

**ПРОГРЕССИВНЫЕ МЕТОДЫ
СТРОИТЕЛЬСТВА
ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА
НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ**



ВСЕСОЮЗНАЯ ОРДЕНА ЛЕНИНА АКАДЕМИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК ИМЕНИ В. И. ЛЕНИНА

ОТДЕЛЕНИЕ ГИДРОТЕХНИКИ И МЕЛИОРАЦИИ

**ПРОГРЕССИВНЫЕ МЕТОДЫ
СТРОИТЕЛЬСТВА
ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА
НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ**



МОСКВА «КОЛОС» 1977

Редакционная коллегия:

член-корреспондент ВАСХНИЛ Б. Б. Шумаков (ответственный редактор), член-корреспондент ВАСХНИЛ Л. Г. Балаев, кандидат технических наук Е. Д. Томин, кандидат технических наук В. А. Духовный, кандидат технических наук В. Д. Бердышев, кандидат технических наук Ю. А. Соколов.

Сборник составлен на основе материалов заседания секции механизации мелиоративных работ. Отделения гидротехники и мелиорации ВАСХНИЛ, посвященного технологии, механизации и организации строительства закрытого горизонтального дренажа в зоне орошения.

Совещание проходило в г. Ташкенте 14—17 мая 1974 г.

МЕТОДЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Б. Б. ШУМАКОВ, член-корреспондент ВАСХНИЛ

За последние годы орошение в нашей стране получило огромное, невиданное до этого развитие. Достаточно сказать, что вместо 300—400 тыс. га прирост орошаемых земель в 1974 г. достиг около 1 млн. га в год. Параллельно с этим осуществляется широкое инженерное переустройство ирригационных систем на землях существующего орошения.

Для обеспечения нормального сельскохозяйственного освоения этих земель необходимо создать надежный дренажный фон, который позволил бы снизить содержание вредных солей в активном слое почвогрунтов до пределов, допустимых для развития растений, и поддерживать его на этом уровне за счет промывного режима орошения, а для земель с глубокими, но минерализованными грунтовыми водами — предотвратить накопление солей в корнеобитаемом слое. Необходимость в дренаже имеется и на значительной площади ныне орошаемых земель. Из общей площади орошения около 6 млн. га требуют осуществления дренажных работ.

В зависимости от глубины залегания грунтовых вод от поверхности различают комплексно-механизированный и полумеханизированный способы строительства закрытого горизонтального дренажа. Отдельно следует выделить нашедший применение в последние годы бестраншейный способ строительства.

Механизированный способ строительства дренажа основан на использовании дренажных траншейных и узкотраншейных машин с рабочим органом активного действия. Способ применим при глубине залегания грунтовых вод 5 м и более от поверхности.

При траншейном методе дренаж укладывается либо при помощи специальных дреноукладчиков с активными рабочими органами, либо вручную в открытых траншеях, выполняемых одноковшовыми экскаваторами. Узкотраншейный метод строительства дренажа отличается от траншейного по существу только шириной траншей. Ширина отрываемых траншей при траншейном методе 0,5—0,6 м, при узкотраншейном до 0,25 м (в соответствии с размерами укладываемых дренажных труб и фильтров). Однако это отличие носит принципиальный характер: при узкотраншейном методе невозможны контроль и исправление дренажной линии, осуществление которых при траншейном способе производится в одном из отсеков бункера дреноукладчика специальным рабочим.

Технология строительства дренажа механизированным способом состоит из трех операций: планировки трассы (корыта), отрыв-

ки траншей с укладкой дрены и обратной засыпки. При использовании коротких дренажных труб перед операцией укладки дополнительно выполняется развозка и раскладка их вдоль трассы дрены. Для осуществления комплексно-механизированного способа строительства разработаны и выпускаются специальные машины — дреноукладчики Д-301, ЭД-3,0, Д-659А и Д-659Б.

Серийно выпускаемый в настоящее время экскаватор-дреноукладчик Д-659Б предназначен для строительства горизонтального дренажа глубиной до 4 м из керамических труб диаметром 100—250 мм с одновременной изоляцией их песчано-гравийным фильтром и последующей засыпкой траншей грунтом. Экскаватор-дреноукладчик Д-659Б представляет собой цепной траншейный экскаватор с ковшовым рабочим органом на гусеничном ходу и бункером-трубоукладчиком.

Дреноукладчик может работать как в устойчивых, так и в обрушающихся грунтах. Выдерживание заданного уклона дрены обеспечивается электрогидравлической системой автоматического управления.

Вариантом технологии по механизированному способу строительства дренажа является способ строительства с предварительным водопонижением. Операция установки иглофильтров в процессе водопонижения осуществляется после выполнения трассоподготовительных работ, а их демонтаж — сразу после укладки дрены. Устанавливают их на необходимую глубину путем подмыва. На участке с коэффициентом фильтрации 1,5—3,0 м/сут и залеганием плывуна на глубине 1,4—2,0 м необходимое водопонижение происходит за 12 ч. Для эффективного использования дреноукладчика длину опорного участка водопонижения принимают равной 108 м, используя при этом две иглофильтровые установки.

Сброс откачиваемой воды осуществляется по отводящей канаве в коллекторно-дренажную сеть. Для обеспечения водооттока строительство укладываемой дренажной сети начинают от насосной станции или коллектора. Производительность экскаватора-дреноукладчика и качество строительства дренажа при этом способе примерно такие же, как и при работе в необрушающихся грунтах.

При строительстве дрен по полумеханизированному способу (метод «полки») временный осушитель отрывают за два прохода одноковшовым экскаватором. Глубина траншеи-осушителя должна быть на 0,5—0,6 м больше проектной отметки дрены.

В одном из откосов осушителя на глубине 3 м вручную устраивают «полку», а разработанный при этом грунт укладывают в валик (высотой до 0,6 м и толщиной 0,5 м), который предотвращает затем рассыпание гравийного фильтра в открытую дренаж. Другую стенку «полки» срезают вертикально или под небольшим от вертикали углом. Ось «полки» должна проходить на расстоянии 1,3 м от оси траншеи. Ширина «полки» по дну для труб диаметром до 300 мм равна 45 см, а для труб диаметром 300 мм и более — 50 см.

На готовую «полку» по лоткам подается песчаный или гравий-

ный фильтр, служащий основанием для укладки дренажных труб. Толщина слоя этого основания равна 15—20 см. Раскладку фильтра для основания, укладку дренажных труб и обсыпку их фильтрующим материалом с боков и сверху проводят вручную. Уложенные грубы засыпают (также вручную) предохранительным слоем грунта толщиной около 0,5 м с одновременным его уплотнением.

Окончательно засыпают дрены вынутым грунтом на полную глубину с помощью бульдозеров, сначала со стороны неиспользованного откоса, а затем с противоположной стороны. Засыпка в такой последовательности предотвращает смещение уложенной закрытой дрены с откоса осушителя. При строительстве дренажа по методу «полки» к бригаде в составе 13—14 человек прикрепляют 2 бульдозера, 1 кран, 1 самосвал. Этот способ применяют для строительства дренажа в условиях высокого уровня стояния грунтовых вод.

Бестраншейным способом дренаж устраивается при помощи специальной дренажной машины с пассивным рабочим органом. При этом грунт не разрабатывается, а режется на большую глубину, и на дне прорезаемой щели без участия человека формируется дренажная линия из пластмассовых дренажных труб с круговым фильтром.

Дренаж, уложенный бестраншейным способом, может быть трубчатым, а также с закрепленными стенками. Закрепление стенок может быть выполнено механическим, химическим, термическим или каким-либо другим способом. Технология бестраншейного способа строительства закрытого дренажа по составу и порядку выполнения операций почти не отличается от механизированного метода.

Строительство закрытых дренажных систем ведется специализированными строительными организациями (трестами, управлениями, передвижными механизированными колоннами) или их производственными подразделениями (прорабскими участками, бригадами), которые организуются при необходимости выполнения значительного объема работ или при отдаленности объекта от центральной базы.

В процессе производства работ опережающими темпами проводится материально-техническая комплектация объектов строительства: погрузка, развозка и раскладка дренажных труб, фильтрующих материалов, деталей колодцев и устьевых сооружений по трассам дрен. Комплектацию ведут специализированные бригады, оснащенные соответствующей техникой, которые при значительных объемах выполняемых работ могут быть объединены в хозрасчетные участки или управления материально-технической комплектации.

При строительстве закрытого дренажа механизированным методом с помощью экскаваторов-дреноукладчиков типа Д-301, ЭД-3,0, а также бестраншейным дреноукладчиком БДМ-301, на которых нет механизмов придания заданного уклона, после разбивки трасс

производится разработка выемки («корыта») и планировка ее основания скрепером и бульдозером под проектный уклон дрены. Ширину выемки назначают в зависимости от габаритных размеров экскаватора-дреноукладчика. Грунт на выемках укладывают с правой стороны по уклону дрены на расстоянии 10—12 м от ее оси. Левая сторона должна оставаться свободной, так как на ней производятся все вспомогательные операции, связанные с работой дреноукладчика (подвозка дренажных труб, загрузка бункера фильтрующим материалом и т. п.).

Контроль качества планировки пути экскаватора-дреноукладчика осуществляется мастером дренажного участка по продольному и поперечному профилям с помощью геодезических инструментов. Продольный профиль проверяют по оси дрены в точках, отмеченных при разбивке трассы. При этом допускается отклонение от высотных отметок в ту или другую сторону ± 3 см. Поперечный профиль проверяют в тех же местах, что и продольный, по трем точкам. Одна берется по оси дрены из замеров продольного профиля, а две другие — в этом сечении по бокам. Поперечный уклон допускается в пределах 0,01 в любую сторону.

При строительстве дрены с помощью экскаватора-дреноукладчика Д-659Б, оборудованного автоматической системой придания заданного уклона дну отрываемой траншеи, производят работы по установке и натяжению копирного троса. В этом случае устройство «корыта» не требуется.

Засыпка дренажных траншей по стоимости и трудоемкости имеет незначительный удельный вес в общих затратах на строительство, однако от нее в значительной мере зависит последующая работа дренажа. После укладки труб и дренирующих материалов ложе дрены или траншеи засыпают до уровня дна «корыта». Чтобы не нарушить фильтровую обсыпку трубы, необходимо, чтобы фильтр вслед за проходом экскаватора-дреноукладчика был покрыт предохранительным слоем грунта толщиной 0,15—0,20 м. Засыпку производят поперечными ходами бульдозера либо установленными на экскаваторах-дреноукладчиках специальными рабочими органами для обратной засыпки траншей. Узкую щель закрывают только в ее верхней части, а щель, оставшуюся после бестраншейной укладки дренажа, закатывают гусеницами трактора. При засыпке нужно следить, чтобы не было повреждений дренажных труб и деформации линии дрены. Нельзя засыпать траншеи мерзлым грунтом. Засыпанные траншеи не должны мешать нормальному использованию земель.

Таким образом, применяемые в настоящее время способы строительства закрытого дренажа в орошаемой зоне требуют выполнения большого объема земляных работ, они малопродуктивны и характеризуются высокой стоимостью и значительными сроками строительства. Сокращение сроков строительства дренажа с применением траншейных дреноукладчиков может быть достигнуто за счет уменьшения затрат труда: при устройстве фильтра — пример-

но на 3,5%, при разработке траншеи — на 0,2%, на предохранительной присыпки — на 1%, за счет облегчения колодцев — на 3,6%. Таким образом, возможный резерв повышения темпов строительства дренажа при комплексно-механизированном способе укладки составляет около 9,5%. При строительстве же способом «полки» резерв этот не превышает 5%.

В таблице приведены основные технико-экономические показатели по способам строительства закрытого дренажа на орошаемых землях в различных гидрогеологических условиях.

Основные технико-экономические показатели способов строительства дренажа на орошаемых землях

Показатели	Способы строительства			
	в сухих грунтах	в условиях высокого уровня грунтовых вод		
		комплексно-механизированный	полумеханизированный	механизированный с водопонижением иглофильтрами
Средняя выработка одного комплекта машин, км	20	12,6	11,5	250
Число рабочих, занятых в технологическом процессе, чел.	9	18	11	68
Сменная производительность, м/смену	130	70	70	2000
Производительность труда, м/чел.-дн.	14,5	3,9	6,4	29,4
Удельная энергоемкость процессов, кВт-ч/м	14,8	28,6	6,4	10,4
Удельная металлоемкость, кг/м	2,84	3,42	0,8	1,98
Сметная стоимость 1 м дрены, руб.	9,2	16,25	11,7	4,40

Из вышеизложенного следует, что возможность увеличения производительности труда на строительстве дренажа при существующих технологиях весьма ограничена. Необходимы специальные дренажукладочные машины, способные работать в плавунных грунтах при минимальных объемах земляных работ. Весьма перспективен в этом отношении бестраншейный способ строительства дренажа.

Дальнейшее совершенствование технологии строительства и средств механизации для их осуществления позволит обеспечить получение более высокого технико-экономического эффекта. В этом направлении, по нашему мнению, должны быть расширены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА В ТУРКМЕНСКОЙ ССР

В. Н. МАМЕДОВ

Туркменский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации.

К. АШИРОВ

Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

В Туркменской ССР в сухих устойчивых грунтах Тедженского и Мургабского оазисов закрытый дренаж строился с использованием траншейных дреноукладочных машин Д-251 и Д-301. Однако с приходом в эти оазисы воды по Каракумскому каналу увеличилась водоподача на поля и как следствие произошел резкий подъем уровня грунтовых вод. Таким образом, в настоящее время строительство дренажа ведется в основном на орошаемых землях с высоким уровнем стояния грунтовых вод.

Насыщение водой мелкозернистых грунтов, преимущественно залегающих в толще 0—6 м, придает грунту свойства плавунув. и зачастую делает невозможным применение траншейных дреноукладчиков без предварительного водопонижения. Поэтому строительство горизонтального закрытого дренажа в грунтах с высоким уровнем стояния грунтовых вод ведется в республике в основном с предварительным водопонижением по трассе открытой дренажной и последующей ручной укладкой труб и фильтра на осушаемом от-

Таблица 1

Удельный вес затрат при строительстве закрытого горизонтального дренажа открытым способом, % от общей стоимости

Операции	Обрушающиеся грунты	Опывающие грунты
Разработка грунта экскаватором драглайн	25,10	36,34
Разработка грунта вручную для устройства «полки» в откосе без крепления	8,20	6,40
Устройство песчано-гравийного фильтра	40,96	27,80
Укладка керамических труб	12,55	8,60
Устройство обратной засыпки траншей без крепления ранее вынутым грунтом трамбовкой вручную	4,05	2,98
Устройство обратной засыпки бульдозером на тракторе Т-100 с перемещением грунта на расстояние 20 м	5,05	15,00
Глубокое разравнивание поверхности бульдозером на тракторе Т-100 в двух направлениях (последующее уплотнение обратной засыпки бульдозером за два прохода)	4,09	2,88
Итого:	100,00	100,00

косо (метод «на полку»). Стоимость строительства дрен возросла до 26 руб/м в оплывающих и до 18 руб/м во влажных обрушающихся грунтах. Бригада в количестве 11 человек укладывает не более 30 м дренажных труб в смену, что в основном зависит от производительности экскаватора. Увеличение числа экскаваторов влечет за собой дополнительные затраты на открытый водоотлив.

В таблице 1 приведен состав работ и удельный вес затрат на их выполнение от общей стоимости строительства 1 м дренажа методом «полки».

Применение малопроизводительного открытого способа строительства закрытого горизонтального дренажа не только повышает стоимость последнего, но резко снижает темпы работ и делает невозможным выполнение объемов строительства дренажа, требуемых планом освоения новых земель. Это объясняется большим объемом земляных работ при строительстве дренажа открытым способом, а также необходимостью выполнять укладку дрен в оплывающих грунтах в два этапа. В качестве примера в таблице 2 приводятся объемы работ по СМУ «Мургабстрой».

Таблица 2

Объемы земляных работ по СМУ «Мургабстрой»

Длина дрены, м	Объем земляных работ		Длина дрены, м	Объем земляных работ	
	всего	на 1 м		всего	на 1 м
330	6 554	19,80	696	27 570	39,6
440	9 844	22,4			
500	9 500	19,0	2332	158 044	67

Построенный временный осушитель работает как открытая дрена на 6—12 месяцев. Только после этого срока укладывают закрытую дрена. При таком расчленении строительства происходит предварительное осушение откосов. Однако работа открытого осушителя в течение длительного срока сопровождается значительной деформацией откосов. Очистка временного осушителя увеличивает сметную стоимость строительства на 10—15%.

Попытки укладывать закрытую дрена непосредственно после копания открытой дрены приводят к тому, что откосы осушителей оплывают и фильтровую обсыпку дрен приходится укладывать в разжиженную массу грунта. Это вызывает увеличение расхода песчано-гравийной смеси и проникновение частиц грунта в фильтр. Так, например, контрольными обмерами на строительстве дренажа в Мургабском оазисе установлено, что расход гравийно-песчаной смеси достигает 1 м³ на 1 м дрены против проектной 0,3 м³. Это в значительной степени удорожает строительство (табл. 3). Снижение фильтрационных свойств уложенного фильтра, засоренного грунтом, приводит к работе дрены с нависанием, в некоторых случаях равным 70% от напора в междренье.

Сметные и фактические стоимости строительства закрытого горизонтального дренажа в Мургабском оазисе

№ дрена	Длина, км	Сметная стоимость, руб.	Фактическая стоимость дрена, сделанной в эксплуатацию, руб.
<i>Колхоз «Октябрь»</i>			
5	0,90	15 520	19 692
29, 33	0,50	9 086	11 527
30, 1, 2	0,65	13 135	16 664
3	0,69	11 101	12 101
6	0,73	11 495	12 495
<i>Колхоз «Коммунизм-Елы»</i>			
Д-1	1,130	20 219	23 519
Д-2, Д-6,			
Д-4	0,426	8 979	9 778
Д-3, Д-5	0,561	11 847	13 747
Д-7	0,261	4 373	4 965
Д-8, Д-9, Д-10	0,363	5 554	6 154

Эксплуатация современных дренаукладочных машин типа Д-659А в водно-грунтовых условиях Туркменской ССР показывает, что основным препятствием для применения этих машин в грунтах с высоким уровнем стояния грунтовых вод является деформация стенок траншеи, которая проявляется в виде обрушения без оплывания или оплывания с последующим обрушением.

Укладка дрен машинами в обрушающихся грунтах связана с преодолением увеличенных сил сопротивления продвижению бункера, что достигается конструктивным улучшением бункера или экскаватора-дреноукладчика в целом. Так, например, применение бункера клинообразной формы в плане позволило сократить сопротивление его перемещению в обрушенном грунте с 52 до 24,5 кН и дало возможность осуществлять укладку дрен в обрушающихся грунтах комплексно-механизированным способом. Однако сужение бункера к хвостовой части привело к его неустойчивости в траншее в процессе перемещения, что послужило причиной образования в дренажном трубопроводе разрывов в стыках вследствие обрушения стенок траншеи на бункер.

Что касается использования современных экскаваторов-дреноукладчиков типа Д-659А, то большой сцепной вес этих машин позволяет развивать тяговое усилие в 170 и 240 кН и производить укладку дрен в обрушающихся грунтах на глубину соответственно 3 и 4 м. Допустимая скорость перемещения этих машин в обрушающихся грунтах в зависимости от уровня стояния грунтовых вод представлена на рисунке 1.

Качественное строительство дрен дренажниками было достигнуто в результате применения бункера, позволяющего укладывать дрены из труб длиной 3 м с муфтовым соединением. Стоимость 1 м дрены в этом случае составляет 5—7 руб. В таблице 4 приведен состав работ и удельный вес затрат на их выполнение в общей стоимости строительства 1 м дрены комплексно-механизированным способом.

Большие затраты на материалы, составляющие 66,2% от общих затрат, связаны в основном с применением дорогостоящих фильтрационных обсыпок из гравийно-песчаного материала, а также полиэтиленовых труб. В естественном сложении (карьеры Саганлы и Белек) эти материалы не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к фильтрам дрен. Промывка, сортировка и перевозка их увеличивают стоимость работ. Снижение затрат на фильтр дрен было достигнуто применением разработанной Туркменским научно-исследовательским институтом гидротехники и мелиорации технологии механизированного строительства дренажа из блоков, представляющих собой дренажные трубы длиной 3 м, обмотанные волокнистым фильтром. Фильтрационная оболочка блоков создается из минераловатных изделий (ГОСТ 9573—60) Безменского шиферного комбината. Применение дренажных блоков позволило снизить стоимость строительства на 15—20%, при этом отпала необходимость в остановках дренажников для пополнения бункера фильтрационной смесью, что повысило сменный коэффициент использования машин по времени с 0,5 до 0,8.

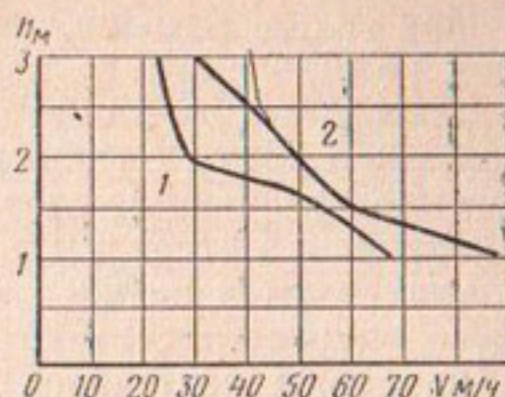


Рис. 1. Зависимость скорости продвижения экскаваторов-дренажников Д-658А и Д-659А от уровня грунтовых вод:
1 — для дренажника Д-658А;
2 — для Д-659А.

Таблица 4

Удельный вес затрат при комплексно-механизированном способе строительства дренажа, % от общей стоимости

Операция	Обрушающиеся грунты, %
Планировка пути продвижения дренажника (строительство «корыта»)	3,3
Разработка траншей многоковшовым экскаватором ЭТУ-354	2,2
Укладка труб, включая стоимость материала	31,5
Устройство фильтра, включая стоимость материала	34,7
Монтаж сооружений	14,8
Обратная засыпка	2,8
Уплотнение обратной засыпки	10,7
Итого	100

При укладке дрен в оплывающих грунтах стенки траншей сползают, разжиженный грунт проникает в фильтр, а через стыки — в дренажные трубы, дно траншей выпирает, что приводит к подъему уложенной дрены с фильтром, ее искривлению и уменьшению толщины подстилающего слоя гравийного фильтра с 10—15 до 3—5 см. Волокнистые материалы в случае их укладки в разжиженный грунт кольматируются на 20—50% по толщине. Выносимый ковшовой цепью водонасыщенный грунт налипает в уплотненном состоянии на барабаны ленточного транспортера, что приводит к разрыву транспортной ленты. Наряду с этим интенсивность обрушения верхней части стенок дренажной траншеи возрастает, процесс обрушения ускоряется и грунтовые блоки обрушаются по всей длине бункера и даже в зоне действия ковшовой цепи, вызывая ее остановку. Увеличение сопротивления продвижению бункера и наличие под его лыжей (дреноукладчик Д-659А) разжиженного грунта приводят к подъему передней части экскаватора. При этом концевая часть бункера опирается на уложенные трубы, протаскивает их и разрывает дренажную линию. Применение в таких условиях дреноукладчиков, в том числе Д-659А и Д-659Б, без предварительного водопонижения оказалось невозможным.

В целях повышения уровня механизации строительства закрытого горизонтального дренажа в таких условиях Туркменский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации (ТуркменНИИГиМ) разработал технологию укладки дрен в оплывающих грунтах с предварительным водопонижением по трассе легкими иглофильтровыми установками. Производство работ по этой технологии предусматривает установку ряда иглофильтров с шагом 1,5 м с левой стороны по движению дреноукладчика на расстоянии 2,0—2,5 м от оси дренажной траншеи. Иглофильтры устанавливаются наклонно под углом 12—15° к вертикали. Время предварительной откачки 1 ч, после чего производится укладка дрены дреноукладочными машинами. Стоимость строительства 1 м дрены 11—14 руб. Поточное строительство дренажа с предварительным водопонижением по трассе достигается выполнением работ на трех захватках длиной 160 м. Работы выполняются в две смены. На рисунке 2 показаны виды работ на отдельных захватках. В таблице 5 приведен состав работ и удельный вес затрат на их выполнение от общей стоимости строительства 1 м дрены комплексно-механизированным способом с предварительным водопонижением.

Применение водопонижения по трассе дрен легкими иглофильтровыми установками позволило производить в республике качественную укладку дрен в оплывающих грунтах комплексно-механизированным способом. Однако отсутствие в должном количестве водопонижительного оборудования сдерживает использование этого метода в широких масштабах. В связи с этим был опробован ряд новых способов предварительного водопонижения. Строительными организациями был предложен и испытан способ предварительного водопонижения вертикальным дренажем. По этому способу

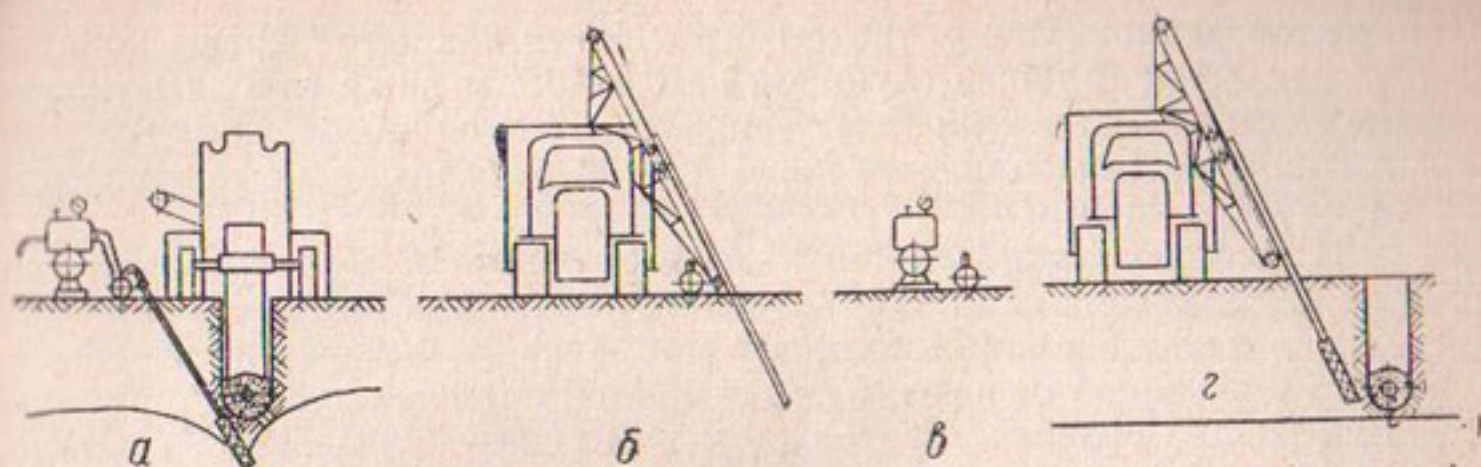


Рис. 2. Схема организации поточного строительства закрытого горизонтального дренажа с предварительным водопонижением по трассе:

первая смена: а — I захватка: откачка грунтовых вод, 1 ч; укладка дрены 160 м; производительность 22,8 м/ч; общее время 8 ч; б — II захватка: забуривание иглофильтров 110 штук; производительность, 14 игл/ч; общее время 8 ч; в — III захватка: монтаж водосборного коллектора 160 м; производительность 20 м/ч; общее время 8 ч;
вторая смена г — разборка водосборного коллектора 160 м; производительность 26,6 м/ч; извлечение иглофильтров, время 6 ч; транспортировка оборудования на новое место, время 2 ч.

вдоль трассы строящейся дрены устраивались вертикальные скважины на расстоянии 30 м друг от друга. Скважины глубиной 30 м бурились на расстоянии 2,5 м от оси дрены с правой стороны движения дреноукладчика. Требуемое понижение уровня грунтовых вод было достигнуто через 120—140 ч непрерывной откачки. Широкого применения этот способ строительства не получил вследствие высокой стоимости водопонижения. В настоящее время в опытном порядке применяется способ предварительного водопонижения от-

Таблица 5

Удельный вес затрат при строительстве закрытого горизонтального дренажа с предварительным водопонижением по трассе легкими иглофильтровыми установками, % от общей стоимости

Операция	При высоком уровне стояния грунтовых вод в оплывающих или обрушающихся грунтах, %
Планировка пути продвижения дреноукладчика (строительство «корыта»)	2,1
Разработка траншеи многоковшовым экскаватором	1,4
Укладка труб, включая стоимость материала	20,05
Устройство фильтра, включая стоимость материала	22,08
Монтаж сооружений	9,42
Обратная засыпка	1,78
Уплотнение обратной засыпки	6,81
Водопонижение	36,36
Итого	100,00

крытой дренажной. Вдоль трассы строящейся закрытой дренажной копаются открытая траншея глубиной на 0,5—0,7 м ниже глубины укладки закрытой дренажной на расстоянии 10—15 м от ее оси. Укладка закрытой дренажной выполняется через 15—20 дней после завершения копания траншей.

Существенными недостатками этого способа строительства, так же как и метода «на полку», является большой объем земляных работ, а также ограниченность его применения. Вследствие интенсивного оплывания откосов и дна открытой траншеи способ применим при уровне стояния грунтовых вод над дном отрываемой траншеи не более 2,0—2,5 м.

Исследованиями условий разжижения несвязных грунтов, залегающих на дне и стенках дренажной траншеи, установлено, что укладка дренажей с гравийно-песчаным фильтром механизированным способом в оплывающих грунтах без предварительного водопонижения возможна, когда капиллярная кайма от уровня грунтовых вод превышает дно отрываемой траншеи не более чем на 1 м, а скорость перемещения дренажукладчика не менее 70 м/ч. В этом случае, несмотря на то что на дно и нижнюю часть стенок дренажной траншеи действует фильтрационный поток с градиентами напора 1,30—1,43, превышающими критические значения (0,83—1,19), время, необходимое для разрушения грунтов под действием таких градиентов, составляет 55—60 с. Это позволяет отсыпать нижний слой фильтра на прочное дно до его перехода в разжиженное состояние. В дальнейшем этот слой фильтра служит дренажной пригрузкой, препятствующей переходу грунта в разжиженное состояние.

На основании выполненных исследований ТуркменНИИГМ предложил способ строительства закрытого горизонтального дренажа в оплывающих грунтах с использованием разгрузочных скважин. При этом способе по трассе строящейся дренажной в грунте устраиваются скважины диаметром 100—200 мм и глубиной 6—8 м, заполненные гравийно-песчаным материалом до проектного дна дренажной траншеи. В процессе рабочего перемещения экскаватора-дренажукладчика происходит подключение скважины к дренажной линии. В результате фильтрационный поток изменяет свое направление и градиенты напора, действующие на дно и нижнюю часть стенки траншеи, снижаются.

Опытно-производственная проверка показала, что способ пригоден только при укладке дренажей в двухслойной грунтовой среде, где верхний слой сложен из тяжелых грунтов, а подстилающий — из легких. Стоимость строительства 1 м дренажной, по предварительным подсчетам, составила 17—20 руб. Для широкого применения этого способа требуется проведение исследований, направленных на разработку технологии устройства разгрузочных скважин и специализированных высокопроизводительных машин.

В заключение следует отметить, что наблюдения за сезонным колебанием уровня грунтовых вод на объектах строительства закрытого горизонтального дренажа показали, что минимальная

глубина их залегания наблюдается с февраля по сентябрь, а максимальная глубина — с октября по январь. Амплитуда колебаний уровня грунтовых вод составляет 2,0—2,2 м. Это позволяет предполагать, что при правильной организации строительства закрытого горизонтального дренажа, учитывающей конкретные гидрогеологические условия орошаемых регионов республики, можно значительно снизить объемы укладки дрен с предварительным водопонижением по трассе. Так, учет сезонного колебания уровня грунтовых вод и литологического строения грунтов по трассе дрен на сельскохозяйственных массивах колхоза им. Свердлова Ашхабадского района позволил сократить объем строительства закрытого дренажа с предварительным водопонижением почти в 3 раза.

УДК 626.862:001.5

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПРОКЛАДКИ ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА В ОБРУШАЮЩИХСЯ ГРУНТАХ

А. М. КУШНЕР, кандидат технических наук

Азербайджанский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

По теории и практике строительства закрытого дренажа в орошаемой зоне известны работы различных авторов (Е. Д. Томина, В. Н. Бердянского, А. Н. Мирсагатова, Л. П. Тюрина и др.), но до настоящего времени отсутствуют научно обоснованные рекомендации по решению ряда вопросов для специфических условий строительства комплексно-механизированным способом закрытого горизонтального дренажа в обрушающихся налипавших грунтах.

Особенности процесса взаимодействия многоковшового землеройного рабочего органа экскаватора-дреноукладчика с грунтом при отрывке траншей вытекают из свойств водонасыщенных обрушающихся и налипавших грунтов.

Все многообразие факторов, влияющих на проходимость экскаватора-дреноукладчика, можно разбить на две группы в зависимости от состояния грунтовой поверхности и конструктивных параметров базовой машины, величины, направления и координат точки приложения к базе внешней нагрузки.

Факторы первой группы в исследуемых грунтовых условиях можно оценить по общеизвестным расчетным зависимостям и экспериментальным данным.

Факторы второй группы оказывают решающее влияние на проходимость дренажной машины при работе в обрушающихся, водонасыщенных и липких грунтах. Это влияние сказывается через распределение опорных реакций гусениц в результате изменения в больших пределах величины, направления и координат точки при-

ложения внешней нагрузки на базовую машину от воздействия грунта на рабочие органы. Удельные давления распределяются неравномерно вдоль опорной длины гусеницы в случае расположения проекции точки приложения внешней нагрузки вне ее. Тогда уравнения равновесия машины имеют вид:

$$\text{при } \alpha > 0 \quad \begin{cases} Gl_1 - R_r l_r - X_n y - R_p h_n - P_p l_3 \operatorname{tg} \alpha = 0, \\ G - R_r + P_p \operatorname{tg} \alpha = 0, \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{при } \alpha = 0 \quad \begin{cases} Gl_1 - R_r l_r - X_n y - P h_n = 0, \\ G - R_r = 0. \end{cases} \quad (2)$$

В случае расположения проекции точки приложения внешней нагрузки в пределах опорной длины гусеницы эпюра имеет более выровненный характер, а уравнения равновесия машины принимают следующий вид:

$$\begin{cases} Gl_1 - R_r l_r - X_n y - P_p l_3 \operatorname{tg} \alpha = 0, \\ G - R_r + P_p \operatorname{tg} \alpha = 0, \end{cases} \quad (3)$$

где α — угол между линией действия внешней нагрузки и горизонталью; G — эксплуатационная масса базовой машины дrenoукладчика; R_r — нормальная реакция почвы; P_n — внешняя нагрузка; P_p — горизонтальная составляющая внешней нагрузки; X_n — сила сопротивления качению гусеницы; y , K_n — вертикальные координаты точки приложения сил X_n и P_n ; l_r , l_1 , l_2 , l_3 — горизонтальные координаты точки приложения сил G , P_p , R_r , q_3 .

Приведенные уравнения указывают пути оценки проходимости, удельного давления и выравнивания его эпюры, а также влияния на них указанных сил. Однако неизвестны допустимые пределы изменения этих величин для обеспечения проходимости дренажной машины при работе в обрушающихся, водонасыщенных и липких грунтах. Они определяются экспериментальным путем.

Из всех указанных сил на работу экскаватора-дреноукладчика наибольшее влияние оказывает внешняя нагрузка. Ее величина изменяется в результате защемления бункера дrenoукладчика обрушившимся грунтом. Пределы изменения зависят главным образом от величины масс обрушившегося грунта, определяющейся устойчивостью стенки отрываемой траншеи. Главными причинами нарушения устойчивости стенки траншеи являются внешние воздействия, увеличение активного действия нагрузки и уменьшение сопротивлений сдвига в грунте. Эти причины возникают как отдельно, так и совместно, обуславливая обвалы стенок, оползни, выдавливания и сползания масс грунта, что приводит к повышению тягового сопротивления машины и даже к ее остановке.

Прогнозирование устойчивости стенок траншеи в естественных

условиях можно осуществлять по величине критического градиента, определяемой по формуле:

$$I_{кр} = \frac{(1-n_2)(\gamma_0^{ск}-1)}{\gamma_0^n}, \quad (4)$$

где n_2 — пористость грунта; $\gamma_0^{ск}$ — объемная масса скелета грунта; γ_0^n — масса воды в единице объема грунта.

Предельная высота вертикальной стенки траншеи с точки зрения ее устойчивости в реальных условиях может быть приближенно определена по формуле:

$$H_{кр} = \frac{4C}{3\gamma_0^{гп}}, \quad (5)$$

где C — сцепление грунта; $\gamma_0^{гп}$ — объемная масса грунта.

В реальных условиях в верхней части стенки траншеи действует растяжение, а в нижней — сжатие. Глубина верхней части, где практически отсутствует давление грунта на бункер, может быть определена по формуле:

$$Z_0 = \frac{2C}{\gamma_0^{гп}} \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right). \quad (6)$$

Полное активное боковое давление грунта равно:

$$E_a = \frac{\gamma_0^{гп} H^2}{2} \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) - 2CH \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) + \frac{2C^2}{\gamma_0^{гп}}, \quad (7)$$

где H — глубина траншеи; φ — угол внутреннего трения грунта.

Закон его распределения по высоте бункера описывается уравнением:

$$\sigma = \gamma_0^{гп} H \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) - 2C \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (8)$$

При наличии влияния нагрузки от колес прицепного оборудования эпюра распределения давлений грунта по высоте бункера несколько изменяется и строится с учетом реальных значений этой нагрузки.

Достоверная расчетная оценка системы взаимодействия бункера с обрушившимся грунтом может быть получена лишь при полном учете реальных гидрогеологических и грунтовых условий.

Общее тяговое сопротивление прицепного оборудования $W_{общ}$ определится путем суммирования отдельных составляющих по формуле:

$$W_{общ} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4, \quad (9)$$

где W_1 — сопротивление копанию ножом-подборщиком (определяется экспериментально); W_2 — сопротивление раскладке фильтрующего материала, состоит из сопротивления от трения планировщиков нижней части бункера о фильтрующий материал и сопротивления сдвигу его (определяется экспериментально); W_3 — сопротивление перемещению бункера от воздействия обрушившегося грунта, равное:

$$W_3 = \Sigma \cdot S_0 N_s f_{\text{тр}}, \quad (10)$$

где Σ — коэффициент, учитывающий изменение поверхности трения; S_0 — площадь боковых стенок бункера; N_s — нормальная сила давления грунта на боковые стенки бункера; $f_{\text{тр}}$ — коэффициент трения скольжения стали по грунту.

В случае применения бункера с передвижной опалубкой его значение меньше и определяется по формуле:

$$W_3 = N_s' f'_{\text{пер}}, \quad (11)$$

где N_s' — нормальная сила давления грунта на щиты передвижной опалубки; $f'_{\text{пер}}$ — коэффициент сопротивления перекачиванию упорных роликов опалубки по направляющим.

Сопротивление перекачиванию колесного хода W_4 бункера определяется из выражения:

$$W_4 = (G_k + G_{\text{ф}} + G_{\text{т}} + G_{\text{гр}}) f_{\text{пер}}, \quad (12)$$

где G_k , $G_{\text{ф}}$, $G_{\text{т}}$ — масса (соответственно): конструкции бункера с ходовой частью; фильтрующего материала, воспринимаемого бункером дренаукладчика; дренажных труб, находящихся в бункере; $G_{\text{гр}}$ — вертикальная составляющая силы давления на бункер обрушившегося грунта; $f_{\text{пер}}$ — коэффициент сопротивления перекачиванию колес бункера по трассе.

Условиями нормальной работы экскаватора-дренаукладчика без нарушения технологического процесса в результате защемления бункера обрушившимся грунтом и возникновения непреодолимых сопротивлений передвижению базовой машины являются:

$$\begin{aligned} T_{\text{тяг}} &> W_{\text{общ}}, \\ M_{\text{заг}} &\geq M_{\text{выг}}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $T_{\text{тяг}}$ — тяговое усилие, развиваемое базовой машиной дренаукладчика; $M_{\text{заг}}$, $M_{\text{выг}}$ — заглубляющий и выглубляющий моменты относительно передней опоры бункера.

Ширина выпускного отверстия бункера для осуществления непрерывного истечения гравийно-песчаной обсыпки дренажных труб определяется по формуле:

$$A_{\text{ш}} = \frac{2\tau_0(1 + \sin\varphi_{\text{см}})}{K' \gamma_{\text{см}0}}, \quad (14)$$

где τ_0 — величина начального сопротивления сдвигу; $\varphi_{см}$ — угол внутреннего трения материала фильтра; $\gamma_0^{см}$ — объемная масса материала фильтра; K' — коэффициент формы отверстия истечения.

Значения входящих в формулу величин определяются для условий работы машины.

Укладка дренажных труб осуществляется с помощью спускного желоба, от размеров которого зависит качество укладки. Форма и кривизна спускного желоба будут наиболее выгодными, если работа сил трения окажется минимальной при спуске по нему керамических дренажных труб под действием собственного веса. В этом случае трубы будут укладываться в дренаж непрерывной линией, без разрывов и нагромождений, то есть скорость их движения по желобу будет равна скорости движения трубоукладчика.

Такой желоб в продольном сечении будет иметь форму прямолинейных направляющих (в вертикальной и горизонтальной плоскостях), сопряженных с направляющими, изогнутыми по циклоиде. Параметры его описываются уравнениями (15—18):

$$L_n = 2a_n + l_{тр}, \quad (15)$$

$$h_0 = \pi a_n, \quad (16)$$

$$h_d = \frac{Q_{тр} l_{тр}}{P_{тр}}, \quad (17)$$

$$h = \pi a_n + \frac{Q_{тр} l_{тр}}{P_{тр}}, \quad (18)$$

где L_n — горизонтальная проекция желоба; a — параметр циклоиды; $l_{тр}$ — длина одной керамической трубы; h_0 — вертикальная проекция циклоидальной части желоба; h_d — длина вертикальной прямолинейной части желоба; $Q_{тр}$ — требуемое торцевое усилие на выходе труб из желоба; $P_{тр}$ — масса одной дренажной трубы.

Форму желоба в поперечном сечении целесообразно выполнять в виде части циклоиды, длина которой в обе стороны от центра арки равна сумме наружного радиуса дренажной трубы и рекомендуемой величины зазора между дренажной трубой и стенкой кожуха спускного желоба.

Величина торцевой силы прижатия труб при их свободной укладке с применением такого желоба (без учета трения их о вертикальную часть желоба) равна:

$$T_{своб} = g_{тр} h_d + g_{тр} \cdot l_k (\cos 45^\circ - f_{ж}^{ск} \sin 45^\circ) - g_{тр} l f_{ж}^{ск}, \quad (19)$$

где $g_{тр}$ — масса 1 м трубы; l_k — длина криволинейной части желоба; l — длина прямой циклоидальной части желоба; $f_{ж}^{ск}$ — приведенный коэффициент трения труб о желоб.

Увеличения торцевой силы поджатия труб при их свободной укладке по желобу [уравнение (9)] можно достигнуть за счет уменьшения сил трения, например, путем замены пассивных направляющих дисковым конвейером.

С целью проверки основных результатов теоретических исследований и определения значений опытных коэффициентов расчетных формул были проведены экспериментальные исследования.

Опыты проводились в грунтовых условиях, характерных для Кура-Араксинской низменности. В верхнем слое мощностью 2,2—2,5 м грунты представлены в основном тяжелыми глинами и суглинками, а в нижнем слое мощностью 0,8—0,5 м — супесями и песками; плотность их 2,56—2,66 кг/м³, объемная масса 1,18—1,38 кг/м³, объемная масса скелета 1,41—1,67 кг/м³, естественная влажность 12,5—34,2%, скважность 39,48%, предельная полевая влагоемкость 25,5—30,6%, средний коэффициент фильтрации водоносной толщи 0,91—0,97 м/сут, число пластичности верхних слоев (до 1,4—1,6 м) в пределах 14—20, средних слоев (до 2,4 м) 9—12, а нижних (до 3,0 м) 4—6. Общее сцепление изменялось от 59 до 4,9 кН/м² с увеличением влажности и угол трения при этом от 20 до 11°. Глубина залегания грунтовых вод составляла 2,0—2,5 м.

В качестве экспериментальной установки использовался опытный образец дреноукладчика Д-301 ОП, который представляет собой дреноукладчик Д-301, реконструированный и приспособленный для работы в обрушающихся и налипающих грунтах. На нем установлены следующие дополнительно разработанные, реконструированные и стандартные узлы: землеройный орган, имеющий режущие параметры с боковыми уширителями, складывающимися на

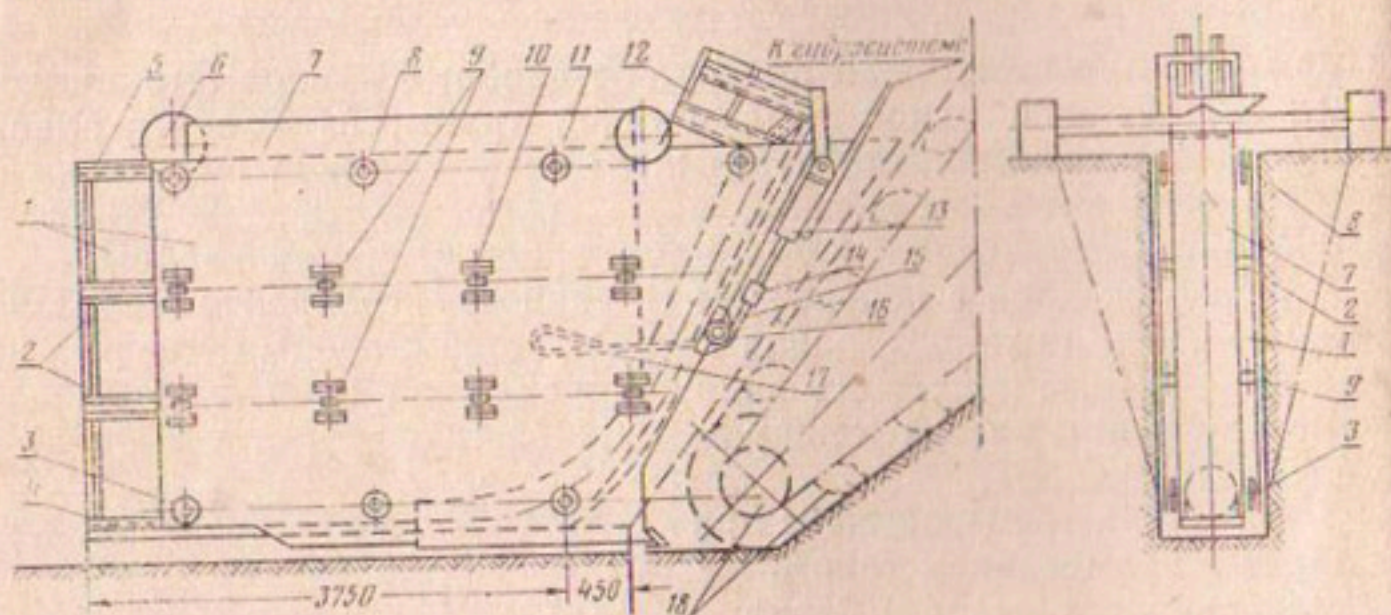


Рис. 1. Бункер с подвижной опалубкой:

1 — щиты подвижной опалубки; 2 — боковые направляющие; 3 — нижние упорные ролики; 4 — нижняя поддерживающая направляющая; 5 — верхняя несущая направляющая; 6 — подвеска бункера с колесами; 7 — бункер; 8 — верхние опорные ролики; 9 — боковые упорные ролики; 10 — кронштейны роликов; 11 — оси роликов; 12 — рама механизма подачи труб; 13 — гидроцилиндр; 14 — траверса; 15 — тяговые канаты; 16 — отклоняющие блоки; 17 — узел крепления тяговых канатов; 18 — роющий орган экскаватора ЭТУ-354.

холостой ветви тяговой цепи, и ограждающие щиты, предназначенные для защиты его от воздействия обрушивающегося грунта; удлиненные усиленные оси прицепного бункера; подвижная опалубка к прицепному бункеру и гидрооборудование для привода ее щитов; трубоукладывающий механизм в виде спускного циклоидального желоба, выполненного по типу двухветвевое дискового конвейера, направляющие которого для увеличения ширины выпускной цепи прицепного бункера изогнуты в горизонтальной плоскости.

Для повышения проходимости дреноукладчика за счет недопущения защемления бункера в зоне обрушения использована подвижная опалубка (рис. 1), имеющая независимый от тягового усилия базового экскаватора привод, установленный на передней стенке прицепного бункера. Недопущение защемления осуществляется за счет опережающего движения щитов опалубки, которые, воспринимая усилия от обрушившегося грунта, позволяют вывести бункер из зоны обрушения со значительно меньшими сопротивлениями передвижению базовой машины, так как в этом случае имеют место значительно меньшие по величине сопротивления трению качения между бункером и подвижной опалубкой вместо сопротивлений трения скольжения между бункером и обрушившимся грунтом. Наряду с опытным образцом дреноукладчика Д-301 ОП для получения сравнительных экспериментальных данных использовались дреноукладчики Д-301 и Д-301Т (с трапецевидным в плане бункером), на которых дополнительно устанавливались очиститель ковшей землеройного органа, механизм очистки приемного бункера, очистители отвального транспортера и обрезиненный ведущий барабан к нему.

Обрушение стенок открытой траншеи происходит тем быстрее, чем выше уровень грунтовых вод. Появление трещин происходило на расстоянии 0,9—1,3 м от края траншеи, а длина призмы обрушения составляла 4—7 м.

Кривую поверхности сползания призмы обрушения хорошо аппроксимирует функция:

$$y = a_c x^2 + b_c x,$$

где a_c , b_c — экспериментальные коэффициенты, равные соответственно 0,99 и 0,83.

Распределение нагрузки от призмы обрушившегося грунта по длине бункера-трубоукладчика можно считать равномерным, а по высоте — неравномерным (рис. 2). Полученная экспериментальная кривая эпюры нормального давления по высоте бункера аппроксимируется зависимостью:

$$P = a H^b e^{cH},$$

где H — глубина траншеи; a , b , c — коэффициенты, зависящие от грунтовых условий и равные для условий опыта: $a = 55$, $b = 0,8$, $c = 1,6$.

Равнодействующая суммарного горизонтального давления

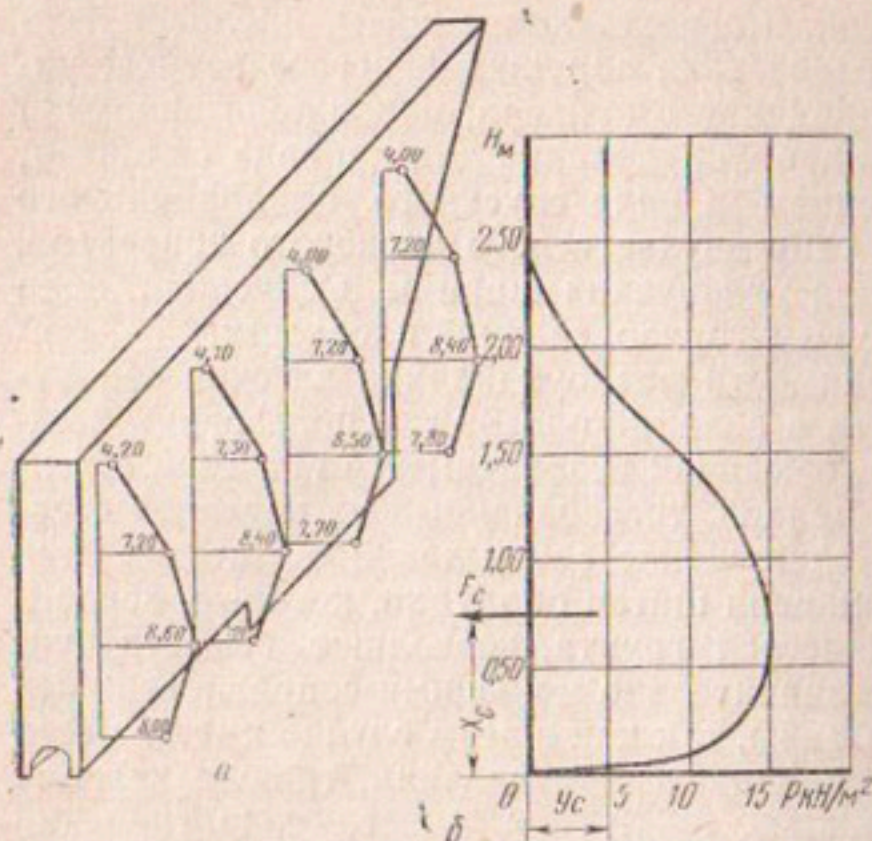


Рис. 2. Элюры распределения нагрузок от обрушения грунта:

a — распределение нагрузок по длине и высоте бункера; *b* — эюра давлений, построенная по осредненным данным.

го бокового давления на бункер обрушившегося грунта достигала величины 30 кН. Направлена она вниз под углом 23° к горизонту, а координаты точки приложения равны 0,3 глубины траншеи, считая от дна бункера; 0,42 длины бункера, считая от его задней стенки.

Обрушения грунта практически не оказывают отрицательного влияния на процесс работы дрепоукладчика и качество ее выполнения, если он движется без остановок, так как они происходят преимущественно за бункером. В случае остановки машины происходит защемление бункера обрушившимся грунтом, в результате чего при трогании с места возникают непреодолимые для базовой машины тяговые сопротивления на протаскивание бункера, а попытка высвободить бункер от защемления приводит к изменению его положения и нарушению проектных параметров дрены. Экскаватор-дреноукладчик Д-301ОП благодаря конструкции бункера, имеющего подвижную опалубку, свободен от вышеуказанных недостатков. Максимальные значения общего тягового сопротивления перемещению его бункера соответственно в 2 и 1,45 раза ниже, чем у Д-301 и Д-301Т (рис. 3), а удельный вес сопротивления от воздействия обрушившегося грунта в общем тяговом сопротивлении соответственно равен 22, 62 и 51%.

Мощность на приводе землеройного органа с увеличением рабочей скорости машины в 4 раза (с 12,35 до 50 м/ч) возрастает, а

призмы обрушившегося грунта на бункер равна:

$$E_r = \gamma_0^p F,$$

где F — площадь экспериментальной эюры давления. Координаты точки приложения равнодействующей:

$$x_c = \frac{\int_0^H PHdH}{\int_0^H P^2dH};$$

$$y_c = \frac{0,5 \int_0^H PdH^2}{\int_0^H PdH}; \quad (20)$$

В условиях проведения опытов равнодействующая активно-

удельная энергоемкость разработки грунта снижается в среднем в 2 раза с одинаковой интенсивностью для всех исследуемых типов ковшей: серийных, полукруглых и в виде режущих периметров. При этом мощность уменьшается соответственно на 5—12 и 28—31% (рис. 4) в случае применения последних двух видов ковшей по сравнению с серийными.

Тягово-сцепные свойства экскаватора-дреноукладчика во многом определяются величиной и характером распределения опорных давлений, перераспределение которых по опорной поверхности в процессе работы зависит от величины нагрузок на крюке. С увеличением их центр давления под воздействием возрастающего опрокидывающего момента смещается назад по длине гусеницы и в отдельных случаях передние участки гусениц так разгружаются, что перестают принимать участие в передаче давления на грунт, то есть уменьшается активная длина гусеницы, а задние перегружаются и удельные давления под ними имеют максимальные значения, превышающие до 2 раз средние значения удельного давления под гусеницами. Максимальные значения удельных давлений у Д-301ОП в 1,1 и 1,2 раза ниже, чем у Д-301 и Д-301Т. При этом центр давления находится от оси натяжного колеса на расстоянии

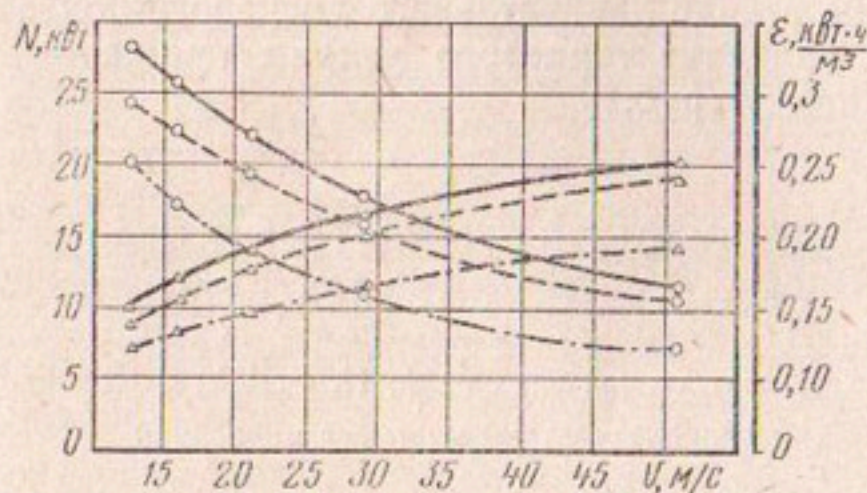


Рис. 4. Зависимость мощности на турасном валу и удельной энергоемкости разработки грунта от конструкции ковша и рабочей скорости дреноукладчика:

— — — — — серийные ковши; — — — — — полукруглые ковши; — · — · — · — режущие периметры.

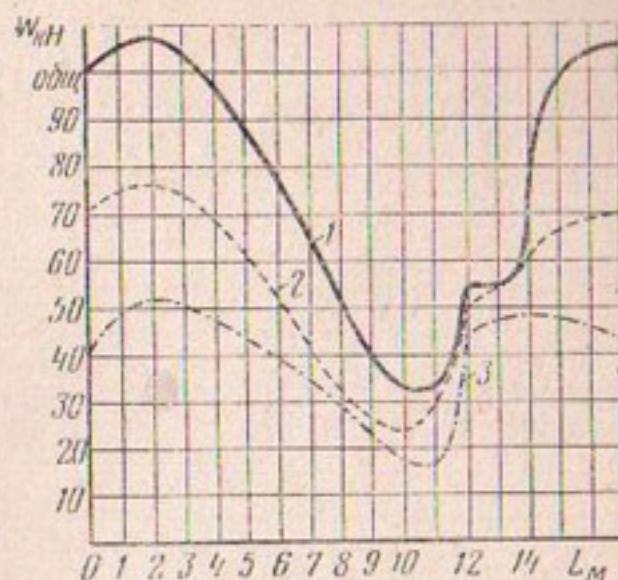


Рис. 3. Изменение общего тягового сопротивления прицепного оборудования:

1—для дреноукладочной машины Д-301;
2—для дреноукладочной машины Д-301Т;
3—для дреноукладочной машины Д-301ОП.

(соответственно) 98, 85 и 91 см. С целью выравнивания удельного давления по длине гусеницы, улучшения тягово-сцепных свойств дреноукладчика и его проходимости рекомендуется применение удлиненных до 3 м гусениц с заходящими друг на друга траками.

Результаты проведенных опытов показывают, что для обеспечения устойчивости

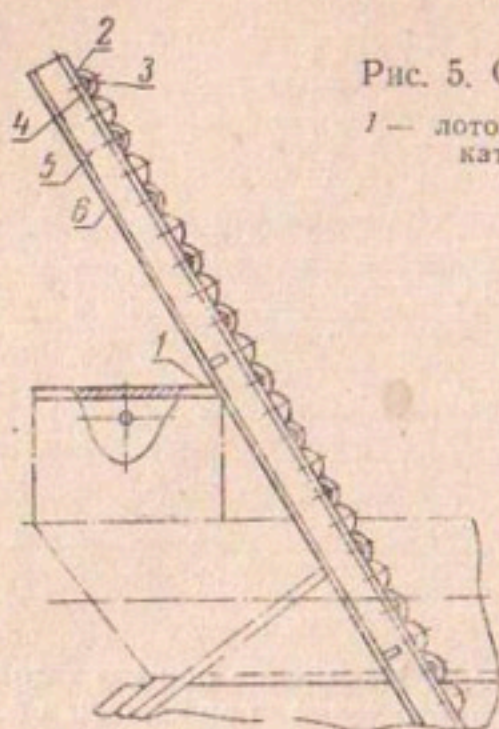
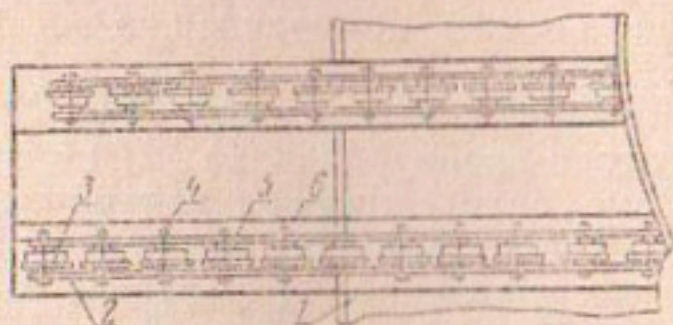


Рис. 5. Спускной желоб конструкции АзНИИГиМ:

1 — лоток; 2 — реборда катка; 3 — каток; 4 — ось катка; 5 — направляющая; 6 — основание.



процесса истечения фильтрующего материала из бункера ширина выпускного щелевого отверстия должна быть не менее 150 мм. Это было учтено Государственным специализированным конструкторским бюро по ирригации Главсредазирсовхозстроя при разработке новой конструкции бункера экскаватора-дреноукладчика Д-301ОПТ.

Укладка труб по криволинейным направляющим, установленным на дреноукладчиках Д-301, не всегда обеспечивает требуемое качество работ. Это связано в основном с неудовлетворительным качеством изготовления дренажных труб и конструкцией трубоукладчика. Применение разработанного на основе проведенных исследований циклоидального спускного желоба (рис. 5), направляющие которого выполнены в виде двухветвевоего дискового конвейера, позволило получить значение торцевого усилия прижатия в 500 Н и качественную укладку труб.

УДК 626.862:001.5

УЗКОТРАНШЕЙНЫЙ СПОСОБ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ

А. Н. МИРСАГАТОВ, кандидат технических наук; Н. П. КАРПОВ

Среднеазиатский научно-исследовательский институт ирригации

Узкотраншейный (щелевой) способ строительства закрытого дренажа заключается в том, что в грунте отрывается узкая глубокая щель, на дно которой укладывается дренажная линия из гибких пластмассовых труб и песчано-гравийного фильтра с одновременной заделкой полости щели грунтом. Этот способ способствует значительному сокращению объема земляных работ при рытье

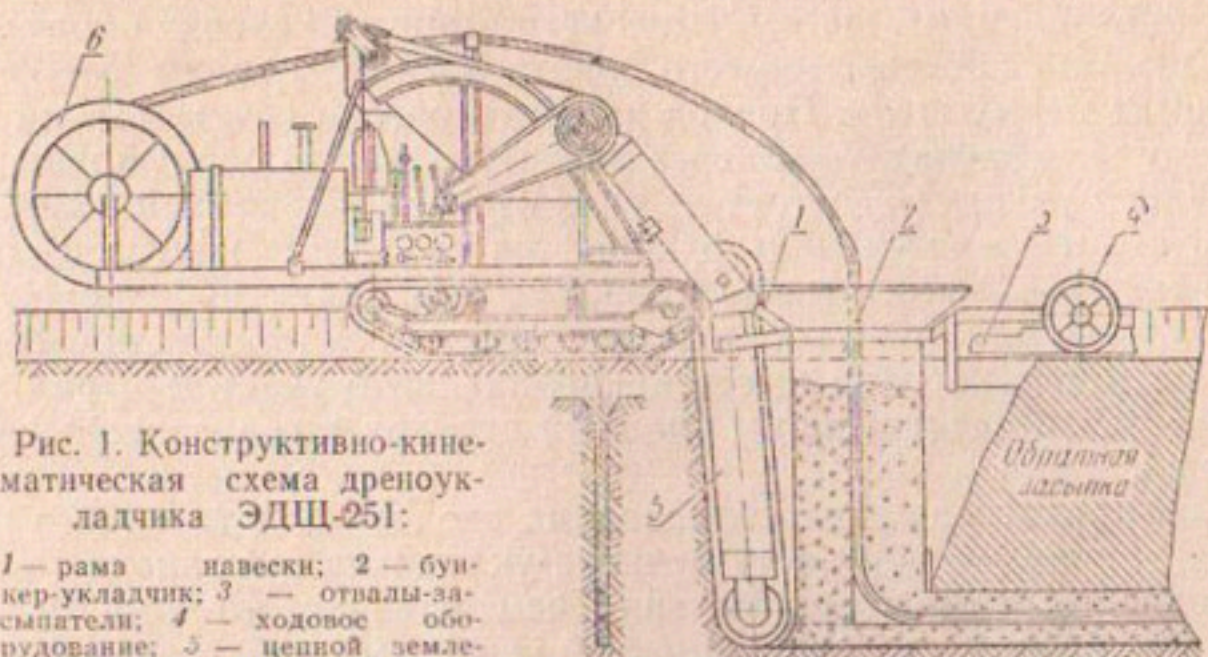


Рис. 1. Конструктивно-кинематическая схема дреноукладчика ЭДШ-251:

1 — рама навески; 2 — бункер-укладчик; 3 — отвалы-засыпатели; 4 — ходовое оборудование; 5 — цепной рабочий орган; 6 — барабан для пластмассовых труб.

траншеи и обратной засыпке ее грунтом, который должен иметь плотность не ниже естественной. Кроме того, применение непрерывной дренажной линии из длинномерных пластмассовых труб улучшает условия механизации процесса укладки дрен, исключает трудоемкую и ответственную операцию по обеспечению заданного зазора в стыках труб в период строительства и предотвращает расстройство стыков дренажной линии труб во время эксплуатации.

Строительство закрытого дренажа из пластмассовых труб узкотраншейным способом осуществляется с помощью щелевого дреноукладчика ЭДШ-251 конструкции САНИИРИ и Голодностепестроя. Дреноукладчик разработан на базе траншейного экскаватора ЭТУ-354 (рис. 1).

Дреноукладчик работает с постоянным заглублением рабочего органа от спланированной под заданный уклон поверхности трассы и синхронно выполняет следующие основные операции технологического процесса строительства: рытье щели, очистку дна от осыпавшегося грунта, подсыпку слоя песчано-гравийного фильтра, укладку пластмассовых дренажных труб, засыпку труб слоем фильтра и заделку щели грунтом.

Рама навески сварной конструкции. Верхний конец рамы шарнирно крепится к кронштейнам турасного вала, а нижняя горизонтальная часть, служащая для крепления основных узлов рабочего органа, через ходовое оборудование опирается на спланированную поверхность трассы. На раме навески предусмотрены места для крепления механизма привода роющего органа, рамы роющего органа, бункера-укладчика и ходового оборудования. Рабочий орган опирается на дугообразную раму экскаватора двумя опорными роликами, которые при подъеме и опускании рабочего органа катятся по балкам верхней рамы.

Рабочий орган представляет собой втулочно-роликовую цепь с двух- и трехрезцовыми режущими элементами, прикрепленными к

ней с определенным шагом. Щелерезный орган наверху оборудован кожухом для приема вынутаго грунта и направления его для разгрузки на берму щели. Привод роющего органа осуществлен от турасного вала экскаватора через двухступенчатую цепную передачу.

Бункер-укладчик состоит из двух отсеков и приемной воронки, в которую загружается фильтрующий материал для круговой обсыпки дренажных труб. Между отсеками проходит трубопровод для спуска пластмассовых дренажных труб к месту их укладки. В нижней части трубопровод имеет криволинейный участок с радиусом кривизны, обеспечивающим плавный переход в горизонтальное положение.

Для предотвращения образования сводов фильтрующего материала направляющая часть бункера-укладчика выполнена так, что проходное сечение внизу больше, чем наверху, то есть боковые стенки наклонены внутрь. В нижней части передней стенки бункера установлен нож-подборщик, а задние стенки отсеков (по ходу) оборудованы планировщиками фильтрующего материала.

Ходовое устройство состоит из оси с двумя колесами, оборудованными устройством для очистки их от грязи. Рама ходового оборудования сварной конструкции. С помощью пальцев она соединена с рамой навески. Конструкция крепления такая, что при подъеме рабочего органа в транспортное положение рама ходового устройства с колесами поворачивается вокруг пальцев и складывается. К оси ходового оборудования прикреплены отвалы-засыпатели для обратной засыпки щели вынутым из нее грунтом. Конструкция крепления такая, что позволяет регулировать положение отвалов в вертикальной плоскости.

Катушка для бухты пластмассовых труб сварной конструкции. Передняя стенка ее съемная. Катушка установлена впереди экскаватора на специальном кронштейне на подшипниках скольжения.

Рабочий процесс щелевого дренаукладчика протекает следующим образом. Машина с заправленной дренажной трубой устанавливается в исходную позицию у устья будущей дрены, и рабочий орган опускается на необходимую глубину. Для этого на откосе открытого коллектора заблаговременно отрывают заходный шурф. После закрепления конца дренажной трубы на нужной отметке прокладывается устьевая часть дрены длиной около 30 м. Эта часть дрены строится без фильтрующей обсыпки из труб, не имеющих водоприемных отверстий.

После прокладки устьевой части бункер дренаукладчика загружается фильтром и производится укладка рабочей части дрены из перфорированных пластмассовых труб с обсыпкой вкруговую фильтрующим материалом. При этом подстилающий слой фильтра отсыпается из переднего отсека бункера, а слой засыпки — из заднего отсека.

Отрывку щели производят с одновременной подачей в забой некоторого количества воды. Вода в забой роющего органа подается с целью улучшения разгрузки вынимаемого из щели грунта, полу-

Техническая характеристика щелевого дренаукладчика ЭДЩ-251

Базовая машина	экскаватор ЭТУ-354
Тип машины:	
в работе	полуприцепной
при транспортировании	навесной
Роющий орган	цепной
Размеры отрываемой щели, м:	
глубина	2,5
ширина	0,15
Диаметр укладываемых труб, мм	до 90
Трубы	пластмассовые гибкие
Материал фильтра	песчано-гравийная смесь с максимальным размером фракции до 5 мм
Расход воды, м ³ /м	до 0,1 в зависимости от естественной влажности грунта
Рабочая скорость, м/ч	12,5; 16,3; 21,5; 28,9; 63,6; 87,5; 114
Транспортная скорость, км/ч	0,46; 0,69; 0,80; 1,0; 1,84; 2,32; 3,2; 4,2
Скорость роющей цепи, м/с	2,0; 3,8; 5,9
Габаритные размеры, м:	
в рабочем положении:	
длина	11,47
ширина	2,83
высота	2,90
в транспортном положении:	
длина	8,80
ширина	2,83
высота	5,0
Масса машины, т	12,5
Число обслуживающего персонала, чел.	2

чения грунтовой массы, обеспечивающей удобоукладываемость при обратной засыпке щели, а также для облегчения условий производства работ.

Грунт, направленный в щель, полностью заполняет весь ее объем и при достижении естественной влажности приобретает определенную плотность.

Извлекаемый грунт укладывается по обе стороны щели и после прохода бункера отвалами-засыпателями дренаукладчика перемещается в щель.

Заканчивая строительство дрены за 3—4 м до конца ее, в процессе рабочего хода одновременно производится постепенное углубление рабочего органа. В результате на протяжении этого участка получается плавный переход дренажной линии труб из горизонтального положения в вертикальное. В дальнейшем на этом месте устанавливается смотровой колодец.

Строительство закрытого пластмассового дренажа узкотраншейным способом с применением щелевого дренаукладчика, кроме основных работ, включает в себя подготовительные и вспомогательные работы.

К подготовительным работам, выполняемым до начала укладки дренажной линии, относятся разбивка и нивелировка трассы дрены, разработка «корыта» по трассе и планировка его дна под заданный уклон дрены, организация приобъектного склада, доставка необходимых строительных и других материалов на приобъектный склад.

Вспомогательные работы, которые выполняются во время укладки дрен, состоят из следующих операций: погрузка фильтра на транспортное средство, подвозка и загрузка в дреноукладчик, подвозка и подача технологической воды, заправка дреноукладчика дренажными трубами.

Исследование работы дреноукладчика ЭДШ-251 в производственных условиях проводилось в Голодной степи на территории совхоза № 25 (рис. 2).

Грунты суглинистые с прослойками песков и глин. Уровень стояния грунтовых вод 3,5—4,5 м от поверхности. Глубина закладки дрен 2,9—3,5 м.

Стоимость 1 м закрытой пластмассовой дрены, построенной узкотраншейным способом с использованием дреноукладчика ЭДШ-252, составляет 3,0—3,5 руб.

Инструментальные замеры конструктивных параметров построенных дреноукладчиком дрен показали, что:

толщина фильтра под трубами 15—17 см;

толщина фильтра над трубами 13—15 см;

трубы расположены в центре щели (отклонение составляет ± 1 см);

ширина щели 15—16 см;

щель после прохода бункера-укладчика заделывается качественно, объемная масса грунта обратной засыпки превышает объемную массу грунта естественного залегания;

оптимальная влажность грунтовой массы, обеспечивающая удобоукладываемость ее и качественную заделку щели, находится в пределах 32—35% (для суглинистых грунтов);

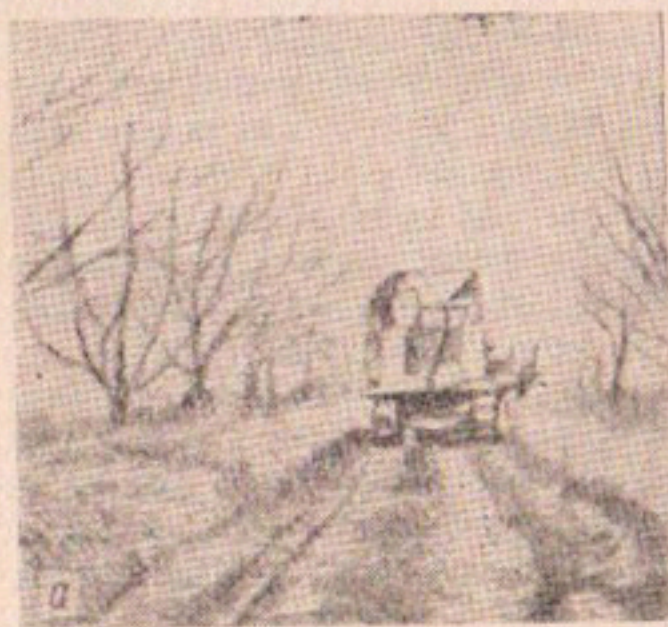
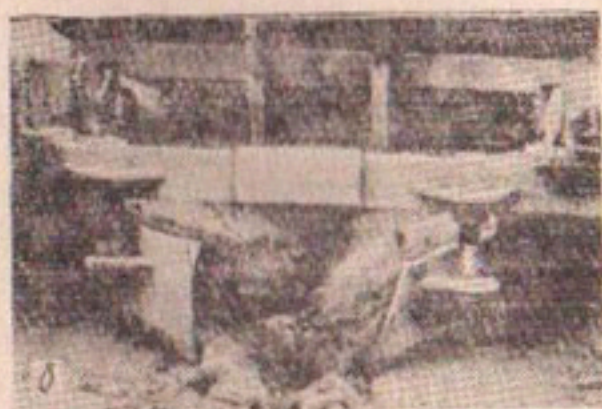


Рис. 2. Дреноукладчик ЭДШ-251 в работе:

а — общий вид; б — процесс заделки щели



продольный профиль уложенной дренажной линии соответствует проектному;

загрязнения фильтра частицами грунта в процессе укладки не происходило.

В результате изучения режима работы дреноукладчика выявлены большие возможности увеличения производительности труда. Данные фотоучета показали, что значительная часть рабочего времени (до 55—60%) затрачивается на различные простои, в том числе простои из-за несвоевременной доставки фильтрующего материала и технологической воды составляют до 35—40%.

Проведенные опыты показали, что комплекс работ по прокладке закрытого пластмассового дренажа дреноукладчик ЭДЩ-251 выполняет качественно. Наряду с этим в процессе исследований выявлен ряд недостатков работы дреноукладчика и намечены конструктивные и организационно-технологические мероприятия, осуществление которых позволяет повысить производительность и улучшить условия эксплуатации дреноукладчика.

УДК 626.862:001.5

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ НАРЕЗКИ УЗКИХ ТРАНШЕЙ В МИНЕРАЛЬНЫХ ГРУНТАХ

М. С. МУРАДАГАЕВ, кандидат технических наук

Азербайджанский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

Узкотраншейные машины для строительства глубоких (3 м и более) узких траншей в минеральных грунтах являются новыми в мелиоративной технике. Поэтому в связи с отсутствием научно обоснованной методики для определения установочной мощности и основных параметров, таких, как усилие копания, усилие резания, шаг между режущими элементами и другие, их рассчитывают по аналогии с многоковшовыми экскаваторами, что нельзя признать вполне правильным.

Азербайджанский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации (АзНИИГиМ) провел исследования рабочего органа дреноукладчика для нарезки узких траншей в минеральных грунтах глубиной 3 и 3,5 м.

Все основные опыты проводились в полевых условиях. В качестве базы был выбран многоковшовый экскаватор ЭТУ-353, на котором был смонтирован специальный рабочий орган, обеспечивающий отрывку траншей шириной 15—16 см и глубиной 3,0—3,5 м. Глубина залегания грунтовых вод на опытном участке составляла 4,0—4,5 м. Грунты по профилю были представлены средними суглинками. Изменение влажности (ω) и твердости (c) по глубине траншей (H) в естественном залегании грунта представлено в таб-

лице 1. Опыты проводились на Муганской опытно-мелиоративной станции на полигоне отдела механизации АзНИИГиМ.

Таблица 1

Изменение плотности и влажности грунта в естественном залегании

Глубина H , м	Влажность ω , %	Число ударов по ударнику ДорНИИ, с	Глубина H , м	Влажность ω , %	Число ударов по ударнику ДорНИИ, с
0	10,00	12	1,75	26,50	3,5
0,25	14,75	10	2,00	27,00	3
0,50	17,25	8,5	2,25	29,00	2,9
0,75	19,00	7	2,50	31,00	2,0
1,00	21,50	5,5	2,75	32,00	1,8
1,25	23,50	4,5	3,00	35,50	1,6
1,50	25,00	4			

В своей рациональной формуле академик ВАСХНИЛ В. П. Горячкин считает усилие, непосредственно затрачиваемое на резание, пропорциональным площади поперечного сечения стружки, т. е.

$$P_p = k_p F, \quad (1)$$

где F — площадь срезаемой стружки грунта, см^2 ; k_p — удельное сопротивление резанию, кг/см^2 .

На первый взгляд кажется, что при $F = \text{const}$ сопротивление резанию (P_p) по всей длине резания должно оставаться постоянным. Однако следует отметить, что при естественном залегании влажность грунтов изменяется в больших пределах в зависимости от глубины разработки, а она является одним из основных факторов, влияющих на сопротивляемость грунтов деформации.

Как известно, при наличии воды связные грунты имеют пониженные значения коэффициента трения и сцепления между частицами, а также меньшую сопротивляемость внешним нагрузкам. Учитывая изложенное, возникла необходимость изучения характера изменений величины сопротивления резанию за один рабочий цикл установившегося режима работы одного режущего элемента в грунте.

Опыты по определению влияния глубины разработки на сопротивление резанию проведены с горизонтальными профилями (рис. 1).

В опытах было принято: постоянная скорость резания рабочей цепи с режущими элементами $V_n = 1,33$ м/с, угол резания $\alpha = 23^\circ$, толщина режущих элементов $S = 10$ мм, задний угол резания $\gamma = 7^\circ$. Длина резания, на которой режущие элементы совершают свой рабочий цикл, $L = 436,8$ см. Расстояние между режущими элементами $T = 62,4$ мм. При этом количество режущих элементов, находящихся в траншее и производящих одновременно резание, равно:

$$i = \frac{L}{T} = \frac{436,8}{62,4} = 7 \text{ шт.}$$

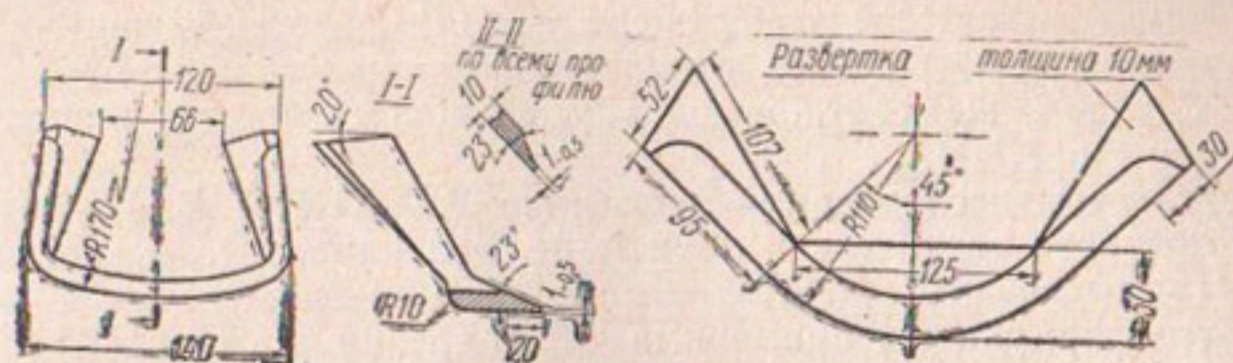


Рис. 1. Конструкция режущего элемента.

Поступательная скорость экскаватора $V_{\text{эк}}$ изменялась от 16,90 до 65,24 м/ч включительно. Толщина стружки δ , снимаемой одним режущим элементом, составляла от 1,5 до 6,0 мм включительно.

Результаты опытов показывают, что интенсивное уменьшение сопротивления резанию при различной твердости грунта (по ударнику ДорНИИ) c и толщинах срезаемой стружки происходит в пределах изменения глубины от 1 до 2 м (рис. 2). С изменением глубины в указанных пределах независимо от толщины стружки (в пределах проведения опытов) сопротивление резанию в среднем уменьшается в 2,11 раза, а при изменении глубины от 0 до 1 м — в 1,82 раза.

Следует отметить, что изменение сопротивления резанию на одном режущем элементе при постоянном поперечном сечении стружки прежде всего зависит от влажности грунта. При глубине разработки $H=0$ и влажности $\omega=10\%$ сопротивление резанию $P_p = 162$ кг (при $\delta = 6$ мм). При увеличении влажности от 10 до 20 % сопротивление резанию уменьшается до $P_p = 95$ кг, а при $\omega=27,5\%$ величина $P_p = 44$ кг.

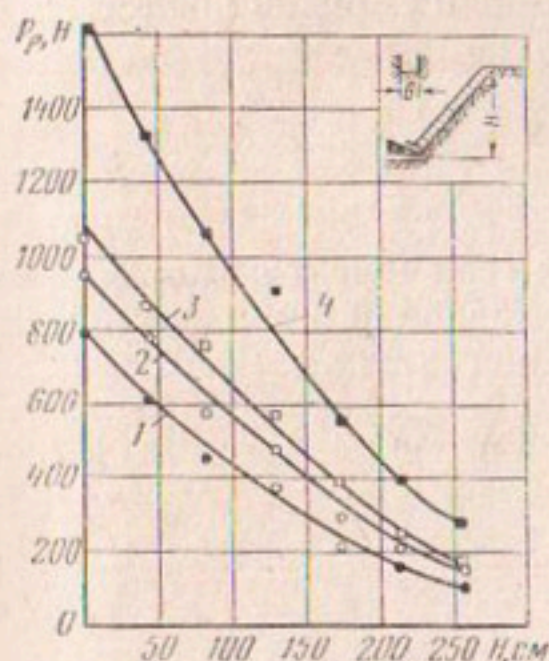


Рис. 2. Зависимость сопротивления от глубины резания (на одном режущем элементе) при толщине стружки (δ), равной:

1 — 1,5 мм; 2 — 2,5 мм;
3 — 3,2 мм; 4 — 6,0 мм.

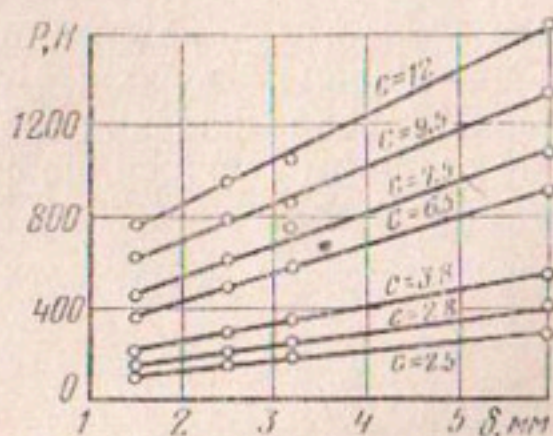


Рис. 3. Зависимость усилия резания (P) на одном режущем элементе от толщины стружки (δ) при различной твердости грунта (c).

Из вышеприведенных данных следует, что при увеличении влажности грунта в 2,22 раза сопротивление резанию уменьшается в 3,68 раза. С таким же соотношением уменьшалось число ударов по ударнику ДорНИИ.

Результаты исследований академика ВАСХНИЛ В. П. Горячкина, докторов технических наук А. Н. Зеленина, Ю. А. Ветрова, И. А. Недорезова, М. Д. Жихарева и других исследователей показали, что формула (1) применима для тех машин, силовой режим которых в процессе работы не подвергается изменению в силу сохранения постоянного сечения снимаемого слоя грунта. Если же сечение снимаемого слоя грунта постоянно изменяется, например, из-за неровности рельефа, то изменение формы сечения срезаемой стружки существенно влияет на изменение усилия резания.

На рисунке 3 приведены графики зависимости изменения сопротивления резанию от толщины стружки при различных показателях твердости грунта.

Характерно, что качественный характер изменения функциональной зависимости $P_p = f(\delta)$ не зависит от глубины резания, числа ударов и влажности грунта, однако последние три параметра оказывают влияние на сопротивление резанию в количественном отношении.

Из графиков (рис. 3) следует, что при толщине стружки $\delta = 0$ сопротивление резанию $P_p \neq 0$. Это можно объяснить тем, что режущий элемент фиксирует сопротивление чистому резанию P_p в сумме с сопротивлением трения P_τ , возникающим на плоскости горизонтального профиля.

Зависимости P_p от δ для различных ω и c можно представить в виде следующих уравнений:

$$\begin{aligned} P_p &= P_\tau + P_\delta, \\ P_p &= P_\tau + \mu \delta b c, \end{aligned} \quad (2)$$

где P_τ — сопротивление трению. Величина его зависит от влажности и группы грунта; μ — коэффициент, учитывающий влияние угла резания; b — ширина стружки; δ — толщина стружки.

Величина сопротивления трению при $c = \text{const}$ и $\omega = \text{const}$ не зависит от толщины стружки, но с изменением c изменяется P_τ и составляет определенную часть от P_δ , т. е.

$$P_\tau = k_0 \frac{P_\delta}{\delta}, \quad (3)$$

где k_0 — коэффициент, характеризующий отношение $\frac{P_\tau \delta}{P_\delta}$.

Тогда

$$P_p = P_\delta + k_0 \frac{P_\delta}{\delta}.$$

После некоторого преобразования получим:

$$P_p = \mu b c (\delta + k_0),$$

откуда

$$k_0 = \frac{P_p}{\mu b c} - \delta. \quad (4)$$

Для различного расположения режущего элемента в траншее проведены расчеты (табл. 2).

Таблица 2

Расчеты сопротивлений резанию от расположения режущего элемента в траншее

H	P_p	P_δ	k_0	H	P_p	P_δ	k_0
0	76,8	30,0	0,234	171,1	22,0	9,50	0,200
42,9	61,5	23,75	0,283	214,6	16,9	6,75	0,226
85,5	46,0	18,75	0,218	257,4	12,0	5,00	0,210
128,7	38,0	16,25	0,201				

Величина k_0 есть функция числа ударов s и геометрии режущего инструмента, k_0 имеет максимальное значение при наименьшей глубине резания. Окончательное уравнение имеет вид:

$$P_p = \mu b c (\delta + 0,234). \quad (5)$$

Формула (5) выведена для диапазона изменения толщины стружки от 1,5 до 6,0 мм при ширине $b = 15$ см и глубине $H = 3$ м.

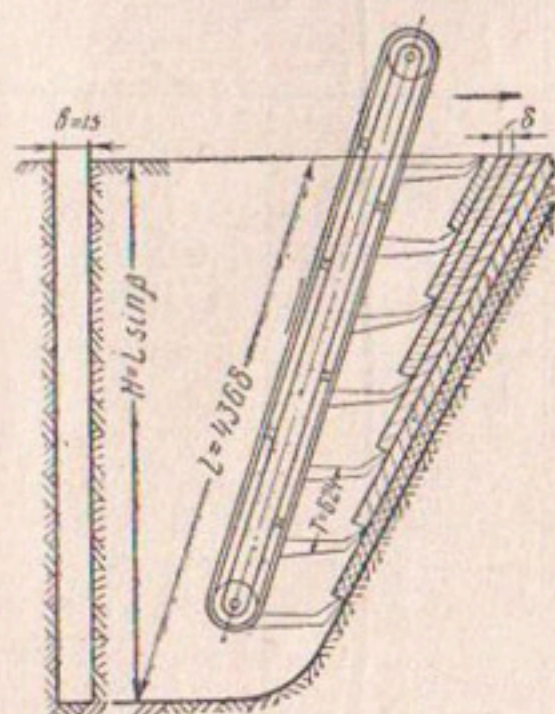


Рис. 4. Схема расположения режущих элементов.

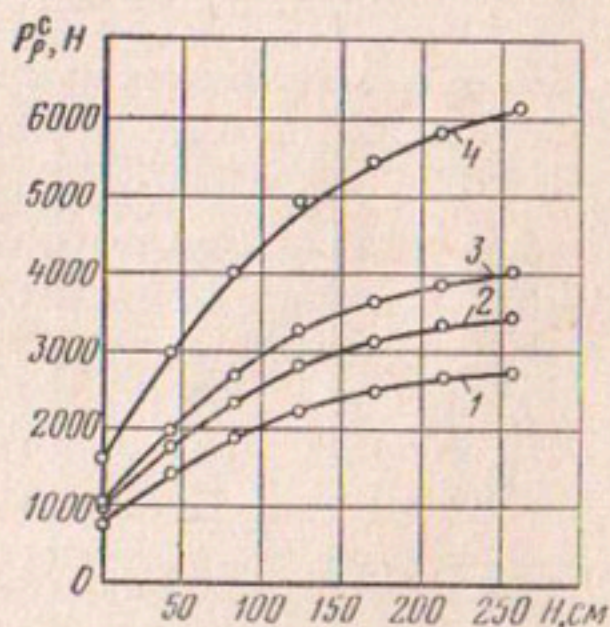


Рис. 5. Изменение сопротивления резанию P^c_p в секции от глубины щели при толщине стружки (δ), равной:

1 — 1,5 мм; 2 — 2,5 мм; 3 — 3,2 мм; 4 — 6 мм.

При помощи этого уравнения можно определить сопротивление чистому резанию и трению для одного режущего элемента в зависимости от его расположения в траншее и при различной толщине стружки.

До сих пор были рассмотрены вопросы, связанные с изучением сопротивления резанию на одном режущем элементе в зависимости от различных факторов.

Фактически в процессе разработки грунта рабочим органом узкотраншейной машины участвуют совместно несколько режущих элементов. При установившемся режиме работы режущие элементы в зависимости от положения в траншее при постоянной толщине стружки воспринимаются различные силы сопротивления резанию.

На рисунке 4 представлено последовательное расположение режущих элементов при установившемся режиме работ, а в таблице 3 приведены опытные данные по сопротивлению резанию на одном режущем элементе и в секции. Графики на рисунке 5 иллюстрируют изменение сопротивления резанию секции в зависимости от глубины резания и толщины срезаемой стружки.

Таблица 3

Изменение сопротивления резанию на одном режущем элементе (P_p) и в секции (P_p^c) при различной толщине стружки и глубине щели

Глубина резания, см	Толщина стружки δ , мм			
	1,5	2,5	3,2	6,0
	$P_p / P_{p,H}^c$	$P_p / P_{p,H}^c$	$P_p / P_{p,H}^c$	$P_p / P_{p,H}^c$
	788	944	1056	1621
42,4	788 610	944 780	1056 880	1621 1324
85,8	1398 460	1724 600	1936 750	2945 1065
126,7	1658 380	2324 460	2686 570	4005 690
171,6	2238 220	2804 290	3256 340	4695 340
214,5	2458 169	3094 210	3596 250	5433 375
257,4	2627 125	3304 160	3845 180	5815 303
310,3	2742	3464	4026	5146

Сопротивление резанию в секции P_p^c — это сумма сопротивлений действующих со стороны грунта на режущие элементы, находящиеся в забое и производящие одновременное резание грунта, то есть

$$P_p^c = P'_p + P''_p + P'''_p + \dots + P_p^{n-1} + P_p^n, \quad (6)$$

где P'_p , P''_p , P'''_p , P_p^{n-1} и P_p^n — сопротивления резанию на каждом режущем элементе.

Сопротивление на каждом режущем элементе в зависимости от их положения в траншее в общем виде определяется уравнением 2. Учитывая, что в секции несколько режущих элементов, сопротивление чистому резанию можно записать в виде:

$$P_c^c = \mu \delta b c_1 + \mu \delta b c_2 + \mu \delta b c_3 + \dots + \mu \delta b c_{n-1} + \mu \delta b c_n.$$

Отсюда

$$P_c^c = \mu \delta b (c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_{n-1} + c_n). \quad (7)$$

Каждое значение c зависит от положения режущих элементов в траншее.

Если в траншее находится i режущих элементов, то величина c_c для всех элементов выразится суммой:

$$c_c = c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_{n-1} + c_n = \sum_{i=1}^n c_i.$$

Тогда

$$P_c^c = \mu \delta b \sum_{i=1}^n c_i. \quad (8)$$

Величина силы трения в секции при глубине H траншей и при постоянной толщине стружки в секции в основном зависит от шага режущих элементов (t). Анализ полученных из опытов данных показывает, что при постоянной толщине стружки в секции $\delta_c = 1,05$ см с изменением шага от 18 до 63 см сила трения в секции составляет 84,75—59,92% от общего сопротивления резанию, а при $\delta_c = 4,2$ см — от 58 до 26%.

В зависимости от расположения режущего элемента в траншее величина P_τ является переменной и зависит от характера данного грунта, ω и c , поэтому в общем виде ее можно определить уравнением:

$$P_\tau = \mu b k_0 c_i. \quad (9)$$

В этом уравнении переменной является только c .

При постоянном H с изменением шага между режущими элементами расположение их в траншее изменяется, что приводит к изменению c_c в секции. Поэтому уравнение (9) для определения сопротивления в секции примет следующий вид:

$$P_\tau^c = \mu b k_0 \sum_{i=1}^n c_i.$$

Тогда уравнение для определения сопротивления резанию в секции в общем виде можно представить следующим образом:

$$P^c_p = P^c_\delta + P^c_\tau = \mu b \delta \sum_{i=1}^n + \mu b k_0 \sum_{i=1}^n c_i.$$

Окончательно имеем:

$$P^c_p = \mu b (\delta + k_0) \sum_{i=1}^n c_i. \quad (10)$$

Таким образом, с помощью уравнения (10) при данной глубине резания и в зависимости от расположения режущих элементов в траншее можно определить сопротивление грунта резанию в секции. Сравнение результатов расчета по этой формуле с экспериментальными данными показывает их хорошую сходимость.

УДК 626.862:624.69

УПЛОТНЕНИЕ ГРУНТА ОБРАТНОЙ ЗАСЫПКИ ЗАКРЫТЫХ ДРЕН

У. Ю. ПУЛАТОВ, Э. М. ОСТРОВСКИЙ, кандидаты технических наук

Среднеазиатский научно-исследовательский институт ирригации

До настоящего времени из-за отсутствия апробированных способов и эффективных специальных средств механизации совершенно не выполняется одна из необходимых и важных операций технологического процесса строительства дрен — уплотнение грунта обратной засыпки траншей. Невыполнение этих работ предопределяет выход из строя и разрушение построенных дрен вследствие воздействия поверхностной воды, попадающей в наддренную полосу, особенно в период поливов сельскохозяйственных культур.

Рыхлый грунт обратной засыпки, уложенный в глубокие и узкие траншеи дрен без уплотнения до определенной плотности, не позволяет уберечь дренажную линию-фильтр и трубы от заиления и разрушающих воздействий поверхностного потока. Различные рекомендации по устройству опрадительных валиков и канав вдоль наддренной полосы, как показала практика, не дают положительного эффекта и служат большим препятствием при механизированной обработке и поливе посевов.

Под уплотнением грунта в траншеях в рассматриваемом случае понимается доведение его до такой степени плотности, которая обеспечила бы сохранную и надежную работу дрены при поверхностном ее затоплении. Установление этой величины в зависимости от вида грунта, длительности воздействия и напора воды, толщины и способа засыпки траншей требует проведения специальных исследований. Но для всех случаев будет справедливым утверждение,

что она должна быть не менее плотности грунта естественного залегания.

В строительной практике уплотнение грунта в зависимости от его вида, условий производства работ, назначения и характера возводимого объекта и других показателей может выполняться одним из двух принципиально различных по воздействию на грунт способов — механическим или гидравлическим.

При механическом способе грунт уплотняется за счет сближения его частиц под активным воздействием внешних сил (укатка, трамбование). Сущность гидравлического способа сводится к тому, что после нарушения водой связи между частицами грунта последние под воздействием собственного веса укладываются более компактно и плотно. Различают три способа гидравлического уплотнения: отсыпка грунта в воду, замочка и намыв. Обычно первые два способа применяются на глинистых лессовидных грунтах, третий — на песчаных и гравелистых.

Анализ существующих способов уплотнения обратной засыпки дрен позволяет рекомендовать в настоящее время трамбование и замочку. Главное преимущество этих способов — возможность производства работ после полной засыпки траншей, что особенно важно для слабоустойчивых грунтов.

Применение трамбования, несмотря на кажущуюся простоту, требует решения ряда сложных задач: установления оптимальных параметров трамбуемых органов и самих машин, режима трамбования, способов увлажнения грунта, технологии производства работ, методики контроля качества уплотнения, технико-экономических показателей трамбования грунтов в траншеях и т. д.

Над решением этих задач в настоящее время работает отдел организации и механизации водохозяйственных работ САНИИРИ, где изготовлена специальная трамбуемая установка с набором плит различных размеров и веса, оснащенная аппаратурой для измерения необходимых параметров и режимов трамбования. Исследование этого вопроса ведется на специальном полигоне на закрытых дренах, построенных в натуральную величину.

Уплотнение грунта замочкой может осуществляться двояко: подачей воды сверху засыпанной траншей или снизу через трубчатую линию. Способ замочки грунта сверху траншей широко известен и применяется при уплотнении обратной засыпки канализационных, водопроводных и газопроводных линий, особенно в городах Среднеазиатских республик. На строительстве закрытых горизонтальных дрен он неприемлем, так как приводит к заилению фильтра и труб или в худшем случае к разрушению всей дрены.

Замочка грунта подачей воды снизу траншей применима только для уплотнения обратной засыпки закрытых дрен, трубчатая линия которых имеет зазоры между трубами или перфорацию. Подача воды в этом случае осуществляется через смотровые колодцы или устьевую часть дренажного сооружения. Вода, поданная в трубчатую линию, выходя через стыки или перфорацию труб, заполняет

поры подстилающего и засыпающего слоев фильтра, постепенно поднимается, замачивая грунт, вверх по траншее.

Положительное качество этого способа — движение потока воды из трубчатой линии, а не в нее, чем устраняется возможность заиления фильтра и труб. Вместе с тем замочка дрена только снизу имеет существенные недостатки: пропуск значительного количества воды под напором 2,5—3 м через стыки труб при длительном воздействии ведет к вымыву и разрушению фильтровой обсыпки; низкая производительность и большой расход воды из-за необходимости преодоления водой давления засыпанного в траншею грунта.

Детальный анализ гидравлического способа уплотнения обратной засыпки дрена подачей воды как сверху, так и снизу траншеи с проверкой всего технологического процесса в натуре (на построенных опытных дренах) позволил разработать принципиально новый способ, названный комбинированной замочкой. Сущность этого способа состоит в том, что вода вначале подается в полностью засыпанную траншею только снизу через трубчатую линию. После заполнения нижней части траншеи (до поднятия уровня воды на 0,3—0,4 м выше поверхности фильтровой обсыпки) вода в траншею начинает подаваться также и сверху. При этом расход воды, подаваемой снизу, удерживается таким, чтобы уровень ее на дне траншеи не опускался ниже первоначального. Созданная таким путем водная подушка предохраняет фильтр и трубы от разрушения и заиления водой, подающейся сверху. Прекращение подачи воды в дрена производится в следующей последовательности: вначале прекращается подача воды сверху, а затем, после снижения уровня воды в траншее до уровня водной подушки, постепенно уменьшается подача воды снизу.

Гидравлический комбинированный способ был испытан и исследован на полигоне САНИИРИ, на опытном участке в совхозе № 28 и строящихся объектах Голодной степи в 1965—1967 гг. В результате исследований разработаны технологический процесс производства работ по замочке, методика контроля качества уплотнения обратной засыпки и технико-экономические показатели рекомендуемого способа, а также определены необходимое оборудование и состав бригады. Совместно с институтом «Средазгипроводхлопок» и трестом «Дренажстрой» Главсредазирсовхозстрой САНИИРИ было поручено провести широкую производственную проверку технологии уплотнения грунтов комбинированной замочкой.

Трехлетние исследования гидравлического комбинированного способа уплотнения обратной засыпки дрена в опытных и производственных условиях позволили выявить и решить ряд следующих вопросов, представляющих практический интерес для проектировщиков и производителей работ.

До последнего времени проектировщиками при назначении толщины фильтра не учитывалась осадка фильтровой обсыпки под воздействием на нее воды. Для установления этой величины были поставлены специальные опыты, в которых в качестве фильтра исполь-

зовалась естественная песчано-гравийная смесь из илансайского карьера, применяемая в данное время при строительстве закрытых дрен в Голодной степи. Трубы в опытах были приняты раструбные керамические диаметром 200 мм; подстилающий слой фильтра был отсыпан высотой 15 см, надтрубный слой также 15 см. Общая высота дренажной линии составила 50 см.

В результате замочки без пригрузки фильтра сверху грунтом величина осадки фильтра получилась: максимальная 3,2 см; минимальная 2,1 см. С учетом влияния грунта обратной засыпки величину осадки фильтра, применяемого в Голодной степи, рекомендовано принимать равной 3 см.

Величина осадки фильтра в общем случае является функцией его высоты, гранулометрического состава, способа укладки, диаметра и конструкции дренажных труб, массы грунта, расположенного над дренажной линией, и других факторов. Выявление степени и характера влияния этих факторов на величину деформации фильтра дрены является предметом специальных исследований.

Приближенная величина возможной осадки фильтровой обсыпки из гравийно-песчаной смеси может быть определена по следующей формуле:

$$\Delta h = 0,06H, \quad (1)$$

где Δh — величина возможной осадки фильтровой обсыпки; H — общая высота дренажной линии.

Значение величины и характера осадки обратной засыпки важно с точки зрения уяснения процесса стабилизации грунта во времени. Степень уплотнения грунта в траншеях находится в прямой зависимости от величины деформации засыпки грунта, потому что боковые смещения грунта в данном случае не происходят.

Осадка грунта в результате замочки фиксировалась нивелировкой по реперам, установленным на поверхности и в толще засыпки траншеи, в течение 15 суток начиная с момента подачи воды в дренаж.

Результаты исследований процесса деформации грунта при замочке позволяют констатировать следующее:

относительная осадка поверхности грунта в траншее составляет максимально 20% и минимально около 10%, при этом относительная осадка возрастает в нижних слоях засыпки, где ее величина достигает 25%;

основной процесс деформации грунта засыпки (до 90%) протекает в период осуществления работ по замочке, осадке грунта после окончания замочки длительна и незначительна по величине.

Очевидно, что осадка при замочке является функцией многих показателей, таких, как гранулометрический состав грунта, его влажность, способ разработки и засыпки выемки, параметры и форма траншеи и т. п. Приведенные выше данные относятся к конкретному случаю разработки сухих лессовидных суглинков ($w = 10$ —

8%) траншейным экскаватором и могут служить больше для качественной оценки явления.

Основным критерием уплотнения грунта засыпки траншей, характеризующим его возможную антифильтрационную устойчивость, а значит, и сохранность дренажной линии от разрушающих воздействий поверхностных вод, служит величина объемной массы скелета грунта.

Оценка качества произведенных работ по засыпке, как это отмечалось выше, осуществлялась по коэффициенту уплотнения, характеризующим собой отношение плотности уплотненного в траншее грунта к плотности его в естественном залегании. Величина этого коэффициента должна быть не менее единицы.

С целью установления фактической плотности грунта, достигнутой в результате замочки, и определения степени уплотнения обратной засыпки после прекращения деформации грунта спустя 15—20 дней после завершения замочки дрены вскрывались и производился отбор проб на объемную массу. Пробы отбирались при помощи грунтоотборных гильз прибора Литвинова как с уплотненной засыпки, так и со стенок траншей.

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы:

величина плотности грунта обратной засыпки, получаемая в результате уплотнения замочкой, как правило, выше первоначальной плотности грунта естественного залегания (максимально на 5—6%);

плотность грунта обратной засыпки возрастает с глубиной и достигает максимального значения в нижних слоях.

обращает на себя внимание при вазуальном осмотре разреза хорошее и плотное примыкание грунта к стенкам траншей и фильтру, а также отсутствие каких-либо каверн и трещин, даже волосяных, в самой уплотненной засыпке.

Необходимое количество воды для уплотнения засыпки дрены гидравлическим способом зависит от плотности грунта в рыхлом и естественном состоянии, его влажности, коэффициента фильтрации, конструкции дренажной линии, величины подаваемого для замочки расхода воды, протяженности одновременно замачиваемого участка и т. д.

Главными факторами, определяющими потребный для замочки дрены объем воды, служат исходная влажность грунта на участке работ и принятая величина подаваемого расхода воды.

Опытными работами, проведенными на дренах, построенных в натуральную величину в совхозе № 28, установлено, что потребное количество воды, необходимое для замочки 1 м дрены, равно 3 м³. Эта величина справедлива для дрена, глубина траншей которых 3 м, ширина 0,6 м, протяженность замачиваемого отрезка дрены 300—500 м и влажность грунта около 5%; при этом расход воды, подаваемой в дрена, не должен быть менее 80 м³/ч.

С увеличением влажности грунта потребное для замочки количество воды уменьшается и может быть определено расчетным пу-

тем по формуле, применяемой обычно для определения величины доувлажнения грунтов перед трамбованием:

$$Q = (w - w_e) \frac{\gamma}{100} h_y F, \quad (2)$$

где Q — необходимое для доувлажнения количество воды; w — оптимальная весовая влажность грунта; w_e — естественная весовая влажность грунта; γ — объемная масса скелета грунта в естественном залегании; h_y — глубина уплотнения грунта; F — площадь замачиваемого участка.

Выражение (2) характеризует собой относительную величину уменьшения потребного на замочку количества воды с возрастанием влажности грунта естественного залегания. Зная, сколько нужно воды для замочки 1 м дрены в сухих грунтах, можно определить эти величины и для более влажных грунтов.

Изложенные выше данные, полученные в результате трехлетних опытно-производственных исследований уплотнения обратной засыпки закрытых горизонтальных дрен гидравлическим способом, являются во многих деталях апробированными. Но некоторые вопросы, связанные с определением и выяснением степени возрастания плотности грунта после замочки, количества воды, необходимого для уплотнения единицы длины дрены, оптимальных расходов, подаваемых в траншею, и другие требуют дальнейших уточнений в широких производственных условиях.

Решение вопроса уплотнения грунта в траншеях замочкой не может осуществляться изолированно, вне зависимости от других элементов дрены. Применение гидравлического способа требует плотного сопряжения деталей смотровых колодцев между собой, качественного уплотнения прилегающей к колодцам засыпки, устройства естественного или, если дрена построена сквозной, искусственного замка и т. п.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что разработанный новый способ уплотнения грунта обратной засыпки комбинированной замочкой делает поверхностное затопление дрены неопасным для ее сохранности.

Выше отмечалось, что одним из способов уплотнения рыхлой обратной засыпки является трамбование грунта в траншеях за один прием сразу на полную глубину. Исследования показали, что при трамбовании всей толщи обратной засыпки на полную глубину необходимо нормировать плотность в верхней, наиболее уплотненной зоне и минимальную плотность за пределами указанной зоны в нижних горизонтах засыпки. Плотность в максимально уплотненной верхней зоне определяется, исходя из необходимости создания эффективного противодиффузионного экрана, толщиной 0,5—0,7 м внутри дренажной траншеи. По данным проведенных исследований, она должна быть не ниже плотности естественного грунта в стенках траншей. Нижележащий 1,0—1,3-метровый слой должен быть

при трамбовании доведен до такой плотности, чтобы обеспечивалась требуемая фильтрационная устойчивость грунта при использовании фильтра заданного состава и вместе с тем чтобы указанный слой обратной засыпки не давал значительных осадок и не приводил к явлениям сводообразования на границе между верхним, более уплотненным и нижними, менее уплотненными слоями грунта. В нижних горизонтах засыпки плотность должна быть не ниже $1,35—1,40 \text{ г/см}^3$ (начальная $1,2 \text{ г/см}^3$).

При поверхностном трамбовании обратной засыпки полупространство в поперечном направлении ограничивается стенками траншеи, а деформация уплотнения распространяется преимущественно в вертикальном и частично в продольном направлении. Соответственно этому трамбование засыпки рассматривается в настоящих исследованиях как процесс динамического сжатия столба грунта ограниченной ширины. Опыты проводились в траншеях с недеформируемыми стенками. Фиксация взаимного расположения стенок до и после уплотнения засыпки производилась с помощью боковых реперов, устанавливаемых на различных горизонтах.

Четыре опытных участка представляли собой отрезки траншей длиной от 40 до 60 м, глубиной 1,2—2,3 м, шириной 0,6 м. Уплотнение грунта проводилось экспериментальной трамбуемой установкой. Общая методическая направленность исследований заключалась в определении влияния веса, высоты сбрасывания, длины уплотняющего профиля трамбуемого органа и числа наносимых по одному месту ударов на изменение распределения плотности уплотненного грунта в различных горизонтах обратной засыпки.

Анализ результатов исследований показал, что вне зависимости от длины уплотняющего профиля при одинаковом весе трамбуемого органа в наиболее уплотненной верхней зоне засыпки достигается практически одна и та же плотность. При использовании 1,5-тонного трамбуемого органа объемная масса находится в пределах $1,52—1,53 \text{ кг/м}^3$, а 3-тонный трамбуемый орган позволяет довести плотность до $1,6 \text{ кг/м}^3$ и выше.

Для каждого трамбуемого органа определенного веса необходимо ограничить размер длины уплотняющего профиля, чтобы плотность в нижних слоях не опускалась ниже минимального уровня. Для 1,5-тонного трамбуемого органа оптимальная длина равна 0,7 м, а для 3-тонного — 1,4 м.

Для достижения требуемого распределения плотности на различных горизонтах обратной засыпки 1,5-тонный трамбуемый орган необходимо сбрасывать пять раз с высоты 2—3 м. При влажности уплотняемого грунта, близкой к оптимальной, высоту сбрасывания трамбуемого органа следует принять равной 2 м, а при влажности, на 3—5% ниже оптимальной — 3 м. Показатели качества уплотнения обратной засыпки при более значительном снижении влажности не могут быть признаны удовлетворительными.

СТРОИТЕЛЬСТВО ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ БЕСТРАНШЕЙНЫМ СПОСОБОМ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО РАБОТЫ

Е. Д. ТОМИН, кандидат технических наук

М. Г. ХУБЛАРЯН, кандидат физико-математических наук

Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

Для возможности строительства закрытого дренажа на орошаемых землях в условиях высокого уровня грунтовых вод и для дальнейшей его эффективной работы необходимо выполнять следующие условия:

дренажная линия (трубы и фильтр) должна быть непрерывной; отрывка траншеи и укладка дренажной линии должны осуществляться одновременно;

нарушение естественной структуры грунта в придренной зоне должно быть минимальным.

Этим условиям в полной мере отвечает бестраншейный способ строительства, сущность которого заключается в укладке непрерывной дренажной трубы и фильтрационного материала на дно щели, прорезаемой в грунте на необходимую глубину, с помощью пассивного рабочего органа.

Возможность полной механизации процесса укладки дрены в широком диапазоне гидрогеологических условий, высокая скорость укладки (500—2000 м/ч), простота и надежность рабочего органа выгодно отличают бестраншейный способ строительства от традиционных — траншейных.

Основой для разработки бестраншейного способа и технологии производства работ по строительству дренажа на орошаемых землях, преимущественно для условий высокого уровня грунтовых вод, стали научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, проведенные во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова. С 1966 г. в работах активно участвует управление «Голодностепстрой» Главсредазирсовхозстроя, а затем проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Средазгипроводхлопок».

Первоначально ВНИИГиМ для бестраншейного способа строительства дренажа рекомендовал конструкцию дрены, в которой полиэтиленовые гофрированные трубы диаметром 63—75 мм обматывались в качестве фильтра капроновой тканью (рис. 1). При этом междренные расстояния вместо 100—150 м, принимаемых обычно при диаметре дренажных труб 100 и 150 мм, для труб диаметром 63—75 мм фактически составили 50 м. Наблюдения за работой дрен, построенных в период 1969—1970 гг. в различных районах Голодной степи, показали, что эта конструкция дрены не обеспечивает необ-

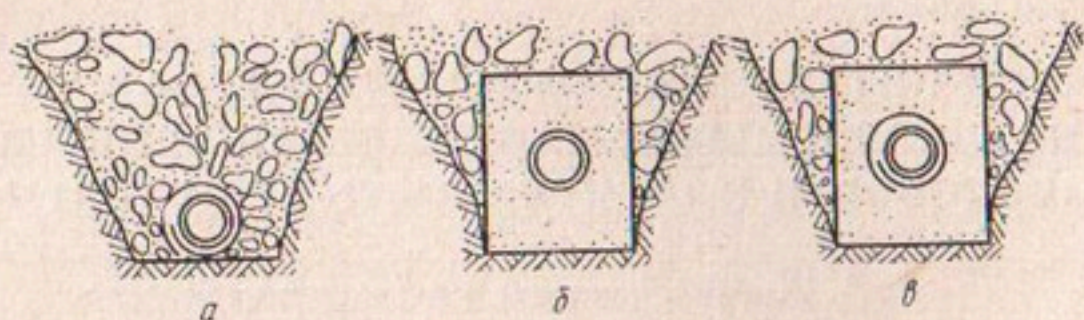


Рис. 1. Рекомендуемые конструкции дрена:

а — для песчаных, супесчаных, хорошо проницаемых грунтов ($\kappa_{\phi} > 2-3$ м/сут), труба обертывается в 1—2 слоя мелиоративной тканью; *б* — для глинистых и суглинистых грунтов ($\kappa_{\phi} < 1-2$ м/сут), труба засыпается песчано-гравийной смесью; *в* — для суглинистых и тонкопесчаных водонасыщенных грунтов, склонных к оплыванию, труба обертывается в 1—2 слоя мелиоративной тканью и засыпается песчано-гравийной смесью.

ходимый дренажный модуль 0,10—0,15 л/с·га на грунтах с коэффициентом фильтрации менее 1 м/сут.

Для установления влияния отдельных факторов на приток воды к дрене различными организациями (ВНИИГиМ, институт «Средазгипроводхлопок», «Голодностепстрой») были проведены специальные исследования. На фильтрационном лотке проводились наблюдения за дренажным стоком на девяти видах дрена. Опыты были поставлены с разными видами фильтрующих материалов: капроновая ткань, стеклоткань, жгуты, песчаная обсыпка и капроновая ткань с песком. Кроме того, для фильтра из капроновой ткани менялся характер перфорации — диаметр отверстий, число рядов.

На основе анализа результатов лабораторных исследований были разработаны рекомендации по увеличению эффективного диаметра дрена за счет применения в качестве фильтра объемного материала — естественной песчано-гравийной смеси. Размеры фильтрационной обсыпки составляют 20×30 см, то есть толщина подстилающего и засыпающего слоев (при диаметре дренажной трубы 7,5 мм) равна 11 см, а толщина засыпки сбоку — 6 см (рис. 1).

Такая конструкция дрена наиболее рациональна для бестраншейного способа строительства; она обеспечивает эффективную работу дренажа в глинистых, суглинистых и супесчаных грунтах.

В отдельных случаях в целях увеличения эксплуатационной надежности дренажа в качестве фильтра может быть рекомендован фильтр из синтетических материалов, обладающий высоким коэффициентом фильтрации в сочетании с обсыпкой из естественной песчано-гравийной смеси (рис. 1). В этом случае необходимая водоприемная способность обеспечивается за счет объемного фильтра, а синтетический фильтр надежно защищает дренажную трубу от заиливания.

В таблицах 1 и 2 приведены основные характеристики материалов, необходимых для изготовления дрена. Необходимо оговориться, что для обеспечения качественной укладки песчано-гравий-

ной обсыпки состав ее должен характеризоваться примерно следующими данными: объемная масса 1,0—1,6 т/м³, коэффициент фильтрации более 10 м/сут, расход на 1 м дрены 0,05 м³, стоимость 1 м³ 10—13 руб. При этом влажность ее не должна превышать 12%, предельная крупность фракции 20 мм, а содержание глинистых частиц 7%.

Характеристика дренажных труб

Таблица 1

Основные показатели	Гофрированные пластмассовые, МРТУ, 6-05-1078-69, d, мм					
	50	63	75	90	110	125
Длина одной бухты, м	200	160	120	100	70	60
Масса 1 м трубы, кг	0,19	0,26	0,36	0,50	0,72	0,91
Стоимость 1 м трубы, руб.	0,39	0,53	0,73	1,02	1,46	1,85

Характеристика мелиоративных тканей

Таблица 2

Материал	Марка	ГОСТ	Размеры		Единица измерения	Стоимость, руб.
			длина, м	ширина, м		
Стеклоткань	Э-01	8481—61	100	0,9	м	0,45
Стеклохолст	ВВ-М	МРТУ 11-13—64	100	0,2—0,35	м ²	0,38
Капрон		Арт. 1552	100	1,0	м ²	0,90

В целях установления влияния изменения фильтрационных свойств грунта в придренированной зоне и эффективного диаметра дрены на приток воды к ней были выполнены специальные исследования с использованием методов математического моделирования и проведением качественного и количественного анализа полученных зависимостей на ЭВМ.

Для качественного анализа влияния уплотнения грунта придренированной зоны на приток воды к дрене математическая модель максимально упрощена, что дает возможность получать простые выражения, доступные для инженерного анализа.

Предполагается, что фильтрация во всех зонах подчиняется линейному закону Дарси.

Основная дифференциальная зависимость имеет вид (близкое залегание водоупора):

$$-\frac{d}{dx} \left[k_l(x) H_l \frac{dH_l}{dx} \right] + \varepsilon = 0, \quad (1)$$

где $k(x)$ — коэффициент фильтрации, м/сут; H_l — напор в исследуемой области ($0 \leq x \leq l$) м; ε — величина инфильтрационного питания, м/сут; x — ордината, изменяющаяся от 0 до l , м; l — половина междреннего расстояния, м.

Как показали натурные данные, коэффициент фильтрации грунта придренной зоны изменялся или скачкообразно, или же непрерывно до его значения в естественном сложении.

Для случая скачкообразного изменения коэффициента фильтрации:

$$k(x) = \begin{cases} k_1, & 0 \leq x \leq R, \\ k_2, & R \leq x \leq l, \end{cases} \quad (2)$$

где R — величина уплотненной зоны, м.

Записав уравнение (1) для каждой среды с соответствующей величиной инфильтрации ε_1 и ε_2 и с краевыми условиями

$$H_1|_{x=0} = H_0; \quad H_2|_{x=l} = H_l; \quad H_1|_{x=R} = H_2|_{x=R}; \quad (3)$$

$$k_1 H_1 \frac{dH_1}{dx} + \varepsilon_1 R = k_2 H_2 \frac{dH_2}{dx} + \varepsilon_2 R \quad \text{при } x=R,$$

получим величину притока воды к дрене:

$$(q_{x=0})_1 = k_1 H_1 \frac{dH_1}{dx} = \frac{k_1}{2} \left[\frac{H_0^2 - H_l^2}{k_1 \left(\frac{R}{k_1} + \frac{l-R}{k_2} \right)} + \frac{\frac{\varepsilon_1 R^2}{k_1} + \frac{\varepsilon_2}{k_2} (l^2 - R^2)}{k_1 \left(\frac{R}{k_1} + \frac{l-R}{k_2} \right)} \right]. \quad (4)$$

В случае усредненного коэффициента фильтрации и величины инфильтрации приток к дрене равен:

$$q_{x=0} = \frac{k_{cp}}{2} \cdot \frac{dH^2}{dx} = \frac{k_{cp}}{2} \cdot \frac{H_0^2 - H_l^2}{l} + \frac{\varepsilon_{cp} l}{2}. \quad (5)$$

В случае одинакового градиента напора, когда инфильтрация полностью отсутствует ($\varepsilon = 0$), для определения соотношений расходов воды из дрен следует пользоваться выражениями:

$$\frac{q_1}{q_*} = \frac{1}{1 - \frac{R}{l} + \frac{R}{l} \frac{k_2}{k_1}} \quad \text{или} \quad \frac{q_*}{q_1} = 1 - \frac{R}{l} + \frac{R}{l} \frac{k_2}{k_1}. \quad (6)$$

Если требуется обеспечивать одинаковый расход воды из дрен, то для отношения напоров действительно равенство:

$$\frac{H_e^2 - H_0^2}{H_e^2 - H_{0*}^2} = 1 - \frac{R}{l} + \frac{R}{l} \frac{k_2}{k_1} \quad (7)$$

Выполненные расчеты позволяют представить интересующие нас зависимости в виде графиков.

На рисунках 2 и 3 приведены графики зависимости q_1/q^* и $\frac{H_e^2 - H_0^2}{H_e^2 - H_{0*}^2}$ от отношения k_2/k_1 при различных значениях $\frac{R}{l}$.

Таким образом, в результате математического моделирования притока к дрене, грунтовые стенки которой уплотнены рабочим органом, было изучено влияние изменения коэффициента фильтрации в придренной зоне на величину притока.

На основе проведенного анализа показано, что величина притока в основном зависит от соотношений коэффициента фильтрации грунта естественного сложения k_2 к коэффициенту фильтрации грунта придренной зоны k_1 , а также от расстояния R , на котором имеется максимальное уплотнение к половине размера междренья l . При $k_2/k_1 \leq 20$, $R=50$ см и $l=25$ м расход из дрены отличается от ожидаемого расхода при однородной естественной водопроницаемости не более чем на 20—30%.

Для количественной оценки влияния диаметра дрены, размеров фильтра и зоны уплотнения, а также значения их коэффициентов фильтрации

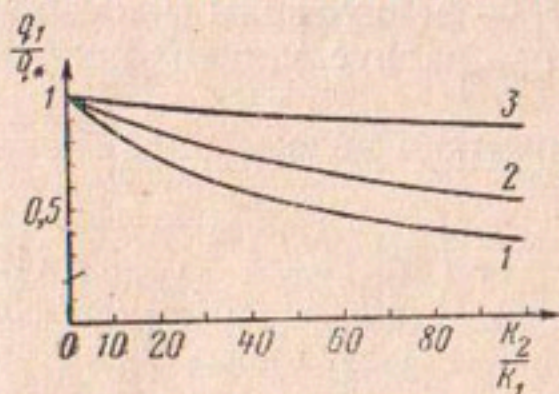


Рис. 2. График зависимости:

$$1 - \frac{R}{l} = \frac{1}{50};$$

$$2 - \frac{R}{l} = \frac{1}{100};$$

$$3 - \frac{R}{l} = \frac{1}{500}.$$

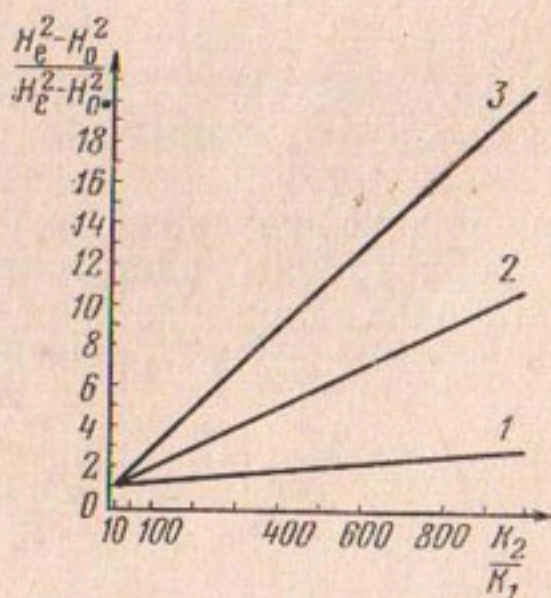


Рис. 3. График зависимости:

$$1 - \frac{R}{l} = \frac{1}{1000};$$

$$2 - \frac{R}{l} = \frac{1}{100};$$

$$3 - \frac{R}{l} = \frac{1}{50}.$$

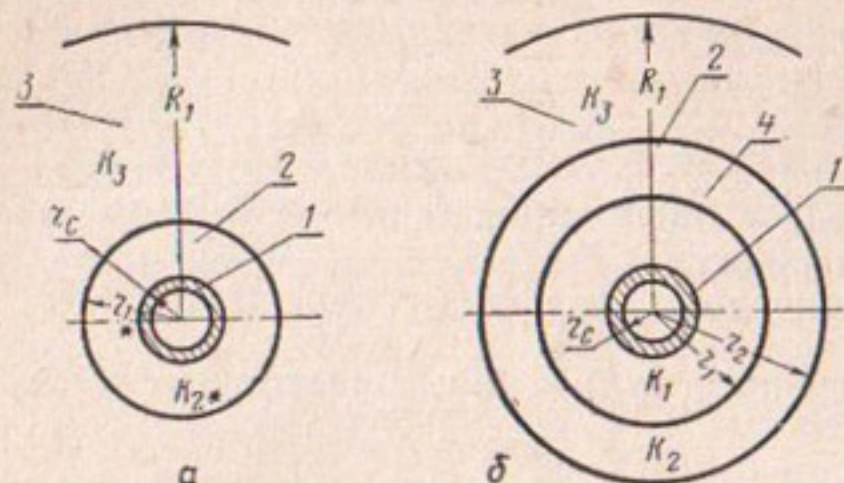


Рис. 4. Расчетные схемы для определения притока воды к дрене, уложенной бес-траншейным способом:

1 — дренажная труба; 2 — уплотненная зона; 3 — естественный грунт; 4 — фильтр; а — для конструкции дрены без фильтрующей обсыпки; б — для конструкции дрены фильтрующей обсыпкой.

рассмотрена приближенная модель осесимметричного притока воды к дрене (рис. 4) при наличии трех сред (фильтр, уплотненная зона, естественный грунт).

Уравнение фильтрации соответствующих сред будет*:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \left(r k_i H_i \frac{dH_i}{dr} \right) + \varepsilon = 0, \quad i = 1, 2, 3 \dots \quad (8)$$

Краевые условия:

$$H_1 = H_0 \quad \text{при} \quad r = r_c, \quad H_3 = H_R \quad \text{при} \quad r = R_1, \quad (9)$$

$$H_1 = H_2 \quad \text{и} \quad k_1 \frac{dH_1^2}{dr} = k_2 \frac{dH_2^2}{dr} \quad \text{при} \quad r = r_1,$$

$$H_2 = H_3 \quad \text{и} \quad k_2 \frac{dH_2^2}{dr} = k_3 \frac{dH_3^2}{dr} \quad \text{при} \quad r = r_2,$$

где r_c — радиус дренажной трубы, м; r_1 — радиус зоны фильтрации, м; r_2 — радиус зоны уплотнения, м; R_1 — радиус влияния или удвоенная глубина заложения дрены, м.

Окончательно для H_1 решение получено в виде:

$$H_1^2 = H_0^2 + A_1 \ln \frac{r}{r_c} + \frac{\varepsilon}{2k_1} \left(r_c^2 - r^2 \right), \quad (10)$$

где

$$A_1 = \frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{H_R^2 - H_0^2 - \frac{\varepsilon}{2k_1} (r_1^2 - r_c^2) + \frac{\varepsilon}{2k_2} (r_2^2 - r_1^2) + \frac{\varepsilon}{2k_3} (R_1^2 - r_2^2)}{\frac{k_2}{k_1} \ln \frac{r_1}{r_c} + \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{k_2}{k_3} \ln \frac{R_1}{r_2}} \quad (11)$$

* Поставленную задачу можно решить относительно потенциала скорости методом зеркального отображения. Но в этом случае области от кругов переходят в овалы, а решение имеет более сложный вид.

В случае отсутствия инфильтрации ($\varepsilon = 0$) для величины притока воды к дрене получим:

$$q_{\phi} = \pi \frac{H_R^2 - H_0^2}{\frac{1}{k_1} \ln \frac{r_1}{r_c} + \frac{1}{k_2} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{k_3} \ln \frac{R_1}{r_2}} \quad (12)$$

В случае отсутствия фильтра (рис. 4) для величины притока воды к дрене имеем следующее выражение:

$$q_{\phi \cdot \phi} = \pi \frac{H_R^2 - H_0^2}{\frac{1}{k_{2*}} \ln \frac{r_{1*}}{r_c} + \frac{1}{k_3} \ln \frac{R_1}{r_{1*}}} \quad (13)$$

где r_{1*} — радиус зоны уплотнения в случае отсутствия фильтрующей обсыпки, м; k_{2*} — коэффициент фильтрации уплотненной зоны, м/сут.

Согласно выражениям (12) и (13), при одинаковом градиенте напора для отношения расходов будем иметь:

$$\frac{q_{\phi}}{q_{\phi \cdot \phi}} = \frac{\frac{k_3}{k_{2*}} \ln \frac{r_{1*}}{r_c} + \ln \frac{R_1}{r_{1*}}}{\frac{k_3}{k_1} \ln \frac{r_1}{r_c} + \frac{k_3}{k_2} \ln \frac{r_2}{r_1} + \ln \frac{R_1}{r_2}} \quad (14)$$

На практике иногда пазухи, предусмотренные конструкцией дрена для фильтрующей обсыпки, заполняются естественным грунтом (рис. 4, б), тогда расчетная формула примет вид:

$$\frac{q_{\phi}}{q_{\phi \cdot \phi}} = \frac{\frac{k_3}{k_{\text{ест}}} \ln \frac{r_1}{r_c} + \frac{k_3}{k_2} \ln \frac{r_2}{r_1} + \ln \frac{R_1}{r_2}}{\frac{k_3}{k_1} \ln \frac{r_1}{r_c} + \frac{k_3}{k_2} \ln \frac{r_2}{r_1} + \ln \frac{R_1}{r_2}} \quad (15)$$

В выражениях (12), (13), (14) и (15) следовало бы добавить коэффициент, учитывающий несовершенство дрена по характеру вскрытия пласта, несовершенство водоприемной поверхности дрена и др. Этот коэффициент, по-видимому, будет зависеть также от величины уплотненной зоны и степени уплотнения грунта придренной зоны.

На основании формул (14) и (15) можно оценить влияние различных параметров дренажа на величину притока. Проведенный на ЭВМ численный анализ при диапазонах изменения: $r_1/r = 1,5-5,0$; $R_1/r = 2-10$; $r_2/r_1 = 1,5-3,0$; $k_3/k_2 = 1-5$ и $k_3/k_1 = 0,001-1,0$ показал, что приток к дрене в значительной степени зависит от диаметра дрена, в том числе от размеров и качества фильтрационной обсыпки.

Таблица 3

Значения $q_{\phi}/q_{6\phi}$ при различных значениях параметров дренажа

Коэффициент фильтрации грунта			Параметры дренажа						
			$\frac{r_1}{r_c}=5, \quad \frac{r_2}{r_1}=2, \quad \frac{r_{1\phi}}{r_c}=5$				$\frac{r_1}{r_c}=4, \quad \frac{r_2}{r_1}=3, \quad \frac{r_{1\phi}}{r_c}=8$		
			$\frac{R_1}{r_2}=2$	$\frac{R_1}{r_2}=4$	$\frac{R_1}{r_2}=6$	$\frac{R_1}{r_2}=8$	$\frac{R_1}{r_2}=2$	$\frac{R_1}{r_2}=4$	$\frac{R_1}{r_2}=6$
			$\frac{R_1}{r_{1\phi}}=4$	$\frac{R_1}{r_{1\phi}}=8$	$\frac{R_1}{r_{1\phi}}=12$	$\frac{R_1}{r_{1\phi}}=16$	$\frac{R_1}{r_{1\phi}}=3$	$\frac{R_1}{r_{1\phi}}=6$	$\frac{R_1}{r_{1\phi}}=9$
$\frac{k_3}{k_2} = \frac{k_3}{k_{2\phi}} = 10$	$\frac{k_3}{k_1}$	0,1	2,26	2,15	2,10	2,06	1,85	1,80	1,78
		0,01	2,30	2,19	2,13	2,10	1,87	1,82	1,80
$\frac{k_3}{k_2} = \frac{k_3}{k_{2\phi}} = 20$	$\frac{k_3}{k_1}$	0,1	2,43	2,23	2,20	2,18	1,80	1,78	1,77
		0,01	2,45	2,25	2,22	2,20	1,81	1,97	1,78

Таблица 4

Значения $q_{\phi}/q_{c\phi}$ при различных значениях параметров дренажа

Коэффициент фильтрации грунта				Параметры дренажа						
				$\frac{R_1}{r_2} = 2 - \frac{r_2}{r_1} = 2$			$\frac{R_1}{r_2} = 4 - \frac{r_2}{r_1} = 2$			
				$\frac{r_1}{r_c}$			$\frac{r_1}{r_c}$			
				1,5	2	3	1,5	2	3	3
$\frac{k_3}{k_2} = 10$	$\frac{k_3}{k_1}$	0,01	$\frac{k_3}{k_{ест}}$	1	1,053	1,090	1,142	1,048	1,082	1,131
				3	1,159	1,272	1,430	1,146	1,249	1,394
				5	1,265	1,453	1,718	1,243	1,415	1,658
		0,1	$\frac{k_3}{k_{ест}}$	1	1,048	1,081	1,128	1,044	1,574	1,117
				3	1,153	1,261	1,413	1,141	1,240	1,378
				5	1,259	1,441	1,696	1,238	1,406	1,639
$\frac{k_3}{k_2} = 20$	$\frac{k_3}{k_1}$	0,01	$\frac{k_3}{k_{ест}}$	1	1,028	1,047	1,075	1,026	1,045	1,071
				3	1,083	1,142	1,226	1,079	1,136	1,215
				5	1,139	1,237	1,376	1,133	1,227	1,359
		0,1	$\frac{k_3}{k_{ест}}$	1	1,025	1,043	1,067	1,024	1,041	1,064
				3	1,080	1,137	1,217	1,077	1,131	1,250
				5	1,136	1,232	1,367	1,130	1,222	1,367

В таблице 3 приведены фрагменты результатов количественного анализа для отношений притоков к дрене при наличии фильтрационной обсыпки и без нее. (отношение притока дрены по расчетной схеме «б» к притоку по расчетной схеме «а»), а в таблице 4 — для отношений притока воды к дрене при наличии фильтрующей обсыпки к притоку для случая, когда вместо фильтрующей обсыпки пазухи дрены заполняются местным грунтом. При этом в расчетах принято изменение параметров дренажа, наиболее часто встречаемых в практике.

Весьма интересные результаты были также получены при установлении оптимальных параметров бестраншейного дреноукладчика по глубине и ширине прорезаемой щели. В качестве целевой установки было принято достижение минимума стоимости строительства с учетом выполнения всего комплекса работ при сооружении коллекторно-дренажной сети, а для оценки различных вариантов технологии и организации строительства использован показатель стоимости работ в рублях, отнесенный к 1 га осушаемой площади.

Формулировка задачи выполнена методом геометрического программирования. В общем виде эта задача выглядит достаточно громоздкой, так как включает около двадцати переменных и 42 ограничительных условия, поэтому для нахождения решения разработана специальная программа исследования задачи для ЭВМ «Минск-32». Алгоритм решения записан на языке «Фортран». Собранная программа имеет имя *DREN2*.

Решение задачи с оптимизацией всех переменных параметров получено следующим: $H_0 = 1,7$ м; $L = 950$ м; $h_y = 5,35$ м; $b = 0,10$ м.

С ограничением глубины h_y до 2,5 м, которая достигнута в реальных условиях, оптимальное решение получено при следующих параметрах: $H_0 = 1,7$ м; $L = 800$ м; $h_y = 2,5$ м; $b = 0,20$ м, где h_y — максимальная глубина, которую может обеспечить дреноукладчик при укладке дренажной линии, м; b — ширина прорезаемой щели по дну, м; H_0 — превышение уровня воды в середине междренья над уровнем воды в дрене, м; L — длина дрены, м.

Результаты проведенных расчетов достаточно хорошо корреспондируются с результатами численного анализа при математическом моделировании притока воды к дрене и натурными наблюдениями. Во всех случаях наглядно и убедительно показано, что эффективная работа дренажа, заложенного бестраншейным способом, обеспечивается при увеличении диаметра дрены за счет устройства фильтрационной обсыпки, ширина которой для реальных условий должна быть не менее 20 см.

При разработке бестраншейного способа строительства была принята наиболее простая технология, предусматривающая предварительную скреперную планировку поверхности трассы дрены под заданный уклон с точностью, соответствующей техническим требованиям. В настоящее время разработан и испытан эффективный способ регулирования заданного уклона дрены, основанный на выполнении грубой подготовки трассы с отклонениями в пределах

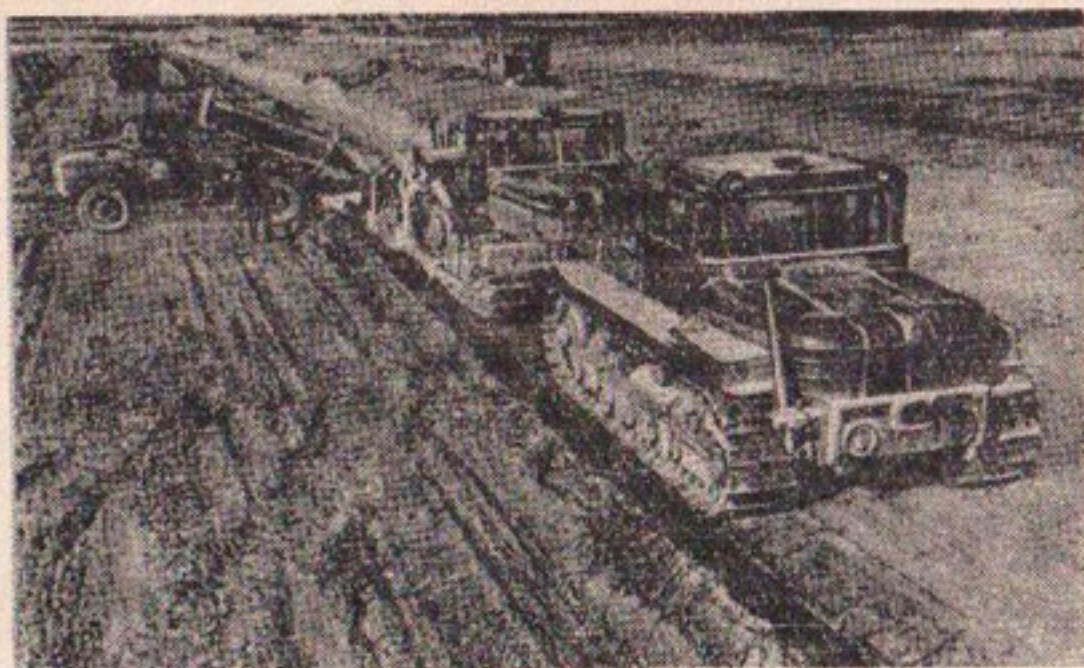


Рис. 5. Бестраншейный дреноукладчик БДМ-301А в работе.

± 15 см. Это позволяет повысить производительность скреперов на 30% или перейти на более дешевую бульдозерную подготовку трассы дрены. Регулирование точности укладки дрены и ее уклона может осуществляться как с участием оператора, управляющего заглублением рабочего органа с помощью геодезического прибора (теодолита или нивелира) и радиопередатчика, так и по полностью автоматизированной схеме, основанной на использовании лазерного визира в качестве задатчика проектной линии дрены.

Последовательность выполнения операций при осуществлении технологического процесса строительства дренажа бестраншейным способом следующая:

грубая или точная подготовка трасс дрен осуществляется с помощью скреперов и бульдозеров; в первом случае с точностью до ± 15 см, во втором ± 3 см;

дреноукладчик задним ходом по подготовленной трассе подается к устью дрены, после чего рабочий орган опускается на требуемую глубину в специально подготовленный шурф;

конец дренажной трубы пропускается по спускному желобу через рабочий орган и заякоривается на дне шурфа;

включается рабочий ход, и дреноукладчик начинает движение до тех пор, пока не произойдет полного внедрения рабочего органа в грунт, после чего движение прекращается;

бункер дреноукладчика загружается песчано-гравийной смесью; включается рабочий ход, и производится укладка дренажной линии до тех пор, пока не израсходуется запас фильтрующего материала в бункере, после чего дреноукладчик останавливается для новой загрузки (рис. 5.);

по окончании укладки дренажной линии рабочий орган выглубляется, переводится в транспортное положение и дреноукладчик переезжает на новую трассу;

производится закатка щели гусеницами трактора-тягача в 4—6 проходов;

устанавливается сопряжение дрены с закрытым коллектором или оборудуется устьевое сооружение;

производится засыпка и планировка наддренной полосы бульдозерами.

Результаты экспериментальных исследований позволили установить зависимость производительности бестраншейного дренаукладчика от основных его параметров, которая выражается следующей формулой:

$$P_d = \frac{T_{см} K_{см} K_r}{\frac{1}{v_p} + \frac{1}{v_x} + \frac{\Sigma t}{L} + \frac{b^2 - 0,785d^2}{Q}} t_{загр}, \quad (16)$$

где P_d — сменная производительность бестраншейного дренаукладчика, м/см; $T_{см}$ — продолжительность рабочей смены, мин; $K_{см}$ — коэффициент использования сменного времени; K_r — коэффициент готовности технологического процесса; v_p — скорость рабочего хода дренаукладчика, м/мин; v_x — скорость перемещения дренаукладчика при переезде с дрены на дрена, м/мин; d — диаметр дренажных труб, м; Q — объем бункера дренаукладчика, м³; $t_{загр}$ — продолжительность одной загрузки бункера, мин; Σt — суммарное время на установку дренаукладчика в забой и выглубление рабочего органа по завершении укладки, мин.

Соответствующими расчетами были установлены структура и оснащенность механизированного отряда для строительства пластмассового дренажа с песчано-гравийным фильтром бестраншейным способом. Для организации поточного производства работ необходим механизированный отряд, состоящий из 29 машин и 68 рабочих. Сменная производительность этого отряда составляет не менее 2000 м, а годовая выработка около 250 км закрытого дренажа.

Оценка степени уплотнения грунта придренной зоны и изменение в этой связи его фильтрационных свойств в натурных условиях производились путем отбора проб грунта для послойного определения объемной массы скелета, влажности и коэффициента фильтрации грунта. Методикой предусматривался отбор проб в трех плоскостях поперечного сечения дрены: в плоскости дна дрены, с направлением выреза образцов перпендикулярно к этой плоскости, а также в горизонтальных плоскостях по оси дренажной трубы и по верхнему урезу фильтрующей засыпки с направлением выреза образцов параллельно этим плоскостям. Для исключения влияния на определяемые показатели затиров грунта пассивным рабочим органом бестраншейного дренаукладчика первые образцы проб с поверхности дна и стенок полости дрены вырезались вместе с поверхностью, контактирующей с ножом. В дальнейшем распространение зоны уплотнения грунта определялось путем среза слоя его в 2, 3, 5, 10 мм и так далее для каждого последующего образца (рис. 6).

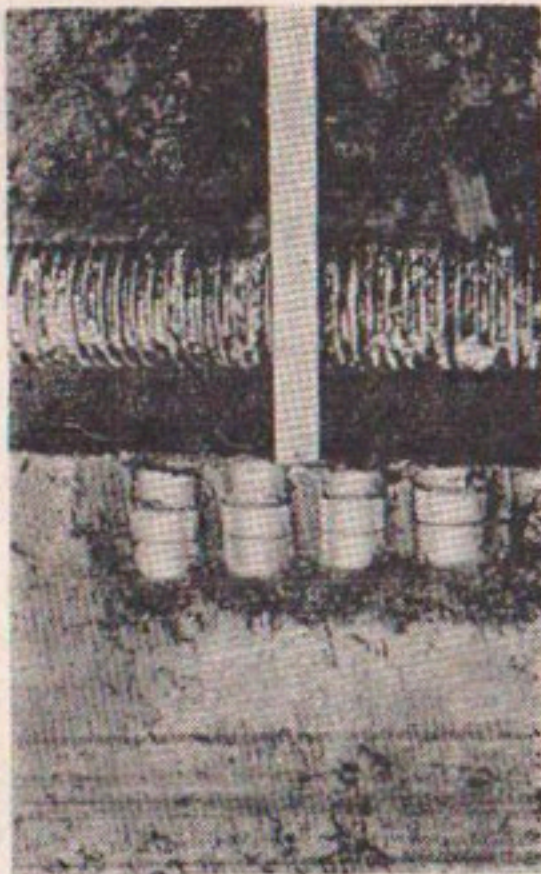


Рис. 6. Последовательность отбора образцов проб грунта при дреной зоны на определение объемной массы скелета грунта и коэффициента фильтрации.

По описанной методике в совхозах № 4 и № 7 Голодной степи был обследован ряд дрен с проведением анализов около 1500 образцов на объемную массу и более 500 образцов с определением фильтрационных свойств грунта. Исследуемые дрены были заложены в различных грунтовых и гидрологических условиях (лессовидных, легких, средних и тяжелых суглинках разной влажности).

По результатам замеров величина уплотнения в зависимости от вида и влажности почвогрунта колеблется в пределах $0,12-0,15 \text{ г/см}^3$ и в среднем составляет $5-8\%$ от значения объемной массы скелета грунта естественного сложения.

Определения фильтрационных свойств грунта в полости дна и боковых стенок полости дрены показали, что зона распространения изменений коэффициента фильтрации по глубине практически равна зоне распространения уплотнения, а его величина ниже коэффициента фильтрации того же

грунта с ненарушенной структурой в $5-6$ раз (рис. 7). Производственная оценка влияния поверхностной затирки боковых стенок и дна полости дрены, происходящей в отдельных местах в результате прохода пассивного рабочего органа, показала, что коэффициент фильтрации в этих случаях снижается в $10-15$ раз в сравнении с аналогичным показателем грунта с ненарушенной структурой.

Наблюдения за работой пластмассового дренажа проводились в 1972—1974 гг. при поливе сельскохозяйственных культур на опытно-производственных участках совхозов № 4, 7, 26 и 31, а при промывке засоленных земель — в совхозах № 4, 5 и «Пахтакор» Голодной степи.

На графике (рис. 8) представлены зависимости изменения модуля дренажного стока от конструкции дрен. Анализ результатов, проведенных в этом направлении исследований, показал следующее.

Увеличение эффективного диаметра за счет создания объемной круговой песчано-гравийной фильтрационной обсыпки позволяет обеспечить максимальную работоспособность дрен на характерных для Голодной степи лессовидных грунтах с коэффициентом фильтрации $0,1-0,5 \text{ м/сут.}$

В условиях капитальных промывок дрены, уложенные в грунтах,

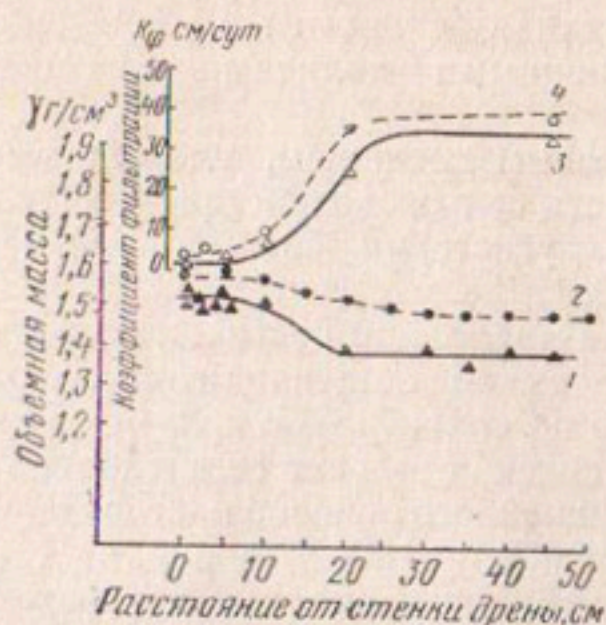


Рис. 7. Характер изменения объемной массы и коэффициента фильтрации грунта в придренированной зоне:

1 — $\gamma_{x/c}$ № 7; 2 — $\gamma_{x/c}$ № 4; 3 — $k_{\phi x/c}$ № 7; 4 — $k_{\phi x/c}$ № 4.

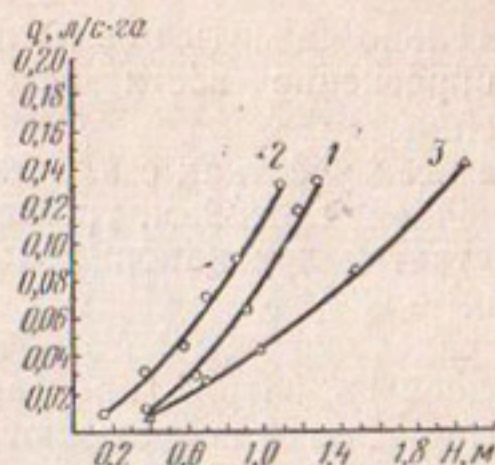


Рис. 8. График зависимости модуля дренажного стока от напора над дренаем диаметром 75 мм с различными конструкциями фильтра:

1 — песчано-гравийная смесь 0,2×0,3 м; 2 — песчано-гравийная смесь 0,2×0,4 м и капроновая ткань в один слой; 3 — капроновая ткань в один слой.

имеющих $k_{\phi} < 0,5$ м/сут, обеспечивают средний по участку модуль дренажного стока 0,38 л/с·га против модуля 0,28–0,30 л/с·га, предусмотренного проектом. Максимальный наблюдаемый модуль 0,42 л/с·га при напоре в 2,5–3,0 м. Скорость снижения уровня грунтовых вод после промывки достигла 13–14 см/сут и повсеместно превышала 10 см/сут. Глубина рассоления грунтов до предела токсичности при проектной промывной норме превышает 1,5–2,0 м.

В эксплуатационный период модули дренажного стока достигали 0,15–0,25 л/с·га.

После окончания поливов наблюдалось интенсивное снижение грунтовых вод со скоростью 3–5 см/сут. Для поддержания оптимального водно-солевого режима на участках пластмассового дренажа оросительная норма должна составлять 6–7 тыс. м³/га, в не-вегетационный период рекомендуется проводить влагозарядковый полив нормой 1,5 тыс. м³/га.

Результатами исследований и наблюдений за работой дренажа рекомендуется пластмассовые дерны в фильтровой обсыпке укладывать на той же глубине, что и дрены из керамических труб, а расстояния между ними рассчитывать по формулам, обычно принимаемым для подсчета междренних расстояний при закрытом горизонтальном дренаже. Обосновано увеличение междренного расстояния в среднем до 75–100 м вместо принимаемых до настоящего времени 50 м.

Опыт ввода сильно засоленных земель с коэффициентом фильтрации более 0,4 м/сут при повышенной удельной (на 1 га) протяженности пластмассового дренажа, уложенного бестраншейным способом, показал, что при первичном освоении земель возможно

значительно снизить нормы капитальных промывок, а в дальнейшем опреснение вести вегетационными поливами повышенной нормой.

На всех участках с пластмассовым дренажем, уложенным бестраншейным способом, урожайность сельскохозяйственных культур возрастает и признаков солевого угнетения растений не наблюдается.

Определение годового экономического эффекта по минимуму приведенных затрат производилось по общепринятой методике. Данные расчетов показывают, что по сравнению с полумеханизированным способом годовой экономический эффект от внедрения разработанной технологии и бестраншейного способа строительства дренажа колеблется в пределах от 900 до 1500 тыс. руб. на 1 комплект машин, в зависимости от конструкции дрен и междренних расстояний.

Внедрение в производство бестраншейного способа строительства закрытого дренажа позволило в значительной мере повысить темпы ввода орошаемых земель. Всего за период внедрения (1970—1976 гг.) в совхозах Голодной степи построено бестраншейным способом более 1500 км дренажа, из числа которых более половины дрен уложены с песчано-гравийным фильтром. Фактически полученный экономический эффект от внедрения бестраншейного способа на орошаемых землях Голодной степи только за счет снижения стоимости строительства составляет около 6 млн. руб.

УДК 626.862:001.5

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯГОВЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ БЕСТРАНШЕЙНОГО ДРЕНОУКЛАДЧИКА

В. Н. БУРАВЦЕВ, В. В. КУЗНЕЦОВ

Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

Известно, что исследования по резанию грунтов (академик ВАСХНИЛ В. П. Горячкин, доктора технических наук Н. Г. Домбровский, А. Н. Зеленин, Ю. А. Ветров и др.) в большинстве своем были направлены на изучение процессов отделения стружки широкими ножами отвального или ковшового типа. Результаты этих исследований и предлагаемые ими методики расчета оказались практически неприемлемыми к «разрезающему» (по определению Ю. А. Ветрова) рабочему органу бестраншейного дреноукладчика. Ряд исследований по рабочим органам «разрезающего» типа (кандидаты технических наук А. К. Кострицин, Д. А. Сточкус, В. Н. Уродов, В. С. Казаков и др.) хотя и позволили выявить качественно важные особенности глубокого резания, но дают весьма противоречивые расчетные зависимости для определения основных параметров процесса.

В 1965—1974 гг. во ВНИИГиМ были проведены теоретические и

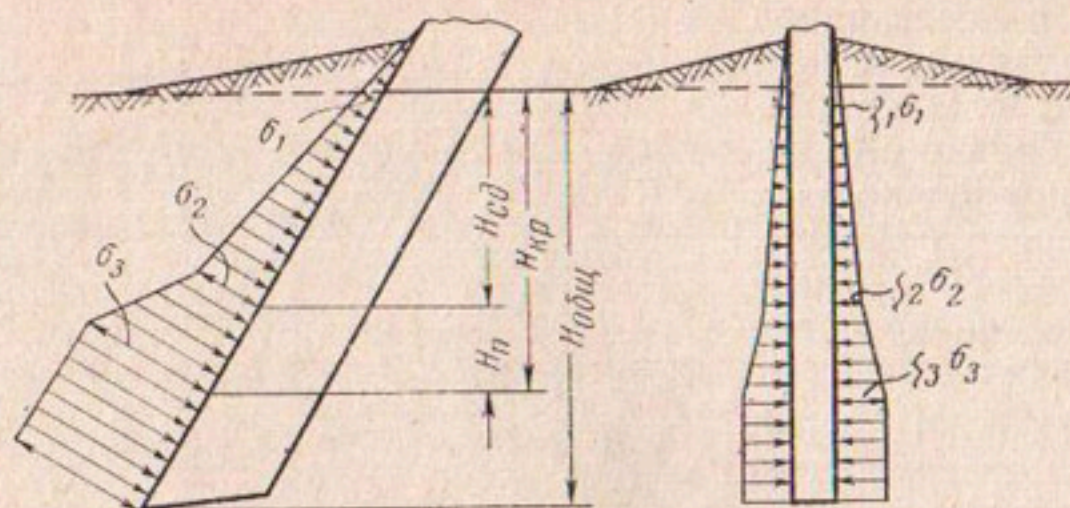


Рис. 1. Распределение удельных нормальных контактных давлений по глубине резания.

экспериментальные исследования по резанию грунтов вертикальными ножами на глубину 1,5—3,0 м при значительном (в 5—15) превышении глубины резания над шириной рабочего органа.

Результатами исследований установлено, что процесс резания грунта вертикальным ножом может быть охарактеризован следующими положениями. В однородном и изотропном грунте по глубине прорезаемой щели можно выделить три зоны, отличающиеся по характеру деформации грунта (рис. 1). В нижней зоне грунт под воздействием режущей кромки подвергается постоянному упруго-пластическому сжатию и вытесняется в дно и стенки щели. Эту зону обычно называют зоной уплотнения. По данным исследований, удельное контактное давление на лобовую поверхность здесь не зависит от ширины, угла заточки и угла резания рабочего органа (при ширине режущей кромки более 50 мм) и остается практически постоянным по глубине резания и по абсолютной величине пропорционально твердости грунта. При малой ширине ножа начинает сказываться масштабный эффект, что ведет к увеличению среднего нормального контактного давления.

В средней зоне грунт подвергается периодическому сжатию. Здесь начинает сказываться влияние открытой поверхности, давление ножа на грунт не уравновешено по всем направлениям, и после сжатия определенного объема грунта происходит потеря устойчивости и отрыв его от материка. Эту зону можно назвать переходной, так как в ней происходит качественное изменение условий резания грунта от сплошной грунтовой среды к условиям резания в грунтовом полупространстве. Нормальное контактное давление на нож здесь в значительной степени снижается, особенно в момент отрыва очередного объема грунта.

В зоне, непосредственно примыкающей к поверхности, режущая поверхность рабочего органа взаимодействует с грунтом уже нарушенного сложения, здесь происходят дробление, сдвиг и выпор в сторону открытой поверхности массива грунта, оторванного от ма-

терика в переходной зоне. Давление на нож здесь продолжает снижаться, однако с меньшей интенсивностью, чем в переходной зоне, и становится равным нулю на поверхности вспучивания.

При резании перед лобовой поверхностью ножа образуется уплотненное ядро, устойчивость которого зависит от угла резания и угла заострения. При угле заострения, меньшем, чем угол внутреннего трения грунта,

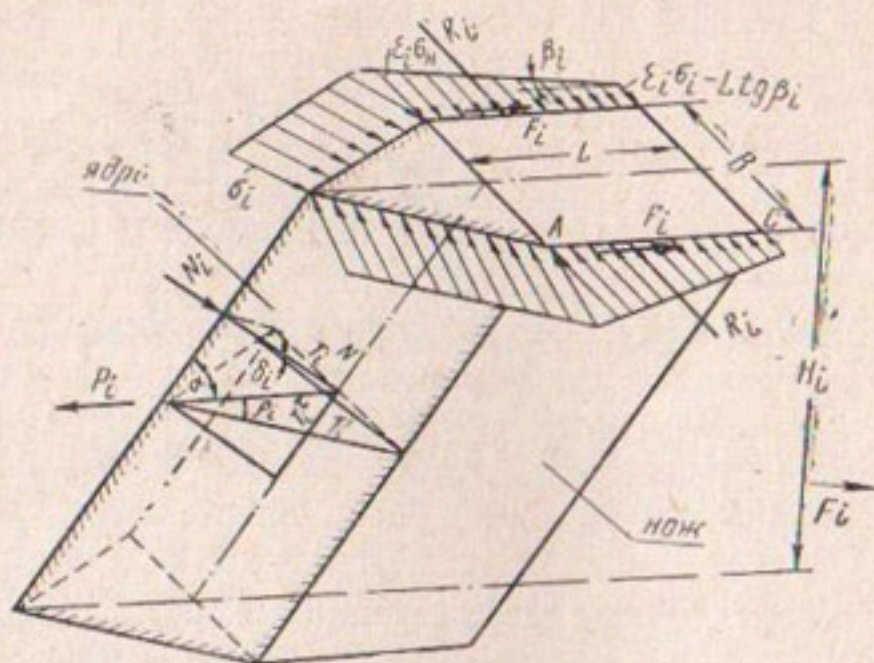


Рис. 2. Схема сил, действующих на пассивный нож при резании грунта, когда уплотненное ядро не движется.

та, уплотненное ядро отсутствует при любых углах резания. В зоне уплотнения при наличии ядра грунт вытесняется в стенки щели, при отсутствии ядра он движется частично в сторону открытой поверхности, частично уплотняется в стенки щели. С целью упрощения расчетных формул при отсутствии ядра можно считать, что грунт движется только в сторону открытой поверхности. Форма ядра зависит от упругопластических свойств грунта, его сцепления и сил внутреннего и внешнего трения. Поверхность ядра в поперечном сечении может быть очерчена по окружности, по эллиптической или параболической кривой или двумя прямыми линиями. Основываясь на рекомендациях механики грунтов, можно принять упрощенно форму ядра в виде треугольника, на грани которого действует постоянное по величине равномерно распределенное давление.

В соответствии с вышесказанным рассмотрен процесс резания грунта пассивным ножом с плоской лобовой поверхностью при наличии ядра (рис. 2). На схеме представлена часть ножа высотой H_i , отсеченная двумя горизонтальными поверхностями.

На основе известного положения принято, что сдвиг грунта происходит по плоскости, которая образует с направлением движения угол, равный углу внутреннего трения ρ .

Усилие резания определяется как сумма сил, действующих в каждой из зон:

$$P_x = \Sigma P_i, \quad (1)$$

$$P_i = 2N_i \sin \delta_i \sin \alpha_i + 2T_i \cos \rho_i + 2F_i \quad (2)$$

где N_i — нормальная сила, действующая на грань ядра; T_i и F_i — силы трения, действующие на грань ядра и боковую поверхность

ножа; α — угол резания; δ_i — угол, образующийся при пересечении ядра плоскостью, перпендикулярной лобовой поверхности ножа.

Согласно схеме, он определяется из выражения:

$$\sin \delta_i = \frac{\sin \varphi_i}{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_i \cos^2 \alpha}} \quad (3)$$

Нормальная сила определяется по известной формуле:

$$N_i = \sigma_i S_i \quad (4)$$

$$S_i = \frac{BH_i}{2 \sin \alpha \sin \delta_i} \quad (5)$$

где σ_i — удельное нормальное контактное давление, действующее на грань ядра площадью S_i ; B — ширина режущей кромки.

Сила трения T_i определяется по формуле Кулона:

$$T_i = \operatorname{tg} \rho_i N_i \quad (6)$$

Из механики грунтов известно, что на боковую поверхность ножа в точке «А» действует давление, равное $\xi_i \sigma_i$. Как показали проведенные экспериментальные исследования, в результате релаксации грунта это давление падает по длине боковой грани ножа и в точке «С» равно:

$$\xi_i \sigma_i - L \operatorname{tg} \beta_i,$$

где ξ_i — коэффициент бокового давления; L — длина ножа; β_i — угол, характеризующий падение давления от релаксации грунта.

Сила трения F_i — произведение коэффициента трения грунта по стали и равнодействующей нормальных сил, действующих на боковую поверхность ножа, определяется по формуле:

$$F_i = f_i H_i L \left(\xi_i \sigma_i - \frac{L \operatorname{tg} \beta_i}{2} \right) \quad (7)$$

Коэффициент бокового давления связан с коэффициентом Пуассона известным из механики грунтов выражением:

$$\xi = \frac{\mu}{1 - \mu} \quad (8)$$

Подставляя в (2) значения сил N_i , T_i из (4) и (6) с учетом (3), (5), (7) и (8), получим:

$$P_i = \sigma_i BH_i \left(1 + \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_i \cos^2 \alpha}}{\sin \alpha} \right) + f_i H_i L \left(\frac{2\mu \sigma_i}{1 - \mu} - L \operatorname{tg} \beta_i \right) \quad (9)$$

Условие, при котором происходит образование уплотненного ядра по лобовой поверхности ножа, определяется на основе неравенства (см. рис. 2):

$$(2N_i \sin \delta_i + T_i^N) f_i > T_i^T, \quad (10)$$

где T_i^N и T_i^T — соответственно нормальная и касательная составляющие сил трения, действующих по поверхности ядра, определяемые по формулам:

$$\begin{aligned} T_i^N &= 2T_i \cos \rho_i \sin \alpha_i, \\ T_i^T &= 2T_i \cos \rho_i \cos \alpha_i. \end{aligned} \quad (11)$$

После некоторых преобразований формула (10) приобретает вид:

$$fS_i > \frac{\cos \alpha}{\frac{1}{\sqrt{1 - \cos^2 \rho_i \cos^2 \alpha}} + \sin \alpha}. \quad (12)$$

Из формулы (12) следует, что образование устойчивого уплотненного ядра зависит от значений коэффициента трения грунта по стали, угла резания и угла трения грунта по грунту. При соблюдении этого условия формула суммарного усилия резания (1) для всех трех зон будет иметь вид:

$$\begin{aligned} P_x &= \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} BH_{\text{сд}}^{\alpha} \left(1 + \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \rho_1 \cos^2 \alpha}}{\sin \alpha} \right) + \\ &+ \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2} BH_n^{\alpha} \left(1 + \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \rho_2 \cos^2 \alpha}}{\sin \alpha} \right) + \\ &+ \sigma_3 B (H - H_{\text{кр}}^{\alpha}) \left(1 + \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \rho_3 \cos^2 \alpha}}{\sin \alpha} \right) + \\ &+ f_1 L H_{\text{сд}}^{\alpha} \left[\frac{\mu(\sigma_1 + \sigma_2)}{1 - \mu} - L \operatorname{tg} \beta_1 \right] + f_2 L H_n^{\alpha} \\ &\left[\frac{\mu(\sigma_2 + \sigma_3)}{1 - \mu} - L \operatorname{tg} \beta_2 \right] + f_3 L (H - H_{\text{кр}}^{\alpha}) \\ &\left(\frac{2\mu\sigma_3}{1 - \mu} - L \operatorname{tg} \beta_3 \right), \end{aligned} \quad (13)$$

где $H_{\text{сд}}^{\alpha}$ — глубина сдвига грунта в функции угла α , определяемая по формуле В. К. Руднева:

$$H_{\text{сд}}^{\alpha} = H_{\text{сд}}^{90} \left(\frac{\cos \alpha}{\mu} + \sin \alpha \right), \quad (14)$$

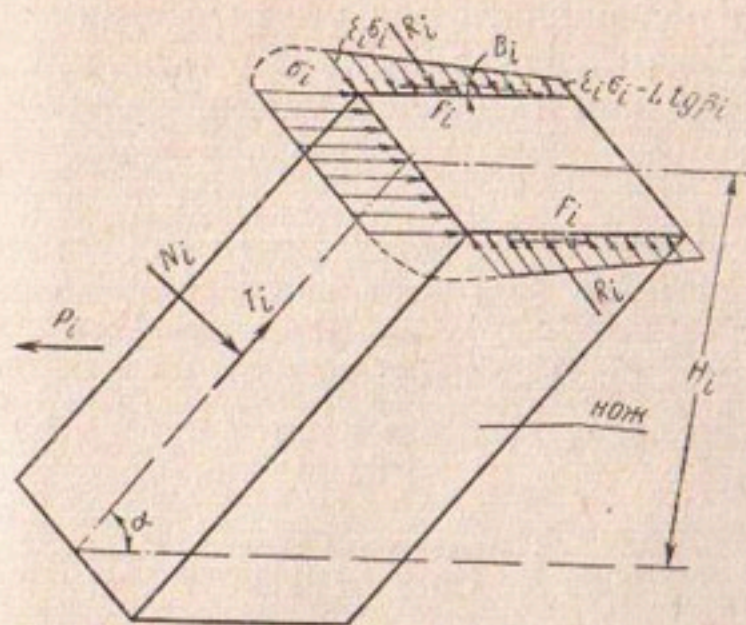


Рис. 3. Схема сил, действующих на пассивный нож, при движении уплотненного ядра.

где $H_{\text{сд}}^{90}$ — величина сдвига при угле, равном 90° , H_n^{α} — величина зоны периодического сжатия в функции угла резания, определяется по формуле, аналогичной (14); f_1, f_2, f_3 — коэффициенты трения грунта о сталь в этих зонах в функции удельных контактных давлений, определяются по зависимости Ю. А. Ветрова; $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ — углы, характеризующие уменьшение бокового давления в результате релаксации грунта в зонах резания.

Удельное давление в зоне уплотнения σ_3 определяется экспериментально и в зависимости от твердости грунта (ГОСТ 9693—67) находится в диапазоне $2\text{—}8 \text{ кг/см}^2$. Удельное давление в начале переходной зоны и в зоне сдвига может быть определено: $\sigma_1 = 0,25\text{—}0,5 \text{ кг/см}^2$; $\sigma_2 = (0,4\text{—}0,5)\sigma_3$.

Экспериментально установлено, что величины $H_{\text{сд}}^{90}$ и H_n^{90} являются функциями толщины ножа, то есть

$$\begin{aligned} H_{\text{сд}}^{90} &= a_1 B^{n_1}, \\ H_n^{90} &= a_2 B^{n_2}, \end{aligned} \quad (15)$$

где a_1, a_2, n_1, n_2 — коэффициенты, определяемые экспериментальным путем.

Если условие (12) не выполняется, процесс резания будет происходить со скольжением ядра по лобовой поверхности ножа (рис. 3) и формула (1) усилия резания в каждой зоне будет иметь вид:

$$P_i = N_i \sin \tau_i + T_i \cos \tau_i + 2F_i. \quad (16)$$

Учитывая характер эпюры удельных давлений (рис. 1) и проводя рассуждения, аналогичные вышеуказанным, формула для определения суммарного усилия в трех зонах в этом случае примет вид:

$$\begin{aligned} P_x &= \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} B H_{\text{сд}}^{\alpha} \left(1 + f_1 \operatorname{ctg} \alpha \right) + \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2} B H_n^{\alpha} (1 + f_2 \operatorname{ctg} \alpha) + \\ &+ \sigma_3 B (H - H_{\text{кр}}^{\alpha}) (1 + f_3 \operatorname{ctg} \alpha) + f_1 L H_{\text{сд}}^{\alpha} \left[\frac{\mu (\sigma_1 + \sigma_2)}{1 - \mu} - L \operatorname{tg} \beta_1 \right] + \\ &+ f_2 L H_n^{\alpha} \left[\frac{\mu (\sigma_2 + \sigma_3)}{1 - \mu} - L \operatorname{tg} \beta_2 \right] + f_3 L (H - H_{\text{кр}}^{\alpha}) \left(\frac{2\mu \sigma_3}{1 - \mu} - L \operatorname{tg} \beta_3 \right). \end{aligned} \quad (17)$$

В случае заострения лобовой поверхности под углом, меньшим удвоенного значения угла внутреннего трения 2ρ , уплотненное ядро отсутствует при любых углах резания и формула усилия резания для всех зон приводится к виду:

$$\begin{aligned}
 P_x = & \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} BH_{\text{сд}}^{\alpha} \left(1 + \frac{f_1}{\sin \alpha \sin \delta_1 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta_1 \sin^2 \alpha}} \right) + \\
 & + \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2} BH_n^{\alpha} \left(1 + \frac{f_2}{\sin \alpha \sin \delta_2 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta_2 \sin^2 \alpha}} \right) + \\
 & + \sigma_3 B \left(H - H_{\text{кр}}^{\alpha} \right) \left(1 + \frac{f_3}{\sin \alpha \sin \delta_3 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta_3 \sin^2 \alpha}} \right) + \\
 & + f_1 L H_{\text{сд}}^{\alpha} \left[\frac{\mu (\sigma_1 + \sigma_2)}{1 - \mu} - L \operatorname{tg} \beta_1 \right] + f_2 L H_n^{\alpha} \left[\frac{\mu (\sigma_2 + \sigma_3)}{1 - \mu} - L \operatorname{tg} \beta_2 \right] + \\
 & + f_3 L \left(H - H_{\text{кр}}^{\alpha} \right) \left(\frac{2 \mu \sigma_3}{1 - \mu} - L \operatorname{tg} \beta_3 \right), \quad (18)
 \end{aligned}$$

где $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ — конструктивные углы заострения режущей кромки в соответствующих зонах.

На рис. 4. представлены теоретическая и экспериментальная зависимости усилия резания от глубины резания. Теоретическая кривая в достаточной степени соответствует экспериментальной, причем ошибка уменьшается с увеличением глубины резания. Закономерность изменения усилия резания аналогична полученной профессором А. Н. Зелениным при проведении им экспериментов на элементарных профилях, что достаточно убедительно свидетельствует о

правильности выведенных зависимостей.

Анализ характера эшоры давления грунта на нож показывает, что минимальная энергоемкость процесса прорезания щели имеет место, когда при данных ширине лобовой поверхности и угле резания общая глубина не превышает критической. Исходя из этого положения при разработке конструкции рабочего органа бестраншейного дреноукладчика БДМ-301 была поставлена цель — свести к минимуму размер зоны уп-

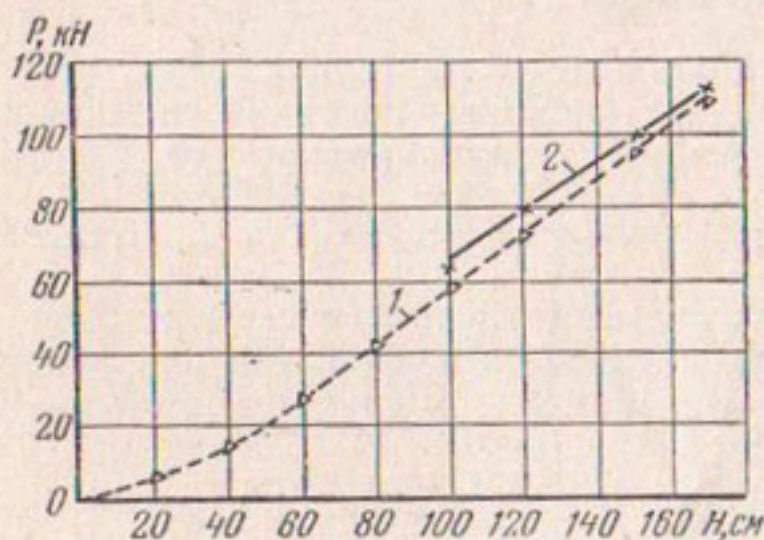


Рис. 4. Зависимость усилия резания от глубины резания:

1 — теоретическая кривая для значений $\sigma_3 = 18 \frac{H}{\text{см}^2}$, $B = 26$ см; $\alpha = 45^\circ$; $L = 100$ см; $f = 0,3$; $\mu = 0,35$; 2 — экспериментальная кривая.

лотнения. Такое решение хорошо согласуется с основным технологическим требованием к рабочему органу дренаукладочной машины — обеспечить минимальное нарушение естественной структуры грунтов при дренажной зоне (в данном случае максимальное уменьшение деформации сжатия грунта за счет исключения зоны уплотнения).

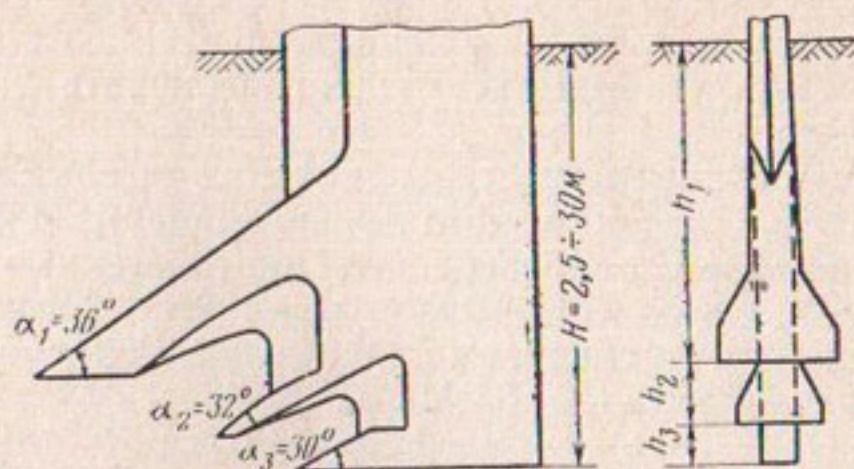


Рис. 5. Схема ступенчатого рабочего органа бестраншейного дренаукладчика БДМ-301.

В наибольшей степени указанным энергетическому и технологическому требованиям удовлетворяет созданный во ВНИИГиМ ступенчатый рабочий орган (рис. 5).

Каждая ступень этого рабочего органа представляет собой остро заточенный, вертикально поставленный рассекающий, имеющий в своей нижней части зуб с 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 рассекающие второй и третьей ступеней расположены соответственно за уширяющимися частями плоских режущих кромок первой и второй ступеней. Рассекатели всех ступеней равны по ширине между собой и не превышают ширину тела рабочего органа. При этом площадь уширенной части лобовой плоскости первой ступени выбирается из условия обеспечения максимальной глубины скола, то есть равна размерам переходной зоны, в которой соотношение ширины и высоты (точнее, ее вертикальной проекции) должно быть не более $\frac{1}{2} - \frac{1}{3}$.

Тяговые сопротивления бестраншейного дренаукладчика

Показатели	Категория грунта		
	I	II	III
Средняя по глубине твердость по твердомеру ДорНИИ	$\frac{1-4}{3}$	$\frac{5-8}{6}$	$\frac{9-15}{12}$
Среднее тяговое сопротивление для категории, кН	240	480	960
Вероятность работы дренаукладчика в грунтах данной категории	0,2	0,5	0,2

Таким образом, в каждой из ступеней соотношения между максимальной шириной режущей кромки и глубиной резания подобраны так, чтобы максимально исключить деформацию уплотнения грунта.

В таблице приведены значения тяговых сопротивлений рабочего органа бестраншейного дреноукладчика для глубины резания 3 м, в зависимости от твердости грунта. Данные таблицы составлены на основе многочисленных замеров в натурных условиях при дренировании орошаемых земель совхозов Голодной степи бестраншейным дреноукладчиком БДМ-301.

Сравнение данных, полученных расчетным путем, с экспериментальными показывает их хорошую сходимость (расхождение в пределах 12—15%). Из таблицы следует, что наибольшая вероятность работы дреноукладчика в зоне орошения в грунтах второй группы.

Приведенная условная классификация грунтов по трудности их разработки пассивным рабочим органом позволяет осуществлять предварительный выбор класса базового трактора и тягачей.

УДК 626.862:002

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА БЕСТРАНШЕЙНЫМ СПОСОБОМ

Е. Д. ТОМИН, кандидат технических наук; **А. Я. ШАПОЧКИН**

Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

Развитие технологии строительства закрытого дренажа в оптимальном плане в настоящее время может быть достигнуто на основе математического моделирования. Методологической основой к составлению моделей служат работы основоположника математического программирования советского ученого Л. В. Канторовича и его последователей. Вопросам практической реализации достижений математического программирования большое внимание уделяется также и за рубежом.

В настоящей работе кратко излагаются основные результаты исследования задач оптимизации технологии строительства закрытого дренажа бестраншейным способом, включающие содержательную математическую постановку и решение на ЭВМ «Минск-32». В соответствии с общими методическими рекомендациями к составлению моделей задач и принятию решения работа включает предварительный анализ моделируемого объекта, выделение на основе анализа параметров управления и формулирование цели, а также выделение среди всех решений множества возможных путей выражения ограничительных факторов через параметры управления.

Если в качестве целевой установки принять минимум строитель-

ной стоимости, то в общем виде целевая функция может быть представлена суммой элементов затрат.

$$C_{\text{стр}} = C_{\text{кл}} + C_{\text{зр}} + C_{\text{др}} + C_{\text{укл}} + C_{\text{соор}},$$

где $C_{\text{стр}}$ — стоимость строительных работ; $C_{\text{кл}}$ — стоимость строительства коллекторной сети; $C_{\text{зр}}$ — стоимость выполнения земляных работ при сооружении дренажной сети; $C_{\text{др}}$ — стоимость дренажной линии; $C_{\text{укл}}$ — стоимость укладки дрены без учета стоимости материалов; $C_{\text{соор}}$ — стоимость сооружений на дренажной сети.

При существующей технологии и механизации строительства пластмассового дренажа бестраншейным способом одной из основных статей затрат являются земляные работы. Стоимость земляных работ при этом составляет 28% от общей стоимости строительства, на них приходится 52% всех трудозатрат и 88% времени от общей продолжительности строительства.

Рассматривая возможности снижения стоимости и сроков строительства закрытого дренажа, необходимо в первую очередь решить вопросы рационального размещения коллекторно-дренажной сети в плане и в вертикальной плоскости. Если в основу такого рассмотрения принять наиболее распространенную схему расположения коллекторно-дренажной сети в плане — схему «решеткой» (рис. 1), то можно установить:

1. Объем земляных работ по строительству открытой коллекторной сети зависит от расстояния между коллекторами и определяется геометрическими размерами сечения выемки. Расстояние между коллекторами составляет $2L$, где L — длина дрены (размеры сечения выемки зависят тоже от длины дрены).

2. Объем земляных работ при строительстве дренажной сети зависит от расстояния между дренами B и длины дрены L .

Снижение удельного объема земляных работ может достигаться и совершенствованием технологии строительства. Так, с увеличением глубины резания грунта пассивным рабочим органом бестраншейного дреноукладчика при одновременном оснащении машины системой автоматического выдерживания заданного уклона можно

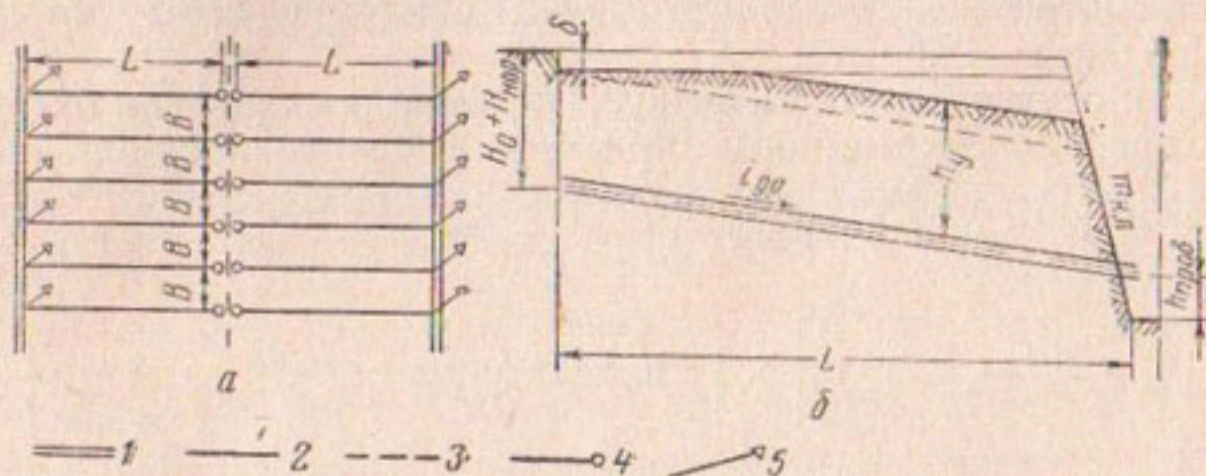


Рис. 1. Схема расположения коллекторно-дренажной сети:

a — план коллекторно-дренажной сети; b — продольный разрез дрены; 1 — открытый коллектор; 2 — закрытая дрена; 3 — участковый распределитель; 4 — концевой колодец на закрытой дрены; 5 — устьевое сооружение.

резко сократить объем планировочных работ по трассе дрены. Следовательно, максимальная глубина заложения дрены дрепоукладчиком (h_y) также принципиально влияет на удельные объемы земляных работ и, являясь характеристикой дренажной машины, отражает технологию работ.

Геометрические размеры выемки коллектора характеризуются его шириной по дну ($b_{кл}$), заложением откосов ($m_{кл}$), а также его глубиной, которая зависит от длины дрены (L), уклона ($i_{др}$) и глубины заложения дрены в истоке, равной сумме нормы осушения ($H_{нор}$) и понижения уровня грунтовых вод (H_0).

Если стоимость выполнения единицы объема земляных работ при устройстве коллектора $C_{зркл}^{ед}$ известна, то функция стоимости строительства коллекторной сети запишется следующим уравнением:

$$C_{кл} = \frac{c_5 H_0^2 + c_6 H_0 + c_9 L^2 + c_{10} L + c_8}{L} + C_7 H_0, \quad (1)$$

где $c_5 = 5000 m_{кл} C_{зркл}^{ед}$;

$$c_6 = 5000 [b_{кл} + 2 m_{кл} (H_{нор} + h_{прев})] C_{зркл}^{ед};$$

$$c_7 = 10000 m_{кл} i_{др} C_{зркл}^{ед};$$

$$c_8 = 5000 [b_{кл} (H_{нор} + h_{прев}) + m_{кл} (H_{нор} + h_{прев})^2] C_{зркл}^{ед};$$

$$c_9 = 5000 m_{кл} i_{др}^2 C_{зркл}^{ед};$$

$$c_{10} = 5000 i_{др} [b_{кл} + 2 m_{кл} (H_{нор} + h_{прев})] C_{зркл}^{ед}.$$

Земляные работы по устройству корыта слагаются из срезки растительного слоя грунта толщиной δ , выполняемой на всем протяжении трассы дрены, и планировки поверхности под проектный уклон дрены на участке, где глубина заложения дрены превышает максимальную величину заглубления рабочего органа дрепоукладчика. На участке более мелкого заложения дрены уклон регулируется автоматически. Кроме этого, учитываются объемы земляных работ по засыпке корыта.

В этом случае стоимость выполнения земляных работ при сооружении дренажной сети, когда стоимость выполнения единицы объема земляных работ $C_{зркр}^{ед}$ известна, будет выражаться следующим уравнением:

$$C_{зр} = \begin{cases} \left[h_y > (H_0 + c_{25}) \right] \supset \left[\frac{(c_{26} H_0 + c_{27} L - c_{26} h_y + c_{28})^2}{L} + \frac{c_{36}}{c_{38}} 2\delta \right], \\ \frac{V}{\left[h_y \leq (H_0 + c_{25}) \right] \supset \left[c_{35} H_0 + c_{36} L - c_{35} h_y + \frac{c_{36}}{c_{38}} 2\delta \right]}, \end{cases} \quad (2)$$

где

$$C_{25} = H_{\text{пор}} - \delta;$$

$$C_{26} = \sqrt{\frac{b_{\text{кр}} C_{\text{ед.зкр}}}{2 i_{\text{др}}}};$$

$$C_{27} = i_{\text{др}} \sqrt{\frac{b_{\text{кр}} C_{\text{ед.зкр}}}{2 i_{\text{др}}}};$$

$$C_{28} = (H_{\text{пор}} - \delta) \sqrt{\frac{b_{\text{кр}} C_{\text{ед.зкр}}}{2 i_{\text{др}}}};$$

$$C_{35} = b_{\text{кр}} C_{\text{ед.зкр}};$$

$$C_{36} = 0,5 i_{\text{др}} b_{\text{кр}} C_{\text{ед.зкр}};$$

$$C_{38} = i_{\text{др}};$$

$b_{\text{кр}}$ — ширина планируемой трассы (корыта), м.

Из всех затрат на строительство закрытого дренажа наибольший удельный вес по стоимости приходится на строительные материалы (дренажные трубы и фильтроматериал). При строительстве пластмассового дренажа с песчано-гравийным фильтром бестраншейным способом доля строительных материалов составляет свыше 40% от общей стоимости строительства. При этом 20—25% от общей стоимости приходится на долю дренажных труб и 15—20% — на долю песчано-гравийного фильтра.

Стоимость дренажных труб зависит от материала и диаметра. В каждом экономическом районе стоимость дренажных труб различна, но в общем виде она может быть выражена линейной зависимостью:

$$C_{\text{тр}} = ad \pm p,$$

где $C_{\text{тр}}$ — стоимость 1 м труб, руб.; d — диаметр дренажных труб, м; a и p — коэффициенты линейной аппроксимации стоимости дренажных труб.

Стоимость устройства фильтра зависит от количества и стоимости фильтроматериала, расходуемого на единицу длины дрены. В качестве фильтроматериалов закрытых горизонтальных дрен используются песчано-гравийные смеси, ткани из синтетических материалов и естественный обкладочный материал. Конструктивное исполнение фильтра из песчано-гравийной смеси для расчетов может быть принято в форме прямой призмы, представляющей в поперечном сечении квадрат со стороной b . В случае применения синтетических тканей удельный расход фильтроматериала следует предусмотреть равным $4 d$.

Если стоимость единицы объема песчано-гравийного фильтроматериала составляет $C_{\text{фи}}$, а синтетического — $C_{\text{фс}}$, то стоимость

1 м дренажной линии с комбинированным фильтром будет определяться следующим уравнением:

$$C_{др} = (a + 4C_{фс}) d + (b^2 - 0,785 d^2) C_{фп} \pm p. \quad (3)$$

Стоимость укладки дренажа представляет собой отношение стоимости машино-смен машин, участвующих в технологическом процессе, к сменной производительности дрепоукладчика. Формально это можно записать выражением:

$$C_{укл} = \sum_{i=1}^m \frac{n_i A_i}{P_d}, \quad (4)$$

где n_i — количество машин i -го типа, участвующих в технологическом процессе, шт.; A_i — стоимость машино-смены i -й машины, руб.; P_d — сменная производительность дрепоукладчика, определяемая по известной формуле, м/см; m — количество типов машин, участвующих в технологическом процессе.

Типы машин, участвующих в технологическом процессе, определяются составом операций, которые выполняются в такой последовательности:

— развозка и раскладка дренажных труб вдоль трасс дрен, участвует трактор МТЗ-50 с тележкой;

— устройство заходного шурфа, участвует одноковшовый экскаватор Э-352;

— погрузка песчано-гравийного фильтроматериала на транспортные средства, участвует тракторный погрузчик Д-574;

— доставка и засыпка в бункер дрепоукладчика песчано-гравийного фильтроматериала в процессе укладки дрены, участвуют автосамосвалы ЗИЛ-ММЗ-555, количество которых можно определить по формуле:

$$n_{сам} = \frac{v_p (b^2 - 0,785 d^2) t_{сам}}{Q + v_p (b^2 - 0,785 d^2) t_{загр}}, \quad (5)$$

где v_p — скорость рабочего хода дрепоукладчика, м/мин; Q — емкость бункера дрепоукладчика, м³; $t_{сам}$ — продолжительность одного рабочего цикла автосамосвала, мин; $t_{загр}$ — время загрузки фильтроматериала из кузова автосамосвала в бункер дрепоукладчика, мин;

— укладка дрены, где участвует бестраншейный дрепоукладчик БДМ-301 с дополнительными тягачами-тракторами ДЭТ-250, количество которых, используя формулу профессора А. Н. Зеленина для определения усилий резания, можно найти по уравнению:

$$n_{тяг} = \frac{0,5 c h_y^{1,35}}{F_{тр}} \left(1 + 10 b \right), \quad (6)$$

где c — прочность грунтов, характеризуемая числом ударов ударника ДорНИИ; $F_{тр}$ — класс тяги трактора ДЭТ-250.

На основании приведенных выше зависимостей стоимость укладки можно выразить в следующем виде:

$$C_{\text{укл}} = \left(\frac{c_{11}}{v_p} + \frac{c_{12}}{L} + c_{13}b^2 - c_{14}d^2 + c_{15} \right) \times \\ \times \left[c_{17}ch_y^{c_{18}} (c_{19} + c_{20}b) + \frac{c_{21}v_p (b^2 - c_{16}d^2)}{c_{22} + c_{23}v_p (b^2 - c_{16}d^2)} + c_{24} \right], \quad (7)$$

где

$$c_{11} = (T_{\text{см}}k_{\text{см}}k_r)^{-1};$$

$$c_{12} = \Sigma t (T_{\text{см}}k_{\text{см}}k_r)^{-1};$$

$$c_{13} = t_{\text{загр}} (T_{\text{см}}k_{\text{см}}k_rQ)^{-1};$$

$$c_{14} = 0,785 t_{\text{загр}} (T_{\text{см}}k_{\text{см}}k_rQ)^{-1};$$

$$c_{15} = (T_{\text{см}}k_{\text{см}}k_rv_x)^{-1};$$

$$c_{16} = 0,785; \quad c_{17} = \frac{0,5 A_{\text{тр}}}{F_{\text{тр}}};$$

$$c_{18} = 1,35; \quad c_{19} = 1;$$

$$c_{20} = 10; \quad c_{21} = A_{\text{сам}} t_{\text{сам}};$$

$$c_{22} = Q; \quad c_{23} = t_{\text{загр}};$$

$$c_{24} = A_{\text{тр}} + A_{\text{р.орг}} + A_{\text{погр}} + A_{\text{мтз}} + A_{\text{э}},$$

где $A_{\text{тр}}$, $A_{\text{р.орг}}$, $A_{\text{мтз}}$, $A_{\text{погр}}$, $A_{\text{э}}$, $A_{\text{сам}}$ — соответственно стоимость машино-смен: базового трактора, рабочего органа дренаукладчика, колесного трактора, погрузчика, экскаватора, автосамосвала, руб.

Последним из элементов затрат рассматривается стоимость сооружений на закрытой дренажной сети. Исходя из того, что на каждой дрене устраивается одно устьевое сооружение и один колодец, а стоимость каждого из них в определенных условиях — величина постоянная и не зависящая от технологии строительства, то их суммарная стоимость ($C'_{\text{соор}}$), отнесенная к 1 м дрены, составит:

$$C_{\text{соор}} = \frac{C'_{\text{соор}}}{L}. \quad (8)$$

Алгебраическая сумма целевых функций элементов затрат представляет собой целевую функцию технологии строительства закрытого дренажа бестраншейным способом и имеет следующий вид:

$$C_{\text{стр}} = \frac{c_5 H_0^2 + c_6 H_0 + c_9 L^2 + c_{10} L + c_8}{L} + c_7 H_0 + \frac{c_{34}}{B} \times$$

$$\times \left\{ \left[h_y > (H_0 + c_{25}) \right] \supset \left[\frac{(c_{26} H_0 + c_{27} L - c_{26} h_y + c_{28})^2}{L} + c_{33} \right] \right.$$

$$\times \left. \left[h_y \leq (H_0 + c_{25}) \right] \supset \left[c_{35} H_0 + c_{36} L - c_{35} h_y + c_{37} + \frac{c_{29}}{L} c_{30} d^2 + \right. \right.$$

$$\left. + c_{31} d + c_{32} b^2 + \left(\frac{c_{11}}{v_p} + \frac{c_{12}}{L} + c_{13} b^2 - c_{14} d^2 + c_{15} \right) \times \right.$$

$$\left. \times \left[c_{17} c h_y^{c_{18}} \left(c_{19} + c_{20} b \right) + \frac{c_{21} v_p (b^2 - c_{16} d^2)}{c_{22} + c_{23} v_p (b^2 - c_{16} d^2)} + c_{24} \right] \right\}, \quad (9)$$

где $c_{33} = \delta b_{\text{кр}} c_{\text{зркр}}^{\text{ед}} \pm p$; $c_{34} = 10\,000$;

$$c_{37} = (H_{\text{нор}} - \delta) b_{\text{кр}} c_{\text{зркр}}^{\text{ед}} \pm p.$$

Наложение ограничений на параметры управления является третьим, заключительным этапом составления задачи. Ограничения могут накладываться как в виде установления пределов изменения отдельных управляющих параметров, так и в виде функций, характеризующих взаимосвязь этих параметров.

Большинство входящих в математическую модель параметров взаимно независимо, и лишь только три параметра B , d и b не могут принимать произвольных относительно друг друга значений. Расстояние между дренами B определяется объективно существующими гидрогеологическими и почвенно-мелиоративными условиями, и, кроме того, конструктивными особенностями дренажной линии.

Существует большое количество гидромеханических решений по расчету параметров закрытого дренажа. В данной задаче было использовано решение В. М. Шестакова, которое применительно к параметру b , учитывающему конструкцию дрены, записано в следующей формуле:

$$B = \sqrt{\left(c_2 \lg \frac{c_1}{b} \right)^2 + c_3 \frac{k}{q} H_0 - c_2 \lg \frac{c_1}{b}},$$

где $c_1 = 1,378 \, m_d$; $c_2 = 2,92 \, m_d$; $c_3 = 928 \, m_d$; m_d — мощность водоносного горизонта, м; k — коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/сут; q — модуль дренажного стока, л/с·га.

Рассматривая диаметр дренажных труб (d) на основе равенства притока к дрене и пропускной способности труб, можно установить, что:

$$d = c_4 (qBL)^{0,375},$$

где $c_4 = 0,00238 \left(\frac{n}{0,31 i_{др}^{0,5}} \right)^{0,375}$; n — коэффициент шероховатости внутренней поверхности труб.

Последним ограничением служит требование того, чтобы диаметр дренажных труб не превышал ширины отрываемой траншеи, то есть $b \geq d$.

В целевую функцию в качестве переменных величин входят основные технологические параметры, а также неразрывно связанные с этими параметрами характеристики объекта строительства, численный анализ которых представляет наибольший интерес для достижения оптимального решения.

В ходе составления математической модели технологии строительства дренажа бестраншейным способом состав управляющих параметров, установленных предварительным анализом, значительно пополнился дополнительными параметрами, которые позволили с большей полнотой описать состояние объекта управления. Эти параметры, отражающие мелиоративные, строительные, технологические и экономические характеристики процесса, выделены в модели и составляют 37 ее коэффициентов — с c_1 по c_{37} . При рассмотрении конкретного объекта строительства они могут быть предварительно рассчитаны и введены в модель в форме постоянных, чем значительно упрощается дальнейшее ее исследование.

Численное исследование заключается в отыскании оптимального решения, обеспечивающего минимум $C_{ст}$ при произвольных изменениях значений переменных H_0 , L , h_y , b . Исследование выполняет ЭВМ методом обхода узлов, и точность решения зависит от принятого шага поиска ΔH_0 , ΔL , Δh_y , Δb .

Некоторые результаты расчетов, выполненных по разработанной программе, представлены в следующей таблице.

Решение задачи оптимизации технологии строительства дренажа бестраншейным способом, выполненное применительно к условиям Голодной степи, показывает, что:

совершенствование технологии строительства дренажа на базе бестраншейной дренажной машины БДМ-301 в оптимальном плане позволит снизить стоимость строительства более чем в 2 раза по сравнению с существующим состоянием (см. таблицу, варианты I, II, III, IV, V);

наиболее эффективный путь совершенствования технологии строительства дренажа — увеличение возможностей дренажной машины по глубине заложения дренажной линии с одновременным оснащением ее автоматической системой для выдерживания заданного уклона дрен (вариант IV);

увеличение глубины заложения дренажа позволяет одновременно уменьшать объем песчано-гравийной обсыпки, а при определенных условиях вообще избежать необходимости ее применения, что позволит значительно повысить темпы строительства;

освоение всех возможностей оптимизации технологии строительства закрытого дренажа бестраншейным способом позволит снизить стоимость строительства в 3—4 раза по сравнению с существующим состоянием (см. таблицу, варианты IV, VII).

Результаты расчета оптимальных вариантов технологии строительства закрытого дренажа бестраншейным способом

№ варианта	Исходные данные							
	H_0	ΔH_0	L	ΔL	h_y	Δh_y	b	Δb
I	1,0	0,1	400	50	2,5	0,0	0,05	0,01
II	0,3	0,1	350	50	2,5	0,0	0,2	0,00
III	0,7	0,0	250	50	2,5	0,0	0,05	0,01
IV	1,0	0,1	200	50	2,5	0,15	0,05	0,01
V	2,0	0,1	400	50	2,5	0,00	0,05	0,01
VI	2,0	0,1	400	50	2,5	0,00	0,2	0,00
VII	2,0	0,1	450	50	3,0	0,00	0,05	0,01

Продолжение

№ варианта	Расчетные показатели					
	H_0^*	L^*	h_y^*	b^*	d^*	$C_{\min \text{ стр}}$
I	2,4	950	2,5	0,14	0,11	383
II	1,7	800	2,5	0,2	0,1	398
III	0,7	550	2,5	0,11	0,06	480
IV	1,7	950	5,35	0,10	0,10	235
V	2,4	950	2,5	0,14	0,11	383
VI	2,6	1050	2,5	0,20	0,12	387
VII	2,2	900	3,0	0,20	0,11	364

Примечание. При существующей технологии строительства, когда $H_0=0,7$; $h_y=2,5$; $b=0,2$; $d=0,08$; $B=5$; $L=500$, стоимость строительства, определяемая математической моделью, составляет $C_{\text{стр}}=993$ руб/га.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО ПОДГОТОВКЕ ТРАСС ДРЕН

В. Н. БЕРДЯНСКИЙ, кандидат технических наук

Среднеазиатский научно-исследовательский институт ирригации

Строительство оросительных систем в засушливой зоне связано с прокладкой глубоких закрытых горизонтальных дрен. При массовом строительстве дренажа особо остро стоит вопрос обеспечения качества выполняемых работ, которое в общем случае должно быть гарантировано надежностью технологического процесса при выполнении всех его операций. Среди других важнейших вопросов требует быстрого рационального решения технология и организация работ по подготовке трасс дрен в зависимости от способа их строительства. Определяющим признаком в этом смысле служит сам процесс укладки дренажной линии. На сегодняшний день различают два основных вида укладки: первый, когда используется ручной труд, и второй, когда используются дреноукладчики.

При укладке дренажной линии вручную технология и организация работ по подготовке трассы почти не отличаются от аналогичной работы при строительстве открытых дрен и коллекторов. Отличительными в этом процессе являются разбивка и нивелировка ложа дрен, устраиваемого на одном из откосов траншеи. Нивелируется здесь базовая нить, прокладываемая параллельно продольному профилю проектной дрен, но несколько выше ее трассы. От этой базовой нити в процессе строительства отмеряется отметка дна ложа, обоих слоев фильтра и дренажных труб.

Технология и организация работ по подготовке трассы дрен при укладке ее дреноукладчиками зависят от типа применяемых машин. В настоящее время существуют два типа машин-дреноукладчиков. Первый тип характеризуется тем, что прокладывает дрену на неизменяемую глубину и требует для работы предварительной планировки пути с продольным профилем, параллельным проектной дрено. Второй тип дреноукладчиков укладывает дрену с непрерывным регулированием глубины и требует для работы лишь грубого выравнивания макронеровностей на своем пути.

Вариант подготовки трассы дрен для работы дреноукладчика с нерегулируемой глубиной связан с планировкой поверхности пути его передвижения, с продольным профилем проектной дрен по абсолютным отметкам, поднятым на величину номинальной глубины, обеспечиваемой дреноукладчиком. Организация работы по подготовке трассы включает два этапа.

Первый этап — перенос проекта в натуру, выполняется специализированной бригадой геодезистов-инструменталистов, состоящей из 2—3 человек, в том числе одного инженера (техника) — топографа и 1—2 рабочих.

Второй этап включает собственно планировку поверхности пути. По трассе дрены планируется путь для передвижения дреноукладчика. В зависимости от рельефа местности производится разработка выемки (корыта) и планировка ее основания под уклон проектной дрены. Ширина этой выемки делается сообразно с габаритами применяемых дреноукладчиков. Обычно она составляет 2,9—3,1 м, что хорошо согласуется с шириной рабочих органов машин. Наиболее целесообразно на этой операции использовать скрепер.

Для производства работы скрепером трасса дрены делится на отдельные участки длиной по 40—50 м, и разработка грунта на них производится по эллипсной схеме. При небольших глубинах (до 0,2 м) разработку грунта можно проводить бульдозером. Для этого трасса дрены делится на участки длиной по 15—20 м. На каждом участке бульдозер продольными проходами разрабатывает грунт, собирая его в промежуточный вал. По мере накопления грунта в этом вале бульдозер поперечными ходами перемещает его во временный кавальер.

Грунт, складываемый во временном кавальере, размещается с какой-либо одной стороны трассы (обычно справа), чтобы вторая оставалась бы свободной для последующих вспомогательных операций технологического процесса, как-то: подвозка дренажных труб, материала фильтра и т. п. Расстояние между трассой дрены и осью временного кавальера принимается обычно 10—12 м.

Окончательная планировка пути дреноукладчика проводится под постоянным наблюдением топографа за высотными отметками. Он же осуществляет окончательный контроль спланированной поверхности и выдает разрешение на укладку дрены. Обычно топограф возглавляет бригаду, являясь одновременно мастером участка.

Продольный профиль пути проверяется по оси в точках, отмеченных при разбивке трассы. Поперечный уклон проверяется в двух крайних точках поперечного сечения по той же разбивке трассы. По данным окончательной съемки готового пути дреноукладчика мастер дренажного участка составляет исполнительный продольный профиль, который прилагается к паспорту дрены и является основным документом при сдаче дрены в эксплуатацию.

Второй вариант подготовки трассы дрены для работы дреноукладчика с непрерывным регулированием глубины связан с грубым выравниванием макронеровностей продольного поперечного профиля пути. Особо важным элементом в технологическом процессе этой работы является обеспечение допустимых поперечных уклонов.

В целом технология и организация подготовки пути для работы дреноукладчиков с автоматическим регулированием глубины копания и укладки дрены включают обычный перенос проекта в натуру путем трассировки, разбивки и нивелирования трассы. Затем выполняется грубое выравнивание пути дреноукладчика. Производство планировочных работ и расположение временного кавальера аналогичны описанным выше. Отличительной в процессе подготов-

ки пути является операция по установке копирного троса на специальных стойках. Трос устанавливается параллельно продольному профилю проектной дрены путем нивелирования и регулирования поддерживающих его стоек.

Трос натягивается на определенном участке и в процессе работы, при необходимости производится перестановка его со стойками вдоль трассы дрены. Организация работы бригад в этом варианте практически остается такой же, как и в описанном выше. Операция контроля выполненной работы в этом варианте отсутствует. Базовой поверхностью здесь служит копирный трос. Его продольный профиль должен прикладываться к паспорту дрены и служить основным документом при сдаче ее в эксплуатацию.

Анализируя оба варианта технологий по подготовке трасс для работы дреоукладчиков различных типов, нельзя не отметить один из важнейших вопросов строительства закрытого дренажа — это надежность обеспечения его качества.

Первая технология, предложенная САНИИРИ, предусматривает отдельную подготовку пути дреоукладчика по заданному профилю и укладку дрены в траншею, отрываемую на неизменяемую глубину. Для выполнения этой работы необходимо и достаточно иметь две специализированные машины — для планировки пути и для прокладки дрены.

Вторая технология, предложенная институтом «Гипроводхоз» и Всесоюзным научно-исследовательским институтом землеройного машиностроения, предусматривает разработку траншеи и укладку дрены дреоукладчиком, движущимся по неспрофилированному пути, и обеспечивает получение требуемого уклона дренажной линии за счет непрерывного регулирования глубины копания и укладки труб и фильтра. Для выполнения этой технологии необходима одна специализированная машина — дреоукладчик. Это условие является необходимым, но не достаточным. Имеется в виду, что не во всякий рельеф местности можно вписаться с конкретной характеристикой дреоукладчика, и тогда появляется необходимость в предварительной грубой планировке, то есть в исправлении макронеровностей по трассе. Необходимо также учитывать неровности поперечного рельефа трассы, что будет предъявлять дополнительные требования и к дреоукладчику, и к автоматам, управляющим положением рабочих органов в продольном и поперечном направлении.

Укладка глубоких дрен с круговой непрерывной фильтрующей засыпкой проводится одновременно с рытьем траншеи. Это делается для того, чтобы избежать обрушения стенок траншеи, которое может вызвать искажение профиля или вообще исключить возможность укладки дрен. При выполнении этих работ по первой технологии, когда дреоукладчик движется по пути, заранее спланированному параллельно проектной дрене и проверенному инструментальной съемкой, при всех прочих равных условиях можно гарантировать, что продольный профиль дренажной линии будет не хуже профиля пути. Точность планировки пути диктуется не только до-

пустимыми проектными отклонениями дренажной линии труб, но и типом применяемого дреноукладчика. При оценке качества продольного профиля уложенной дрены или поверхности пути дреноукладчика пользуются сопоставлением их с проектным профилем. Согласно такой оценке, можно утверждать, что наиболее близким к проектному профилю будет укладка дрен прицепными дреноукладчиками типа Д-251, Д-301 и Д-351, менее близким — полунавесными типа ЭД-3,0 и с наибольшим отклонением — навесными типа Д-659А.

В процессе строительства по второй технологии, совмещающей операции по прокладке дрены и выдерживанию заданного уклона, приходится иметь дело с более тяжелым и сложным агрегатом, в котором при поступательном движении должны постоянно регулироваться по глубине роющий и укладывающий рабочие органы. При выполнении дреноукладчика навесным, даже при плавающей навеске, базовая машина с жесткой гусеницей будет иметь в работе мгновенные центры вращения, относительно которых скорость перемещения рабочих органов всегда будет опережать реакцию следящей системы независимо от того, будет ли она выполнена ручным управлением или автоматическим.

Оценивая обе технологии с точки зрения обеспечения требуемого качества строительства, нетрудно показать, что при работе по первой технологии дефекты продольного профиля могут получаться только при планировке пути. Эти дефекты легко могут быть обнаружены при контроле поверхности пути инструментальной съемкой и ликвидированы до начала работы дреноукладчика. Последний допускается к работе только после приемки профиля его пути. В случае необходимости устранение таких дефектов может вызвать лишь трудовые затраты. Такие же дефекты, допущенные при работе по второй технологии, влекут за собой потери не только больших трудовых затрат, но и затраты на уложенные дорогостоящие материалы (трубы, фильтр). Исправить дефект продольного профиля уложенной дрены очень трудно, не говоря уже о том, что для его обнаружения требуется тщательная нивелировка самой трубчатой дренажной линии с предварительным вскрытием верхних слоев фильтрующей засыпки.

Приведенный выше анализ показывает, что с точки зрения надежного обеспечения качества строительства и выполнения технологического процесса преимущества будут на стороне первой технологии с расчлененными операциями планировки пути и укладки дрены.

Оценивая техническую возможность осуществления вышеуказанных технологий, нужно отметить, что средства для создания автоматически управляемых рабочих органов будут более простыми, надежными и стабильными в работе у машин с меньшим количеством контролируемых и управляемых точек. При первой технологии контролируется одна точка рабочего органа планировочной машины, а дреноукладчик работает без регулирования глубины копания

и укладки дрены. При второй технологии конструкция дреноукладчика заметно усложняется. Он имеет по сути дела те же два рабочих органа — роющий и укладывающий, но требующие отдельного и совмещенного управления, не говоря уже о том, что только на укладывающем рабочем органе не менее трех контролируемых точек, требующих различного регулирования. Положение рабочих органов такого дреноукладчика должно регулироваться непрерывно в зависимости от рельефа местности, при этом система автоматического регулирования должна в известной степени быстро реагировать на все отклонения рельефа, что создает значительные осложнения при разработке системы в отношении ее динамической устойчивости.

Специальная планировочная машина, проектируемая для использования по первой технологии, с расположением роющего органа впереди движителя практически движется по уже спланированной поверхности, и работа системы автоматического регулирования сводится к периодическому корректированию случайных отклонений как в продольном, так и в поперечном направлении. Динамическая устойчивость системы автоматического регулирования рабочего органа такой машины получается высокой, а сама система — простой.

Теоретические исследования показывают, что для автоматического управления рабочими органами дреноукладочных и им подобных машин требуется разработка специальной навески рабочих органов. Более того, практика показывает, что такие тяжелые машины, как дреноукладчики, даже и при наличии автоматов управления требуют, хотя и грубой, предварительной планировки трассы.

До настоящего времени подготовка базовой поверхности (путь дреноукладчика) проводится общестроительными машинами — скрепером, бульдозером, грейдером, требуя для получения надлежащего качества поверхности достаточно больших затрат труда. Вместе с тем уже начали появляться специализированные машины для выполнения этой операции. Так, например, в Ташкентском государственном специализированном конструкторском бюро по ирригации разработан, изготовлен и испытан экспериментальный образец экскаватора-планировщика, известного под маркой ЭП-301. Машина скомпонована на базе экскаватора ЭТУ-354А с комбинированным роющим органом непрерывного действия, который обеспечивает стабильную работу при движении рабочим органом вперед и может за один проход отрывать «корыто» глубиной до 0,75 м и шириной 3,0 м. Техническая производительность машины составляет 200—300 м³/ч. Положение рабочего органа регулируется автоматически с задатчиком от копирного троса, устанавливаемого параллельно продольному профилю проектной дрены. Заводские испытания машины дали обнадеживающие результаты, и, главное, появилась реальная возможность снизить затраты труда при повышении производительности и качества планировки.

Исходные данные для расчета технико-экономических показателей пяти комплектов машин

Исходные данные	I комплект				II комплект				III комплект				IV комплект				V комплект	
	Д-301	Д-374	Д-686	КС-2561	Д-301	ЭП-301	Д-686	КС-2561	ЭД-3,0	Д-374	Д-686	ЭД-3,0	ЭП-301	Д-686	ЭД-3,0	ЭП-301	Д-686	Д-686
Масса, т	14,3	6,6	13,8	12,8	14,3	12,3	13,8	12,8	18,3	6,6	13,8	18,3	12,3	13,8	39,7	13,8		
Установленная мощность, л. с.	54	108	108	150	54	62	108	150	54	108	108	54	62	108	108	108		
Обслуживающий персонал, чел.	3	1	1	1	3	2	1	1	4	1	1	4	2	1	5	1		
Оплого-отпускная цена, тыс. руб.	10,3	7,0	6,3	6,5	10,3	20,0	6,3	6,5	32,5	7,0	6,3	32,5	20,0	6,3	46,7	6,3		
Эксплуатационная средняя часовая производительность:																		
м ³ /ч	—	35	130	—	—	100	130	—	—	35	130	—	100	130	—	84		
м/ч	25,1	23,5	40	125,5*	25,1	67	40	125,5	32,2	23,5	87	32,2	67,5	87	20	140		
Число часов работы в году	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046		
Годовая выработка, км/год	51,4	48,1	81,9	247	51,4	137	81,9	247	66,0	48,1	178	66,0	137	178	41,0	285		

* Производительность автокрана принята на погрузке и разгрузке бункера дренуокладчика из забоя в автосамосвал и в обратном порядке при транспортировании с одного объекта на другой 5 штук за смену.

Примечания. 1. Число часов работы в году для всех комплектов и каждой машины, входящей в него, принято равным 2046 ч, что соответствует 300 сменам по 6,82 ч. в смену.

2. Эксплуатационная средняя часовая производительность дренуокладчиков Д-301 и ЭД-3,0 принята по данным протоколов государственных испытаний, проведенных Среднеазиатской машиностроительной станцией соответственно в 1961 и 1969 гг.

3. Число смен работы на одной стройплощадке принято для всех комплектов 300.

Другой разработкой для той же операции является короткобазовый планировщик АКП-1, созданный институтом СевНИИГиМ. Он предназначен для чистовой планировки поверхности трасс и дна корыта с выдерживанием заданного уклона. Машина выполнена навесной на тракторе Т-100МГП и оборудована режущим отвалом, разгружающим его устройством и метателями, разбрасывающими грунт на некоторой полосе. Работает машина подобно стругу. Срезаемый грунт накапливается перед отвалом до определенной нормы, после чего он сдвигается в сторону к метателям с помощью разгружающего устройства. Машина снабжена автоматической системой управления с использованием в качестве копира поляризованного светового луча или луча лазера. С помощью этой системы обеспечивается требуемый уклон планируемой поверхности. За один проход машина срезает стружку толщиной 0,01 м и шириной 3,3 м. Ее техническая производительность составляет 350 м³/ч.

Изложенное выше позволяет дать оценку в целом по каждому из двух рассмотренных направлений в технологии. Технология с расчлененным выполнением операций подготовки пути и укладки дрены и с технической стороны исполнения специализированных машин и систем автоматического управления будет проще и надежнее.

Сопоставление и анализ технико-экономической целесообразности двух рассмотренных технологий показывают (табл. 1, 2 и 3), что первая за счет срезки широкой полосы грунта требует выполнения большого объема земляных работ. Вторая за счет рытья увеличенной глубины траншеи влияет на снижение линейной производительности дреноукладчика. А в целом почти все удельные показатели, включая стоимость 1 м построенной дрены, получаются наиболее эффективными для технологии с отдельной подготовкой пути дре-ноукладчика.

Таблица 2

Удельные объемы земляных работ, принятых в расчете технико-экономических показателей пяти комплектов машин

Вид работы	№ комплекта машин		
	I и II	III и IV	V
Грубая подготовка трассы — пути дреноукладчика, м ³ /м	—	—	0,6
Планировка пути дреноукладчика под проектный профиль, м ³ /м	2,1	2,1	—
Разработка траншей дреноукладчиком, м ³ /м	1,8	1,8	2,1
Транспортировка бункера дреноукладчика с объекта на объект, шт/см	5,0	—	—
Обратная засыпка траншей и корыта грунтом, м ³ /м	3,9	2,1	—

Основные технико-экономические показатели (расчет)

Показатели	I комплект					II комплект				
	Д-301	Д-374	Д-686	КС-2561	всего	Д-301	ЭП-201	Д-686	КС-2561	всего
Среднесменная эксплуатационная производительность	171	160	275	810	171	171	456	275	810	171
Инвентарно-расчетная цена, тыс. руб.	11,1	7,5	6,7	6,9	32,2	11,1	21,4	6,7	6,9	46,1
Себестоимость машино-смены, руб.	31,13	35,9	24,3	3,9	95,23	31,13	41,59	24,3	3,9	100,9
Себестоимость машино-часа, руб.	4,60	5,30	3,60	0,58	14,08	4,60	6,10	3,60	0,58	14,88
Затраты труда на год работы, чел.-ч	7699	2725	2640	409	13473	7699	5106	2640	409	15654
Себестоимость строительства 1000 м дрен, руб.	183	315	105	24	627	183	129	105	24	411
Трудоёмкость строительства 1000 м дрен, чел.-ч	150	57	32	8	247	150	37	32	8	227
Металлоёмкость 1000 м дрен, т	279	137	168	52	636	279	90	168	52	589
Энергоёмкость 1000 м дрен, л. с	105	215	132	61	513	105	45	132	61	343
Удельные капитальные затраты на 1000 м дрен, руб.	216	156	82	28	472	216	156	82	28	482

Продолжение

Показатели	III комплект			IV комплект			V комплект	
	ЭД-3.0	Д-374	Д-686	всего	ЭД-3.0	ЭП-301	Д-686	всего
Среднесменная эксплуатационная производительность	220	160	595	220	220	456	595	138
Инвентарно-расчетная цена, тыс. руб.	34,7	7,5	6,7	48,9	34,7	21,4	6,7	56,7
Себестоимость машино-смены, руб.	50,08	35,9	24,3	110,28	50,08	41,59	24,3	119,67
Себестоимость машино-часа, руб.	7,50	5,30	3,60	16,40	7,50	6,10	3,60	17,70
Затраты труда на год работы, чел.-ч	9478	2725	2640	14843	9478	5106	2640	15189
Себестоимость строительства 1000 м дрен, руб.	230	315	58	603	230	129	58	725
Трудоёмкость строительства 1000 м дрен, чел.-ч	145	57	15	217	140	37	15	369
Металлоёмкость 1000 м дрен, т	277	137	168	582	277	90	168	1015
Энергоёмкость 1000 м дрен, л. с	82	215	61	358	82	45	61	302
Удельные капитальные затраты на 1000 м дрен, руб.	527	156	38	721	527	156	38	1243

Примечания: 1. При расчетах для всех машин в комплектах принято, что ими выполняется 50% работ в грунтах I категории и 50% в грунтах II категории.

2. Выработка комплектующих машин определялась по сборнику В-40 ВНИИ. 1969 г. с учетом переходного коэффициента К перех = 0,75 к эксплуатационной среднечасовой производительности.

3. Себестоимость и трудоёмкость машино-смен комплектующих машин приняты по ценнику № 2, 1968 г. Опново-отпускные цены на машины приняты по каталогу на сельскохозяйственные и мелноративные машины В/О «Сельхозтехника», 1972 г.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАШИН ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА В ЗОНАХ ОРОШЕНИЯ

Э. Н. КУЗИН, кандидат технических наук

Всесоюзный научно-исследовательский институт землеройного машиностроения

Механизация строительства закрытого дренажа в различных зонах СССР является одной из наиболее сложных и важных проблем в мелиорации. В процессе ее решения ВНИИземмаш совместно с заводами отрасли создал ряд машин, часть из которых, в частности для зоны осушения, составляет основу всего парка эксплуатируемых экскаваторов-дреноукладчиков (ЭТН-171, ЭТЦ-202, ЭТЦ-202А, ЭТЦ-163).

Для зоны орошения совместно с Брянским заводом дорожных машин был создан экскаватор-дреноукладчик Д-659А для строительства траншейным способом в устойчивых и обрушивающихся грунтах закрытого дренажа на глубину до 4 м из керамических труб с песчано-гравийной изоляцией. Основываясь на опыте более чем четырехлетней эксплуатации этих машин, в 1974 г. были проведены работы по модернизации, и в настоящее время дреноукладчик выпускается под индексом Д-659Б.

В 1975 г. парк экскаваторов-дреноукладчиков Д-659А (Б) составил 120 машин. Большинство из них работает на Украине, в южных районах России, в Азербайджанской и Грузинской ССР. Эксплуатация дреноукладчиков показала, что они удовлетворяют основным требованиям строительства закрытого дренажа в зоне орошения. За счет их применения резко повысился уровень механизации, сократились затраты ручного труда и как следствие получен значительный экономический эффект. Так, по данным Главазмелиноводстроя, средняя годовая выработка на одну машину превышает 22 000 м дрен. При этом только за 10 месяцев 1974 г. экономический эффект от применения дреноукладчиков Д-659А составил 38 тыс. руб. Полученная выработка не является предельной. Одним из резервов ее увеличения может служить повышение надежности и долговечности машины за счет дальнейшего улучшения конструкции и качества изготовления.

Одной из наиболее актуальных задач в настоящее время является механизация строительства дренажа в обрушающихся грунтах. Объем строительства в этих условиях имеет тенденцию к быстрому росту. Например, в Азербайджанской ССР около 70% земель, пригодных к орошению, расположено на Кура-Араксинской низменности. Характерные условия строительства дренажа в этой зоне: высокий уровень стояния грунтовых вод на отдельных участках, обрушение стенок траншеи, а также повышенная липкость грунта.



Рис. 1. Строительство дренажа в обрушающихся грунтах экскаватором-дреноукладчиком Д-659А в Ширване.

В числе прочих строительных организаций Главазмелиоводстроя, ведущих строительство дренажа на Кура-Араксинской низменности, наибольшие объемы строительства выполняет трест № 4 «Ширванмелиоводстрой». При этом значительная часть работ с 1972 г. выполняется экскаваторами - дреноукладчиками Д-659А, а с 1974 г. начали работать и модернизированные дреноукладчики Д-659Б.

Строительство закрытого дренажа на полях колхозов им. К. Маркса, В. И. Ленина и других Кюрдамирского и Геокчайского районов ведут сосредоточенными объемами СУ-3 и ПМК-17 треста № 4. На перечисленных объектах преобладают грунты I—II категории. Коэффициент фильтрации примерно 2—3 м/сут. Часть грунтов на строительных объектах треста № 4 обладает небольшими величинами

удельной солеотдачи при сульфатном засолении. Дрены в соответствии с проектом строятся из гладких керамических труб внутренним диаметром 200 мм и длиной 330 мм. Трубы укладываются с зазорами между торцами 1—2 мм и изолируются круговой гравийной обсыпкой.

При устройстве закрытого дренажа соблюдается такая последовательность работ: геодезические разбивочные работы; подготовка трасс дрен; доставка материалов, раскладка труб вдоль трассы; отрывка траншей, укладка труб и фильтрующего материала; первичная засыпка траншей грунтом; проверка положения труб; обратная засыпка траншей; устройство смотровых колодцев.

Особенностью работы экскаваторов Д-659А и Д-659Б в условиях обрушающихся грунтов на объектах треста № 4 «Ширванмелиоводстрой» (рис. 1) является чередование больших участков обрушающихся грунтов с небольшими участками необрушающихся грунтов на трассе одной дрены, использование мешковины вместо стеклоткани в качестве подстилающего фильтра, а также производство окончательной засыпки траншей бульдозером.

При эксплуатации дреноукладчиков на их работу существенное влияние оказывает внешняя нагрузка, величина которой меняется в

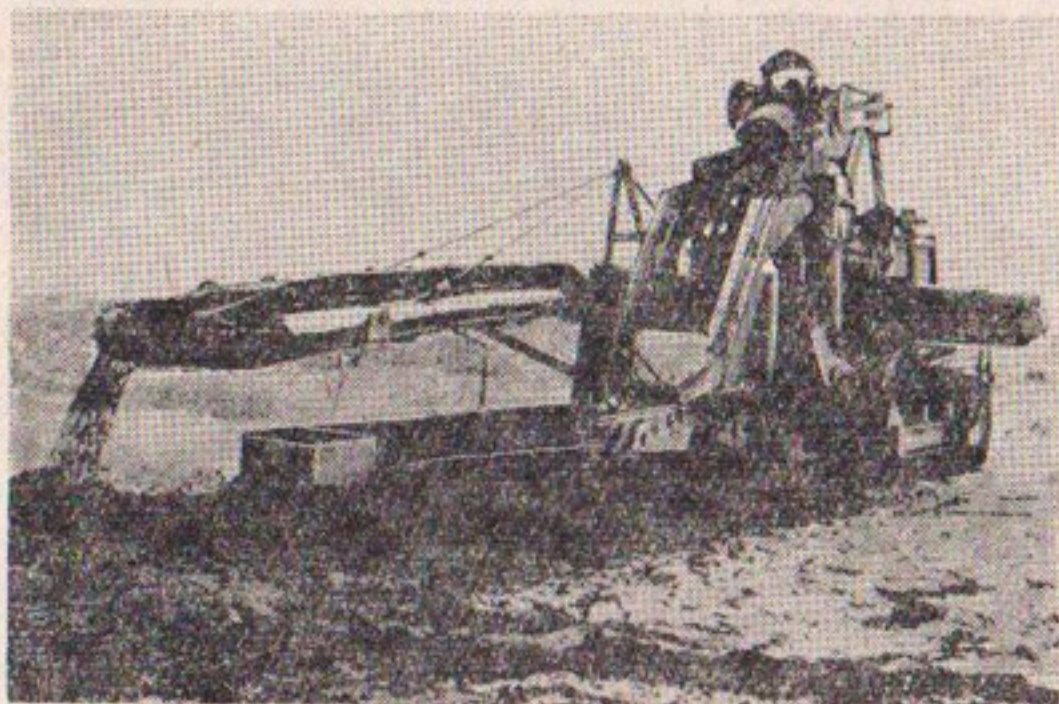


Рис. 2. Экскаватор-дреноукладчик Д-659А с засыпающим транспортером.

значительных пределах вследствие защемления трубоукладчика машины обрушающимся грунтом стенок траншей. Колебания нагрузки зависят в основном от массы обрушающегося грунта, которая, в свою очередь, определяется устойчивостью стенок отрываемой траншей.

Для надежного сохранения уложенных дрен в обрушающихся грунтах применяют обратную засыпку дрен непосредственно после прохода машины с помощью засыпающего транспортера (рис. 2). Обратная засыпка уложенной дрены вынутым из траншеи грунтом непосредственно за трубоукладчиком в значительной степени стабилизирует стенки траншей, а в условиях обрушения препятствует их смыканию и вспучиванию грунта в придренной зоне, что исключает возможные при этом нарушения дренажной линии (рис. 3). Кроме того, эффективность применения экскаватора-дреноукладчика также существенно возрастает, поскольку на долю бульдозера (автогрейдера) остается только операция окончательной планировки наддренной полосы.

Более чем двухгодичный опыт эксплуатации экскаваторов-дреноукладчиков Д-659А показал, что эта машина обеспечивает надежное протаскивание трубоукладчика независимо от условий обрушения стенок траншей и является наиболее работоспособной в условиях переувлажненных грунтов Азербайджанской ССР. В 1974 г. Главазмелиоводстрой получил дополнительно 10 экскаваторов-дреноукладчиков Д-659Б, многие из которых в том же году поступили в эксплуатацию.

Кроме Азербайджанской ССР, дреноукладчики Д-659А (Б) работают в условиях обрушающихся грунтов на объектах Украины, РСФСР и в других районах зоны орошения.



Рис. 3. Характер обрушения стенок при работе Д-659А с засыпающим транспортером.

Разумеется, рассмотренный опыт эксплуатации машин в обрушающихся грунтах далеко не исчерпывает всей проблемы. Однако полученные результаты свидетельствуют о правильном выборе схемы и основных параметров дреноукладчика Д-659А (Б) и в первую очередь опоры бункера и трубоукладчика на дно траншеи, регулирования глубины копания рабочим органом от лыжи трубоукладчика, высокой тяги машины и необходимых запасов прочности при протаскивании рабочего органа и трубоукладчика в обрушающихся грунтах.

ВНИИземмаш продолжает вести работы по совершенствованию траншейных дреноукладчиков типа Д-659А (Б) с целью расширения области их применения, повышения надежности, эффективности и качества строительства дренажа. Главные направления дальнейшего совершенствования этих машин: повышение мощности и тяги, перевод на гидропривод основных рабочих механизмов, автоматизация выдерживания заданного уклона и контроль качества дренажной линии, механизация подачи труб в траншею и др.

В порядке эксперимента в 1973 г. Научно-исследовательский институт строительного производства Госстроя СССР переоборудовал работавший в Крыму дреноукладчик Д-659А для укладки пластмассовых труб.

Эксплуатация этой машины показала вполне удовлетворительные результаты. В ближайшее время Минводхоз СССР предполагает построить 200 км дрен из пластмассовых труб. Указанная работа проводится для расширения области применения работающего парка машин.

Рассматривая результаты применения дреноукладчиков в народном хозяйстве, нельзя не отметить и определенные трудности, препятствующие более эффективному их использованию.

Главная трудность заключается в необыкновенно широкой номенклатуре дренажных труб, низком качестве их изготовления и отсутствии общепринятых искусственных фильтрующих материалов. В настоящее время строители применяют дренажные трубы различных конструкций: гладких по ГОСТ 8411—62 в районах Кавказа и Украины; гончарных раструбных по ТУ УзССР 1562—67 и керамических канализационных в районах Средней Азии; асбестоцементных труб длиной 3—4 м в Туркменской ССР и т. д.

Качество выпускаемых гончарных дренажных труб очень низкое и не соответствует требованиям, предъявляемым к уложенным дренажным линиям. Например, зазор в стыках труб по требованию должен быть не более 2—3 мм, в торцах большинства укладываемых труб местные неровности превышают 4 мм, не соблюдается перпендикулярность торцов к оси трубы и т. д. В ряде районов (Крым, Азербайджан, Грузия) при строительстве закрытого дренажа предусмотрено использование рулонных фильтрующих материалов для оборачивания укладываемых дренажных труб. Однако производство фильтрующего материала, специально предназначенного для механизированного строительства дренажа, не освоено. Строители используют различные подсобные материалы — стеклохолст марки ВВТ, ВВГ, стеклоткань и т. д., которые не предназначены для этих целей и выделяются в ограниченном количестве.

Определенный интерес с точки зрения повышения уровня механизации и качества строительства представляет применение специальных муфт (например, пластмассовых) для стыковки гладких труб.

Работы в этом направлении проводятся многими организациями Минводхоза СССР, предложено много конструктивных решений, однако все они так и не вышли за рамки экспериментальных исследований.

Существующее положение дел с материалами отрицательно влияет на качество строительства и дальнейшее совершенствование конструкции дреноукладочных машин.

Следующим шагом по пути повышения производительности труда на строительстве закрытого дренажа является создание узкотраншейных дреноукладчиков. ВНИИземмаш ведет работы по созданию сменного узкотраншейного рабочего оборудования к дреноукладчику Д-659А(Б) для строительства пластмассового и малых диаметров дренажа из керамических труб с песчано-гравийной или синтетической изоляцией труб, которое позволит в определенных условиях увеличить производительность машины и значительно сократить расход песчано-гравийного фильтра. Наибольшие трудности представляет проектирование рабочего органа с глубиной копания 4 м и трубоукладчика, позволяющего обеспечить прием песчано-гравийного фильтра за одну разгрузку из полностью груженого самосвала.

Применение пластмассовых труб, не требующих круговой обсыпки песчано-гравийным фильтром, позволило бы значительно уп-

ростить конструкцию узкотраншейного дренаукладчика и повысить его технико-экономические показатели.

Весьма перспективным направлением является создание машин для бестраншейного строительства дренажа из пластмассовых труб с изоляцией песчано-гравийным и синтетическим фильтрами. Бестраншейный способ имеет определенные преимущества перед другими известными способами, поскольку он обладает благоприятными возможностями для:

осуществления механизированного строительства дренажа в неустойчивых грунтах с высоким уровнем стояния грунтовых вод;

значительного повышения производительности и сокращения сроков строительства;

сведения к минимуму нарушения верхнего плодородного слоя почвы и резкого сокращения площадей, временно выводимых из сельскохозяйственного оборота;

сокращения затрат труда, например, за счет исключения операции по обратной засыпке выемки, имеющей место при строительстве методом «полки», а также траншейным и узкотраншейным способами, и некоторые другие преимущества.

Вместе с тем этот способ не лишен и известных ограничений и недостатков, к числу которых следует отнести в первую очередь большую потребную силу тяги; некоторое уплотнение по сравнению с активным землеройным органом придренной зоны грунта, что влечет за собой снижение водоприемной способности дрены; практически отсутствующий доступ к уложенной дрене с целью контроля качества укладки и высокая трудоемкость исправления брака, что приводит к значительному повышению требований к точности и надежности работы системы выдерживания продольного уклона; ограниченную по сравнению с активным рабочим органом управляемость пассивного жога бестраншейного дренаукладчика, которая в совокупности с высокими скоростями передвижения машины создает дополнительные трудности для точного выдерживания уклона дрены, и др.

Оценивая в целом бестраншейный способ, следует отметить, что последний обладает достаточно серьезными и принципиальными преимуществами. Кроме того, есть основания рассчитывать на то, что с освоением в будущем мощных промышленных тракторов на 330, 500 л. с. и более, а также с проведением всесторонних исследований, направленных на устранение или сведение к допустимому уровню отмеченных ограничений и недостатков, последние не будут являться серьезной помехой для широкого применения бестраншейного способа.

В качестве примера можно отметить большие работы, которые проводят ВНИИГиМ и другие организации по исследованию оптимальных параметров ножевого рабочего органа с целью снижения потребного тягового усилия, уменьшения плотности грунта в придренной зоне и повышения водоприемной способности дрены.



Рис. 4. Комплект машин для бестраншейной укладки дренажа в зоне орошения, дрепоукладчик МД-7, тягач МД-8.

Производственные испытания бестраншейного дрепоукладчика БДМ-301А на объектах Голодностепстроя и наблюдение за уложенным дренажем показывают, что в этом направлении достигнуты определенные положительные результаты. Таким образом, бестраншейный способ строительства закрытого горизонтального дренажа можно рассматривать как один из перспективных и эффективных видов строительства в определенных, но достаточно распространенных условиях применения и в первую очередь в тех, где обычные средства или неработоспособны, или имеют крайне низкую эффективность и где в настоящее время используется тяжелый ручной труд.

В настоящее время ВНИИземмаш совместно с Центральным конструкторским бюро «Мелиормаш» и Брянским заводом дорожных машин разрабатывает техническую документацию на дрепоукладчик типа БДМ-301А для бестраншейного строительства дренажа на глубину до 3 м на базе тракторов 330 л. с. (рис. 4). В эту машину будут заложены конструктивные решения БДМ-301А, проверенные в период его эксплуатации на объектах Голодностепстроя.

Для наиболее эффективного использования машин для строительства закрытого дренажа и улучшения их параметров необходимо уточнить рациональные области применения траншейных, узкотраншейных и бестраншейных дрепоукладчиков. Например, использование бестраншейного дрепоукладчика типа БДМ-301 в грунтах III—IV группы требует создания тягового усилия до 100—180 тс., что приведет к значительному увеличению габаритов и веса дрепоукладчика, потребует применения лебедочной тяги и как следствие этого резко снизит скорость укладки и эффективность этого прогрессивного метода строительства.

В то же время нельзя использовать траншейные дрепоукладчики на оплывающих грунтах без предварительного водопонижения и т. д.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА В ЗОНЕ ОРОШЕНИЯ

В. А. ДУХОВНЫЙ, кандидат технических наук; Н. С. КОЗУБ

Среднеазиатский научно-исследовательский институт ирригации

С. У. УСМАНОВ

Совхоз им. Титова, Голодная степь

Строительство горизонтального дренажа в нашей стране имеет многолетнюю историю. В Средней Азии и Закавказье в древних оазисах Ферганы, Бухары, Хорезма, Мургаба устраивались многочисленные открытые заглубленные каналы («зауры»), выполнявшие роль открытых дрен и сбросных каналов. В 1963 г. вблизи древнего города Гяуркала на территории совхоза № 7 Байрамалийского района Туркменской ССР при строительстве коллекторной сети совхоза вскрыты закрытые дренажи из гончарных труб диаметром около 100 мм со стенками толщиной 7—8 мм и со стыком в виде плавного раструба ручной работы. Этим дренажам более 500 лет.

В связи с развитием проблемы борьбы с засолением на орошаемых землях передовые ученые России уже в конце XIX и начале XX вв. разрабатывают схемы и проекты горизонтального дренажа на территории золотоординского опытного поля в Голодной степи, «государева имения» в Мургабском оазисе. Строительство этих опытных участков площадью до 200 га было осуществлено в 1903—1912 гг. Уже после Великой Октябрьской революции закрытым горизонтальным дренажем были улучшены земли Муганской опытной станции в Азербайджане, Чарджоуской опытно-мелиоративной станции в Туркмении и ряд других.

Широкое производственное внедрение открытого, а затем и закрытого горизонтального дренажа связано с развитием орошения в нашей стране на землях, первично засоленных и склонных к засолению в процессе орошения. Первоначально широкое распространение в Узбекистане, Туркмении, Азербайджане и других орошаемых зонах получили открытые дренажи глубиной 2,0—2,5 м с одинарными и полуторными откосами, отрываемые экскаваторами. В некоторых районах Средней Азии, например в Хорезме, удельная протяженность такого дренажа доведена до 31,2 м/га, в результате чего создавалась возможность получения высоких урожаев хлопка-сырца (до 40 ц/га). В Ферганской области протяженность открытого дренажа составила 24 м/га, в Ташаузской области Туркменской ССР — 29,7, в Чарджоуской области — 22, 8 м/га.

Исследования, проводимые с целью оценить работу дренажа в различных районах, позволили определить некоторые параметры, выработать определенные рекомендации по конструкциям закрытого горизонтального дренажа для его применения в производствен-

ных условиях, а также установить его высокую действенность и эффективность при мелиорации засоленных земель. Однако на небольших по размеру дренажных системах не представлялось возможным выявить эксплуатационные показатели горизонтального закрытого дренажа.

Опыт эксплуатации дренажных систем позволил установить наличие серьезных недостатков в проводимых мероприятиях — это в первую очередь высокую стоимость поддержания их в технически исправном состоянии. Значительные затраты на поддержание открытого дренажа вызваны необходимостью очистки дрен раз в 2—3 года от заиления и зарастания растительностью. Несмотря на это, наблюдается неудовлетворительная работа их в период между очистками, откосы дрен оплывают, дренажи обрушаются и др. Фактическое дно оказывается значительно (на 0,5—0,8 м) выше проектного, что не обеспечивает поддержания необходимого перепада между дренажными каналами низшего и высшего порядка и получения соответственного эффекта от дренирования земель.

В Узбекистане стоимость всех работ и мероприятий по эксплуатации внутрихозяйственной сети открытого дренажа в течение года составляет более 10 руб/га, а если учесть, что при этом только 50% необходимого объема очистки выполняется ежегодно, то общая стоимость очистки и содержания сети составит 16—17 руб. В Туркмении те же затраты составили 14—15 руб/га при фактическом объеме очистки всего 2 м³/м. По данным М. Гуртжаева, в Чарджоуском оазисе стоимость эксплуатации открытого дренажа составляет 25 руб/га (табл. 1).

Таблица 1

Основные статьи, составляющие стоимость эксплуатации дренажа, руб/га

Статьи затрат	Виды дренажа		
	горизонтальный		вертикальный
	открытый	закрытый	
Строительство	150—200	300—500	100—300
Амортизация	7,5—20	4,2—15	6—18
Ремонт и уход	6—9	2—3	20—40
Содержание эксплуатационного штата	1,5—2	0,3—0,5	2—3
Итого затраты на эксплуатацию	15—30	6,5—20	28—61

Другим недостатком открытого дренажа является то, что под него отводится огромное количество староорошаемых плодородных земель. На 39 тыс. км открытой дренажной сети в Узбекистане и 8 тыс. км в Туркмении приходится общей площади, занятой открытым дренажем, соответственно 117 и 24 тыс. га. Понятно поэтому,

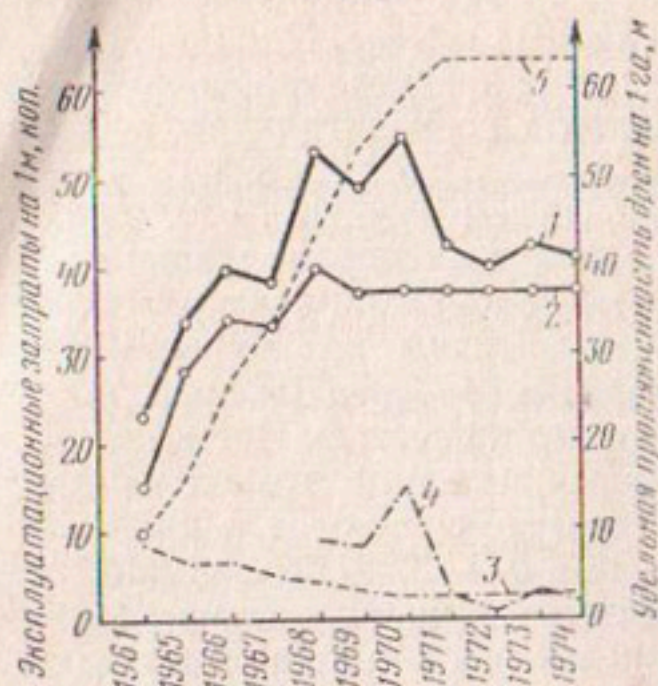


Рис. 1. Изменение удельной протяженности дренажа и затрат на его содержание:

1 — всего эксплуатационных затрат (тыс. руб.), в том числе: 2 — амортизационные отчисления; 3 — содержание штата; 4 — промывка дрен и очистка колодцев; 5 — рост удельной протяженности дренажа на 1 га, м.

что перевод дренажных систем из открытых в закрытые и дальнейшее развитие мелиоративного фона на базе закрытого горизонтального дренажа имеют огромное народнохозяйственное значение.

За последние 10—12 лет в нашей стране построены на больших площадях в зоне орошения системы закрытого горизонтального дренажа с общей протяженностью более 18 тыс. км. Большая часть этого дренажа находится в новой зоне Голодной степи в Узбекистане, в Каршинской степи, в Сурхандарьинской области, в Крыму и значительно меньше в Туркмении в зоне Каракумского канала, в Чарджоуской и Ташаузской областях.

Оценка опыта эксплуатации этого дренажа позволяет уже

сейчас установить определенные показатели и наметить пути их улучшения. Для этого воспользуемся данными по эксплуатации закрытого дренажа по новой зоне Голодной степи, где в настоящее время эксплуатируется более 13 тыс. км таких дрен.

Для характеристики изменения эксплуатационных затрат приведены данные мелиоративной службы совхоза № 6 им. Титова в Голодной степи.

На рис. 1 показаны кривые изменения удельной протяженности дренажа и эксплуатационных затрат на его содержание. С ростом удельной протяженности дренажа резко увеличиваются амортизационные отчисления, а в дальнейшем они являются основной составляющей эксплуатационных затрат. Объясняется это тем, что дренаж в совхозах был построен в основном при наличии высокого уровня грунтовых вод методом «полки» со средней удельной стоимостью 14—18 руб. за 1 м. Собственно эксплуатационные затраты состоят из стоимости содержания наблюдателей и проведения ремонтных работ. Эти затраты в первый год эксплуатации имеют несколько большую величину, а затем снижаются и держатся стабильно.

Основные виды работ по ремонту и поддержанию дренажных систем в технически исправном состоянии, их удельные объемы и стоимости, осредненные за ряд лет, представлены в таблице 2. Следует отметить, что стоимость эксплуатации дренажа в Голодной степи довольно высока в связи с тем, что его удельная протяжен-

ность очень высока, составляет в среднем 50 м и более. Как видно из анализа, основные затраты по собственно эксплуатации дренажа идут на промывку дрен от заиления (более 80%).

В совхозе № 6 потребный годовой объем промывки в первые 2—3 года, начиная с 1968 г. (рис. 2), составлял 4,1—4,5% от общего количества дренажа, введенного в эксплуатацию, а затем после стабилизации работы дренажа и включения его в работу составил за последние 4 года 1,2—1,5%.

В целом эта операция довольно успешно решена с помощью сконструированной ГСКБ по ирригации Главсредазирсовхозстроя машиной ПДТ-125 (промывщик трубчатых дрен). Эта машина обладает высокой производительностью благодаря большому диаметру промывной головки и большому удельному расходу воды. С помощью таких машин в Голодной степи ежегодно промывается 400—500 км закрытого дренажа.

Машина удобна в работе, безотказна и успешно справляется с поставленной задачей.

К числу основных недостатков технологии промывки дрен с помощью машины ПДТ-125 относится довольно высокая стоимость промывки. В целях снижения стоимости следует несколько доработать конструкцию машины для обеспечения возможности работать ею через смотровые колодцы без рытья заходных шурфов. Кроме того, машина ПДТ-125 успешно работает, если труба забита не более чем на 75—80% от площади сечения или если сплошное заиление имеет место на небольшой длине (до 4—5 м). В противном слу-

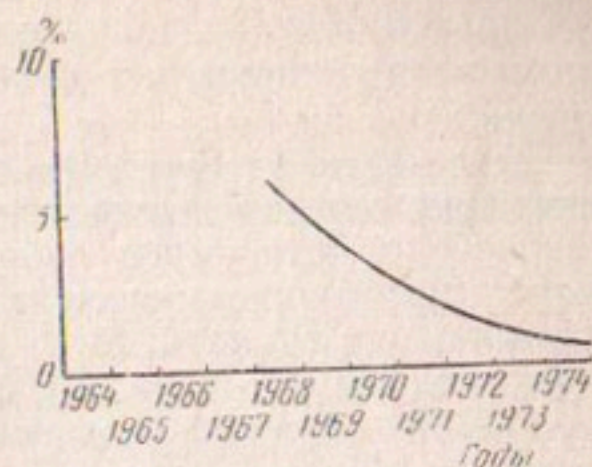


Рис. 2. Зависимость объема промывки дренажа (%) от времени его эксплуатации (в совхозе № 6 Голодной степи).

Таблица 2
Состав и стоимость работ при эксплуатации закрытого дренажа

Вид работы	Объем на 1000 га	Стоимость единицы, руб.	Стоимость на 1 га, руб.
Промывка дренажа, км	2	1,040	2,08
Очистка колодцев, шт.	20	2	0,04
Ремонт устьев, шт.	3,5	15	0,05
Обратная засыпка, тыс. м ³	3,5	20	0,07
Борьба с зарастанием, руб.	—	—	0,10
Ограждение дрен валиком, образуемым каналокопателем, км	12	8	0,10
Итого	—	—	2,44

чае приходится неоднократно вводить в трубу реактивную головку промывной машины, что сильно снижает производительность промывки.

Затраты на ремонт устьев, восстановление обратной засыпки, ограждение дрен валиком, образуемым в результате прохода каналокопателя, хотя имеют небольшой удельный вес в общей сумме затрат, но машиноемкость этих видов работ является весьма существенной при эксплуатации закрытого дренажа. Причиной этого служит нерешенный до сих пор вопрос технологического процесса уплотнения обратной засыпки дренажа, особенно для дрен, построенных траншейным способом. Сложность выполнения в районах нового орошения замочки дренажа из-за отсутствия воды до ввода земель в эксплуатацию, а также отсутствие других надежных методов уплотнения заставляют выполнять в первые годы целый комплекс работ для поддержания и обеспечения сохранности дренажа. В эти работы входят: устройство в течение первых трех лет защитных полос над дренами; надзор за этими полосами; недопущение попадания на них воды в период поливов; ежегодная подсыпка и планировка наддренной полосы в процессе осадки обратной засыпки. По мере орошения здесь происходит самоуплотнение, и необходимость в таких работах резко сокращается.

Для ликвидации этого явления должен быть решен вопрос об уплотнении обратной засыпки дрен. Сейчас САНИИРИ, Средазгипроводхлопок и Голодностепстрой ведут производственные исследования метода «тупиковых» дрен, при котором в первый год устье дрены не строится и между коллектором и впадающей в него дренажной оставляется перемычка из материкового грунта. После начала первого полива через концевой колодец в дренаж подается вода и проводится замочка снизу. По окончании вегетации устье пробивается по методу Голодностепстроя и ГСКБ по ирригации с помощью гидравлического пробойника с одновременным протаскиванием трубы устья.

Существенный вред дренажу наносит зарастание полости дренажной трубы корнями растений. В 1966 г. явления зарастания были обнаружены сначала в совхозе № 5, затем в совхозе «Фархад» в Голодной степи. Наиболее опасно произрастание над дренажной тысячелетника или акбаша. Мочалистый, быстрорастущий корень этого небольшого с поверхности растения проникает в стыки труб в поисках воды и очень быстро (за один сезон) может плотно закупорить трубу. Никакими существующими механическими способами удалить этот корень не представляется возможным. Сейчас по предложению Института защиты растений АН УзССР для уничтожения корней применяется гирбицид — смесь монурона с далапоном, которая через колодец вносится в дренаж и за 10—15 дней разрушает корень. Тем не менее необходимо разработать такой механизм, который мог бы через колодец уничтожать и извлекать из дрены корни растений. Кроме того, следует усилить контроль за шириной стыка труб и перфорации в процессе строительства (1,5—2,0 мм).

Очень неудобная, трудоемкая, хотя и недорогая работа, — очистка колодцев от заиления, выполняемая в настоящее время только вручную. Между тем эта задача могла быть решена с помощью комплекса мобильных механизмов, основанных, например, на принципе гидромонитора и последующего всасывания для удаления сора и ила из колодцев.

Успешная работа закрытого дренажа может осуществляться при отсутствии подтопления его со стороны устья из-за высоких уровней воды в коллекторах. Обычно причинами подпора являются неправильные проектные решения, заиление и зарастание коллекторов, а также устройство перемычек и запруд на коллекторах. В отдельных проектах мелиоративных систем превышение дрен над расчетным уровнем воды в коллекторе составляет 20—30 см. Опыт показывает, что даже при нормальной эксплуатации колебание уровня воды от одной очистки до другой (обычно 1 раз в три года) составляет как минимум 40—50 см. Поэтому устья дрен должны закладываться с превышением над расчетным уровнем воды на 60—70 см.

Следует вновь обратить внимание на механизацию очистки коллекторов от растительности. Известно, что сейчас этот процесс выполняется в основном экскаваторами, при этом постоянно подрезаются откосы коллекторов, что способствует их оплыванию. Зарастание коллекторов резко снижает скорость в них и способствует подъему уровня воды выше проектного. Работы САНИИРИ по механическому удалению водорослей, ГрузНИИГиМ по сжиганию, ВНИИГиМ по химическому удалению сорняков оказались неэффективными для таких растений, как тростник, камыш, актиния. В коллекторах новой зоны орошения в Голодной степи, на Каракумском канале такую растительность при слое воды более 35—40 см уничтожают рыбы-мелиоранты — белый амур и толстолобик. Более мелкие коллекторы требуют другого решения — применения специальных машин.

Для обеспечения нормальной работы дренажа очень важно правильно организовать эксплуатацию и ремонт дренажа, оснащение необходимыми механизмами. В новой зоне Голодной степи всей работой по контролю за мелиоративным состоянием земель, надзором и ремонтом руководит специальная мелиоративная инспекция Голодностепстроя. Ей подчинены мелиоративные службы совхозов в составе главного мелиоратора на правах заместителя главного инженера-ирригатора совхоза, старшего мелиоратора, инженера-гидрометра, техников мелиоративных участков, техников по ремонту и надзору. Всего на 200 тыс. га земель, обеспеченных горизонтальным дренажем, в совхозах насчитывается 186 инженерно-технических работников, в распоряжение которых бригады по указанию руководства совхозов выделяют необходимых людей и механизмы для проведения мелких работ (очистка колодцев, вспашка наддренных полос и др.). Мелиоративная инспекция Голодностепстроя силами специального штата ведет наблюдения за уровнем и минерализацией грунтовых вод, расходами и минерализацией дренажного сто-

ка, а также совместно с мелиораторами хозяйств ежегодно планирует ремонтные работы на основании проводимой 1 раз в год инвентаризации дренажной сети и коллекторов. Промывку и капитальный ремонт дренажа, очистку коллекторов осуществляет на подрядных началах у хозяйств специализированное ремонтное управление, которое располагает необходимым парком машин и механизмов. Одно такое управление может справиться с дренажем на площади 150—200 тыс. га при годовом объеме ремонтных работ 2,0—2,5 млн. руб.

Следует отметить, что имеются зоны, где эксплуатационная служба не налажена должным образом. Так, в Туркмении при площади орошаемых земель с дренажем 700 тыс. га земель мелиоративная служба насчитывает всего 170 человек. В результате даже немногочисленные улучшенные участки, которые имеются в республике (здесь всего насчитывается 479 км закрытого дренажа), находятся в неудовлетворительном состоянии.

Необходимо ускорить создание во всех республиках Средней Азии и Закавказья соответствующих служб мелиорации по опыту Узбекистана и оснастить их необходимым штатом, механизмами, транспортом. Только четкая организация и механизация эксплуатационных работ может обеспечить надежную работу закрытого горизонтального дренажа.

УДК 626.862:004

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА В ТУРКМЕНСКОЙ ССР

Ф. Ш. ДОКТОР, кандидат технических наук; Г. ГУРБАНОВ

Туркменский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

В процессе эксплуатации закрытые горизонтальные дрены подвергаются деформациям. При исследовании дрен, расположенных на территории Туркменской ССР, выявлены следующие виды деформаций: подпор устьев дрен водой из водоприемников; зарастание и закупорка концов дренажных труб растительностью; заиливание внутренней полости дренажных труб; смещение дренажных труб в стыках или их поломка; кольматация дренажного фильтра частицами грунта. Из общей длины 600 км закрытых дрен к началу 1974 г. в Туркменской ССР более 60% заилены от 0 до 70% сечения, а в совхозе «40 лет ВЛКСМ» около 30 км дрен заилены на полное сечение.

Часто встречающееся заиливание внутренней полости дренажных труб происходит по трем причинам:

- заиливание вследствие строительных дефектов;
- заиливание вследствие неправильной эксплуатации;
- заиливание по естественным причинам.

К строительным дефектам относятся: обсыпка труб фильтром

низкого качества; большие зазоры в стыках труб; недостаточное уплотнение обратной засыпки дрен; некачественная заделка в стыках колец смотровых колодцев.

Неправильная эксплуатация заключается в напуске оросительной воды на наддренную полосу; в несвоевременной очистке водоприемников и смотровых колодцев; в отсутствии квалифицированного контроля за состоянием дрен и т. д.

К деформациям по естественным причинам относится заиливание внутренней полости дрен частицами грунта, поступающими вместе с грунтовой водой.

В устьевых частях дрен пятого-шестого года эксплуатации встречается зарастание внутренней полости труб водной растительностью и заохривание. Этому виду деформации подвержены дрены из полиэтиленовых, асбестоцементных и керамических труб в количестве 6—7% от общей длины построенных дрен. Смещение дренажных труб в стыках или их поломка встречаются в основном на тех участках, где строительство велось с нарушением технологии. Такие дрены составляют 10—12% от общей длины и в основном в совхозе «40 лет ВЛКСМ».

В ТуркменНИИГиМ проводились исследования, направленные на разработку эффективной технологии очистки дрен от заиливания путем гидравлического размыва и выноса грунта. Исследования проводились с применением размывающей струи напором 1,2 МПа и расходом 15 м³/ч. Диаметр насадки 54 мм. Шланг вводился во внутреннюю полость труб через смотровые колодцы дренажной линии.

Выполненные исследования позволили сделать вывод о возможности очистки закрытых дрен зоны орошения гидравлическим способом с применением реактивных насадок (головок) и с последующей промывкой внутренней полости дрен потоком напорной воды. Оптимальная скорость продвижения реактивной головки 1,2 м/мин.

В процессе очистки закрытых дрен потоком напорной воды она просачивается через перфорации труб и фильтр. В некоторых условиях очистки эта вода выносит частицы грунта из труб в фильтр и приводит к его кольматации. Во время опытов было исследовано влияние процесса очистки на состояние дренажного фильтра. Результаты механического анализа проб фильтров, взятых до опытов и после, показали, что вынос частиц из труб в фильтр незначителен. Наибольший вынос наблюдается через стыки керамических труб и наименьший — из перфорации асбестоцементных труб. Вскрытием было выявлено, что вынесенные частицы образуют свод грунта около перфорации и в основном расположены под нижней частью дренажных труб.

В совхозе «40 лет ВЛКСМ» на время проведения опытов была создана ремонтная бригада из четырех человек, которой были приданы дреноочищающий агрегат и одноковшовый экскаватор для раскопки дрен. Ликвидация подпора в устьевой части дрен осуществлялась силами зонального ремонтно-строительного управления путем очистки водоприемника и обеспечения стока отработанных

вод. Удаление водяной растительности из труб в устьевой части и в смотровых колодцах проводилось вручную. Смещения дренажных труб в стыках или их поломка выявлялись в ходе очистки внутренней полости дренажных труб. Через участки дрен со смещенными трубами насадок со шлангом проходил с трудом после нескольких попыток или вообще не проходил. В большинстве случаев это имело место, когда величина смещения труб составляла больше половины их диаметра. Смещения дренажных труб по горизонтали составляют 87% от общего количества обнаруженных смещений и только 13% — смещения по вертикали. В местах смещения труб по вертикали всегда в составе фильтра можно было найти крупногабаритные включения.

Устранение поломок дренажных труб проводилось после вскрытия дрены. В местах вскрытия дрены, кроме вышеописанных видов деформаций, можно было наблюдать сплющивание дренажных труб. При этом дренажные трубы имели форму эллипса. Но этот вид деформации относился только к тем дренам, где были уложены полиэтиленовые трубы с толщиной стенок 4—6 мм. В республике из таких труб уложено всего около 20 км дрен.

Для устранения причин, вызывающих выход из строя дрен, в каждом хозяйстве должна быть создана служба эксплуатации гидромелиоративных систем. В настоящее время такой постоянно действующей службы нет ни в одном хозяйстве республики.

Институтом разработан первый вариант проекта указаний по технической эксплуатации закрытых дрен. Проектом предусмотрено проведение обследования состояния закрытых дрен не реже двух раз в вегетационный период и не реже одного раза в остальные сезоны года. Предусматривается обследование состояния водоприемников (открытых коллекторов) не реже одного раза в месяц с мая по август и по одному разу в два месяца в остальные периоды года. Рекомендуются соответствующая технология производства работ по уходу и содержанию всей системы дрен и сооружений на них.

УДК 626.862:001.5

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДРЕНАЖА

А. А. ЛЕВЧИКОВ

Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

В настоящее время способ осушения избыточно увлажненных земель закрытым дренажем признан наиболее эффективным. Однако замедленные темпы его внедрения объясняются относительно высокой стоимостью строительства и дефицитом дренажных труб. В этой связи важной задачей является разработка такой технологии

строительства закрытого дренажа, которая позволила бы резко снизить его стоимость, увеличить темпы строительства, повысить уровень механизации.

Основными видами закрытого дренажа являются материальный дренаж из керамических и пластмассовых труб и кротовый дренаж. Материальный дренаж, уложенный в минеральном грунте, обладает высокой работоспособностью и может выдерживать значительные нагрузки. Кротовый дренаж по сравнению с материальным имеет некоторые преимущества (низкая стоимость прокладки, полностью механизированный процесс, отсутствие сложных приспособлений и т. д.), но долговечность его низкая, он в течение 2—3 лет выходит из строя из-за разрушения стенок дрены. При увеличении его долговечности можно значительно упростить технологию строительства дренажных систем, сократив ряд операций (доставка, сортировка, подготовка к укладке труб, засыпка траншей и т. д.). При этом особое внимание должно быть уделено исследованиям и решению вопросов по созданию непосредственно в грунте естественного сложения прочных, неразмокающих, способных длительное время фильтровать воду дренажных труб, применение которых будет способствовать повышению производительности труда и повышению уровня комплексной механизации процесса.

В Советском Союзе и за рубежом в последнее время широко проводятся работы по закреплению грунтов при строительстве промышленных, жилых зданий и сооружений. Анализ существующих способов и средств закрепления грунтов путем изменения их физических и механических свойств позволил рекомендовать для закрепления кротовых дрен термический способ закрепления грунта. При использовании этого способа стенки кротовой дрены равномерно подвергаются тепловому воздействию, которое увеличивает прочность и водостойкость грунта. Отпадает необходимость в предварительной обработке стенки дрены (рыхлении), так как в результате термообработки плотность грунта уменьшается за счет выгорания некоторых соединений и укрупнения агрегатного состава.

Необходимое количество теплоты, которое нужно подавать в дрину, представляет собой сумму затрат теплоты ΣQ_3 , израсходованной непосредственно на нагревание, оплавление и обжиг слоев грунта, и сумму затрат теплоты ΣQ_n на нагревание металлических конструкций устройства, нагревание сжатого воздуха и т. д.:

$$Q_{\text{общ}} = \Sigma Q_3 + \Sigma Q_n. \quad (1)$$

Теплоноситель соприкасается с поверхностью дрены по всему ее диаметру и вызывает равномерное прогревание грунта. Для оценки степени теплового воздействия и составления теплового баланса процесса закрепления всю площадь поперечного сечения вокруг дрены можно разбить на 3 зоны (рис. 1). 1. Зона нагревания грунта до температур, при которых он изменяет свои свойства (оплавляется). 2. Зона прогревания грунта за счет теплообмена. 3. Зона испарения влаги.

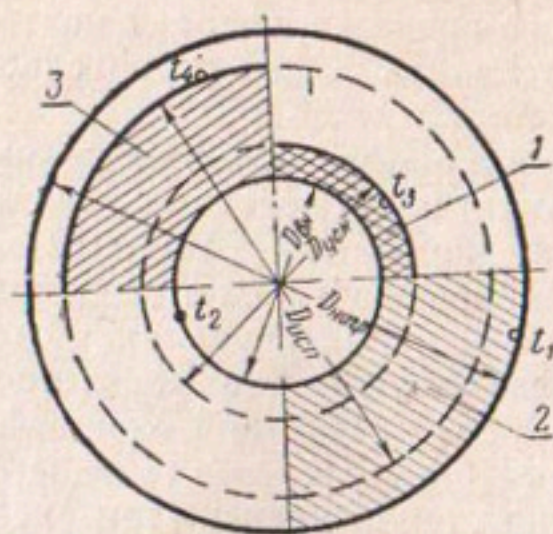


Рис. 1. Схема образования зон различного температурного состояния грунта при закреплении стенок кротовых дрен термическим способом:

1 — зона оплавления грунта; Δt_{2-4} — интервал температур грунта при нагревании его от абсолютно сухого состояния до оплавления, °C; Δt_{3-4} — интервал температур грунта при его нагревании от абсолютно сухого состояния до спекания, °C; $d_{пл}$ — диаметр грунтовой трубы с температурой плавления грунта, м; $d_{сп}$ — диаметр грунтовой трубы с температурой спекания грунта, м; 2 — зона прогревания грунта за счет теплообмена; Δt_{3-1} — интервал температур в грунте от нормального состояния до повышенной температуры за счет теплопроводности, °C; 3 — зона испарения влаги; Δt_{4-1} — интервал температур в грунте при его нагревании до температуры испарения влаги, °C; $d_{исп}$ — диаметр грунтовой трубы с температурой t_1 , м.

В результате проведенных теоретических исследований установлено, что процесс нагревания грунта происходит вследствие теплообмена между грунтом стенки дрены и теплоносителем. Во всех формах теплообмена одновременно происходит процесс переноса тепла и влаги. Фактором, определяющим направление потока теплоты, является разность тепловых потенциалов между рассматриваемыми точками системы.

Установлено, что общая формула необходимого для закрепления грунта количества теплоты, характеризующая распределение теплоты на полезно использованную и потери тепла, может быть выражена следующим образом:

$$Q_{общ} = 3,14 k_{п.т} v \tau^2 \gamma_{ск} \left[c_{гр} \delta_{оп} (\delta_{оп} + D_{вп}) \Delta t_{2-4} + \frac{c_{гр}}{4} \delta_{сп} (\delta_{сп} + 2D_{вп}) \times \right. \\ \left. \times \Delta t_{3-4} + \frac{w}{200} \delta_{исп} (\delta_{исп} + D_{вп}) \Delta t_{3-1} \right], \quad (2)$$

где $k_{п.т}$ — коэффициент, учитывающий непроизводительные потери теплоты; v — поступательная скорость теплоисточника в дрене, м/ч; $\gamma_{ск}$ — объемная масса скелета грунта кг/м³; $c_{гр}$ — теплоемкость минерального грунта, Дж/кг·град; $\delta_{оп}$ — толщина оплавленного

слоя грунта, м; $\delta_{\text{сп}}$ — толщина спекшегося слоя грунта, м; $\delta_{\text{исп}}$ — толщина высушенного слоя грунта, м; w — влажность грунта, %; $D_{\text{вн}}$ — внутренний диаметр дрен, м; τ — время действия, ч.

Значения необходимого количества теплоты для закрепления кротовых дрен, проложенных в различных грунтах, зависят от физического состояния и механических свойств грунта, заданных параметров дрен и конструкции источника теплоты.

Параметры дрены и режимы работы источника теплоты при термическом закреплении связаны следующими зависимостями.

При использовании электродного устройства:

$$v = \frac{1150,4 I_{\text{эф}} U_{\text{эф}}}{k_{\text{п.т}} \gamma_{\text{ск}} M \tau}, \quad (3)$$

где $I_{\text{эф}}$ — сила тока во вторичной обмотке силового трансформатора при устойчивом режиме работы, А; $U_{\text{эф}}$ — эффективное напряжение на зажимах вторичной обмотки силового трансформатора при возникновении и устойчивом режиме работы, В; M — соотношение между толщиной слоев оплавленного, спекшегося и высушенного грунта.

$$M = c_{\text{гр}} \delta_{\text{оп}} (\delta_{\text{оп}} + D_{\text{вн}}) \Delta t_{2-4} + \frac{c_{\text{гр}}}{4} \delta_{\text{сп}} (\delta_{\text{сп}} + 2D_{\text{вн}}) \Delta t_{3-4} + \\ + \frac{w}{200} \delta_{\text{исп}} (\delta_{\text{исп}} + D_{\text{вн}}) \Delta t_{3-1}.$$

При использовании форсуночного устройства:

$$v = \frac{B_p Q_p}{3,14 k_{\text{п.т}} \gamma_{\text{ск}} \tau M}, \quad (4)$$

где B_p — производительность горелки, кг/ч топлива; Q_p — низшая теплота сгорания, Дж/кг.

При использовании плазменной установки:

$$v = \frac{1150,4 I_{\text{эф}} U_{\text{эф}} + B_p Q_p}{k_{\text{п.т}} \gamma_{\text{ск}} \tau M}. \quad (5)$$

В полученные теоретические зависимости входят коэффициенты потерь теплоты при использовании различных теплоисточников, соотношение между слоями оплавленного, спекшегося и высушенного грунта, определяемые экспериментальным путем.

Экспериментальные исследования проводились в лабораторных и полевых условиях в грунтовых лотках на супесях, суглинках, глинах и лессах средней влажности (10, 16, 20—25%) с двумя типами

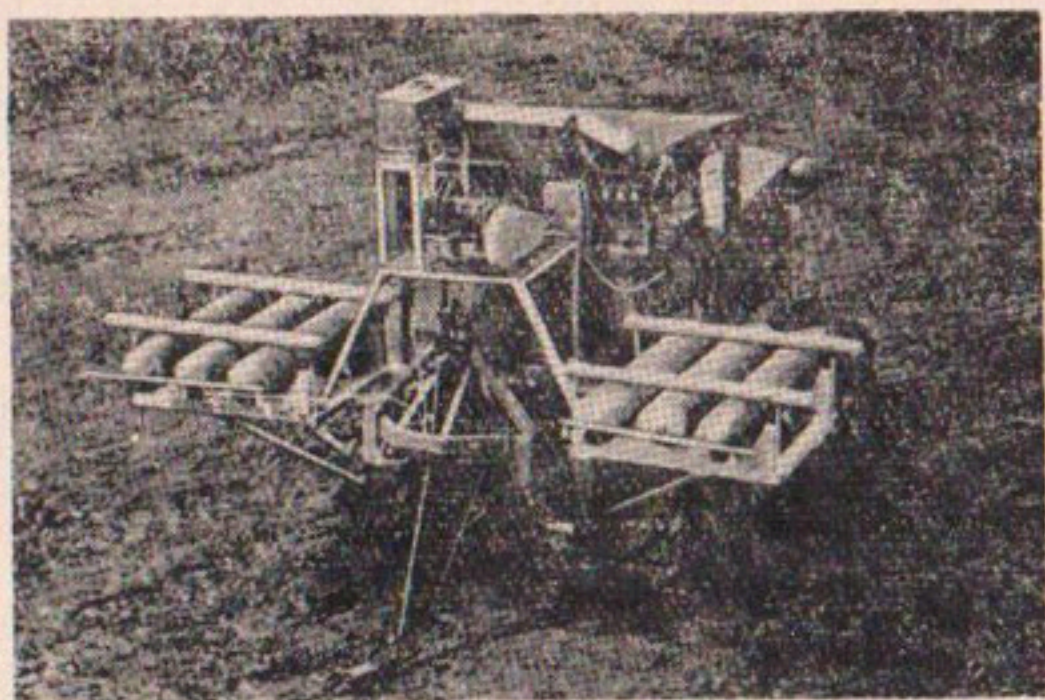


Рис. 2. Экспериментальная установка для термического закрепления кротовых дрен.

источников теплоты: электродным, с использованием теплоты, выделяющейся при горении электрической дуги, и форсуночным с использованием теплоты, выделяющейся при сжигании жидкого топлива, а также на экспериментальной установке на базе кротователя КН-700 (рис. 2).

Установлено, что при создании в полости дрены теплового потока мощностью более $8,4 \cdot 10^5$ Дж на один метр дрены в секунду грунт, составляющий ее стенки, изменяет физическое состояние и механические свойства. Эти изменения сопровождаются образованием вокруг дрены трех слоев грунта — оплавленного, спекшегося и высушенного.

Применение электродного устройства в качестве источника теплоты вызывает неравномерное закрепление полости дрены, свод в 1,2—1,5 раза тоньше бокового слоя, на дне образуются подтеки расплавленного, изолирующего электроды, материала.

Стенки дрен при использовании форсуночного устройства имеют постоянную по окружности толщину закрепленных слоев, их дно гладкое, без ярковыраженных шероховатостей.

Нагревание грунта, окружающего дренаю, характеризуется зависимостью, близкой к гиперболической, которая аппроксимируется эмпирической формулой:

$$t = ab^R, \quad (6)$$

где t — значения распределения температуры; R — расстояние определения температуры от стенки дрены м; a , b — экспериментальные коэффициенты, зависящие от типа грунта, его физического состояния и механических свойств, мощности теплового потока и применяемых средств закрепления.

При увеличении оплавленного слоя грунта коэффициент b увеличивается, достигая значений 0,74 в глине и 0,83 в суглинках при 5 мм толщине оплавленного слоя грунта. Изменение коэффициента a в глинах происходит более интенсивно, чем в суглинках. Это объясняется повышенной концентрацией теплоты в граничном с полостью дрены слое за счет уменьшенной теплоотдачи в более удаленные от дрены слои грунта.

Для определения количественного соотношения между слоями оплавленного, спекшегося и высушенного грунта вокруг дрены при различной тепловой мощности источника предложена формула:

$$\delta = a_1 Q^n - b_1, \quad (7)$$

где δ — толщина образовавшегося слоя, м; Q — количество поданной в дренаж теплоты (м/с) · Дж; a_1, n, b_1 — коэффициенты, полученные при выведении эмпирической формулы, зависящие от физического состояния и механических свойств грунта и мощности источника теплоты.

Процесс высушивания грунта начинается одновременно с подачей теплоты в дренаж и происходит поэтапно. Первый этап характеризуется быстрым увеличением высушенного слоя, составляющим при влажности грунта 12%: у супеси 1,5 мм/с; у суглинка 1,08 мм/с, у глины и лессов 0,59 мм/с; при влажности 16% соответственно 1,0; 0,72; 0,46 мм/с; при влажности 20—23% — 0,7; 0,53; 0,39 мм/с.

Второй этап характеризуется уменьшением интенсивности увеличения высушенного слоя. Этому изменению скорости высушивания грунта соответствует увеличение объема нагреваемого грунта и начало качественного изменения его состояния — уменьшение коэффициента теплопроводности в граничном слое и возникновение спекшегося слоя толщиной 1,5—2 мм. При этом толщина высушенного слоя составляет: у супеси до 9 мм, у суглинка до 5—6 мм, у глины 4—5 мм.

Одновременно с увеличением толщины высушенного слоя происходят качественные изменения в граничном слое. Частицы грунта, нагреваясь, размягчаются, спекаются, а затем оплавляются. При этих изменениях происходит передача теплоты в грунт, однако она уменьшается при увеличении толщины оплавленного слоя.

Опытным путем была установлена пропорциональная зависимость между образующимися слоями высушенного, спекшегося и оплавленного грунта. Это соотношение зависит от физико-механических свойств грунта и в среднем равно: для супеси 2,45:1:0,25; для суглинка 2,51:1:0,3; для глины и лессов 1,75:1:0,4.

Отличие в соотношении слоев объясняется наличием в глинах и лессах большего по объему количества частиц менее 0,005 мм, что создает условия для концентрации теплоты в ближайших к дрене слоях грунта. Зависимость толщины высушенного, спекшегося и оплавленного грунта в слоях вокруг дрены от количества поданной в дренаж теплоты представлена на рис. 3. Влажность оплавленного

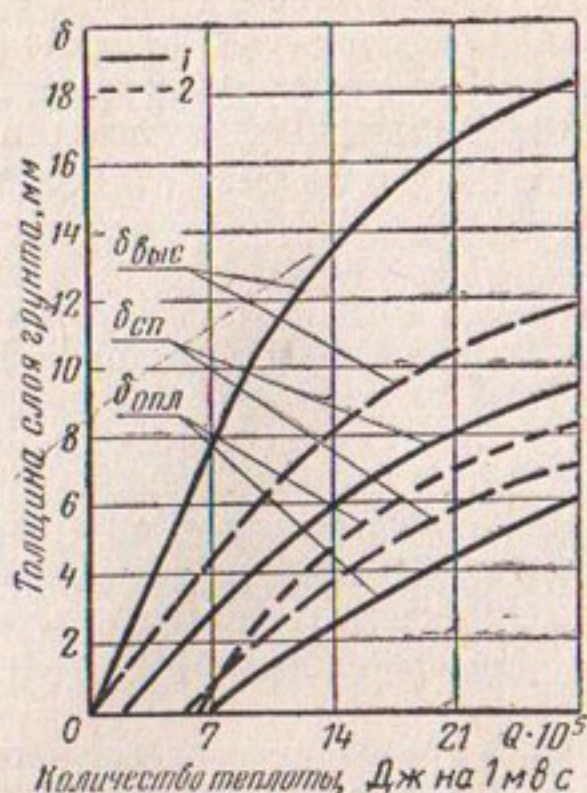


Рис. 3. Зависимости толщины высушенного, спекшегося и оплавленного слоев грунта вокруг дрены от количества поданной в дрену теплоты:

1 — суглинок; 2 — глина; естественная влажность грунтов 15—16%.

и спекшегося грунта стабильна по всему слою и составляет соответственно 0,4—0,7 и 1,4—1,7%.

При изменении физического состояния и механических свойств грунта или скорости перемещения источника теплоты в дрене происходит изменение влажности в слоях, испытывающих тепловое воздействие и перераспределение затрат теплоты в общем тепловом балансе, что влияет на показатель толщины слоев оплавленного и спекшегося грунта.

Исследованиями установлено, что применение форсуночного устройства в качестве источника теплоты в 8—10 раз эффективнее, чем электродного.

Коэффициент потерь теплоты зависит от толщины закрепленного слоя, способа создания теплового потока и конструкции теплового источника. При увеличении толщины закрепленного слоя, то есть при увеличении мощности теплового потока, он возрастает от 1,65 при толщине оплавленного слоя 2 мм до 2,5 при толщине слоя 10 мм. Коэффициент потерь теплоты электродугового устройства ниже, чем форсуночного, и составляет при оплавлении стенки дрены на 8 мм — 1,94, а форсуночного — 2,25. При этом непроизводительные потери теплоты составляют значительную часть теплового баланса (см. таблицу).

Экспериментами установлено, что вынос продуктов сгорания через щель, оставляемую ножом кротователя, наблюдался только при влажности грунта ниже 10—12%.

Расход теплоты на закрепление различных категорий грунта

Затраты теплоты (форсуночное устройство)	Расход теплоты, % от общего количества	
	суглинок (при $v=50$ м/ч, $w=14,6\%$, $c=7$), $\delta_{оп}=3-4$ мм	глина (при $v=50$ м/ч, $w=12\%$, $c=8$), $\delta_{оп}=3-4$ мм
На оплавление грунта	12,8	19,6
На закрепление грунта	23,7	24,4
На нагревание грунта	14,8	10,6
На испарение капиллярной влаги	7,3	7,8
Потери	41,4	37,6

Проведенные испытания грунтовой трубы, закрепленной термическим способом, при имитации на всестороннее сжатие позволили установить зависимость разрушающей нагрузки от толщины закрепленного слоя. При толщине закрепленного слоя 2 мм удельная нагрузка, разрушающая трубу, составляет 4,6 Н/см², при толщине 4—5 мм — 10,5 Н/см². Водоприемная способность закрепленных кротовых дрен превышает водопримную способность дрен из пластмассовых труб; при гидростатическом напоре 0,3 м расход из полиэтиленовой дрены 4,6 см³/ч на 1 м, а из закрепленной дрены с толщиной стенки 5 мм — 6,2 см³/ч на 1 м.

В перспективе способ термического закрепления грунта может быть использован при устройстве закрепленных увлажнителей для подпочвенного орошения.

СОДЕРЖАНИЕ

Методы строительства закрытого дренажа на орошаемых землях и перспективы их совершенствования. <i>Б. Б. Шумаков</i>	3
Опыт строительства закрытого дренажа в Туркменской ССР. <i>В. Н. Мамедов, К. Аширов</i>	8
Результаты исследований процесса механизированной прокладки закрытого дренажа в обрушающихся грунтах. <i>А. М. Кушнер</i>	15
Узкотраншейный способ строительства закрытого дренажа на орошаемых землях. <i>А. Н. Мирсагатов, Н. П. Карпов</i>	24
Результаты исследований рабочего органа для нарезки узких траншей в минеральных грунтах. <i>М. С. Мурадагаев</i>	29
Уплотнение грунта обратной засыпки закрытых дрен. <i>У. Ю. Пулатов, Э. М. Островский</i>	36
Строительство закрытого дренажа на орошаемых землях бестраншейным способом и эффективность его работы. <i>Е. Д. Томин, М. Г. Хубларян</i>	43
Аналитическое определение тяговых сопротивлений бестраншейного дренажного укладчика. <i>В. Н. Буравцев, В. В. Кузнецов</i>	56
Оптимизация технологии строительства закрытого дренажа бестраншейным способом. <i>Е. Д. Томин, А. Я. Шапочкин</i>	64
Технология и организация работ по подготовке трасс дрен. <i>В. Н. Бердянский</i>	73
Состояние и перспективы развития машин для строительства закрытого дренажа в зонах орошения. <i>Э. Н. Кузин</i>	81
Опыт эксплуатации систем закрытого дренажа в зоне орошения. <i>В. А. Духовный, Н. С. Козуб, С. У. Усманов</i>	88
Эксплуатация закрытого дренажа в Туркменской ССР. <i>Ф. Ш. Доктор, Г. Гурбанов</i>	94
Результаты исследований процесса термического закрепления грунта при строительстве дренажа. <i>А. А. Левчиков</i>	96
Рефераты статей, опубликованных в сборнике «Прогрессивные методы строительства закрытого дренажа на орошаемых землях», 1977	105

ПРОГРЕССИВНЫЕ МЕТОДЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ

Редактор *Н. А. Саваренская.*

Художественный редактор *З. П. Зубрилина.*

Технический редактор *А. Л. Янчова.*

Корректор *Д. Е. Ткачева.*

ИБ № 861

Сдано в набор 11/X 1976 г. Подписано к печати 13/V 1977 г. Формат 60×90^{1/16}.

Бумага тип. № 2. Усл.-печ. л. 7,0. Уч.-изд. л. 7,82. Изд. № 199. Тираж 2450 экз.

Заказ № 6092. Цена 65 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос», 103716, ГСП.

Москва, К-31, ул. Дзержинского, д. 1/19.

Орел, типография «Труд».