

Б.Д.ТОМИН, канд.т.наук, ВНИИГим
В.А.ДУХОВНИЙ, канд.т.наук, САНИИРИ
В.И.БАТОВ, САНИИРИ
В.Г.БУРАВЦЕВ, ВНИИГим
А.И.ШАПОЧНИКОВ, ВНИИГим

БЕСТРАНШЕЙНЫЙ СПОСОБ СТРОИТЕЛЬСТВА ДРЕНАЖА И ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГО СТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

После майского 1966 г. Пленума ЦК КПСС орошение в нашей стране получило огромное, невиданное до этого развитие. Достаточно сказать, что вместо 300-400 тыс.га прирост орошаемых земель в 1974 г. достигает 1 млн.га в год. Параллельно с этим осуществляется широкое инженерное переустройство ирригационных систем на землях существующего орошения. На развитие мелиорации ежегодно затрачивается около 5 млрд.руб.

В настоящее время особенностью орошаемых массивов является их мелиоративное неблагополучие, выражающееся в том, что большая часть земель в них либо подвержена засолению, либо уже первично засолены и для нормального сельскохозяйственного развития их необходимо создать надежный дренажный фон, который позволил бы снизить содержание вредных солей в активном слое почвогрунтов до предела, допустимого для развития растений, и поддерживать его за счет промывного режима орошения, а для земель с глубокими, но минерализованными грунтовыми водами - предотвратить накопление солей в корнеобитаемом слое. Из общей площади орошения 12,7 млн.га (на 1.1 1973 г.) 5,2 млн.га требуют осуществления дренажных работ.

До начала шестидесятых годов единственным методом дренирования земель было строительство открытых коллекторов и дренажной глубиной от 2 до 4 м.

В 1956-1960 гг. началось более интенсивное строительство вертикального и горизонтального закрытого дренажа. Наиболее широкое развитие оно получило в Голодной степи, а затем по всему Узбекистану и в других районах Средней Азии и Закавказья.

Закрытый горизонтальный дренаж по сравнению с открытым резко повышает использование орошаемых земель, снижает эксплуатационные затраты и позволяет надежно управлять водно-солевым режимом почвогрунтов. Отставание в строительстве этого вида дренажа объясняется отсутствием необходимых механизмов, особенно

для укладки дрена в условиях высокого стояния грунтовых вод, высокой его стоимостью и большими трудовыми затратами.

Разработка и создание бестраншейного способа строительства дренажа - необходимое средство дренирования земель в условиях высокого стояния грунтовых вод, которое позволяет успешно справиться с этой важной народнохозяйственной задачей, отличаясь самой низкой стоимостью, большой маневренностью и производительностью - 1 комплект машин этого типа с успехом дренирует за год в сложных условиях 2-3 тыс.га. Внедрение бестраншейного метода строительства дренажа в новой зоне Голодной степи убедительно доказало его преимущества, высокую эффективность и мелиоративную действенность при высоких темпах строительства.

Серийное освоение комплекта машин, намеченное совместными решениями Минводхоза СССР и Минстройдормаша СССР, позволит успешно мелиорировать орошаемые земли нашей страны и обеспечить необходимые высокие темпы освоения новых земель.

Анализ развития технологии и механизации строительства закрытого дренажа на орошаемых землях

В связи с интенсивным развитием орошения на землях, характеризующихся сложными природными условиями и склонностью к засолению, в 60-х годах особой остротой возникает вопрос строительства дренажа на орошаемых землях (Голодная степь, Центральная Фергана, зона Каракумского канала и др.).

В 1967-1968 гг. были созданы первые дреноукладчики на базе траншейных экскаваторов ЭТУ-353 и ЭТУ-354, которые представляли собой прицепной бункер коробчатого сечения с приспособлениями для укладки труб и обсыпки их фильтровым материалом. Технология строительства закрытого дренажа с применением таких дреноукладчиков достаточно проста, но требует высокой точности и тщательного контроля за качеством выполняемых операций. В особенности это относится к выдерживанию уклона и качеству стыкования дренажных труб.

Однако создание таких дреноукладчиков не решило всех проблем строительства дренажа. Как выяснилось, дреноукладчики могут работать лишь в относительно сухих грунтах, когда стенки траншей не обрушиваются в процессе укладки. В переувлажненных грунтах, когда грунтовые воды залегают на глубине менее 3-4 м, применение дреноукладчиков невозможно, так как активный рабочий орган в виде ковшовой цепи способствует обрушиванию и оплыванию грунта сразу за проходом экскаватора, заклиниванию бункера и нарушению дрена-

ной линии. Поэтому в таких условиях единственным способом строительства длительное время оставался разработанный и внедренный сначала в Голодной степи, а затем и в других районах орошения — метод "полки", обладающий высокой стоимостью и значительной трудоемкостью выполняемых операций.

Устройство закрытого дренажа в водонасыщенных оплывающих грунтах — сложная техническая задача и ее решению уделяется немало внимания как советскими, так и зарубежными специалистами. Однако до последнего времени ни в нашей стране, ни за рубежом не имеется ни средств механизации, ни отработанных технологических приемов для строительства закрытого дренажа в обрушивающихся и оплывающих грунтах. Поэтому, например, в США рекомендуют либо укладывать дренаж вручную, что делается очень редко, либо, если позволяют условия и сроки, строить дренаж механизмами в сухое время года, когда уровень грунтовых вод наиболее низкий.

Отечественная наука наметила ряд направлений в механизации работ по строительству дренажа в условиях высокого стояния грунтовых вод при оплывающих и обрушивающихся грунтах:

- усовершенствование траншейного метода укладки дренажа;
- узкоцельной метод устройства дренажа;
- бестраншейный способ строительства дренажа.

Как уже указывалось, при траншейном способе строительства дренажа в таких условиях невозможно обеспечить нормальную работу дренажукладчиков по ряду причин: вертикальные стенки траншей обрушиваются, заклинивают бункер, экскаватор начинает пробуксовывать, наблюдаются выдавливание вверх и нарушение дренажной линии, пробуксовка транспортной ленты под действием переувлажненного грунта, а также завал и оплывание его в траншее от кавальеров мокрого грунта.

Для устранения этих недостатков ГСКБ по ирригации создало дренажукладчик ЭД-3,0 с большим тяговым усилием (на базе С-100), с отвальным транспортером, который перебрасывает мокрый грунт сразу в обратную засыпку за бункером дренажукладчика. Эта модель оказалась значительно лучше дренажукладчиков Д-251 и Д-351, но она позволила лишь несколько расширить область применения машин подобного типа в условиях увлажненных грунтов (глин, конгломератов), обрушивающихся незначительно, но в основном устойчивых при небольшом (до 20-30 см) слое воды в дренае и обязательном оттоке.

Идя по такому же пути, ВНИИЗеммаш создал дренажукладчик Д-659,

который отличался от других моделей избытком мощности и весом, за счет которых намеривалось протаскивать бункер дренажукладчика, невзирая на любые трения и заклинивания бункера. Но этот дренажукладчик на испытаниях в Голодной степи показал большие дефекты в укладываемой дренажной линии, а также провалы бункера.

Наконец, оригинальное решение в этом направлении предложил И.Тюрин (ТуркменНИИГиМ): перед строительством дренажа траншейным дренажукладчиком следует понизить уровень грунтовых вод с помощью итлофильтров. Этот метод дал удовлетворительные результаты только при коэффициенте фильтрации около 5 м/сутки, но и то имел стоимость, равную методу "полки". В других условиях он оказался неприемлимым.

Узкоцельной метод устройства закрытого дренажа предложен в 1968 г. САНИРИ совместно с Голодностепестроем и состоит в устройстве узкой щели шириной 20 см, отрываемой цепным рабочим органом, в которую укладывают фильтр и полиэтиленовую трубу, сматываемую с барабана, после чего полость щели немедленно заливают пульпой, вынимаемой из-под воды при устройстве щели. Метод довольно перспективен, но до настоящего времени не доведен до конструктивного совершенства, в основном, из-за быстрого истирания и необходимости замены режущих цепей. Кроме того, дренажукладчик не может работать во время морозов.

Основные этапы разработки бестраншейного способа строительства дренажа на орошаемых землях

Бестраншейный способ прокладки различных непрерывных коммуникаций — кабеля, трубопроводов — известен как в нашей практике, так и за рубежом. Однако все они отличаются небольшими размерами прокладываемых конструкций и малой глубиной.

Основой бестраншейного способа строительства дренажа в нашей стране явились научно-исследовательские и проектно-конструкторские разработки, проведенные во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации им. А.Н.Костякова в период с 1964 г. С 1966 г. в работах активно участвует Ордена Трудового Красного Знамени Территориальное Управление Голодностепестрой Глазсеразирсовхозострой, а также проектный институт "Средазгипроводхлопок".

Бестраншейный способ строительства дренажа состоит в укладке дренажной трубы и фильтрационного материала на дно щели, прорезаемой в грунте на необходимую глубину с помощью пассивного ра-

бочей органа. При этом процесс прорезания щели совмещается с укладкой трубы и фильтров, так как последние опускаются в грунт через специальные полости в теле ножа.

Возможность полной механизации и высокая скорость (500-3000 м/ч) укладки дрены в широком диапазоне гидрогеологических условий, простота и надежность рабочего органа - выгодно отличают этот способ строительства от традиционных, траншейных.

Однако из-за малой изученности процесса взаимодействия пассивного рабочего органа с грунтом при прорезании узких глубоких щелей (его энергоемкости и работоспособности уложенной этим способом дрены) бестраншейный способ строительства дренажа до последнего времени не находил широкого применения.

В 1964 г. отделом механизации ВНИИГиМа для зоны осушения был создан бестраншейный дренаукладчик УД-151 с глубиной закладки дренажа 1,5 м, а затем - и для зоны орошения с такой же глубиной.

Особенности работы дренажа в условиях орошения, особенно в аридной зоне, где при значительной высоте подошвы солей из грунтовых вод и больших значениях испарения нельзя допустить засоления активного слоя почвогрунтов, требуют, чтобы глубина дренажа составляла не менее 3 м. В связи с этим для зоны орошения необходимо было создать бестраншейный дренаукладчик с глубиной 3 м.

Основные задачи, которые должны были быть при этом решены, можно сформулировать следующим образом:

1. Разработать конструкцию пассивного рабочего органа с глубиной до 3-х м, которая обеспечивала бы максимальную производительность при минимальной энергоемкости.
2. Исследовать взаимодействие рабочего органа и грунта и на основе этого разработать такую форму ножа, при которой достигается минимальное нарушение фильтрационных свойств грунта в зоне работы дренажа.
3. На основе лабораторных и опытно-производственных исследований установить оптимальную конструкцию дрены для бестраншейного способа укладки дренажа.
4. За счет комплекса конструктивных и технологических мероприятий обеспечить высокую точность и эксплуатационную надежность этого вида дренажа.

Сложность комплексного решения всей проблемы состояла в том, что для условий орошаемого земледелия не только отечественные, но и зарубежные теория и практика не имели соответствующих рекомендаций.

Известно, что за рубежом бестраншейный способ строительства закрытого горизонтального дренажа получил наибольшее распространение после создания гибких гофрированных пластмассовых дренажных труб. Начало создания бестраншейных дренаукладчиков в нашей стране и за рубежом практически совпало по времени. Начиная с конца 50-х гг. такие дренаукладчики были созданы в Австрии, Англии, ФРГ, ГДР, Финляндии, США, Нидерландах. Однако большая часть их предназначена для укладки дренажа на глубину 1,2 - 1,7 м, т.е. применима только в зоне осушения.

Оценка бестраншейного способа укладки дренажа по сравнению с традиционными, траншейными способами проводилась в Нидерландах при осушении пolderов. Для укладки дрен здесь применяли дренаукладчик типа австрийского "Дреномата" с пассивным рабочим органом в виде вертикального клина с узкой плоской режущей кромкой с переменным по глубине углом резания 30-60°. Укладывали дренажные трубы диаметром до 100 мм на глубину до 1,5 м.

В результате было установлено, что в грунтах с тяжелым механическим составом (суглинки и глина), особенно при высокой их влажности и пластичности, дрены, уложенные бестраншейным способом, имеют модуль дренажного стока ниже, чем дрены, уложенные траншейным способом, при одинаковой их конструкции. В песчаных и супесчаных грунтах различия в работоспособности дрен не наблюдались.

Разработка конструкции пассивного рабочего органа дренаукладчика

Анализ теоретических и экспериментальных работ по резанию грунтов показал, что с наименьшей энергоемкостью разрушение грунтов при резании происходит за счет деформаций сдвига, скола или отрыва при наличии стиртой поверхности массива. Эти деформации являются основными, если ширина прорези превышает ее глубину или соизмерима с ней.

С ростом глубины прорези при постоянной ее ширине преобладающей деформацией грунта становится упруго-пластическое сжатие, которое по своей энергоемкости в 1,5-2,5 раза выше сдвига или скола. Начиная с определенной глубины, называемой критической,

"влияние" открытой поверхности массива на напряженное состояние грунта полностью исчезает, и образование прорези происходит только за счет вдавливания грунта в ее стенки и дно.

Соотношение между глубиной и шириной прорези определяет преимущественный вид деформации, за счет которой она образуется и, следовательно, энергоемкость процесса ее прорезания.

Если при постоянной глубине и ширине прорези отклонять режущую кромку рабочего органа вперед или назад по ходу движения (т.е. уменьшать или увеличивать угол резания), то в первом случае будет расти зона деформаций сдвига, а во втором — уплотнения.

Известно, что для зоны деформаций сдвига оптимальный угол резания, при котором тяговое сопротивление рабочего органа будет минимальным, находится в диапазоне $30-40^\circ$, а для зоны деформации уплотнения — 90° . При этом режущая кромка в зоне сдвига должна быть плоской (угол заточки 180°), а в зоне уплотнения — остроугольной ($45-60^\circ$).

Существенное влияние на соотношение зон деформаций по глубине, при постоянных ширине и глубине прорези, а также углах резания и заточки режущей кромки, оказывают физико-механические свойства грунта.

Для пассивного рабочего органа бестраншейного дренажукладчика (при 10-15-кратном превышении глубины прорези над шириной) минимальные тяговые сопротивление и энергоемкость процесса прорезания могут быть получены двумя путями. Первый основан на выборе такой формы режущей кромки, при которой по глубине прорези действуют обе зоны деформаций, но режущая кромка по глубине будет иметь различные параметры, оптимальные для каждой из зон. Второй — на выборе такой формы и параметров режущей кромки, при которой по всей глубине прорезаемой цели является преобладающей деформация сдвига, скола или отрыва грунта.

В 1965-1966 гг. ВНИИГиМом разработаны и изготовлены четыре экспериментальных пассивных рабочих органа для процесса резания грунта естественного сложения на глубину 2,5-3 м. Конструкция первых трех предусматривала получение минимального тягового сопротивления за счет оптимизации параметров режущей кромки в каждой из зон деформации. С целью разгрузки ходовой системы базового трактора от воздействия вертикальной составляющей силы резания, режущая кромка рабочих органов в зоне уплотнения была отклонена назад по ходу движения от вертикального положения на угол $30-40^\circ$, т.е. имел угол резания $120-130^\circ$. Рабочий орган такой формы был назван

"самоуравновешивающимся".

Четвертый экспериментальный рабочий орган имеет форму и параметры режущей кромки, при которых предусматривалось разрушение грунта на всю глубину прорези только за счет деформации сдвига или скола. Для этой цели режущая кромка рабочего органа выполнена в виде трех плоских, смещенных относительно друг друга назад по ходу движения, ступеней (зубьев разной ширины, но с одинаковыми глубинами резания) с оптимальными углами резания ($30-40^\circ$) для работы в зоне сдвига. Такой рабочий орган был назван "ступенчатым". На рисунке приведены схемы указанных рабочих органов.

Одновременно была изготовлена установка БДМ-300 для навески рабочих органов на трактор ДЗТ-250, которая позволяет легко менять рабочие органы, изменять их положение относительно базового трактора в продольной вертикальной плоскости, а также фиксировать усилия резания, удельные контактные давления грунта на режущие кромки рабочих органов и под гусеницей базового трактора при укладке гибких пластмассовых дренажных труб диаметром до 100 мм.

Экспериментальные исследования по бестраншейному способу укладки пластмассового дренажа с помощью установки БДМ-300 проводили в Голосной степи в различных гидрогеологических условиях.

В процессе исследований подтвердилось, что при резании грунта естественного сложения по глубине прорези имеются две зоны деформации грунта: сдвига и уплотнения. Однако резкой границы между ними нет. Все эти зоны отличаются характером деформации грунта и, следовательно, направлением перемещения грунтовой среды перед режущей кромкой рабочего органа. Из элюара нормального давления грунта на режущую кромку рабочего органа, а также остаточных деформаций грунта, получаемых на поперечном разрезе цели, виден характер распределения зон. В нижней зоне, в сплошной анизотропной грунтовой среде, частицы под воздействием режущей кромки перемещаются в стороны дна и стенок цели; происходит сжатие окружающего грунта. Давление на режущую кромку на максимальной глубине максимальное. С уменьшением глубины давление в этой зоне сравнительно медленно убывает за счет уменьшения бытового давления вышележащей толщи грунта.

В средней зоне сказывается "влияние" открытой поверхности, т.е. происходит переход от условий резания в сплошной грунтовой среде к условиям резания в полугрунтовом пространстве. Грунтовая

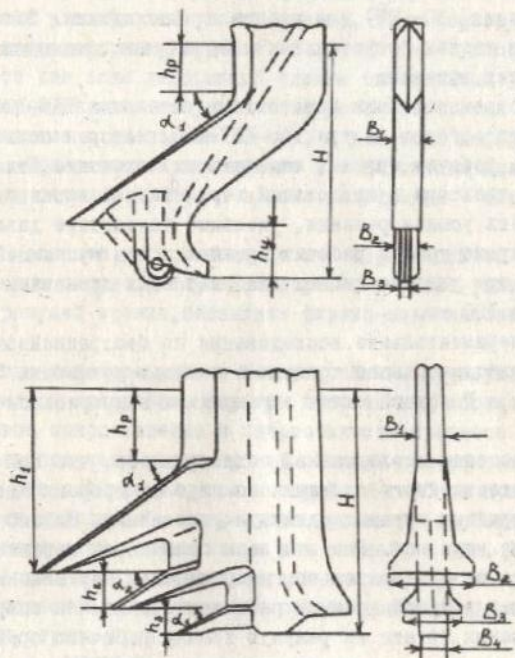


Схема рабочих органов.
Вверху — одноступенчатый
Внизу — трехступенчатый

масса под воздействием режущей кромки может более свободно перемещаться вверх. Этот участок на эпюре характеризуется резким снижением давления на режущую кромку.

В верхней зоне, в полугрунтовом пространстве, процесс резания идет за счет периодических сдвигов или сколов грунта. Грунтовая масса имеет свободный выход на поверхность. Эпюр давления грунта на этом участке выполаживается и постепенно падает до 0.

На поперечном разрезе щели можно проследить наличие всех трех зон на глубине. В нижней зоне стенки щели сильно уплотнены и параллельны вертикальной оси щели; в средней — стенки щели также уплотнены, но отклонены от вертикальной на угол $20-30^\circ$; в верхней зоне грунт разрыхлен, стенки щели отклонены от вертикали на угол $45-60^\circ$ и не уплотнены.

Размеры зон деформации грунта, а также их соотношение по глубине зависят от параметров режущей кромки рабочего органа (ширины, угол резания и заострения), а также от физико-механических свойств грунта и характера изменения их по глубине резания.

Эпюр распределения нормального давления на боковые поверхности рабочего органа по глубине идентична эпюре нормального давления грунта на лобовую режущую кромку, а величина этого давления в любом горизонтальном сечении в среднем в 2-5 раз меньше лобового. В зависимости от размеров боковых поверхностей рабочего органа и величины коэффициента трения грунта по ним сила, необходимая на преодоление трения грунта, составляет 15-30% от общего тягового сопротивления рабочего органа.

Углы резания и заострения лобовой кромки рабочего органа, принятой по результатам анализа теории резания грунта для зон сдвига и уплотнения, позволяют избежать образования здесь устойчивого уплотненного ядра во всех грунтах естественного сложения, и, следовательно, способствуют получению наименьшего тягового сопротивления рабочего органа.

Расположение рабочего органа относительно точки навески его на базовый трактор в вертикальной продольной плоскости (длина рамы) существенно влияет как на энергоемкость процесса резания, так и на устойчивость движения рабочего органа в грунте. При малой длине рамы навески давление от гусениц базового трактора передается на грунт в зоне резания, что ведет к значительному увеличению тягового сопротивления. Поэтому было установлено, что длина рамы навески рабочего органа должна быть такой, чтобы исключить подпор гусениц на грунт в зоне резания.

Разработка оптимальной формы ножа, обеспечивающего минимальное нарушение фильтрационных свойств грунта

Многолетние исследования первоначального рабочего органа показали, что плотность грунта в зоне укладки дренажной трубы увеличивается в результате воздействия режущей кромки на 3-5%. Зона нарушения естественной структуры (зона влияния) зависит от формы, параметров режущей кромки и физико-механических свойств грунта и составляет от 0 до 200-300 мм вбок и вниз от центра дрены. Наибольшую плотность имеет грунт стенок и дно щели на контакте с рабочим органом. Далее по лучам плотность падает по экспоненциальной кривой до естественной на границе зоны. Соответственно коэффициент грунта изменяется по обратной кривой, т.е. наименьшее его значение имеют стенки и дно щели; далее по лучам коэффициент фильтрации повышается до естественного на границе зоны.

Наибольшее значения уплотнение грунта в зоне укладки дрены достигает в суглинистых грунтах при его абсолютной влажности, равной 20-25%. При укладке дрены в грунтах влажностью 6-12%, а также в водонасыщенных грунтах (ниже уровня г.г.в.) и в зоне капиллярно-го насыщения нарушение естественной структуры почти не происходит. Уплотнение не наблюдалось также в песчаных, супесчаных, а также заглинованных лугово-болотных грунтах.

В целях придания ношу универсальности отдел механизации ВНИИГиМа совместно с Голодностепостроем в 1971-1972 гг. разработал и изготовил опытный экземпляр бестраншейного рабочего органа в виде ступенчатого вертикального ножа. Каждая из ступеней представляет собой острозаточенный вертикально поставленный рассекатель, имеющий в нижней части зуб с трапециевидально уширяющейся книзу плоской режущей кромкой, поставленной под углом 30-36° к направлению движения. Плоские режущие кромки зубьев смещены относительно друг друга в направлении, обратном направлению движения, а рассекатели второй и третьей ступеней расположены соответственно за уширяющимися частями плоских режущих кромок первой и второй ступеней.

В каждой из ступеней соотношение между максимальной шириной режущей кромки и глубиной резания ступеней подобрано таким образом, чтобы максимально исключить деформацию уплотнения грунта при прорезании щели. При этом первая ступень сдвигает (скалывает) грунт в сторону открытой поверхности массива, а вторая и третья - в плоскости, образуемые в грунте трапециевидальными уширителями режущих кромок, соответственно первой и второй ступеней.

Экспериментальная проверка распределения уплотнения при новом рабочем органе показала, что уплотненная зона распространяется только по дну траншеи и имеет значительно меньшее развитие. Поэтому конструкция этого рабочего органа (авторское свидетельство № 419682) была рекомендована для производственного внедрения.

Анализ показал, что потребное тяговое усилие дреноукладчика при постоянных параметрах рабочего органа и глубине резания 3 м будет составлять:

- 20-35 т в грунтах первой категории при $C_{\phi} = 1-4$ (средняя по глубине твердость, определяемая ударником ДорНИИ в соответствии с ГОСТом 9693-67);

- 35-50 т в грунтах второй категории при $C_{\phi} = 5-8$;

- 50-90 т в грунтах третьей категории при $C_{\phi} = 9-15$.

Наиболее распространенными в зоне орошения являются грунты второй категории, которые по своему гранулометрическому составу относятся к средним или тяжелым суглинкам и имеют объемный вес скелета 1,5-1,6 г/см³. Тяговое усилие в 35 т может быть обеспечено при применении одного дополнительного трактора-тягача ДЭТ-250, а в 50 т - двух.

Исследования показали, что большое влияние на энергоемкость резания имеет влажность грунта - с увеличением его влажности тяговое сопротивление рабочего органа падает. Таким образом, бестраншейный способ строительства дренажа дает наибольший эффект при высоком уровне стояния грунтовых вод (1-1,5 м), т.е. при максимальной влажности толщи грунта, прорезаемой пассивным рабочим органом при таких условиях, при которых другие механизмы работать не могут.

Следует отметить, что имеющее место уплотнение грунта в придренной зоне даже при старой конструкции ножа хотя и уменьшает приток к дрены в 2-3 раза, но действует непродолжительное время и уже на 2-й год за счет разуплотнения дренажный модуль увеличивает. Об этом свидетельствуют данные наблюдений за дренажным стоком в совхозе № 26 на 2-й и 3-й год работы дренажа.

Более существенное влияние на водопроницаемость способность дрены оказывают конструкция и вид фильтра.

Оптимальная конструкция дрена при бестраншейном способе строительства

Первоначально ВНИИГМ для бестраншейного дренажа рекомендовал конструкции дрена, в которой полиэтиленовые гофрированные трубы диаметром 63-75 мм обматывались в качестве фильтра капроновой тканью. Для закрытого дренажа оптимальными диаметрами труб являются 100 и 150 мм. Однако, учитывая, что до настоящего времени промышленность не выпускает таких труб, было решено применять дрена с максимально выпускаемыми диаметрами - 63-75 мм, а в связи с тем, что диаметры менее критических, междренное расстояние уменьшать в 3-4 раза. Поэтому вместо междренних расстояний в 150-200 м фактически в Голодной степи принималась их величина в 50 м.

Наблюдения за работой дрена, построенных в 1969-1970 гг. в различных районах Голодной степи, показали, что эта конструкция дрена обеспечивает необходимый дренажный модуль 0,15-0,20 л/с/га только в грунтах с большим коэффициентом фильтрации (пески, хорошо фильтрующиеся затопленные лугово-болотные отложения) - более 1 м/сутки. В суглинках, лессовидных супесях и глинах фактические модули стока оказались в несколько раз меньшими. Стало ясно, что кроме уплотнения в старой конструкции дренажа, имело место и влияние других факторов. Предполагалось влияние перфорации (по диаметру и количеству рядов), а также величины водоприемной поверхности и типа фильтра.

Чтобы установить влияние отдельных факторов, Голодностепстроем на фильтрационном лотке были проведены наблюдения за стоком девяти различных конструкций дренажа, характеристика которых приведена в табл. I.

В опыте применялись различные виды фильтровых материалов: капроновая ткань, стеклоткань, жгуты, песчаная обсыпка и капроновая ткань с песком. Кроме того, для капроновой ткани менялся характер перфорации - диаметр, количество рядов.

В результате было установлено, что наибольший расход наблюдался при обсыпке труб песком, меньший - при капроновой ткани с песком, еще меньший - при капроновой ткани без песка, стеклоткане и жгуте. Вид синтетического материала и увеличение перфорации свыше 6 рядов с диаметром отверстий 1,5 мм при тех малых расходах, с которыми мы имеем дело в бестраншейном дренаже, существенно не влияли на водоприемную способность дренажа. Учитывая результаты

лабораторных исследований, эффективный диаметр дрена был увеличен за счет применения объемного материала в качестве фильтра. Для этого рабочий орган в 1972 г. был снабжен специальным бункером для укладки вокруг дренажной трубы песчано-гравийной обсыпки размером 20x30 см, т.е. толщина подстилающего и засыпающего слоя (диаметр дрена 7,5 см) составляет 11 см, а толщина засыпки сбоку - 6 см. Загрузка рабочего органа песчано-гравийной смесью производится автосамосвалом с помощью специального приемного откидного ковша.

Конструкция этого рабочего органа с бункером является универсальной, так как она позволяет укладывать дренаж в глинистых, суглинистых и супесчаных грунтах с песчаной обсыпкой и в хорошо проницаемых грунтах - с капроновой или другим фильтровым материалом.

Таблица I

Характеристика различных конструкций дренажа

№ дрена	Диаметр отверстий, мм:		Фильтровой материал			
	6 рядов	12 рядов	жгут, ряды	стекло-ткань	капрон	песок
1	1,5					+
2	1,5				+	
3	2,5				+	
4	1,5			+		
5	1,5		4			
6	1,5		1			
7		2,5			+	
8		1,5			+	
9	1,5					+

Обеспечение точности укладки бестраншейного дренажа

Точная, высококачественная укладка дрена с помощью уравнивающегося первоначального рабочего органа возможна только в однородных изотропных по длине и по глубине трассы грунтах. Уже первые дрена показали, что в результате резкой анизотропии физико-механических свойств грунтов естественного сложения

(особенно при наличии гипсовых "шохов") самоуравновешивание вертикальных составляющих от сил резания невозможно. При этом заглубляющие и выглубляющие моменты от сил резания настолько велики, что даже при запертых гидроцилиндрах подъема рабочего органа они вызывают значительные отрицательные или положительные дифференцы базового трактора (соответственно отклонения от проектной глубины укладки дрены достигали $\pm 0,20$ см). В результате было выявлено, что наиболее приемлемым для доброкачественного строительства дренажа бестраншейным способом является рабочий орган, форма и параметры которого позволяют иметь в процессе работы в любых грунтах некоторое превышение заглубляющего момента от сил резания над выглубляющим. При этом рабочий орган должен опираться на лыжи, идущие по спланированной поверхности трассы.

Наряду с усовершенствованием режущей части рабочего органа была частично изменена конструкция его навески. Для того, чтобы придать устойчивое положение рабочему органу в процессе укладки, длина рамы навески его была увеличена. Это обеспечило наличие постоянного в процессе резания заглубляющего момента, действие которого воспринимается лыжами, опирающимися на поверхность грунта. Если в первоначальной конструкции рабочего органа линия действия результирующих сил резания проходит ниже точки поворота рамы навески, т.е. имеет место постоянный заглубляющий момент от сил резания, то в новой конструкции ножа обеспечивается постоянный незначительный заглубляющий момент относительно точки поворота рамы.

Такое ограничение перемещений ножа привело к тому, что отклонения укладки дренажной линии от проекта и корыта составили $\pm 3-4$ см.

Таким образом, усовершенствованная конструкция бестраншейного дренаукладчика, созданного в 1972 г., устранила все выявленные ранее недостатки в технологии и, как показано будет далее, сравнительные опытно-производственные испытания окончательного варианта "ступенчатого" рабочего органа с ранее применявшимся "самоуравновешивающимся", проводившиеся в 1973-1974 гг. в совхозах № 7 и № 31 Голодной степи, полностью подтвердили результаты экспериментальных исследований и показали эффективность предложенных конструкций дренажа и бестраншейной технологии.

Разработка технологии и принципов организации строительства бестраншейного дренажа

В зависимости от фильтрационных свойств грунтов дренируемого массива были приняты две типовые конструкции дрена: с песчаной обсыпкой для слабофильтрующих и с обмоткой из капрона и стеклоткани для хорошо фильтрующих грунтов. В связи с этим и было разработано две разновидности технологии устройства дренажа для каждого из этих случаев (табл.2).

Состав технологических операций. Таблица 2

Операция	Конструкция	
	: с песчаной обсыпкой	: с тканевым материалом
<u>Основные операции</u>		
Устройство корыта скреперами	+	+
Устройство заходных курфов	+	+
Раскладка труб	+	+
Укладка дренажа	+	+
Засыпка корыта	+	+
Устройство устьев	+	+
Устройство колодцев	+	+
<u>Вспомогательные операции</u>		
Подвоз песка на объект	+	
Разрезка и заготовка тканей		+
Обмотка труб тканью		+
Подготовка рулонов с трубами	+	+
Доставка рулонов с трубами на объект	+	+

Как видно из табл.3, технологический процесс устройства бестраншейного дренажа отличается рядом вспомогательных операций, а также темпом и составом машин и механизмов для его укладки. Если приходится укладывать дренаж с песчаной обсыпкой, то в связи с загрузкой песка требуются дополнительные затраты механизмов (два самосвала ММЗ-595 и погрузчик песка) и увеличение затрат времени основных механизмов.

Разработка технологии строительства бестраншейного дренажа основывалась на максимальном использовании существующей технологии строительства траншейного дренажа при коренном изменении отдельных операций, направленных на упрощение и повышение надежности всего технологического цикла.

Бестраншейный дренаж был рассчитан на закладку дренажа при постоянном заглублении рабочего органа. Поэтому перед укладкой предусматривается планировка трассы (устройство корыта) под заданный уклон. В результате совместных предложений ученых и производственников был испытан и внедрен эффективный способ регулирования уклона дренажа в процессе укладки. Для этого без изменения основных производственных операций на дренаж был смонтирована и отлажена система гидроуправления лыжами рабочего органа. Машинист получил возможность быстро и легко изменять глубину заложения дренажа в любой момент времени, а скреперы были освобождены от необходимости тщательной планировки трассы, ограничиваясь грубой разработкой с точностью ± 15 см, что повысило их производительность на 30%. Регулирование уклона по этой схеме свелось к наблюдению с помощью нивелира или теодолита за рейкой, установленной на рабочем органе, и подаче соответствующих команд машинисту по портативному радиопередатчику. Среднемаксимальные отклонения дренажной линии от проектного положения не превышают ± 2 см на всех рабочих скоростях дренажера.

В результате рассмотрения двух вариантов заготовки труб установлено, что предварительная раскладка дренажных труб вдоль трассы более выгодна, чем доставка их к дренажеру в барабанах с последующей установкой их на машину. С одной стороны, это исключает одну из операций дренажера и, следовательно, снижает его технологические простои. С другой стороны, в процессе раскладки труб можно легко обнаружить и исправить дефекты самих труб (вмятины, порезы) и дефекты их тканевых фильтров (в случае применения этих материалов).

Для беспесчаной укладки дренажа были изготовлены станки для размотки, резки и намотки рулонных фильтровых материалов на трубы.

Эффективность использования бестраншейного дренажера при укладке пластмассового дренажа с песчано-гравийным фильтром во многом зависит от обеспечения его фильтровым материалом. В ходе решения этой задачи было детально разработано и всесторонне рассмотрено три способа:

1. Песчано-гравийную смесь доставляют к месту укладки автотранспортом в сменных металлических бункерах, которые затем устанавливают на рабочий орган специальным краном.

2. Передвижной бункер-питатель работает синхронно с дренажером и равномерно подает необходимое количество смеси в приемный бункер при помощи ленточного транспортера.

3. Смесь доставляют к месту укладки самосвалами и загружают непосредственно в бункер дренажера.

Как наиболее экономичный, простой в осуществлении и апробированный при строительстве дренажа траншейными дренажерами был выбран третий способ. Для сокращения затрат времени на засыпку фильтрового материала бункер был выполнен в форме откидного ковша, шарнирно прикрепленного к рабочему органу. Опускание его для загрузки и подъем в рабочее положение осуществляются при помощи тросово-блочной системы и специально установленного гидродоильника. Управление бункером было выведено в кабину машиниста.

С учетом перечисленных разработок укладка дренажа проводится в следующем порядке:

- а) дренажер задним ходом по подготовленной трассе подъезжает к устью и опускает рабочий орган на требуемую глубину в специально подготовленный шурф;
- б) конец дренажной трубы пропускают по трубопроводу через рабочий орган и закрепляют на дне шурфа;
- в) включают рабочий ход и дренажер двигается до тех пор, пока рабочий орган полностью не войдет в грунт;
- г) бункер дренажера загружают песчано-гравийной смесью и переводят в рабочее положение;
- д) включают рабочий ход и дренажер укладывает дренажную линию с направленным регулированием глубины до тех пор, пока не израсходуется запас фильтрового материала в бункере;
- е) цикл рабочий ход - загрузка повторяется до окончания укладки;

ж) по окончании укладки дренажной линии рабочий орган выглубляет, переводит в транспортное положение и дрепоукладчик переезжает на новую трассу.

Для беспесчаной укладки дренажа исключается позиция (г) и процесс становится непрерывным, а не циклическим, независимым от подвозки фильтроматериала.

Для условий Голодной степи производительность бестраншейного дрепоукладчика с песчаной обсыпкой равна 2000 м в смену, а с рудонными фильтрами - 3000.

Исходя из этих данных, определен состав и количество машин, необходимых для поточного строительства дренажа указанным темпом (табл.3).

Таблица 3

Оптимальный состав машин и бригад для поточного строительства дренажа бестраншейным способом

Показатель	Конструкция				
	: с песчаной обсыпкой		: с рудонным фильтром		
	: без радио-управления	: с радиоуправлением	: без радио-управления	: с радиоуправлением	: с радиоуправлением
I	2	3	4	5	
Бестраншейный дрепоукладчик БДМ-301	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	
Скреперы Д-374а с двухсменным режимом работ	$\frac{13}{26}$	$\frac{9}{18}$	$\frac{13}{26}$	$\frac{9}{18}$	
Бульдозеры Д-694 с двухсменным режимом работ	$\frac{5}{10}$	$\frac{5}{10}$	$\frac{5}{10}$	$\frac{5}{10}$	
Тягачи для дрепоукладчика ДЭТ-250, 3 шт.	$\frac{3}{3}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{3}{3}$	
Трактор МТЗ-50 для доставки дренажных труб	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	
Автосамосвалы ММЗ-555, 2 шт.	$\frac{2}{2}$	$\frac{2}{2}$	-	-	
Погрузчик песка Д-574	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	-	-	
Дрепопромывная машина ПДТ-125 для устройства устья	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	

Окончание табл.3

I	2	3	4	5
Экскаватор Э-352 для рытья шурфов	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$
Монтаж сооружений	$\frac{=}{4}$	$\frac{=}{4}$	$\frac{=}{4}$	$\frac{=}{4}$
Разнорабочие	$\frac{=}{3}$	$\frac{=}{3}$	$\frac{=}{3}$	$\frac{=}{3}$
Итого	$\frac{28}{56}$	$\frac{24}{48}$	$\frac{25}{53}$	$\frac{21}{45}$

Примечание: в числителе количество машин, в знаменателе - количество рабочих.

Наряду с резким повышением производительности труда бестраншейный способ строительства увеличивает надежность укладки дренажа.

Простота, надежность и минимальный срок - основные факторы, благодаря которым предложенная технология строительства закрытого дренажа бестраншейным способом получила широкое признание мелиораторов Средней Азии. Эти же факторы определили минимальный срок освоения новой технологии производством. По существу, пусковой период составил не более одного месяца, в течение которого Голодноостепстроем был организован и оснащен необходимыми материально-техническими ресурсами специализированный участок по строительству пластмассового дренажа бестраншейным способом. С окончанием организационно-технической подготовки участок немедленно включился в выполнение производственной программы мелиоративных работ. За первые четыре года внедрения бестраншейного способа с помощью дрепоукладчика БДМ-300, а затем усовершенствованной его модели БДМ-301 уложено свыше 1000 км закрытого дренажа.

Мелиоративная эффективность пластмассового дренажа, уложенного бестраншейным способом

Под мелиоративной эффективностью дренажа на орошаемых землях подразумевается его способность поддерживать оптимальный водно-солевой режим почвогрунтов при поливе сельскохозяйственных культур или обеспечивать полный и быстрый вынос токсичных солей

при промывке засоленных земель.

Работоспособность дренажа оценивается следующими показателями:

- количество отведенной воды в единицу времени с единицы дренируемой площади (модуль дренажного стока л/с на 1 га);
- характером изменения модуля дренажного стока при изменении действующего в междренях напора;
- динамикой уровня грунтовых вод на фоне дренажа и скорости снижения его после полива или промывки (см/сутки);
- изменением содержания солей в активной зоне, а также глубиной и характером достигнутого в результате промывки рассоления почвогрунтов.

При оценке эффективности пластмассового дренажа, уложенного бестраншейным способом, показатели его работы сравнивались с расчетными показателями или же с показателями работы дрен, уложенных традиционным способом в аналогичных гидрогеологических условиях. При этом плотность пластмассового дренажа составляла 200 м/га, а плотность дрен, уложенных традиционным методом, не превышала 100 м/га.

Наблюдения за работой бестраншейного дренажа, которые проводились при поливе сельскохозяйственных культур на опытных участках совхозов № 4, 7, 26 и 31, а при промывке засоленных земель - в совхозах № 4, 5 и "Пахтакор" Голодной степи, показали следующее:

1. Наиболее приемлимым для бестраншейного строительства дренажа является ступенчатый рабочий орган, форма и параметры которого позволяют получить сечение дрены в грунте с минимальным нарушением естественной структуры грунта в природной зоне.

2. Увеличение эффективного диаметра с помощью объемной круговой песчано-гравийной фильтрационной обсыпки обеспечивает максимальную эффективность работы дрены в грунтах с низкими (0,1-0,5 м/сутки) коэффициентами фильтрации.

3. Применение дрен с малым эффективным диаметром (например, при защите дренажных труб до 100 мм тонким слоем синтетического фильтра из напроновой или стеклоткани) при строительстве дренажа в грунтах с $K_f > 1,0$ м/сутки (совхоз №31) обеспечивает величину дренажного модуля при междренних расстояниях в 50-60 м при приведенном напоре в 1 м 0,35-0,43 л/с/га в условиях полива, что в 2,0-2,5 раза выше проектного.

Уровень грунтовых вод при поливе соответствует проектному, а после него он снижается на 6-10 см в сутки. Запасы солей снижаются от 1,4% до 0,62% по плотному остатку за вегетационный период. Исследования показали возможность уменьшения междренних расстояний до 100-120 м, а плотность дренажа - до 90-100 м/га.

4. В грунтах со слабой водопроницаемостью ($K_f < 0,5$ м/сутки) бестраншейный дренаж, оснащенный трехступенчатым ножом, обеспечивает величину приведенного дренажного модуля при междренях в 50 м 0,15-0,25 л/с/га, скорость снижения уровня грунтовых вод после полива - 3-7 см/сутки. Темп рассоления достаточно высокий - 12-50 т/га за сезон. Расчеты позволили уменьшить междренние расстояния до 70-75 м.

5. При капитальных промывках дрены, уложенные в тех же условиях и такой же конструкции (как в п.4), обеспечивают средний дренажный модуль 0,38 л/с/га против проектного 0,28-0,3. Скорость снижения уровня грунтовых вод после промывки повсеместно превышает 10 см/сутки. Глубина рассоления при проектной промывной норме превышает 1 м, а на отдельных участках достигает 2-метровой глубины.

6. Дрены, уложенные беступенчатым рабочим органом с коэффициентом фильтрации грунта менее 0,5 л/сутки, в первый год после строительства имеют низкую работоспособность из-за уплотнения рабочей зоны, однако в дальнейшем (вследствие разуплотнения) дренажный модуль увеличивается в 2-3 раза.

7. Расхождение теоретически полученных величин притоков к 1 м пластмассовой дрены с песчано-гравийным фильтром (по формуле Ведерникова) с фактически установленными при $K_f = 0,1-0,3$ м/сутки находится в пределах 5%, а расхождение модулей дренажного стока для дрен, уложенных бестраншейным и традиционным способами, не превышает 2-3%.

8. На всех участках, где применяли бестраншейный дренаж, урожайность сельскохозяйственных культур повысилась и солевое угнетение не наблюдалось.

Экономическая эффективность бестраншейного способа строительства

Годовой экономический эффект определяется путем сравнения исходных показателей по себестоимости и затратам на увеличение производственных, основных и оборотных фондов с показателями, полученными после внедрения мероприятия по новой технике, и ум-

ножения полученных результатов на годовой объем производства. Расчет проводится по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = [(C_0 + EK_0) - (C_H + EK_H)] A_H, \quad (I)$$

где $\mathcal{E}$ - годовой экономический эффект, руб.

C_0 - стоимость осушения 1 га земель по старой технологии, руб/га;

C_H - стоимость осушения 1 га земель бестраншейным способом, руб/га;

K_0 - удельные капитальные затраты на единицу годового объема работ до внедрения мероприятия, руб/га;

K_H - удельные капитальные затраты на единицу годового объема работ после внедрения мероприятия, руб/га;

A_H - годовой объем работ, производимый после внедрения мероприятия, га;

E - нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных затрат, равный 0,15.

Если уменьшить междренные расстояния на бестраншейном дренаже в два раза по сравнению с траншейным с теми же параметрами, и привести данные формулы (I) к удельным показателям на 1 м, можно определить экономическую эффективность одного комплекта механизированного потока машин при бестраншейной укладке.

$$\mathcal{E} = [C_0^I - 2C_H^I + 0,15 \left(\frac{K_0^I}{A_{TG}^I} - \frac{K_H^I \cdot 2}{A_{TH}^I} \right)] \cdot \frac{A_{TH}^I}{2}, \quad (2)$$

где C_0 и C_H - соответственно стоимость 1 м дренирования по старой и новой технологии;

K_0^I и K_H^I - стоимость капитальных вложений на 1 комплект машин по новой и старой технологии;

A_{TG}^I и A_{TH}^I - производительность нового и старого комплектов машин в метрах в год.

Результаты расчетов сведены в табл.4.

Существующая технология по методу "полки" позволяет бригаде трубоукладчиков из 10 человек в комплексе с двумя экскаваторами Э-652, двумя бульдозерами Д-271, одним краном АК-7,5 т, одной тележкой и одним самосвалом уложить в год 12,6 км закрытого дренажа.

Таблица 4

Расчет экономической эффективности внедрения бестраншейного дренажа и показатели различных технологий

Метод "полки"	Бестраншейная технология					
	: с песчаным фильтром		: с тканевым фильтром		показатель	
	: без радио-	: с радио-	: без радио-	: с радио-		
	: управления:	управле-	: управления:	управле-		
:		нием	:	нием	:	
C I 6,25	4,62	4,62	4,40	4,40	стоимость I м	
K ^П 48812	363,132	335,052	354,240	326,160	стоимость комплекта машин, руб.	
A ^I _T 12600	250,000	250,000	375,000	375,000	годовая про- изводитель- ность, м	
600	4460 ^{х)}	5205 ^{х)}	7037 ^{х)}	8333 ^{х)}	выработка в год на одного рабочего, м	
2I	56	48	53	45	состав бри- гады	
Э	-	893,750	898,750	1426,875	1455,000	экономическая эффективность в год, руб.
	7,15	7,19	7,61	7,76	в том числе на I м	

^{х)} в приведенным к методу "полки" необходимо разделить на 2.

Годовой экономический эффект от внедрения технологии бестраншейного способа строительства дренажа составляет 900-1400 тыс.руб. на один комплект машин, включая обслуживающий персонал.