и  $K_1$  — соответственно коэффициенты фильтрации верхнего пахотного и разрыхленного подпахотного слоев или подстилающего проницаемого прослоя, м/сут;  $m$  — мощность проницаемого прослоя, м;  $h$  — глубина потока в пахотном слое, м.

Решение трансцендентного уравнения (7) относительно  $R_0$  осуществляется подбором. Для определения  $R_0$  в зависимости от параметров  $A$  и для различных значений  $r_0$  можно использовать графики (рис. 4). Для ФЭ, поперечное сечение которых отличается от круга,  $r_0$  приближенно может быть определено по формуле

$$r_0 = \Pi / 6,28, \quad (11)$$

где  $\Pi$  — периметр ФЭ, м.

Для пояснения изложенной методики рассмотрим пример определения расстояний между ФЭ на дренах при следующих исходных данных:  $K_{\Pi} = 2$  м/сут,  $h_{\Pi} = 0,3$  м,  $E = 0,004$  м/сут, сельскохозяйственное использование — пашня под овощи,  $\Delta Y = 14,0$  т/га,  $C = 70$  р. за 1 т при глубоком рыхлении и без него. В качестве ФЭ применены торфоплиты размером  $0,5 \times 0,5 \times 0,05$  м,  $C_{\text{ФЭ}} = 1$  р. за 1 шт.

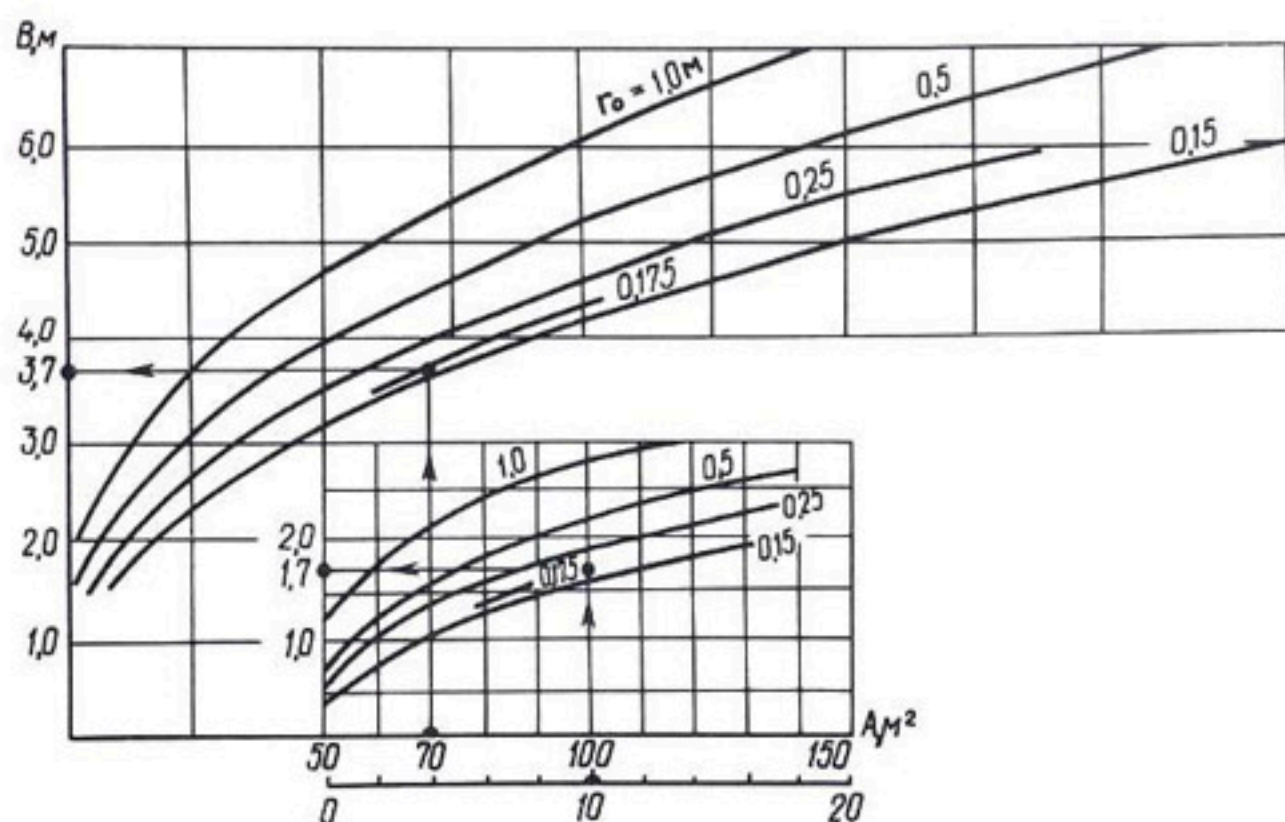


Рис. 4. График для определения  $R_0$ .

Без глубокого рыхления при  $h = 0,1$  м,  $r_0 = 0,175$  м,  $A = 2 \cdot 2 \cdot 0,1^2 / 0,004 = 10$  м<sup>2</sup> (по формуле 9),  $R_0 = 1,70$  м (по формуле 7 или по графику, рис. 4).  
Вычисляем  $N$ :

$$N = \frac{1}{70^2 \cdot 14^2} = 1,04 \cdot 10^{-6}; \quad M = \sqrt{4,2 \cdot 10^5 \cdot 1,04 \cdot 10^{-6} + 1,7^4} \approx 3,0.$$

Тогда

$$l_1 = 21,1 \sqrt{\sqrt[3]{1,04 \cdot 10^{-6} (2,89 + 3,0)} + \sqrt[3]{1,04 \cdot 10^{-6} (2,89 - 3,0)}} = 2,5 \text{ м.}$$

При глубоком рыхлении  $m = 0,4$  м;  $K_1 = 0,5$  м/сут,  $h_{\text{п}} + m = 0,7$  м; принимаем  $h = 0,1$  м.

Вычисляем  $A$  (по формуле 10):

$$A = \frac{2 \cdot [0,5 (2 \cdot 0,1 \cdot 0,4 + 0,4^2) + 2,0 \cdot 0,1^2]}{0,004} = 70 \text{ м}^2.$$

По формуле (7) находим  $R_0 = 3,7$  м, тогда

$$M = \sqrt{4,2 \cdot 10^5 \cdot 1,04 \cdot 10^{-6} + 3,7^4} = 13,7;$$

$$l_1 = 21,1 \sqrt{\sqrt[3]{1,04 \cdot 10^{-6} (13,7 + 13,7)} + \sqrt[3]{1,4 \cdot 10^{-6} (13,7 - 13,7)}} = 3,7 \text{ м.}$$

В табл. 17 приведены результаты расчетов по определению расстояний между ФЭ ( $b_1$ ) на дренах в зависимости от сельскохозяйственного использования осушаемой территории и степени окультуренности почвы.

17. Значение  $l_1$  для сельскохозяйственных культур, м

| Степень окультуренности почвы | $h_{II}$ , м | $R_0$ , м | Овощи | Картофель | Зерновые |
|-------------------------------|--------------|-----------|-------|-----------|----------|
| Средняя                       | 0,2          | 2         | 3     | 3         | 4        |
| Высокая                       | 0,3          | 3         | 3     | 4         | 5        |
| При глубоком рыхлении         | 0,4          | 4         | 4     | 4         | 6        |
|                               | 0,5          | 5         | 4     | 5         | 7        |
|                               | 0,6          | 6         | 5     | 6         | 8        |

### Глава 3. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДРЕНАЖА БЕСТРАНШЕЙНЫМ СПОСОБОМ

#### 5. Способы регулирования заданной глубины укладки дрен

Один из важнейших элементов рабочего оборудования бестраншейных дреноукладчиков — система регулирования глубины укладки дрен. Наибольшее распространение получили копирные, бескопирные и комбинированные системы. Копирные системы характеризуются тем, что их датчик определяет положение рабочего органа по высоте относительно копирной линии, ориентируемой параллельно уклону дрены. В качестве копира применяют оптическую ось теодолита, натянутый трос, оптический или лазерный луч, датчиком служат соответственно глаз оператора, щуп и фоточувствительные элементы. Бескопирные системы отличаются тем, что их датчик фиксирует угловые смещения рабочего органа относительно горизонта.

Комбинированные системы сочетают в себе элементы копирных и бескопирных систем. С помощью датчика системы усилительное звено передает команды на электрогидравлическую систему дреноукладчика, которая устраняет возникшие отклонения рабочего органа и по цепи обратной связи возвращает датчик в исходное положение. При использовании теодолита команды управления на электрогидравлическую систему передает оператор с помощью кабельной или радиосвязи.

Высоту положения рабочего органа изменяют: 1) принудительно перемещая его относительно базового тягача или дополнительной опоры, движущейся по поверхности земли или по дну щели; 2) меняя баланс сил на рабочем органе, под действием которых он в процессе движения самозаглубляется или самовыглубляется; 3) перемещая относительно рабочего органа его нижнюю часть; 4) путем сочетания перечисленных способов.

Кинематическая схема дреноукладчика должна обеспечивать, с одной стороны, устойчивость рабочего органа и его минимальную чувствительность к возмущающим воздействиям от неровностей земли и переменных сил, действующих на рабочий орган, а с другой — его управляемость.

Из копирных систем наибольшее распространение в отечественной практике получили системы на базе использования копирного троса, позволяющие автоматизировать процесс регулирования глубины копания. Гидроусилитель системы имеет электромагниты, управляющие электри-

ческим датчиком, который взаимодействует со скользящим по тросу щупом. Комбинированная система, состоящая из такой копирной и бескопирной систем с маятниковым датчиком, установлена на дреноукладчиках МД-4 и МД-12. Копирная система служит для автоматического регулирования положения ножа по высоте, а бескопирная — для его автоматической угловой стабилизации.

Основной цикл укладки дренажа начинается с установки упоров и последующего натяжения копирного троса. Трос натягивают справа от дрены на расстоянии 200 см от ее оси по ходу движения машины МД-4.

Для натяжения троса по оси пикетажной разбивки ставят основные и промежуточные упоры. Расстояние между основными упорами 20 м, между промежуточными — 10 м. Для установки упора без предварительного определения глубины укладки рекомендуется применять специальную 2-метровую рейку с сантиметровыми делениями. Упор можно поднимать на высоту, равную проектной глубине щели на данном пикете трассы. После установки основных упоров на них закрепляют трос, натягивают его с помощью лебедки, а затем навешивают на промежуточные упоры. Усилие натяжения троса должно быть не менее 500 Н.

Для сокращения числа упоров при натяжении копирного троса применяют задатчик положения рабочего органа машины — люнет конструкции ВНИИводполимера. Люнет регулирует высотное положение рабочего органа и служит для предотвращения ошибок из-за провисания троса при увеличении расстояния между его упорами. Принцип действия люнета заключается в воздействии на трос силой, равной по величине и обратной по направлению суммам сил, вызывающим его провисание. При использовании люнета расстояние между упорами можно увеличить до 30...40 м.

Основные недостатки систем на базе использования копирного троса: большой объем работ, связанных с установкой, натяжением и переносом троса, особенно в зимнее время; значительные погрешности в работе копирно-щуповой системы вследствие ошибок при установке опор; провисание троса и колебания щупа. Все это часто приводит к несоблюдению требуемой точности укладки дрен.

Значительное снижение затрат труда и повышение точности заданного уклона достигаются в результате применения разработанной во ВНИИГиМе системы дистанционного радиоуправления заданием копирной линии визирной осью теодолита (вместо троса). Аппаратура выполнена на базе серийно выпускаемой радиостанции 20РТП-2-4М "Ласточка". Кроме передачи сигналов управления высотным положением ножа дреноукладчика, она позволяет осуществлять двустороннюю связь между оператором и машинистом. Прием сигналов управления радиоприемником сопровождается световой и звуковой сигнализацией, свидетельствующей об исправности аппаратуры.

Систему дистанционного управления подготавливают к работе в следующем порядке. На расстоянии 10...15 м от места начала закладки дрены в створе дренажной линии устанавливают теодолит и по лимбу задают требуемый уклон дрены. По геодезической рейке, находящейся на нулевом пикете, определяют необходимую для данного положения теодолита постоянную дреноукладчика. По ее значению наносят метку на рабочем орга-

не. Затем дренаукладчик заглубляет рабочий орган до тех пор, пока центр метки не совпадет с визирной осью теодолита.

Оператор-геодезист наблюдает в теодолит, как выдерживается уклон дрена и следит за положением рабочего органа по высоте. В случае его отклонения от заданной линии оператор подает сигнал на исполнительную часть системы управления, которая поднимает или опускает рабочий орган на необходимую величину.

Качество выдерживания заданного уклона дренажного трубопровода зависит от степени утомляемости оператора. Применительно к исследуемой системе под утомляемостью оператора следует понимать снижение точности регулирования им глубины закладки дренажа, которое определяется следующими параметрами:  $\sigma$  — среднеквадратичное отклонение профиля дна отрываемой щели от проектной;  $\Delta i$  — отклонение уклона дна щели от проектного;  $a$  — максимальное отклонение профиля дна от проектного;  $N$  — число отклонений.

Факторы, влияющие на развитие утомляемости оператора, можно условно разделить на три группы: 1) обусловленные объектом регулирования (уровень внешних возмущений, рабочие скорости, шум, вибрация и т. п.); 2) зависящие от технологии процесса (длина дрена, расстояние между ними, режим работы); 3) метеорологические условия (освещенность, температура, видимость и т. п.). Особое значение имеет длина дрена, что в совокупности с рабочими и транспортными скоростями машины определяет соответственно продолжительность непрерывного управления ею и продолжительность отдыха оператора.

С целью изучения режима труда оператора на одном из объектов был выполнен хронометраж его рабочего времени в течение шести дней (табл. 18).

18. Хронометраж рабочего дня оператора

| Параметры<br>$T$ , ч; $L$ , м; $n$ , шт.* | Контрольные дни |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|
|                                           | 1               | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
| $T_o$                                     | 8,26            | 8,10 | 8,33 | 7,23 | 7,93 | 7,96 |
| $T_{ч.р}$                                 | 2,21            | 2,33 | 2,36 | 2,33 | 2,53 | 2,20 |
| $T_{тех}$                                 | 3,06            | 2,46 | 2,93 | 3,05 | 3,10 | 3,02 |
| $T_{х.п}$                                 | 0,98            | 1,88 | 1,66 | 1,43 | 1,25 | 1,23 |
| $T_{т.о}$                                 | 0,96            | 0,16 | 0,16 | 0,91 | 0,33 | 0,53 |
| $T_{орг}$                                 | 1,05            | 1,27 | 1,22 | 0,71 | 0,72 | 0,93 |
| $L$                                       | 1750            | 1300 | 1670 | 1800 | 2080 | 1700 |
| $n$                                       | 12              | 11   | 12   | 14   | 15   | 15   |

\*  $T_o$  — общая продолжительность работы МД-4;  $T_{ч.р}$  — продолжительность чистой работы;  $T_{тех}$  — технологические потери времени;  $T_{х.п}$  — потери времени на холостые переезды;  $T_{т.о}$  — время, затрачиваемое на техническое обслуживание машины;  $T_{орг}$  — время, затрачиваемое на подготовку и организацию работ;  $L$  — общая длина дрена, уложенных за время  $T_o$ ;  $n$  — число дрена, уложенных за время  $T_o$ .

По приведенным в таблице данным можно вычислить ряд показателей, характеризующих режим работы оператора:

среднюю длину одной дрены  $L_{\text{ср}} = \Sigma L / \Sigma n = 10\,300 / 79 = 129 \text{ м}$ ;  
среднюю общую продолжительность управлением рабочим органом  
МД-4

$$t_{\text{ср.у}} = (\Sigma T_{\text{ч.р}} / \Sigma n) = 13,96 / 79 = 0,176 \text{ ч} = 10,5 \text{ мин};$$

среднюю рабочую скорость машины

$$V_{\text{ср.р}} = (\Sigma L / \Sigma T_{\text{ч.р}}) = 10300 / 13,96 = 738 \text{ м/ч};$$

среднюю продолжительность управления рабочим органом за смену

$$T_{\text{уп}} = \Sigma T_{\text{ч.р}} / 6 = 13,96 / 6 = 2,33 \text{ ч};$$

средний интервал времени между периодами управления

$$t_{\text{ср.и}} = \frac{T_0 - T_{\text{р}} - T_{\text{орг}} - T_{\text{т.п.}}}{n} = \frac{48,81 - 13,96 - 5,90 - 3,09}{79} = 20 \text{ мин.}$$

За период  $t_{\text{ср.и}}$  оператор должен подготовить систему управления к работе. Необходимое для этого время включает время, затрачиваемое на перенос и установку теодолита, измерение постоянной дреноукладчика и регулировку положения его марки.

Аналитическим показателем качества укладки дрен при обработке результатов нивелировки было выбрано среднее квадратичное отклонение профиля дна щели от проектной как менее подверженное случайным колебаниям. Результаты контрольных нивелировок 43 дрен, выполненных в различные периоды рабочих смен за четыре дня, показали, что режим труда оператора близок к оптимальному. Продолжительность непрерывного регулирования глубины укладки дренажа не превышает 10...15 мин, при этом основные производственные операции чередуются с интервалами в работе  $t_{\text{ср.и}}$  не более 15...20 мин.

Система дистанционного радиоуправления имеет ряд существенных недостатков. Так, замена автоматического управления ручным требует постоянного присутствия рабочего для регулирования глубины укладки дрен. Точность укладки при этом зависит от субъективных факторов (остроты зрения оператора, скорости его реакции и т. д.). С увеличением дальности управления, размеров неровностей на трассе, скорости движения машины точность укладки снижается. Отрицательно сказываются также неблагоприятные метеорологические условия, ухудшающие видимость и условия работы. Все это существенно ограничивает применение такого способа регулирования.

Наиболее перспективно применение лазерных систем управления, которые благодаря монохроматичности и узконаправленности генерируемого излучения обеспечивают автоматическое регулирование глубины укладки дрен на расстояние до 500 м с высокой точностью. Датчиком системы служит фотоприемник, который преобразует лазерное излучение в электрические сигналы. В СССР серийно выпускается указатель УКЛ-1, предназначенный для формирования веерообразной в плане плоскости лазерного излучения с проектным уклоном, подающий команды управления на электрогидравлическую систему машины.

В объединении "Рязаньмелиорация" отработана в производственных условиях технология ВНИИГиМ по строительству дренажа с использованием лазерного указателя. Применение указателя обеспечивает достаточно высокую точность укладки дренажа (местные отклонения не превышают 1...3 см), при этом снижается трудоемкость таких работ, как разбивка дренажной сети и установка копирной линии (особенно зимой), а также улучшается качество строительства.

Основные части лазерного указателя — светоизлучатель, фотоприемное устройство в виде фоточувствительной головки (ФЧГ) и блок выработки команд управления (БВК). Фотоприемное устройство устанавливают на дреноукладчике. Оно позволяет задавать требуемый уклон на расстояние до 500 м; минимальный угол наклона луча 0,0005.

При работе бестраншейного дреноукладчика с использованием УКЛ-1 светоизлучатель располагают на расстоянии 30 м от начала дрены слева от ее оси. С целью правильного ориентирования луча механизмом регулировки совмещают по высоте на фоторейке ось визирной трубы светоизлучателя с меткой на рабочем органе дреноукладчика (расстояние от носка ножа до центрального фотодиода). Фоторейку в зависимости от схемы укладки помещают на дно устья дрены или на верх трубы коллектора. При движении дреноукладчика нож автоматически заглубляется до того момента, пока центральный фотодиод не будет введен в световую плоскость. В процессе работы глубина укладки регулируется автоматически по командам, подаваемым излучателем.

Для регулировки продольного уклона дрен и оперативного контроля качества их укладки при бестраншейном строительстве дренажа может быть использован прибор ПУЛ-3А, в котором принцип использования оптического луча нашел дальнейшее развитие.

Устройство ПУЛ-3А обеспечивает автоматическое выполнение профиля дрены в вертикальной плоскости по заданной прямой — горизонтальной или наклонной — с точностью выше 15' на расстояние до 600 м (в дневных условиях).

Принцип действия устройства (рис. 5) основан на применении оптического луча 1 с большим углом раствора, модулированного двумя различными частотами  $f_1$  и  $f_2$  таким образом, что на оси луча образуется резко выраженная равносигнальная зона.

В устройстве предусмотрено приспособление для ручного управления движением машины по заданному направлению в горизонтальной плоскости; действие приспособления основано на различной окраске правой и левой сторон видимой части луча.

Объектив приемной части 2, скрепленный с рабочим органом машины, при смещении луча с оси выдает электрический сигнал соответствующей полярности, который после усиления воздействует на рабочий орган 3 машины и возвращает объектив в равносигнальную зону. Таким образом, рабочий орган автоматически выполняет профиль дрены по прямой, параллельной оси луча. Водитель, наблюдая за цветом луча, может вести машину по заданному направлению.

Благодаря использованию инфракрасного модулированного луча и наличию в приемнике одного фотозлемента точность работы устройства не

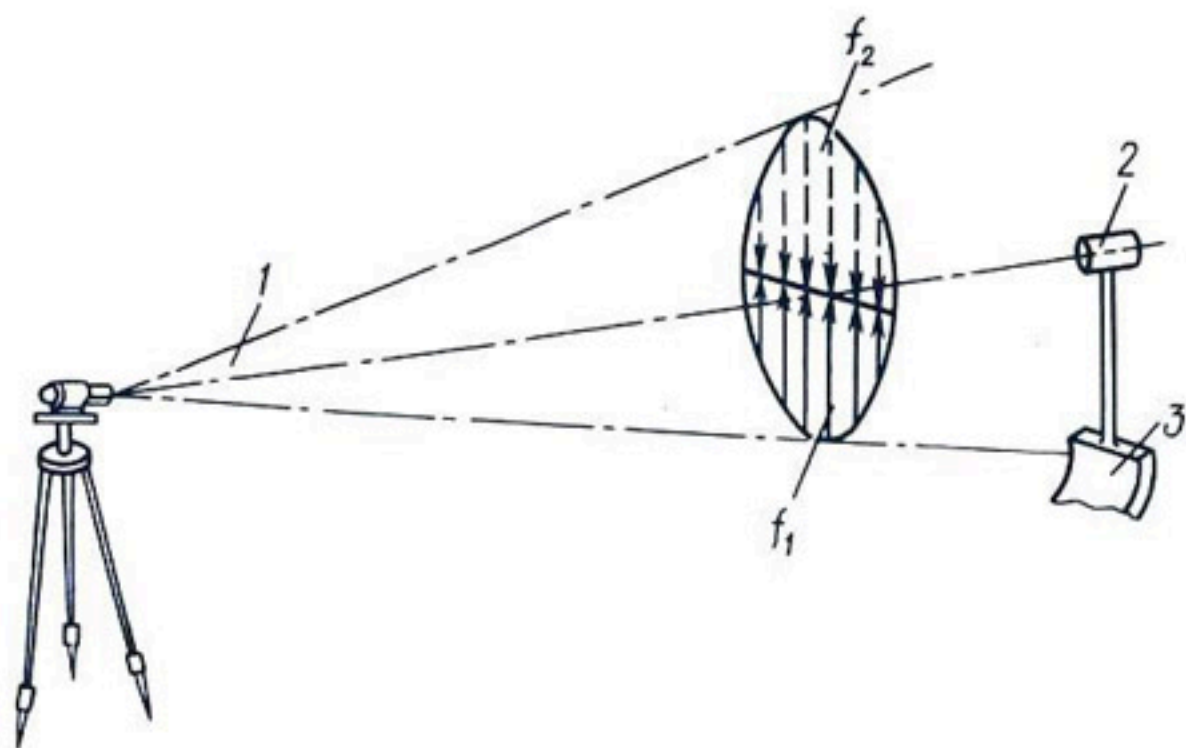


Рис. 5. Схема действия прибора ПУЛ-3А:

1 — оптический луч; 2 — приемная часть; 3 — рабочий орган дренаукладчика.

зависит от воздействия посторонних источников света (например, солнца), наклонов и колебаний машины, а также от старения фотоземельного элемента. Отличительная особенность схемы устройства ПУЛ-3А — большая зона управления (круг диаметром более 12 м) при малой мощности источника света (20 Вт).

Комплект устройства состоит из двух основных частей: управляющей — стационарного прожектора и приемной, устанавливаемой на дренаукладчике. Прожектор укреплен на треноге, снабженной подъемным механизмом для установки оси прожектора на заданную высоту. Высоту установки прожектора контролируют по нивелирной рейке с помощью вмонтированной в него визирной трубки. Для придания желаемого угла наклона на прожекторе имеется уровень, наклоняемый с помощью регулировочного винта. Прожектор можно поворачивать в горизонтальной плоскости с отсчетом углов по лимбу. К треноге крепится также пульт управления прожектором, подключаемый к источнику питания.

Приемная часть состоит из непосредственно приемника (имеющего светофильтр, объектив и фотоземельный элемент), устанавливаемого на рабочем органе машины, и пульта управления, размещенного в кабине водителя. На пульте находится также и усилитель фототока.

С помощью гибкого кабеля приемник соединен с пультом управления. К пульту подведены еще два кабеля: один для питания приемной части от сети машины и второй — подающий на электромагниты гидропровода управляющие сигналы для подъема или опускания рабочего органа.

#### Техническая характеристика устройства ПУЛ-3А

|                             |                               |
|-----------------------------|-------------------------------|
| Дальность действия, м       | 600 (не менее)                |
| Точность задания уклона, см | $\pm 3$                       |
| Устанавливаемый уклон, град | $\pm 0,035$ (с точностью 15") |

|                                                                  |                           |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Диаметр объектива прожектора, мм                                 | 65                        |
| Кратность увеличения визирной трубки                             | 14                        |
| Мощность, потребляемая прожектором, Вт                           | 30 (не более)<br>(6В, 5А) |
| Габаритные размеры прожектора, мм                                | 250 × 160 × 160           |
| Масса прожектора (без треноги), кг                               | 4,5                       |
| Диаметр объектива приемника, мм                                  | 40                        |
| Поле зрения приемной части, град                                 | ± 6                       |
| Габаритные размеры приемника, мм                                 | 110 × 120 × 60            |
| Масса приемника, кг                                              | 1                         |
| Габаритные размеры пульта управления, мм                         | 220 × 150 × 100           |
| Масса пульта, кг                                                 | 4                         |
| Мощность, потребляемая приемной частью (без электромагнитов), Вт | 10 (13 В, 0,75 А)         |

Для пооперационного контроля точности выполнения продольных уклонов дрен разработаны и опробованы в производственных условиях два способа. Первый предусматривает использование специального приспособления. На стойках трубоукладчика внутри рабочего органа монтируют штангу, находящуюся в плавающем положении. Нижний ее конец скрепляют с резиновым прижимным роликом, который опирается на дренажный трубопровод и движется по нему вместе с рабочим органом. К верхнему концу штанги прикрепляют геодезическую рейку, по которой через определенные расстояния снимают контрольные отсчеты (рис. 6). При втором способе точность выдерживания уклонов определяют с помощью вешек (длиной 1,5 м диаметром 5 см), устанавливаемых непосредственно вслед за прохождением рабочего органа дренаукладчика в местах контрольных отметок. Нижний конец вешки ставят на трубопровод, и смыкающийся грунт плотно зажимает ее. При исполнительной нивелировке геодезическую рейку устанавливают на верхний конец вешки.

Наибольшая точность выдерживания заданного уклона отмечается при работе дренаукладчика по технологической схеме открытый канал — дрена. При схеме закрытый коллектор — дрена иногда наблюдаются отклонения. Поэтому приямок для заглубления рабочего органа следует отрыть с высокой точностью.

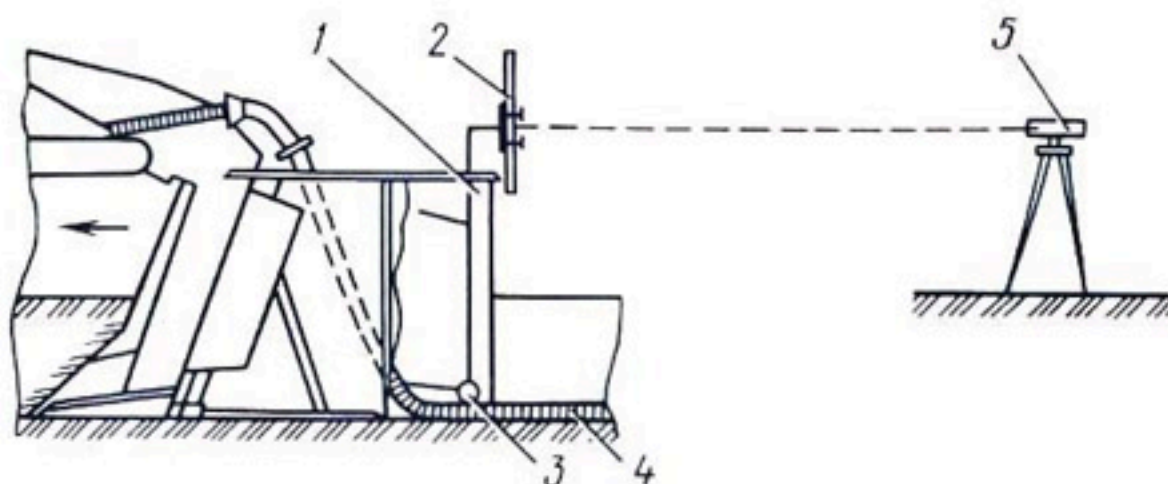


Рис. 6. Схема контроля продольных уклонов дрен:

1 — штанга; 2 — геодезическая рейка; 3 — прижимной ролик; 4 — дренажная труба; 5 — теодолит.

19. Схема пооперационного контроля качества строительства пластмассового дренажа

| Наименование операции         | Основные требования, предъявляемые к качеству строительства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Способ и средство контроля                                                                   | Время контроля                        |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Обмотка труб ЗФМ              | Прочность на разрыв ЗФМ не менее 2 кПа; перекрытие ленты на трубе не менее 5 см; оболочка из ЗФМ не должна иметь разрывов                                                                                                                                                                                                                                                                        | Визуальный осмотр; измерения линейкой                                                        | До и после обмотки труб               |
| Планировка трасс              | Ширина полосы не менее 4 м; высота неровностей не более 20 см; поперечный уклон не более 3°                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Визуальный осмотр; измерения с помощью геодезического инструмента, рейки или рейки с уровнем | После планировки трасс                |
| Доставка дренажных материалов | Размеры труб и соединительных деталей должны соответствовать проектным данным; трубы не должны иметь перегибов, вмятин, трещин, разрывов ЗФМ                                                                                                                                                                                                                                                     | Визуальный осмотр; измерения линейкой                                                        | До укладки дрен                       |
| Установка копирного троса     | Отклонения высоты основных упоров копирного троса не более 5 мм; отклонения от прямолинейности в плане не более 0,2 м; расстояние между упорами не более 10 м; отклонения расстояний не более 1 м                                                                                                                                                                                                | Измерения рулеткой, геодезическим инструментом и рейкой                                      | До укладки коллектора и дрен          |
| Укладка коллектора            | Отклонения от продольного уклона не более +0,0005; местные отклонения дна траншеи не более 3 см; отклонения оси коллектора в плане не более ±0,5 м; обратные уклоны дна траншеи не допускаются; зазоры в стыках не более 2 мм; смещения труб не более 1/3, толщины стенки трубы; смещение полосы ЗФМ от стыка не менее 1/3, ширины полосы; толщина присыпки гумусного слоя грунта не менее 20 см | Исполнительная нивелировка коллектора; измерения линейкой и шупом                            | В процессе и после укладки коллектора |

## Продолжение

| Наименование операции                           | Основные требования, предъявляемые к качеству строительства                                                                                                                               | Способ и средство контроля                   | Время контроля                      |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------|
| Отрывка прямиков                                | Ширина не менее 0,5 м; длина не менее 5,0 м; дно прямика должно быть на 5...10 см выше верха трубы коллектора                                                                             | Измерения рулеткой                           | После отрывки прямика               |
| Укладка труб                                    | Отклонение от продольного уклона не более $\pm 0,0005$ ; местные отклонения дрен не более $\pm 2$ см; отклонение оси дрен в плане не более $\pm 0,5$ м; обрательные уклоны не допускаются | Контрольная нивелировка дрен                 | В процессе укладки дрен             |
| Устройство устья коллектора или трубы           | Уклон устьевой трубы должен быть не менее проектного уклона коллектора или дрен; превышение дна трубы над дном канала не менее 40 см; зазор в сопряжении не более 2 мм                    | Визуальный осмотр; измерения линейкой, щупом | В процессе и после оформления устья |
| Оформление истока коллектора или одиночной дрен | Концевой участок трубы плотно заделывают заглушкой с обмоткой 3ФМ                                                                                                                         | Визуальный осмотр                            | То же                               |
| Засыпка прямиков и траншей коллектора           | После засыпки над прямиком и траншеей должен оставаться валик высотой 20...30 см                                                                                                          | "                                            | После засыпки                       |

Основные причины отклонений в точности прокладки дрен: наличие на трассах большого количества каменистых включений (размером более 30 см), крупных (более 30 см) древесных остатков или резко выраженных неровностей; при движении машины с повышенной скоростью (более 800 м/ч), очевидно, запаздывает срабатывать гидравлическая система слежения; несколько смещается нож по высоте во время установок дреноукладчика, особенно на грунтах с низкой несущей способностью.

При бестраншейном способе формирования дренажных трубопроводов невозможно визуально контролировать укладку труб и своевременно исправлять дефекты, поэтому к работе системы выдерживания заданного уклона и трубоукладочных механизмов предъявляют повышенные требования.

Основные факторы, влияющие на конечную точность укладки дрен, следующие: деформация грунта под опорной лыжей при движении лыжи по дну щели; точность формирования ложа относительно копира и укладки на него труб в дренажную линию; способ стабилизации положения труб в дренажной линии сразу после их укладки. Последний фактор приобретает особое значение при вскрытии дреноукладчиком водоносного слоя в неустойчивых грунтах с высоким уровнем стояния вод (0,7...0,9 м над дренажной). Здесь под действием высокого напора воды в придренной зоне пластмассовые трубы могут всплыть, т. е. нарушится их продольная устойчивость. Это явление объясняется тем, что при проходе режущего ножа рабочего органа в нижней части щели на некоторое время образуется свободная полость, мгновенно заполняемая водой и грунтовой суспензией.

В Мичуринской ПМК объединения "Ленмелиорация" испытан рациональный способ стабилизации положения пластмассовых труб путем присыпки их грунтом, срезаемым со стенок щели специальным подрезающим устройством, монтируемым в концевой части трубоукладчика. Для уплотнения грунта над щелью достаточно одного прохода гусеничного трактора класса тяги 100 кН. При этом плотность грунта, закрывающего щель, исключает сквозную фильтрацию поверхностных вод. Установлено, что средняя плотность грунта в такой щели на глубине 25 см от поверхности меньше плотности грунта естественной структуры в среднем на 15...20 %.

Результаты измерений показали, что наиболее опасный момент — одностороннее сдавливание трубы в случае смыкания стенок щели сразу после выхода трубы из укладчика. При ширине щели 160 мм по линии контакта трубы с ее стенками первоначальное давление достигает 0,4...0,5 МПа, затем по мере удаления рабочего органа оно уменьшается за счет релаксации грунта и снижения динамического воздействия сил резания.

Точность формирования ложа дна щели относительно копира и укладки труб обеспечивается надежной работой следящей системы дреноукладчика, которую периодически проверяют и налаживают путем тщательных контрольных нивелировок продольного положения дренажных линий.

В табл. 19 приведена схема пооперационного контроля качества строительства пластмассового дренажа.

## 6. Технологические схемы укладки бестраншейного дренажа

В 1978 г. на объектах мелиорации в Ленинградской области проводили исследования с целью усовершенствовать технологию строительства закрытого дренажа дреноукладчиком МД-4 в агрегате с тягачом МД-5. При выборе объектов учитывали следующие требования: типичность природных условий северо-западной части страны; площадь осушения — не менее 150 га (для исследований в достаточном объеме); наличие грунтов различного механического состава (табл. 20).

### 20. Характеристика объектов исследований

| Опытно-производственный участок | Рельеф    | Механический состав грунтов | Длина дрен, м | Глубина укладки, м |
|---------------------------------|-----------|-----------------------------|---------------|--------------------|
| "Силино"                        | Низинный  | Супеси, пески, суглинки     | 120...150     | 0,8...1,2          |
| "Красноозерный"                 | Равнинный | Суглинки                    | 100...120     | 0,8...1,1          |
| "Петровский"                    | "         | Супеси, пески, суглинки     | 100...120     | 0,8...1,2          |
| "Житково-центр"                 | Низинный  | Супеси, суглинки            | 130...150     | 0,9...1,2          |

Примечания. 1. Отложения — озерно-ледниковые. 2. Число смен, в которые проводился хронометраж, — 10...20.

В производственных условиях были опробованы три технологические схемы, при этом обеспечивали одинаковые условия работы дреноукладчика (подготовка трасс, наличие дренажных материалов); фиксировали ежедневную сменную выработку машин и механизмов; выполняли пооперационный хронометраж технологического процесса, а также фотографии рабочего дня дреноукладочных и комплектующих машин.

По первой технологической схеме (рис. 7, а) дренаж укладывают без коллекторов с выводом каждой дрены непосредственно в открытый канал. Работы начинают с установки копирного троса и подготовки машины (переезд на дренаж, установка бухты пластмассовых труб и рулона защитно-фильтрующего материала на дреноукладчик, заглубление рабочего органа в канал, подача конца трубы через направляющие кольца в бункер трубоукладчика с выпуском наружу на длину 0,5...1,0 м).

При рабочем ходе дреноукладчика труба сходит с бухтодержателя, поступает в изоляционное устройство и далее — через бункер в щель, образуемую рабочим органом.

Отрезки труб при "окончании" бухты (или при удалении участков с дефектами) соединяют муфтами промышленного изготовления или предварительно надрезая концы труб на длину 20...25 см.

Исток дренажного трубопровода формируют до выглубления рабочего органа. Трубу обрезают и закрывают заглушкой. В месте впадения каждой дрены в открытый канал устанавливают устье. Предлагается конструкция облегченного устья из гладких пластмассовых труб.

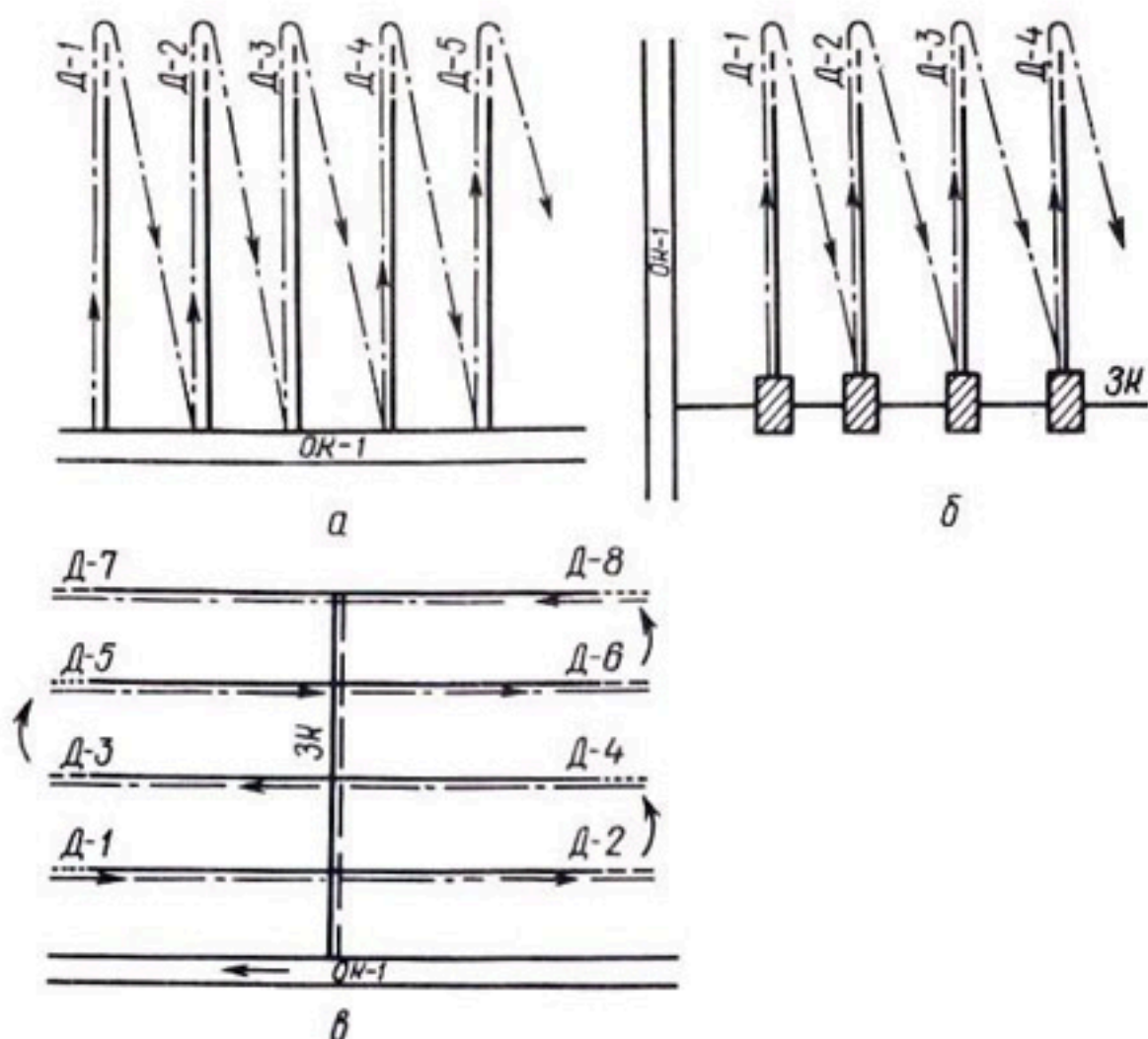


Рис. 7. Технологические схемы укладки дренажа:

*а* — с выпуском каждой дрены в открытый канал; *б* — с выпуском в закрытый коллектор и заглублением рабочего органа дреноукладчика через приямок; *в* — с заглублением рабочего органа; — — — холостой ход дреноукладчика; — рабочий ход дреноукладчика.

Применение такой технологической схемы потребовало внесения изменений в проектные решения. По согласованию с институтами СевНИИГиМ и Ленгипроводхоз было подобрано несколько объектов, на которых в плановое положение осушительной дренажной сети были внесены коррективы, позволяющие вывести каждую дрена в открытый канал, при этом дрены проектировали максимально возможной длины. Всего челночным способом было уложено 39 км дренажа, средняя производительность дреноукладчика за смену составила 1950 м.

Основные преимущества новой схемы по сравнению с принятыми: работа дреноукладчика технологически не связана с применением механизмов для устройства приямков; возможна оценка работоспособности каждой дрены в течение всего периода эксплуатации. Основные недостатки: увеличение протяженности открытой осушительной сети; необходимость устройства большого числа устьев; непроизводительные затраты времени на переезд к началу дрены, которые, по данным исследований (табл. 21), составляют до 22 % всего времени смены.

По второй технологической схеме (см. рис. 7, *б*) экскаватором ЭТЦ-202А укладывают коллектор из гончарных труб, затем одно- или многоковшовым экскаватором разрабатывают приямок длиной 5 м для за-

21. Баланс сменного времени при строительстве дренажа дренаукладчиком МД-4 по различным технологическим схемам (см. рис. 7), %

| Показатели                                           | Технологическая схема |    |    |
|------------------------------------------------------|-----------------------|----|----|
|                                                      | а                     | б  | в  |
| Чистое время укладки                                 | 31                    | 25 | 38 |
| Повороты и переезды к началу дрен                    | 23                    | 20 | 9  |
| Установка бухт труб и рулонов ЗФМ                    | 9                     | 7  | 12 |
| Заглубление рабочего органа и заправка труб в машину | 7                     | 8  | 8  |
| Устранение дефектов труб и изоляции                  | 12                    | 9  | 9  |
| Соединение труб                                      | 7                     | 5  | 8  |
| Всего                                                | 89                    | 74 | 84 |
| ТО и ремонт машины                                   | 10                    | 8  | 11 |
| Простои по организационным причинам                  | 1                     | 18 | 5  |

глубления рабочего органа дренаукладчика МД-4. Глубина прямка достигает верхней точки коллектора с недобором грунта 5...10 см. После заглубления рабочего органа одновременно с укладкой трубы дорабатывают прямок вручную и присоединяют дрена к коллектору.

По этой схеме было уложено 32 км дренажа на двух объектах. Средняя сменная производительность составила 1560 м.

К основным недостаткам второй схемы следует отнести: необходимость использования дополнительного механизма для отрывки прямков и технологическая зависимость от него дренаукладчика, увеличение объема ручных работ при подсоединении дрен к коллектору, особенно в неустойчивых грунтах; значительные непроизводительные затраты времени на переезды к началу дрена. По данным хронометража, простои МД-4 из-за неисправности механизма, выполняющего прямки, а также из-за обрушения в них грунта составляют 10...12 % сменного времени.

Для устранения недостатков, присущих обеим схемам, была разработана и опробована на объекте "Силино" принципиально новая схема укладки пластмассового дренажа бестраншейным способом (см. рис. 7, в). В отличие от общепринятой схемы закрытый дренаж рекомендуется выполнять следующим образом: спиральным способом укладывать дрена машиной МД-4, а затем экскаватором ЭТЦ-202Б — коллектор с одновременным подсоединением к нему дрен.

При укладке коллектора экскаватор разрезает ранее уложенную трубу в месте ее пересечения с коллектором. Подсоединяют дрена к коллектору следующим образом: в стенке траншеи вокруг обрезанной ковшовой цепью трубы делают углубление 10...15 см, затем к очищенному концу трубы внахлестку присоединяют патрубок, который непосредственно соединяют с коллектором. Соединительный патрубок и места сопряжений изолируют фильтрующим материалом. На подсоединение дрена к коллектору затрачивается 4...6 мин.

При строительстве по данной схеме заглубление рабочего органа дренаукладчика МД-4 начинают с поверхности земли на глубину 4...5 м от начала

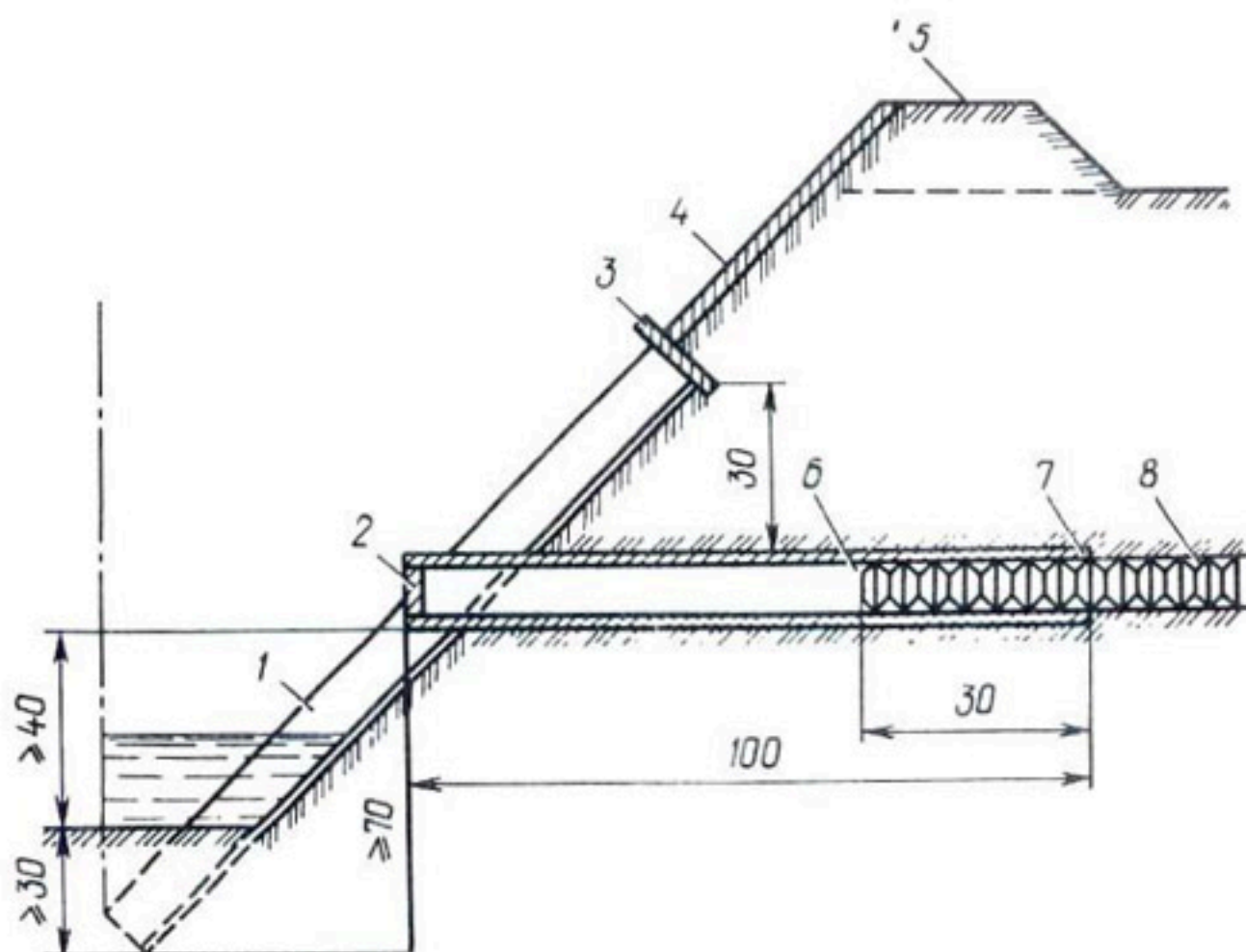


Рис. 8. Схема устья одиночной дрены:

1 – лоток из гладкой пластмассовой трубы; 2 – сварная решетка; 3 – заглушка лотка; 4 – одерновка откоса; 5 – насыпной валик; 6, 7 – трубопровод; 8 – пластмассовая труба.

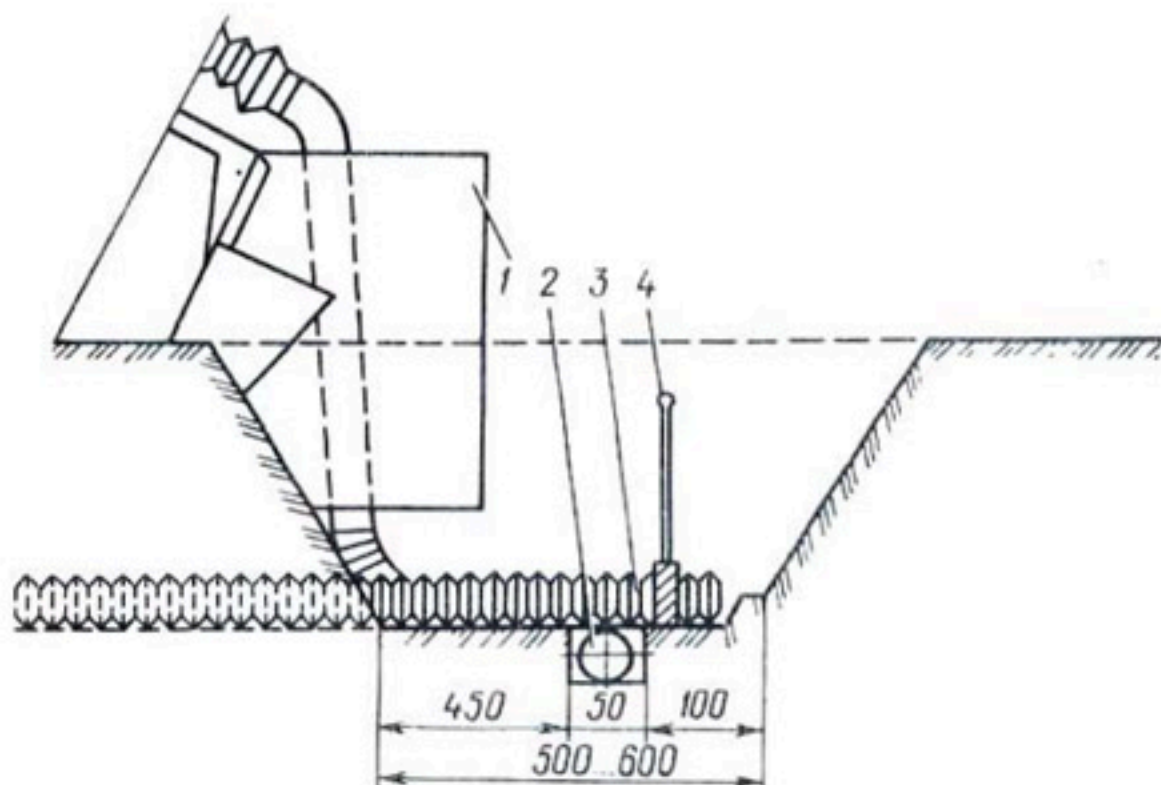


Рис. 9. Прямоук:

1 – бункер дренаукладчика; 2 – коллектор; 3 – пластмассовая труба; 4 – прижимная вилка.

дрены с таким расчетом, чтобы к моменту приближения машины к началу дрены рабочий орган находился на проектной глубине. После укладки рабочий орган выглубляют и разворачивают дренаукладчик. Средняя сменная производительность при укладке дренажа по этой схеме составила 2300 м.

На рис. 8 показана схема устья одиночной дрены, а на рис. 9 — приямок.

При глубине закладки дренажа более 1,3 м в неустойчивых грунтах при высоком стоянии уровня грунтовых вод, а также в зимний период наиболее целесообразно укладывать коллектор одноковшовым экскаватором. Движение ковша в местах пересечения дрен с коллектором должно быть параллельно поверхности земли, чтобы в случае разрыва трубы ковшем она не поднималась.

По результатам хронометража, проведенного на участках "Верный путь" и "Заря", средняя производительность бригады из четырех человек, занятой укладкой коллекторов на стеллажах (за одноковшовым экскаватором) с подсоединением ранее уложенных бестраншейным способом пластмассовых дрен, составляет в летний период 300...320 м, в зимний — 160...200 м.

Укладка пластмассового дренажа бестраншейным способом по данной технологической схеме имеет ряд преимуществ: работа дренаукладчика технологически не связана с применением других механизмов; увеличивается время чистой укладки труб за счет сокращения холостых переездов к началу дрены; повышается производительность дренаукладчика; сокращается число занятых рабочих.

Наиболее полно эффективность исследуемых технологий определяется коэффициентом использования рабочего времени смены  $K_{\text{и}}$ , который выражается отношением продолжительности чистой работы  $t_{\text{ч}}$  к суммарным затратам времени  $\Sigma t$ ,

$$K_{\text{и}} = t_{\text{ч}} / \Sigma t.$$

Степень технологичности процесса характеризуется коэффициентом  $K_{\text{тх}}$

$$K_{\text{тх}} = t_{\text{ч}} / (t_{\text{ч}} + t_{\text{тх}}),$$

где  $t_{\text{тх}}$  — продолжительность простоев по технологическим причинам. Коэффициент рабочих ходов  $K_{\text{р.х}}$  учитывает длительность чистой работы  $t_{\text{ч}}$  и холостых ходов  $t_{\text{х}}$ :

$$K_{\text{р.х}} = t_{\text{ч}} / (t_{\text{ч}} + t_{\text{х}}).$$

## 22. Зависимость использования рабочего времени от применяемой технологии (см. рис. 7)

| Показатель       | Технологическая схема |          |          |
|------------------|-----------------------|----------|----------|
|                  | <i>а</i>              | <i>б</i> | <i>в</i> |
| $K_{\text{и}}$   | 0,30                  | 0,25     | 0,38     |
| $K_{\text{тх}}$  | 0,36                  | 0,34     | 0,45     |
| $K_{\text{р.х}}$ | 0,57                  | 0,55     | 0,80     |

Результаты исследований позволяют сделать вывод, что наиболее перспективна для строительства бестраншейного дренажа технологическая схема в (табл. 22), которая дает возможность максимально использовать возможности бестраншейного дреноукладчика МД-4 в сочетании со строительством коллекторов траншейным способом. В настоящее время в Ленинградской области по этой схеме уложен дренаж на площади более 4000 га, и процесс внедрения продолжается.

## 7. Строительство бестраншейного дренажа зимой

Строительство дренажа не только в летний, но и в зимний период имеет ряд преимуществ: сокращается (или полностью устраняется) сезонность работы, обеспечивается более равномерная загрузка и занятость рабочих, уменьшается текучесть кадров, улучшаются условия финансирования со стороны строительных организаций, облегчается выполнение планов дренажных работ, создается возможность укладки на объектах, где по тем или иным причинам летом это затруднено, практически на год раньше осушаемые земли вводятся в эксплуатацию.

Строительство дренажа траншейным способом из гончарных труб в зимних условиях сопряжено с рядом трудностей: необходимо большое количество техники и людей для доставки и укладки труб; разложенные по трассе трубы часто примерзают к земле, а их торцы покрываются льдом, который приходится счищать, что снижает темпы укладки. Обледенение концов труб, сложности защиты дрен от заиливания и другие причины снижают качество зимнего дренажа.

При глубине промерзания более 5...7 см требуются дополнительные средства механизации для разрыхления мерзлого грунта. Резко возрастают нагрузки на все части многоковшового экскаватора, что приводит к частым его поломкам. В результате производительность укладки гончарного дренажа траншейным способом в зимний период составляет в среднем всего 200...300 м за смену.

Как показали исследования, гофрированные дренажные трубы из полиэтилена обладают достаточной гибкостью при температуре воздуха до  $-20^{\circ}\text{C}$ . Бухты легко разворачиваются, при этом перегибов, переломов и трещин труб не наблюдается. Изучение процесса строительства дреноукладчиком МД-4 в зимний период проводили на ряде объектов объединения "Ленмелиорация" (табл. 23).

Дреноукладчик МД-4 в агрегате с тягачом МД-5 обладает достаточным тяговым усилием для разрыхления мерзлого минерального грунта на глубину до 30 см, а мерзлого торфа — на 40 см. Образующаяся за рабочим органом щель смыкается сразу же после его прохождения.

Технология укладки гофрированных пластмассовых труб зимой принципиально не отличается от укладки их летом. Особенность процесса обусловлена необходимостью разработки замерзшего слоя грунта. При глубине промерзания до 20 см (участок "Мякря") дренаж укладывали на проектную глубину за один проход без предварительного рыхления мерзлого грунта. Производительность дреноукладчика была 650 м/ч чистой работы, средняя сменная производительность составила 1120 м.

На участке "Золотая долина" изучали способ предварительного прохода дренаукладочного комплекса по трассе без укладки трубопровода для прорезания слоя мерзлоты. В результате на трассе образовывались хаотические нагромождения глыб мерзлого грунта. Глыбы удаляли бульдозером. За второй проход дренаукладчиком МД-4 с тягачом МД-5 укладывали трубы на проектную глубину. Сменная производительность комплекса составила в среднем 850 м, максимальная производительность — 720 м/ч чистой работы; при этом потери сменного времени на предварительное рыхление мерзлого грунта составили более 20 %. Учитывая это обстоятельство, такой способ вскрытия мерзлоты может быть рекомендован в случаях, когда участки с глубиной промерзания более 20 см встречаются только на отдельных дренах (в местах пересечения дорог, неровностей рельефа и т. п.).

Второй исследуемый способ предварительного рыхления слоя мерзлоты — применение рыхлителя МГ-1-40, навешиваемого на задний мост трактора Т-130Г-1 с бульдозером. Этот же трактор используют для удаления глыб мерзлого грунта и расчистки трасс от снега. При глубине промерзания более 35 см для вскрытия мерзлоты необходимо делать два-три прохода. В результате производительность рыхлителя не превышает 500 м за смену. При такой глубине промерзания, чтобы исключить простои дренаукладчика на объекте, рекомендуется в комплексе машин применять два рыхлителя. Данные хронометража работы дренаукладочного комплекса МД-4, МД-5 на участке "Заря II" показали, что при предварительном рыхлении мерзлоты пассивным рыхлителем (типа МГ-1-40) производительность дренаукладчика за 1 ч чистой работы может в зимний период достигать того же уровня, что и летом. Однако из-за неблагоприятных погодных условий и технологической зависимости от механизмов, выполняющих расчистку дренажных трасс от снега и рыхление мерзлого грунта, средняя производительность дренаукладчика снижается. В табл. 24 приведены средние данные о производительности и распределении рабочего времени при летнем и зимнем строительстве дренажа по технологической схеме *a* (см. рис. 7, *a*).

### 23. Характеристика объектов исследования

| Участок          | Месяц и год строительства | Грунт                                                 | Температура воздуха, — °С | Глубина промерзания грунта, см |
|------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| "Мякряля"        | 12.1978                   | Торф (мощность 2 м, пенистость 4 %)                   | 5...10                    | 8...10                         |
| "Раздолье"       | 01.1978                   | То же (мощность 1,5 м)                                | 5...20                    | 10...12                        |
| "Золотая долина" | 03.1978                   | То же                                                 | 5...8                     | 30...35                        |
| "Холодный ручей" | 11.1978                   | Супеси (без каменных включений)                       | 7...10                    | 25...30                        |
| "Заря II"        | 02.1980                   | Пески-супеси (каменные включения крупностью до 30 см) | 5...10                    | 20...30                        |

**24. Техничко-эксплуатационные показатели  
строительства дренажа на минеральных грунтах**

| Показатели                                  | Строительство |       |
|---------------------------------------------|---------------|-------|
|                                             | летом         | зимой |
| Затраты времени, %:                         |               |       |
| на подготовку и организа-<br>цию работ      | 17            | 36    |
| на простои по технологичес-<br>ким причинам | 53            | 41    |
| Продолжительность чистой рабо-<br>ты, %     | 30            | 23    |
| Производительность, м:                      |               |       |
| за 1 ч чистой работы                        | 782           | 730   |
| за смену                                    | 1900          | 1280  |

Из сравнения производительности строительства дренажа в летних и зимних условиях видно, что за 1 ч чистой работы она существенно не отличается, однако летом за смену она на 30 % выше. По сравнению с укладкой керамического дренажа траншейным способом в зимних условиях устройство бестраншейного дренажа в это же время года позволяет повысить производительность в четыре-пять раз и значительно облегчить условия труда рабочих.

Для строительства бестраншейного дренажа в зимний период предлагается следующая технология: по трассам закрытого коллектора одноковшовым экскаватором разрабатывают открытый коллектор, а затем дренаж укладчиком МД-4 укладывают дренажи с выпуском в него. При этом необходимо соблюдать следующие условия: разрыв во времени между выполнением открытого коллектора и укладкой дренажа не должен превышать 1...2 сут во избежание промерзания откосов коллектора. Укладывать закрытый коллектор и подключать дренажи можно, если позволяют условия, одновременно с укладкой дренажей или же после прохождения весеннего паводка.

Точность выдерживания продольных уклонов дренажей, уложенных в зимний период, определяли путем контрольного нивелирования по рейке, установленной на трубоукладчике (табл. 25).

Из анализа данных контрольных нивелировок видно, что точность прокладки дренажа зависит как от температуры воздуха, так и от глубины промерзания грунта. Обобщенные результаты свидетельствуют, что когда при глубине промерзания более 20 см не проводили предварительного рыхления, отклонение от проектного уклона выше допустимого составляло 5...7 % общего числа измерений.

После предварительного вскрытия слоя мерзлоты или при глубине промерзания до 20 см отклонения профиля дренажа от проектного значения находились в пределах допуска. Установлено также, что при температуре воздуха ниже  $-15^{\circ}\text{C}$  из-за повышения вязкости масла в работе гидравлической системы контроля глубины укладки возникают погрешности — максимальные отклонения отметок дна щели от проектных на 8...14 мм выше допустимых.

## 25. Результаты контрольных нивелировок

| Участок          | Температура воздуха, —°С | Глубина промерзания грунта, см | Число дрен | Максимальное отклонение, см* | Примечания                     |
|------------------|--------------------------|--------------------------------|------------|------------------------------|--------------------------------|
| "Мякря"          | 5...10                   | 8...10                         | 5          | 15...18                      | Без предварительного рыхления  |
| "Раздолье"       | 15...20                  | 10...12                        | 7          | 34...37                      | То же                          |
| "Золотая долина" | 5...8                    | 30...35                        | 6          | 27...34                      | После рыхления мерзлого грунта |
|                  | 5...8                    | 30...35                        | 6          | 10...15                      |                                |
| "Холодный ручей" | 7...10                   | 25...30                        | 5          | 8...14                       | После рыхления МГ-1-40         |
| "Заря II"        | 5...7                    | 20...30                        | 5          | 15...18                      | То же                          |
|                  | 5...7                    | 20...30                        | 6          | 40...45                      | Без предварительного рыхления  |

\* Число отклонений выше допустимого значения составляло 7...9 на 100 м дренажа.

Необходимо отметить, что наличие погребенной древесины диаметром более 20 см (участок "Мякря") не оказало заметного влияния на производительность дреноукладчика и на точность его работы.

Анализ работы дреноукладчика МД-4 в зимний период показал эффективность его использования на участках, где в другие сезоны строительство дренажа затруднено. Так, на участке "Мякря" и в летнее время из-за непроходимости техники невозможно было строительство даже открытых каналов. В связи с этим дренаж устраивали после промерзания верхнего слоя торфа на глубину 8...10 см. Наличие замерзшего слоя обеспечивает проходимость дреноукладчика, а гибкость и непрерывность пластмассовых труб — возможность их укладки без стеллажей.

## 8. Строительство бестраншейного дренажа в слабопроницаемых грунтах

Как уже указывалось, эффективная работа дренажа в грунтах тяжелого механического состава возможна только при наличии надежной гидравлической связи между пахотным слоем и дренажной трубой, что может быть обеспечено путем устройства сплошной или пунктирной засыпки щели фильтрующим материалом.

На участке "Центральное отделение" совхоза "Красноозерный" был испытан сменный рабочий орган специальной конструкции к дреноукладчику МД-4, оборудованный бункером вместимостью 0,8 м<sup>3</sup>, для подачи в щель фильтрующего материала. В качестве такой засыпки использовали щебень, который завозили на участковый склад автосамосвалами. Погрузку щебня на складе, транспортировку к месту укладки дренажа и загрузку в бункер рабочего органа дреноукладчика выполняли тракторным погруз-

чиком ПЗ-0,8 с прицепом. Расход щебня составлял примерно  $0,08 \text{ м}^3/\text{м}$  дрены при высоте слоя засыпки над дренаем  $0,4...0,5 \text{ м}$ .

В процессе строительства погрузчик с прицепом двигался параллельно дрепоукладчику МД-4. Так как вместимость бункера невелика, то через каждые  $9...10 \text{ м}$  дрепоукладчик делал остановку для новой загрузки. Потери времени на это составили до 30 % сменного времени и значительно ограничили производительность дрепоукладчика, в результате чего она не превышала  $900 \text{ м}$  за смену. При такой производительности ежедневный расход фильтрующего материала составил  $70...80 \text{ м}^3$ , для его загрузки требовалось  $35...40$  рейсов автосамосвала ММЗ-500.

Результаты испытаний показали, что значительный объем материала фильтрующей засыпки ( $50...100 \text{ м}^3/\text{га}$ ), его высокая стоимость, необходимость привлечения большого числа машин для его доставки к щели, а также неизбежное снижение при этом производительности дрепоукладчика практически исключает массовое внедрение рабочего органа такой конструкции.

На этом же объекте исследовали технологию строительства вдоль трасс колонок-поглотителей для улучшения притока воды из пахотного слоя к дренам, уложенным бестраншейным способом. Колонки строили по двум отдельным схемам — после и до укладки дренажа. В первом случае через расчетные промежутки одноковшовым экскаватором разрабатывали прямки с недобором до трубы  $5...10 \text{ см}$  и с последующей доработкой их вручную. Затем прямки заполняли материалом фильтрующей засыпки с тракторной тележки или с металлического листа. В качестве засыпки использовали гравий и торфяную крошку. Расход материала составил  $60 \text{ м}^3/\text{га}$ . По второй схеме вначале вдоль трасс устраивали колонки-поглотители (при этом глубина поглотителей была несколько больше глубины закладки дрена), а затем бестраншейным способом укладывали дрены.

Как показали раскопки дренажных систем, при устройстве колонок до прохода дрепоукладочного комплекса происходит смешивание фильтрующей засыпки с основным грунтом, что резко ухудшает фильтрационные свойства колонок. В случае устройства колонок после прокладки дрена при отрывке шурфа повреждаются пластмассовые трубы, а это требует дополнительных работ по замене поврежденного участка новым.

Для строительства дренажных систем с колонками не требуется специальных машин для засыпки в прямки фильтрующих материалов, кроме того, не снижается производительность дрепоукладчика, так как поглотители могут быть выполнены как до начала строительства дренажа, так и после него. Однако большой расход фильтрующих материалов, значительные объемы перевозок, необходимость привлечения дополнительных механизмов для устройства прямков существенно ограничивает применение такой конструкции дренажных систем.

Наиболее совершенна и перспективна для массового внедрения при осушении грунтов тяжелого механического состава дренажная система с фильтрующими элементами, изготавливаемыми промышленными методами. Такие элементы в виде готовых блоков устанавливают в щель через расчетные промежутки по непрерывной технологии (рис. 10).

Для установки элементов на рабочий орган дрепоукладчика навешивают

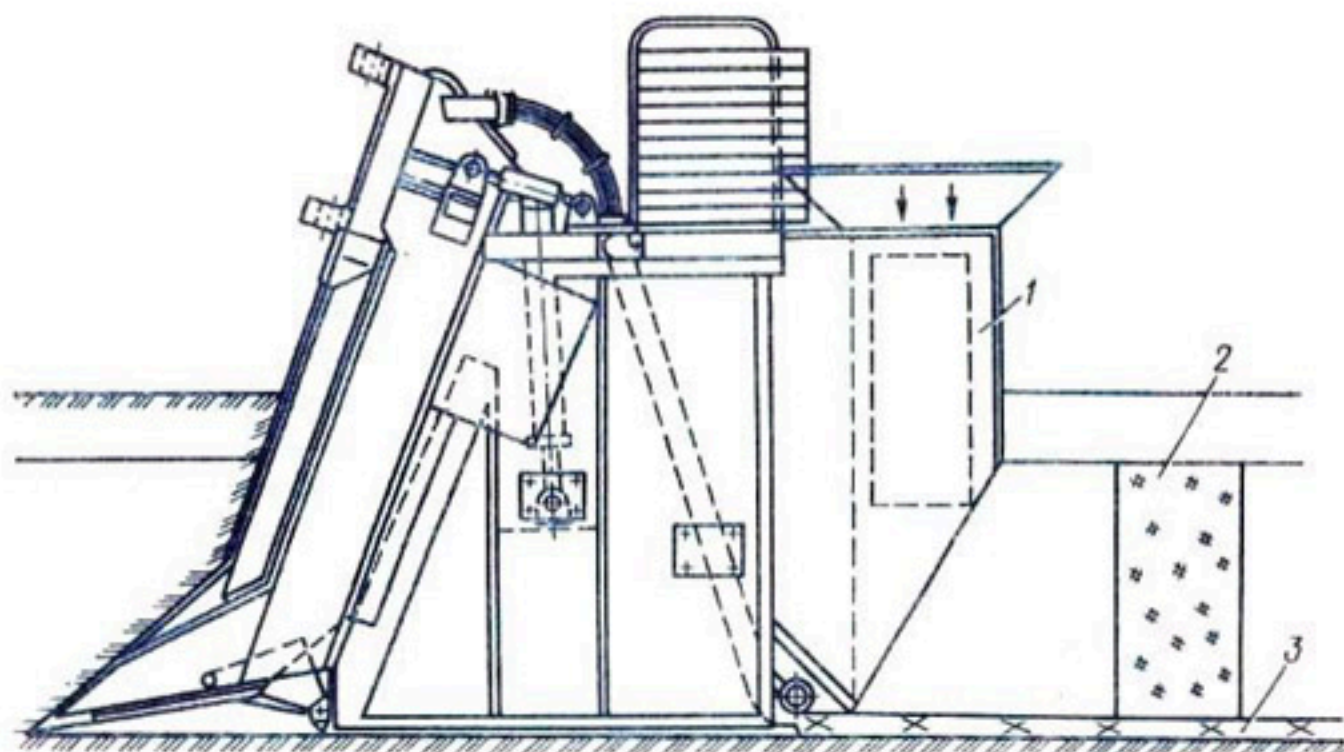


Рис. 10. Схема укладки фильтрующих элементов:

1 — приставка; 2 — фильтрующий элемент; 3 — дренажная труба.

вают дополнительный бункер со спускным желобом. После заглубления рабочего органа на площадке складировать фильтрующие элементы в количестве, необходимом для укладки на данной дрене. Места установки элементов обозначают на копирном тросе. В процессе движения дреноукладчика рабочий в этих местах через приставку опускает элементы в щель. Учитывая, что рабочая скорость машины  $0,2 \dots 0,4$  м/с, то при расположении элементов через  $3 \dots 5$  м у рабочего имеется  $8 \dots 25$  с на установку каждого.

В настоящее время в Ленинградской области предусмотрено строительство бестраншейного дренажа по непрерывной технологии с применением фильтрующих элементов из торфоблоков на площади более 2000 га.

Как уже указывалось, наиболее целесообразно для заполнения дренажной щели использовать местные грунты, залегающие непосредственно на объекте строительства. На тяжелых грунтах наибольшей проницаемостью обладает пахотный слой. Однако в зависимости от окультуренности, структурности, а также механического состава проницаемость этого слоя может меняться в широких пределах.

Процесс засыпки дренажной щели местными грунтами легко механизировать с помощью специальных присыпателей, навешиваемых на рабочий орган бестраншейного дреноукладчика. Так, разработан присыпатель плужного типа, срезающий и подающий грунт пахотного слоя на скользящую стенку, которая обеспечивает равномерное заполнение щели.

В случае двучленного строения почвенного профиля рекомендуется использовать присыпатель ступенчатого типа. При движении дреноукладчика он послойно срезает грунт по обе стороны щели и последовательно подает его в полость. Верхние, наиболее проницаемые слои при этом оказываются в нижней части щели, а нижние, менее проницаемые, — разрыхляются.

Заполнение дренажной щели местными проницаемыми грунтами необходимо сочетать с глубоким рыхлением придренной зоны. Для этого наиболее целесообразно использовать V-образный рыхлитель конструкции ВНИИГиМа, агрегируемый с трактором К-701 или Т-130. Агрегат обеспечивает рыхление подпахотных горизонтов до глубины 1,2 м.

При необходимости возможна предварительная обработка грунта в придренной зоне различными химмелиорантами, что позволит улучшить и стабилизировать его водопроницаемость (например, с помощью рыхлителя РГН-1,2 конструкции ВНИИГиМа).

## 9. Способы защиты дренажных труб от заиливания

Необходимое условие при строительстве бестраншейного дренажа из пластмассовых труб — их обертывание защитно-фильтрующими материалами (ЗФМ). Качественно выполненное покрытие обеспечивает работоспособность таких труб в течение всего расчетного срока эксплуатации.

В связи с тем что заводы-изготовители поставляют дренажные трубы необернутыми, были исследованы способы их покрытия различными материалами.

Исследования проводили на установке СНУ-I (с холстами марок ВВ-Г и ВВ-Н), а также с использованием приспособления для покрытия труб стеклохолстом марки ВВ-АМ непосредственно на дреноукладчике МД-4. На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

стеклохолсты ВВ-Г и ВВ-Н имеют невысокие прочностные характеристики, в связи с чем при транспортировке, погрузочно-разгрузочных работах и установке труб на бухтодержатель, а также в процессе их укладки повреждается до 50 % общей площади покрытия;

при выполнении всех технологических операций с обернутыми этими холстами трубами выделяется значительное количество стеклянной пыли, что создает вредные условия труда;

покрытие труб на базе ПМК должно выполнять звено в составе не менее 3 чел.;

при обертывании труб на дреноукладчике ручной привод приспособления ограничивает скорость процесса до 0,20 м/с, или до 720 м/ч, что, в свою очередь, ограничивает рабочую скорость машины. Кроме того, отсутствие синхронности в работе дреноукладчика и приспособления приводит к частым обрывам ленты, потери времени на их устранение составляют 5...7 % сменного.

Для устранения перечисленных недостатков было разработано и установлено на дреноукладчике МД-4 устройство для обертывания пластмассовых труб стеклохолстом ВВ-АМ. Устройство не имеет приводных механизмов и позволяет полностью механизировать процесс при любых рабочих скоростях дреноукладчика, причем достигается хорошее качество покрытия. Перед началом работы ленту стеклохолста вручную с помощью капроновой нити закрепляют на гофрированной дренажной трубе между безынерционной катушкой и тормозным устройством (нить предварительно

наматывают на катушку). В процессе укладки труба тянет за собой ленту. Лента, проходя через формователь, обертывает дренажную трубу по спирали с шагом 15...20 см и закрепляется на ней нитью, сматываемой с катушки. Необходимое натяжение нити обеспечивает тормозное устройство.

После испытаний аналогичные устройства были установлены на пятнадцати дреноукладчиках МД-4 и до настоящего времени с успехом используются в различных областях Нечерноземной зоны РСФСР.

Наряду со стеклохолстом исследовали возможность применения нетканого полотна, изготовленного из отходов на Суворовской фабрике объемной пряжи.

Учитывая, что длина полотна в рулоне всего 50...60 м (толщина 4...5 мм), использование его для покрытия труб непосредственно на дреноукладчике нецелесообразно в связи с тем, что в течение смены для изоляции 1,5...2,0 км труб приходится сменять катушку с рулоном 30...40 раз. Потери сменного времени на установку рулонов и их соединение составляют до 20...25 %.

В настоящее время пластмассовые дренажные трубы покрывают защитно-фильтрующими материалами на Ленинградском заводе железобетонных изделий на стационарной установке конструкции ВНИИГиМа. Для закрепления ЗФМ в процессе покрытия трубы на нее сверху одновременно натягивают тонкую пластмассовую сетку. Установку обслуживают 3 чел., производительность 3...3,5 км за смену.

Для защиты труб бестраншейного дренажа рекомендован ряд материалов (табл. 26).

26. Краткая характеристика защитно-фильтрующих материалов

| Показатели                                           | Холст –<br>стекловолокон-<br>но (ВВ-АМ) | Нетканое полотно                                           |                                      |                                       | Полиэтиленовый холст<br>(ЦЭ-холст) |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
|                                                      |                                         | иглопро-<br>бивное за-<br>щитно-изо-<br>лирующее<br>(СИЗИ) | клееное<br>мелиоратив-<br>ное (НКЛМ) | каркасное<br>мелиоратив-<br>ное (НКМ) |                                    |
| Толщина, мм                                          | 0,7                                     | 4,5                                                        | 0,8                                  | 0,9                                   | 1,0                                |
| Ширина, мм                                           | 150...500                               | До 1600                                                    | 150...500                            | 150...500                             | 150...500                          |
| Плотность, г/м <sup>2</sup>                          | 100                                     | 200                                                        | 100                                  | 246                                   | —                                  |
| Диаметр волокна,<br>мм                               | 15                                      | 15                                                         | 15                                   | 15                                    | 40...60                            |
| Прочность на раз-<br>рыв полосы ши-<br>риной 5 см, Н | 40                                      | 50                                                         | 50                                   | 50                                    | 75                                 |
| Длина холста в ру-<br>лоне, м                        | 200                                     | 60                                                         | 60                                   | 60                                    | 60                                 |
| Ориентировочная<br>стоимость 1 м <sup>2</sup> , р.   | 0,22                                    | 0,406                                                      | 0,387                                | 0,572                                 | 0,28                               |

Примечания. 1. Поперечная усадка при растяжении с нагрузкой 20 Н составляет для всех материалов 5 %, овальность рулона – 10 %; диаметр рулона – 500 мм. 2. ВВ-АМ применим только при обертке пластмассовых труб в процессе укладки.

Лучшие результаты могут быть достигнуты при использовании на этой же установке приспособления для покрытия дренажных труб объемным фильтром, состоящим из пластмассовой сетки и органического заполнителя (торфа, пушицы).

В перспективе операцию покрытия необходимо выполнять в заводских условиях в процессе изготовления труб. Это позволит снизить их себестоимость и обеспечить высокое качество покрытия.

Значительный резерв повышения производительности дреноукладчика МД-4 — сокращение времени отдельных операций технологического процесса. По данным табл. 22, продолжительность установки бухт и рулонов покрытия, а также соединения труб и устранения дефектов составляет 21...27 % сменного времени. Это время может быть сведено до минимума в случае поставки на объект обернутых труб в сменных барабанах большой вместимости (2 км) конструкции ВНИИВодполимера. Поставка труб в таких барабанах позволит, кроме того, сократить транспортные расходы, время на доставку труб к месту укладки, а также улучшить условия их хранения.

## **Глава 4. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТРОИТЕЛЬСТВА ДРЕНАЖА БЕСТРАНШЕЙНЫМ СПОСОБОМ**

### **10. Организация работ**

Большие потенциальные возможности и сравнительно высокая стоимость дреноукладчика МД-4 предполагают его эффективное использование. Однако повышение его производительности за счет увеличения рабочих скоростей укладки и сокращения технологических потерь времени имеет пределы. Поэтому резервы следует искать в уменьшении затрат труда и совершенствовании организации работ.

Хронометрические данные показывают, что основные потери рабочего времени дреноукладочных бригад связаны с отставанием подготовки фронта работ на объектах мелиорации, тогда как подготовительный цикл должен идти опережающими темпами по четко спланированным графикам. До начала укладки дренажа должны быть выполнены следующие работы: рекогносцировка объекта, составление графика работ дреноукладочного комплекса; подготовка объекта к строительству; расчистка и планировка трасс; предварительное осушение; определение потребности в дренажных материалах, их доставка на объекты строительства и складирование; выбор технологической схемы работ, основных механизмов и дополнительного оборудования.

Рекогносцировку объекта выполняют после изучения проектно-сметной документации за 2...3 мес до начала строительства с целью своевременного выявления природно-хозяйственных условий, влияющих на эффективность работ. При этом уточняются: климатические условия объекта; наличие поверхностного и скрытого камня; условия проходимости для строительных и транспортных машин; наличие древесно-кустарниковой расти-

тельности, дернины; размеры и конфигурация объекта; удаленность от базы; наличие подъездных путей.

По материалам рекогносцировки с учетом сроков ввода объектов в эксплуатацию должен быть составлен календарный план-график производства работ. Если годовой объем укладки дренажа в одной ПМК недостаточен для полной загрузки дреноукладчика, план-график составляют с учетом использования машины в нескольких ПМК. Наличие такого плана позволит производителю работ своевременно выполнить комплекс подготовительных операций и завести на объект необходимые дренажные материалы. Опыт показывает, что дреноукладчик МД-4 целесообразно использовать на объектах только при наличии фронта работ не менее 20...30 км. Степень готовности объекта к строительству дренажа определяет комиссия в составе главного инженера ПМК, производителя работ и бригадира дренажной бригады.

В летний период при большой протяженности светового дня, когда условия для укладки наиболее благоприятны, наиболее целесообразно работать по скользящему графику (при удлинненном рабочем дне), что позволит довести месячную производительность дреноукладчика МД-4 до 60...70 км.

Организация труда при строительстве дренажа бестраншейным способом в значительной мере зависит от правильного подбора объектов. Для строительства в зимний период необходимо подбирать объекты с малой глубиной промерзания и высоким стоянием уровня грунтовых вод, чтобы к началу полевых работ обеспечить сработку уровней, а также те объекты, проходимость дреноукладчика на которых в другие сезоны затруднена. Весной и осенью, когда пахотный слой значительно переувлажнен, дренаж следует укладывать на объектах с устойчивым дерновым покровом, который обеспечивает хорошую проходимость машины. На тяжелых грунтах дренаж бестраншейным способом наиболее целесообразно строить летом при наименьшей влажности подпахотных горизонтов одновременно с глубоким рыхлением грунтов.

Подготовка объекта к строительству включает: предварительное осушение путем прокладки временных осушителей; устройство проходов для дреноукладчиков в неразравненных кавальерах; подготовку путей для движения строительных машин и для доставки дренажных материалов к месту укладки; вынос проекта в натуру; расчистку и планировку трасс; устройство "корыта" в местах, где проектная глубина дрены больше глубины копания дреноукладчика; предварительный проход трасс рыхлителем с целью облегчения последующей разработки грунта, удаления камней и других препятствий.

Перечисленные работы выполняют в конкретных случаях в зависимости от потребности в них, от местных условий, применяемых механизмов и технологических схем.

Предварительно расчищают и планируют трассы, если невозможно очистить всю площадь объекта от древесно-кустарниковой растительности и поверхностных камней. Трассы очищают на ширину 6 м от деревьев и кустарников, пней и камней; срезают неровности свыше 30 см. Ямы, канавы и другие понижения засыпают.

Выносить проект в натуру целесообразно в два этапа: разбивка в плане до расчистки и планировки трасс путем разметки осей коллекторов и дренажей; вертикальная разбивка после очистки и планировки трасс путем установки пикетных точек и их нивелировки.

По результатам выноса проекта в натуру мастер выдает дренажной бригаде ведомости разбивки с указанием проектной глубины дренажей, данных о размещении и конструкции сооружений, а также фрагменты плана дренажной системы с указанием ее вида, количества необходимых материалов и конструкций.

Дренажные материалы и конструкции обычно доставляют также в два этапа: вначале на приобъектный склад, а затем к месту укладки. Предварительно на объект стараются завезти около 30...40 % всех материалов, а в ходе строительства поддерживают их запас из расчета не менее чем на 7...10 дней работы.

Пластмассовые дренажные трубы в зависимости от условий работы доставляют к месту укладки в бухтах и развозят по трассам или по узловым пунктам. Соединительные детали, конструкции и рулонные ЗФМ на приобъектном складе комплектуют по размерам и ассортименту и доставляют в упакованном виде непосредственно к дренажнику. Вплоть до момента укладки они должны быть защищены от воздействия влаги и солнечных лучей.

Эффективное использование бестраншейных дренажников в значительной мере зависит от согласованности их работы с траншейными и одноковшовыми экскаваторами, прокладывающими коллекторы и готовящими прямки.

## 27. Перечень машин, применяемых для строительства пластмассового дренажа

| Наименование машин                                  | Число машин на укладке дренажа от коллектора |           | Выполняемая работа                                      |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------|
|                                                     | закрытого                                    | открытого |                                                         |
| Бульдозер Д-493                                     | 0,3                                          | 0,1       | Планировка трасс, засыпка прямков и коллекторов         |
| Трактор с прицепом ДТ-75БВ                          | 0,3                                          | 0,7       | Доставка дренажных материалов                           |
| Дренажник МД-4                                      | 1                                            | 1         | Укладка дренажа из пластмассовых труб                   |
| Тягач МД-5                                          | 1                                            | 1         | Буксировка дренажника                                   |
| Многоковшовый (или одноковшовый) экскаватор ЭО-2621 | 1                                            | —         | Укладка коллектора, отрывка прямков, извлечение валунов |

Примечание. При работе в зимний период в комплекс машин должны быть включенырыхлители (по трассам дренажа).

Технологический процесс строительства бестраншейного дренажа состоит из трех циклов: подготовительного, основного и заключительного. Операции основного цикла выполняют дреноукладочным комплексом, подготовительного и заключительного — комплектами машинами, в число которых входят многоковшовый экскаватор-дреноукладчик ЭТЦ-202А, бульдозер Д-493 и трактор ДТ-75.

Расчет необходимого числа машин может быть выполнен линейным методом по следующей зависимости:

$$n = t_1/t_2 = \frac{\Sigma l/P_1}{L_1/P_2 + L_n/P_3},$$

где  $n$  — число бестраншейных дреноукладчиков, приходящееся на один траншейный, шт.;  $t_1$  — продолжительность работы бестраншейных дреноукладчиков при устройстве дрен, ч;  $\Sigma l$  — общая длина дрен, м;  $P_1$  — производительность бестраншейных дреноукладчиков на строительстве дрен, м/ч;  $L_1$  — суммарная длина коллекторов, м;  $L_n$  — общая длина прямков, м;  $P_2$  — производительность траншейных дреноукладчиков на строительство коллекторов, м/ч;  $P_3$  — то же, на отрывке прямков, м/ч.

Средние значения показателей системы, приведенные по данным полевых исследований, приведены в табл. 27, состав бригады — в табл. 28.

28. Состав бригады

| Профессия               | Разряд | Численность, чел. | Выполняемая работа                                                                                                      |
|-------------------------|--------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Машинист дреноукладчика | VI     | 1                 | ТО, подготовка дреноукладчика к работе, управление дреноукладчиком                                                      |
| Машинист тягача         | VI     | 1                 | ТО, сцепка машин, управление тягачом, подготовка тягача к работе и натяжение копирного троса                            |
| Помощник машиниста      | V      | 1                 | Участие в ТО дреноукладчика, установка бухты, контроль продвижения трубы, соединение отрезков и оформление истока дрены |
| Укладчик труб           | IV     | 1                 | Закрепление трубы прижимной вилкой, соединение дрены с коллектором (устройство устьев)                                  |
| " "                     | IV     | 1                 | Установка упоров и натяжение копирного троса, устройство устьев                                                         |
| Машинист трактора       | V      | 1                 | Доставка дренажных материалов                                                                                           |
| Машинист-бульдозерист   | VI     | 1                 | ТО, управление бульдозером при планировке трасс, доставке дренажных материалов и обратной засыпке траншей               |
| Машинист экскаватора    | VI     | 1                 | ТО, управление экскаватором при отрывке прямков                                                                         |

Примечание. При работе с лазерной установкой УКЛ-1 или с системой радиопередачи состав бригады сократится на одного рабочего, занятого на установке копирного троса.

## 11. Техничко-экономические показатели строительства

Основные технико-экономические показатели строительства закрытого дренажа: состав звеньев и число в них рабочих, состав машин и оборудования, часовая и годовая производительность, удельные объемы работ на 1000 м дренажа, потребность в технике и рабочей силе, число звеньев, стоимость 1 машино-ч и заработная плата, а также отпускная цена машин и оборудования, их себестоимость, удельные капитальные вложения, трудоемкость на 1000 м дренажа и производительность труда.

Эталоном для сравнения качества укладки дренажа укладчиком МД-4 по различным технологическим схемам (см. рис. 7) служила существующая технология строительства дренажа траншейным способом с применением экскаватора ЭТЦ-202А. Объем работ определяли расчетным путем исходя из технических требований к выполнению отдельных операций. За основу расчета принимали объемы работ, приходящиеся на 1 км закрытой дренажной сети (0,07 км – коллекторной и 0,93 км – дренажной).

Планировку трассе дрен и коллекторов рассчитывали с учетом ширины трассы и принимали равной  $4000 \text{ м}^2$  ( $4 \times 1000 \text{ м}$ ).

Число прямков соответствует числу дрен (7 шт.). Длина одного прямка 5...6 м, длина коллектора 70 м.

Погрузка, разгрузка и доставка материалов:

а) расход керамических труб на 70 м коллектора составляет

$$3 \times 70 \times 1,1 \times 4,03 = 931 \text{ кг.}$$

Здесь 1,1 – коэффициент, учитывающий 10 % боя труб; 4,03 – масса одной 100-мм трубы, кг;

б) расход керамических труб на 930 м дренажа диаметром 50 мм:

$$3 \times 930 \times 1,5 \times 1,1 = 4603 \text{ кг.}$$

Массу дренажной арматуры и стеклохолста принимаем условно равной 10 % массы основного строительного материала. В этом случае расход материалов при строительстве дренажа траншейным способом (существующая технология) составит

$$(4603 + 931) \times 1,1 = 6087,4 \text{ шт.}$$

Расход материалов при строительстве по новой технологии равен  $(931 + 250) \times 1,1 = 1290 \text{ кг.}$

Засыпка,  $\text{м}^3$ :

$$\text{коллекторов} \quad 70 \times 1,8 \times 0,5 = 63;$$

$$\text{прямков} \quad 42 \times 1,7 \times 0,5 = 36;$$

$$\text{дрен} \quad 930 \times 1,2 \times 0,5 = 558.$$

Себестоимость строительства 1000 м дренажа включает стоимость материалов (табл. 29), эксплуатационные расходы (табл. 30) и стоимость восстановления плодородия почвы, нарушенного в процессе работ.

Расходы на восстановление плодородия почвы составляют  $195,4 \times 0,1 = 19,5 \text{ р.}$  на 500 м дренажа, построенного траншейным способом, где 195,4 р. – расходы органических удобрений (на торфяной основе), приходящиеся на 1 га, в областях Нечерноземной зоны РСФСР; 0,1 – коэф-

## 29. Расход материалов и их стоимость

| Трубы и материалы                      | Базовая технология                              |                 |                  | Новая технология       |                 |                  |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------|------------------|------------------------|-----------------|------------------|
|                                        | расход на<br>1000 м                             | стоимость, р.   |                  | расход<br>на<br>1000 м | стоимость, р.   |                  |
|                                        |                                                 | на едини-<br>цу | на весь<br>объем |                        | на едини-<br>цу | на весь<br>объем |
| Трубы диаметром,<br>мм:                |                                                 |                 |                  |                        |                 |                  |
| керамические                           |                                                 |                 |                  |                        |                 |                  |
| 50                                     | 3069 труб                                       | 53,5            | 164              | —                      | —               | —                |
| 100                                    | 231                                             | 145,0           | 33,4             | 231                    | 145,0           | 33,40            |
| пластмассовые                          |                                                 |                 |                  |                        |                 |                  |
| 63                                     | —                                               | —               | —                | 936                    | 300             | 280,0            |
| Стеклохолст для<br>труб диаметром, мм: |                                                 |                 |                  |                        |                 |                  |
| 53 и 63                                | $\frac{936 \times 400}{1000} = 372 \text{ м}^2$ | 0,22            | 81,8             | 372                    | 0,22            | 81,8             |
| 100                                    | $\frac{70 \times 600}{1000} = 42 \text{ м}^2$   | 0,22            | 9,2              | 42                     | 0,22            | 9,2              |
| Всего:                                 |                                                 |                 | 288,4            |                        |                 | 404,4            |

Примечание. Расход труб принят с учетом потерь 10 % на керамические и 0,7 % на пластмассовые.

коэффициент снижения плодородия почв в связи со строительством дренажной сети траншейным способом ("Нормативно-методические и справочные материалы для обоснования технорабочих проектов", утвержденные Минводхозом СССР).

Потребность в технике определяли в зависимости от производительности машин и удельных объемов работ. Удельные капитальные вложения рассчитывали с учетом коэффициента перехода от оптово-отпускной цены к расчетно-балансовой стоимости техники.

Годовой экономический эффект от внедрения новой технологии определяли по формуле

$$\mathcal{E} = [C_c - C_n + 0,15 (K_c - K_n)] P_T,$$

где  $C_c$ ,  $C_n$  — себестоимость строительства 1000 м дренажа соответственно по существующей и по новой технологии;  $K_c$ ,  $K_n$  — удельные капитальные вложения при строительстве дренажа соответственно по существующей и по новой технологии; 0,15 — нормативный коэффициент;  $P_T$  — годовая производительность машин при работе по новой технологии.

Анализируя полученные технико-экономические показатели строительства пластмассового дренажа с применением бестраншейного дренаукладчика МД-4, можно сделать следующие выводы.

По сравнению с существующей технологией строительства керамического дренажа экскаватором ЭТЦ-202А применение бестраншейного дренаукладчика МД-4 позволит сократить в зависимости от используемой техно-

30. Стоимость 1 ч работы машин, р.

| Наименование затрат            | ЭТЦ-202А |          |                | Д-493 |          |                | ДТ-75БВ |          |                | МД-4  |          |                | МД-5  |          |                |
|--------------------------------|----------|----------|----------------|-------|----------|----------------|---------|----------|----------------|-------|----------|----------------|-------|----------|----------------|
|                                | всего    | зарплата | прочие расходы | всего | зарплата | прочие расходы | всего   | зарплата | прочие расходы | всего | зарплата | прочие расходы | всего | зарплата | прочие расходы |
|                                |          |          |                |       |          |                |         |          |                |       |          |                |       |          |                |
| Заработная плата               | 4,93     | 4,93     | —              | 1,06  | 1,06     | —              | 2,27    | 2,27     | —              | 4,34  | 4,34     | —              | 1,06  | 1,06     | —              |
| Амортизационные отчисления     | 1,86     | —        | 1,86           | 1,04  | —        | 1,04           | 0,49    | —        | 0,49           | 6,23  | —        | 6,23           | 4,07  | —        | 4,07           |
| ТО и текущий ремонт            | 0,79     | 0,33     | 0,46           | 0,96  | 0,40     | 0,56           | 0,90    | 0,38     | 0,52           | 1,10  | 0,46     | 0,64           | 0,96  | 0,40     | 0,56           |
| Топливосмазочные материалы     | 0,46     | —        | 0,46           | 0,51  | —        | 0,51           | 0,40    | —        | 0,40           | 1,33  | —        | 1,33           | 1,33  | —        | 1,33           |
| Единовременные затраты         | 0,02     | 0,01     | 0,01           | 0,09  | 0,04     | 0,05           | 0,21    | 0,09     | 0,12           | 0,35  | 0,19     | 0,16           | 0,28  | 0,16     | 0,12           |
| Всего                          | 8,06     | 5,27     | 2,79           | 3,65  | 1,5      | 2,15           | 4,27    | 2,74     | 1,53           | 13,35 | 4,99     | 8,36           | 7,70  | 1,62     | 6,08           |
| Коэффициент косвенных расходов | 1,2      | 1,3      | 1,1            |       | 1,3      | 1,1            |         | 1,3      | 1,1            |       | 1,3      | 1,1            |       | 1,3      | 1,1            |
| Итого                          | 9,91     | 6,85     | 3,06           | 4,31  | 1,95     | 2,36           | 5,22    | 3,54     | 1,68           | 15,7  | 6,5      | 9,2            | 8,8   | 2,10     | 6,7            |

Примечание. Стоимость 1 машино-ч работы комплекса МД-4, МД-5 – 24,5 р.

логической схемы трудоемкость строительства в три — пять раз, стоимость строительных работ и расходы на заработную плату в два-три раза, повысить производительность за смену в четыре-пять раз.

Годовой экономический эффект, рассчитанный без учета стоимости материалов, в зависимости от применяемой технологической схемы, которая обуславливает эксплуатационную производительность, повысится в три-четыре раза. При этом экономический эффект в результате внедрения дренаукладочного комплекса МД-4, МД-5 может быть получен при условии, что будет обеспечена расчетная годовая производительность.

Значительное (в полтора-два раза) увеличение годового экономического эффекта от применения дренаукладчика МД-4 может быть получено в том случае, если строительство будут вести без использования тягача МД-5.

## **Глава 5. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБОРУДОВАНИИ, ПРИМЕНЯЕМОМ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА БЕСТРАНШЕЙНОГО ДРЕНАЖА ЗА РУБЕЖОМ**

Бестраншейный дренаж в зарубежных странах получил достаточно широкое распространение. Ниже даны краткие сведения о наиболее известном зарубежном оборудовании, применяемом для этого вида строительства.

Система Баджер английской фирмы "Хадсвелл йейтс Девелопмент ЛДТ" представляет собой комплекс машин и оборудования, предназначенных для укладки гибких труб и кабеля диаметром до 200 мм на глубину до 1,7 м, а также жестких или полужестких труб диаметром до 600 мм на глубину до 3,0 м. В систему входят дренаукладчики Баджер Майнер, Баджер Мейджер и Баджер Клейтон.

Рабочее оборудование дренаукладчиков Баджер — нож с наклонной под углом  $35...50^\circ$  режущей кромкой, непосредственно трубоукладочное оборудование в виде спускного лотка или дренажера (уширителя), закрепляемого снизу и сзади ножа, и бункер для приема и подачи сыпучего фильтрующего материала. Труба, укладываемая на дно щели, получается защищенной от возможных ударов и равномерно обжатой грунтом после смыкания щели. Нож при резании грунта образует в нем трещины, способствующие проникновению в дрены воды. Для обеспечения гидравлической связи между пахотным слоем и дренай применяется фильтрующий заполнитель (гравий). В результате одновременно с глубоким рыхлением, разрушающим водонепроницаемый слой, обеспечивается быстрое проникновение воды в заполнитель, а через него — в дренай.

Трубы укладывают путем опускания или затаскивания. В первом случае гибкую трубу в процессе перемещения рабочего оборудования опускают на дно прорезаемой ножом щели сверху по спускному лотку. Перед укладкой конец трубы заякоривают в предварительно открытом заходном шурфе. Во втором случае жесткую или полужесткую трубу протаскивают снизу заходного шурфа непосредственно в грунтовой полости, прорезаемой дренайером. Перед укладкой конец трубы скрепляют с дренайером.

Машина Баджер Майнер укладывает гибкие трубы диаметром 100 мм и жесткие диаметром до 300 мм на глубину до 1,7 м. Рабочее оборудование навешивают на гусеничный трактор ВДТ-20 фирмы "Интернешенл Харвестер" с дизельным двигателем Роллс-Ройс мощностью 100 кВт или на трактор Катерпиллер Д-8Н с двигателем 199 кВт. Производительность агрегата при укладке труб диаметром 150 мм методом опускания — 6...10 км за смену, а методом затаскивания труб диаметром 300 мм на глубину 1,7 м — 13 км в день.

Дреноукладчик Баджер Линкидж — последний вариант разработки системы Баджер — предназначен для укладки труб диаметром до 110 мм на глубину 1,7 или 2,13 м. Базой для навешивания рабочего оборудования служит гусеничный трактор Катерпиллер Д-8, Интернешенл Харвестер ТД-25 или Аллис Чалмерс НД-21 массой 20...27 т, мощностью двигателя 166...240 кВт. Экспортируется в США, Канаду и ряд западноевропейских стран.

Конструкция навески аналогична примененной на дреноукладчике Баджер Майнер. Тяговое сопротивление рабочего оборудования изменяется в пределах 200...600 кН в зависимости от толщины ножа, глубины резания, а также от грунтовых условий. Тяговое усилие на 1-й передаче при скорости 1 км/ч составляет 300...500 кН, производительность за смену достигает 11 км.

Уклон дрен при работе бестраншейных дреноукладчиков Баджер регулируется автоматически с помощью лазерной аппаратуры Лайзерплайн-систем, состоящей из переносного излучателя с вращающимся лучом, приемника, расположенного на телескопической стойке ножа, и пульта управления, находящегося в кабине трактора; дальность действия лазерной системы 300 м. Предусмотрен также полуавтоматический способ регулировки по командам оператора, следящего по теодолиту за положением мишени, закрепленной на ноже. Оператор передает команды управления с пульта на рабочий гидроцилиндр по кабелю длиной 230 м, сматываемому с барабана дреноукладчика, или с помощью радиоаппаратуры.

В комплект машин системы входит также полуприцепной погрузчик, смонтированный на двух колесах и агрегируемый с колесным трактором. Гравий транспортером подается из бункера погрузчика в бункер дреноукладчика. В процессе выгрузки погрузчик движется рядом с дреноукладчиком, что исключает простои при загрузке и повышает производительность машины.

Фирмой "Брафф Меньюфекчуринг ЛМТ" (Англия) сконструированы следующие бестраншейные дреноукладчики: ТГ-1 для укладки пластмассовых и керамических труб диаметром 120 мм на глубину до 1,1 м; ТГ-3 для гибких труб и кабеля диаметром до 200 мм на глубину до 1,65 м и ТГ-5 для кабеля, пластмассовых труб диаметром до 200 мм и керамических труб диаметром до 150 мм на глубину до 2,1 м.

Дреноукладчик ТГ-1 по конструкции аналогичен машине Баджер Клейтон. Базой ТГ-3 служит колесный трактор. ТГ-5 — полностью гидрофицированная самоходная машина. Ее рабочее оборудование: вертикальный нож, трубоукладчик и бункер, из которого подается сыпучий материал для фильтра. Нож образует в дне щели углубление V-образной формы, что

повышает точность укладки труб и предотвращает их боковые смещения. Толщина засыпки регулируется путем перемещения бункера с помощью гидропривода. Поскольку щель получается узкой, расход пористого заполнителя уменьшается более чем наполовину по сравнению с траншейным способом устройства дренажа. Высокая точность укладки (0,01 %) достигается с помощью лазерной системы, обеспечивающей автоматическое регулирование процесса без участия машиниста.

Гравий в бункер дреноукладчика ТГ-5 загружают погрузчиком Грейвел Трейлер, который по конструкции аналогичен погрузчику Баджер. Вместимость стандартного бункера Грейвел Трейлер 3 м<sup>3</sup> (4 т), уширенного — 4 м<sup>3</sup> (5,25 т). Мощность базового трактора 44 кВт. Транспортёр может поворачиваться на 160°. Подачу гравия регулируют с помощью заслонки, снабженной гидроприводом.

В настоящее время фирма "Брафф" перешла на выпуск более мощной модели ТГ-7 с тягачом мощностью 206 кВт. Рабочий орган изготовлен из более прочного и износостойкого материала, машина укладывает пластмассовые трубы диаметром 70 мм, производительность 6 км за смену.

В Англии широко применяют также следующие бестраншейные дреноукладчики: Барт ТЗ-82 (Нидерланды) с тягачом Катерпиллер с шестицилиндровым двигателем мощностью 239 кВт; Интер Дрейн 203-2П с турбонаддувом и независимым гидроприводом гусениц мощностью 214 кВт. Рабочий орган последней машины также отличается высокой износостойкостью: сменный наконечник и башмак заменяют после укладки 600...700 км дренажа. Машина имеет бункер для фильтрующего материала с электронным устройством для контроля глубины слоя присыпки дрены. Особенность лазерной системы — расположение приемника непосредственно на ноже.

Для засыпки дренажной щели фильтрующим материалом фирмой "Саффолк" разработан прицепной трейлер с бункером вместимостью 4,1 м<sup>3</sup>; расход материала, подаваемого в щель, регулируют специальным устройством, приводимым от гидросистемы трактора. Глубина засыпки контролируется гидравлической системой с автоматическим лазерным оборудованием.

Опыт присыпки дрен привозным фильтрующим материалом при бестраншейном строительстве показывает, что основное препятствие для широкого применения этого способа — трудность синхронного движения прицепа с материалом и дреноукладчика.

Чтобы устранить необходимость в привозных фильтрующих материалах и сократить затраты на строительство дренажа, в Англии для засыпки щели начинают применять местные грунты из проницаемых слоев почвы. С этой целью создана навесная машина Минидрейнер для укладки пластмассовых труб диаметром до 60 мм на глубину 0,76...1,07 м. Она снабжена зубчатыми дисками, расположенными сбоку и спереди опорной стойки, для разрыхления поверхностного почвенного слоя и заполнения им щели до уровня дрены. Производительность укладчика 50 м/мин, мощность 112 кВт.

В США разработано оборудование для укладки дрен бестраншейным способом и их присыпки проницаемым почвогрунтом пахотного слоя.

Рабочий орган — нож выполнен в виде стойки шириной 23 см с плоской передней гранью шириной 26...28 см. Задняя поверхность ножа наклонена под углом  $60^\circ$  к горизонтали и облицована полиэтиленовой полосой для лучшего соскальзывания рыхлой почвы в щель.

Грунт срезается и подается в щель двумя спаренными дисковыми ножами, установленными по бокам от щели на шарнирных кронштейнах, поворачиваемых гидроцилиндрами с рабочим давлением 2000 кПа. При встрече с камнем давление в гидросистеме повышается до 2400 кПа и включается предохранительный клапан, при этом соответствующая пара дисков выглубляется и перекачивается через препятствие. Каждая пара дисков состоит из внутреннего конического дискового ножа диаметром 60 см и зубчатого тарельчатого диска диаметром 45 см. Диски расположены на расстоянии 30 см один от другого.

Дреноукладчики, выпускаемые зарубежными фирмами, отличаются большим разнообразием типов и имеют различные технические характеристики (мощность, глубина укладки дрен, удельное давление на грунт, производительность и др.). Они, как правило, снабжены лазерным оборудованием для выдерживания проектного уклона и устройствами для подачи в щель фильтрующего материала. В качестве такого материала используется гравий, подаваемый в бункер укладчика боковым транспортером прицепного погрузчика, а также стиромуль (вспененный полистирол), запакованный в мешки (его засыпают в бункер вручную).

Рабочие органы к дреноукладчикам изготавливают в основном двух типов: V-образной формы системы Вильнер (разработан в Геттингенском институте сельскохозяйственных машин) и в виде ножа-стойки, верхняя режущая часть которого наклонена к горизонтали под углом до  $60...70^\circ$ , а нижняя, выполненная в виде клина, — под углом  $22...25^\circ$ . Согласно опубликованным данным, рабочие органы V-образной формы лучше разрыхляют грунт, лучше его уплотняют в зоне залегания трубы, при этом они меньше изнашиваются по сравнению с рабочими органами в виде ножа-стойки.

В ФРГ широко применяют машины Дреномат (Австрия), мощность двигателя 85...246 кВт, глубина укладки 1,5...2,0 м.

Голландской фирмой "Стеенберген Голланддрейн" создан базовый бестраншейный дреноукладчик Голланддрейн (масса 30 т, мощность двигателя 220 кВт) для укладки труб на глубину до 2 м. Рабочее оборудование унифицировано с рабочим оборудованием других моделей. Машина снабжена гусеницами низкого давления от тракторов Катерпиллер, рабочий орган V-образной формы ("дельтаплау"), рабочая скорость 2,55 км/ч. В настоящее время фирма все шире начинает выпускать дреноукладчики большой мощности. Так, мощность последней модели ВСХ-супер 280 кВт, производительность до 1500 км дренажа в год. При разработке новых машин предусматривается возможность использования рабочих органов как пассивного, так и активного типов; испытывается также комбинированный рабочий орган, когда поверхностный слой разрыхляется бестраншейным пассивным органом, а ниже, до глубины закладки дрены, — активным цепным.

В Голландии на выпуске бестраншейных дренаукладчиков специализируется также фирма "Барт", которая производит ряд моделей, отличающихся по мощности, массе, тяговому усилию, глубине укладки дрен и т. д. При строительстве дренажа бестраншейным способом производительность в среднем достигает 500 км/год (400 м/ч).

В слабопроницаемом грунте трубы укладывают на глубину до 120 см после его предварительной просушки, для чего перед проходом дренаукладчика плужным каналокопателем отрывают пионерную траншею, в которую затем укладывают закрытую дрену. Трубы на глубину более 120 см укладывают в песчаных грунтах с коэффициентом фильтрации не менее 0,5 м/сут.

Во Франции фирма "Поклен" выпускает бестраншейные дренаукладчики двух типов — мощностью двигателя 94 и 116 кВт, укладывающие пластмассовые трубы диаметром соответственно до 100 и 160 мм на глубину 1,65 и 2,2 м. Проектный уклон дрен обеспечивается с помощью автоматической лазерной системы или по способу оптического визирования.

С целью увеличения тягового усилия машин и лучшего разрыхления грунта разработан бестраншейный дренаукладчик Евродрейн АBR, оборудованный фронтальной фрезой с шестью зубьями и задним пассивным рабочим органом. Модель выпускается с задним расположением ротора.

При осушении слабопроницаемых грунтов трубы укладывают на глубину не более 0,8...1,0 м с одновременным рыхлением подпахотных горизонтов крыльчатыми ножами, при этом организуют поверхностный сток. Для защиты дрен от заиливания применяют фильтры из волокнистого торфа или льняной соломы.

В США и Канаде навесное оборудование для бестраншейной укладки дрен выпускают фирмы "Лидко", "Кантеко ЛТД", "Зор индастрайз", "ЛМД" и др. Оборудование изготавливают применительно к тракторам различных типов на колесном или гусеничном ходу. В зависимости от глубины укладки труб диаметром 100...300 мм мощность двигателя базовых машин колеблется в пределах 116...330 кВт. При глубине укладки более 2,5 м и диаметре труб до 250...300 мм применяют дополнительный трактор-тягач.

В ГДР для строительства дренажа бестраншейным способом разработаны дренаукладчики Мелиомат Стандарт В710-10/101, Мелиомат-Универсал В710С/02 и В710-А/11. По сравнению с траншейным способом укладки применение этих машин позволяет повысить производительность труда в три-четыре раза, улучшив условия работы, сократить сроки строительства на 30 %, а технологические издержки на 50 %. С момента внедрения (1970 г.) дренаукладчики успешно работают в 13 округах республики.

Дренаукладчик Мелиомат-Стандарт В710Д/101 предназначен для укладки гофрированных пластмассовых труб диаметром 53 и 60 мм на глубину 1,3 м, Мелиомат-Универсал В710С/02 укладывает как пластмассовые, так и керамические трубы диаметром 50 мм на глубину до 1,4 м. Трубы диаметром 150 мм на глубину до 1,4 м укладывают машиной Мелиомат-Универсал В710А/11.

Дренаукладчики Мелиомат предназначены для укладки дренажа в грунтах I, II категорий (2...5-го класса по классификации ГДР) на предва-

нительно осушенных землях с несущей способностью грунта не менее  $0,35 \text{ кг/см}^2$ . Машины навешивают на советские тракторы Т-100МГП и Т-100МГ, они работают в комплексе с другими машинами, занятыми на подготовительных работах.

В зависимости от типа дренаукладчика Мелиомат и применяемой технологии укладки производительность одной машины составляет 1200 га/год при невысоких эксплуатационных расходах и капитальных затратах, степень механизации составляет 24...66 %.

В процессе эксплуатации были обнаружены следующие недостатки дренаукладчика Мелиомат-Универсал В710С/02: быстрое истирание рабочего органа и стенок бункера, стачивание режущей кромки (через три недели работы машину на 3...4 дня приходилось останавливать для ремонта и замены этих частей).

Академией сельскохозяйственных наук и Научно-исследовательским центром плодородия почв ГДР разработана и испытана технология укладки бестраншейного дренажа с фильтрующей засыпкой на слабопроницаемых переувлажненных почвах. Для подачи засыпки в щель использовали специальное навесное оборудование к дренаукладчику Мелиомат-Универсал, состоящее из загрузочной воронки и трубы, через которую засыпка подается к дренам. Фильтрующий материал поступает в воронку из движущегося рядом агрегата, представляющего собой бункер вместимостью  $5 \text{ м}^3$ , смонтированный на раме подвижного шасси. Однако скорость укладки с применением такого устройства на 10...15 % ниже, чем при обычной технологии.

В ЧССР бестраншейную укладку дренажа из пластмассовых и керамических труб ведут с помощью как импортируемого, так и отечественного оборудования. Так, используют укладчик Миневра-150 (ФРГ), представляющий собой гусеничный трактор с гидроприводом японского производства и рабочим оборудованием фирмы "Корнелиус" (скорость укладки  $1 \text{ км/ч}$ ), а также "Дреномат" (Австрия).

На базе серийного тягача в ЧССР создан дренаукладчик ТВКД-120. Он укладывает керамические и полиэтиленовые трубы диаметром до 100 мм на глубину 1,2 м, производительность 400...1000 м/ч.

Были проведены сравнительные испытания траншейного экскаватора ЭТЦ-202А и бестраншейного дренаукладчика ТВКД-120 на двенадцати участках при глубине укладки труб 0,8...1,2 м. При бестраншейной укладке производительность по сравнению с траншейной возросла в 3,5...5,0 раза, а затраты сократились на 40 %.

В ПНР начато производство оборудования для строительства бестраншейного дренажа с помощью гусеничных тракторов большой мощности (103...210 кВт). Сконструированный самоходный экскаватор УА-160 (мощность двигателя 162 кВт) имеет рабочее оборудование в виде ножа с клином на конце, монтируемое на параллелограммной навеске. Глубину укладки труб можно регулировать дистанционно с помощью систем радиоуправления.

К трактору Сталова Вола ТД-15 изготавливают экскаваторное оборудование Полдрен КД-20 с дистанционным управлением глубины копания. Это оборудование можно также навешивать на гусеничные тракторы большей мощности. Рабочая скорость укладки пластмассовых труб диаметром

50...75 мм — 2,8 км/ч, максимальная глубина — 1,2 м. Оборудование снабжено устройством, позволяющим в процессе работы засыпать трубы фильтрующим материалом с прицепа. Укладку керамических труб также можно механизировать (скорость 1,2 км/ч). Бестраншейный дреноукладчик ЯР-160 укладывает пластмассовые трубы диаметром 50; 75; 100 и 125 мм на глубину до 1,8 м, рабочие скорости 1...6,7 км/ч.

В Японии используют оборудование Санко пайп мастер (Австралия) для бестраншейного строительства дренажа из полиэтиленовой перфорированной ленты, которая в полости, оставляемой в грунте рабочим органом кротового плуга, формируется в дренажную трубу диаметром 50 мм длиной до 100 м. Барабан с намотанной на него перфорированной лентой закрепляют на каркасе в устье дренажной линии. При движении укладчика лента протягивается в кротовину и формируется в дренаж. Плуг приводится от ВОМ трактора.

## УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

А лексанкин А. В. Мелиоративные работы в Голландии. — Гидротехника и мелиорация, 1984, № 10, с. 80 — 86.

А лексанкин А. В., Маммаев З. М. Мелиорация тяжелых почв в ФРГ /Обзорная информация ЦБНТИ Минводхоза СССР. М., 1983 — 41 с.

Федорин Ю. В., Сотников В. П., Егоренков Л. И. Почвы сельскохозяйственных угодий СССР. — М.: Колос, 1981. — 199 с.

З айдельман Ф. Р. Гидрогеологический режим почв Нечерноземной зоны. — Л.: Гидрометеониздат, 1985. — 327 с.

Мурашко А. И. Горизонтальный пластмассовый дренаж. — Минск: Ураджай, 1973. — 203 с.

Смирнов А. М., Ковальчук Н. Н. Использование местных грунтов для бестраншейного дренажа. Совершенствование мелиоративных систем Нечерноземной зоны РСФСР. Сб. научных трудов /Ленгипроводхоз. Л., 1984, с. 85 — 99.

Смирнов А. М., Ковальчук Н. Н., Молитвин Е. И. Применение фильтрующих элементов для бестраншейного дренажа. — Гидротехника и мелиорация, 1981, № 1, с. 56 — 61.

Томин Е. Д. Бестраншейное строительство закрытого дренажа. — М.: Колос, 1981. — 240 с.

Томин Е. Д. и др. Бестраншейные дренажники в СССР и за рубежом /Обзорная информация ЦБНТИ Минводхоза СССР. М., 1983, № 13, с. 85.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Предисловие . . . . .                                                                                                 | 3  |
| Глава 1. Опыт строительства бестраншейного дренажа . . . . .                                                          | 5  |
| Глава 2. Эффективность действия бестраншейного дренажа . . . . .                                                      | 11 |
| 1. Эффективность действия бестраншейного дренажа в легких почвах и торфяниках . . . . .                               | 13 |
| 2. Эффективность действия бестраншейного дренажа в почвах тяжелого механического состава . . . . .                    | 19 |
| 3. Усиление действия бестраншейного дренажа в почвах тяжелого механического состава . . . . .                         | 24 |
| 4. Расчет параметров бестраншейного дренажа . . . . .                                                                 | 42 |
| Глава 3. Технология строительства дренажа бестраншейным способом . . . . .                                            | 46 |
| 5. Способы регулирования заданной глубины укладки дрен . . . . .                                                      | 46 |
| 6. Технологические схемы укладки бестраншейного дренажа . . . . .                                                     | 56 |
| 7. Строительство бестраншейного дренажа зимой . . . . .                                                               | 61 |
| 8. Строительство бестраншейного дренажа в слабопроницаемых грунтах . . . . .                                          | 64 |
| 9. Способы защиты дренажных труб от заиливания . . . . .                                                              | 67 |
| Глава 4. Организация работ и технико-экономические показатели строительства дренажа бестраншейным способом . . . . .  | 69 |
| 10. Организация работ . . . . .                                                                                       | 69 |
| 11. Техничко-экономические показатели строительства . . . . .                                                         | 73 |
| Глава 5. Основные сведения об оборудовании, применяемом для строительства бестраншейного дренажа за рубежом . . . . . | 76 |
| Указатель литературы . . . . .                                                                                        | 83 |