

У.Ю.ПУЛАТОВ, Э.М.ОСТРОВСКИЙ, Ф.Ф.БЕГЛОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
И РЕЖИМОВ ТРАМБОВАНИЯ ГРУНТА В ТРАНШЕЯХ ЗАКРЫТЫХ ДРЕН  
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ  
НА СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГРУНТОУПЛОТНЯЮЩИЕ МАШИНЫ

Устойчивая и надежная работа закрытых дрен в зоне орошения в значительной мере зависит от качества заделки траншей. В САНИИРИ разработаны и испытаны несколько вариантов уплотнения обратных засыпок в траншеях закрытых дрен. В частности, исследован, рассматриваемый в настоящей статье, способ уплотнения грунта в траншеях трамбованием на полную глубину засыпки.

Специфика уплотнения обратных засыпок в значительной мере определяется особенностями местных условий, которые характеризуются, наряду с другими факторами, широким распространением в покровной толще осваиваемых районов пылеватых, в большей или меньшей степени, засоленных грунтов. Числа пластичности грунтов изменяются от 3 до 16, а максимальная молекулярная влагоемкость от 14 до 20%.

Большое влияние на процесс уплотнения оказывает влажность грунта. В зависимости от глубины залегания горизонта грунтовых вод и климатических характеристик района естественная влажность грунтов изменяется в весьма широких пределах от 2 до 26%, а оптимальная влажность уплотнения в зависимости от содержания глинистой фракции — от 14 до 17%.

Сравнение плотности естественного и насыпного грунтов позволяет оценить размеры требуемого уплотнения грунта внутри траншеи. В пределах верхней 4-метровой толщи плотность естественного грунта обычно составляет в среднем  $1,5 \text{ г/см}^3$ , а насыпной грунт в дренажных траншеях размещается со средней плотностью  $1,2 \text{ г/см}^3$ .

Для строительства закрытого горизонтального дренажа в устойчивых грунтах применяют экскаваторы-дреноукладчики, которые прокладывают траншеи с вертикальными откосами шири-

ной 0,6 м и глубиной 3 м. Высота обратной засыпки 2,4-2,6 м.

Механически уплотнять связные грунты в траншеях можно послойной укаткой или трамбованием. Толщина слоя грунта, уплотняемого современными катками, весьма ограничена и для траншей шириной 0,6 м практически не превышает 0,5 м. Несколько большую толщину проработки можно получить при послойном трамбовании обратной засыпки.

Толщину уплотняемого слоя при трамбовании грунта рекомендуется назначать в пределах до 0,6-0,8 м /2/, так как при превышении указанной толщины резко возрастают затраты энергии на уплотнение единицы объема.

Известны две технологические схемы производства работ по уплотнению грунтов обратной засыпки. Первая схема относится к послойному уплотнению, а вторая, менее изученная, к уплотнению обратной засыпки в траншеях за один прием сразу на полную глубину. В условиях производства работ, характеризующихся недостаточной устойчивостью вертикальных стенок траншей, более приемлемой для дренажного строительства на орошаемых землях хлопковой зоны является вторая технологическая схема /3/.

С целью научного обоснования технических требований и заданий на машины для уплотнения обратной засыпки на полную глубину были проведены исследования в натуральных траншеях с целью определения оптимальных параметров и режимов работы трамбующего органа.

При трамбовании обратной засыпкой деформация уплотнения распространяется преимущественно в вертикальном и частично в продольном направлениях. Соответственно этому, трамбование засыпки рассматривалось в настоящих исследованиях как процесс динамического сжатия столба грунта ограниченной ширины, и опыты проводились в траншеях с недеформируемыми стенками. Это достигалось за счет значительной разницы влажности грунта стенок траншей (6-9%) и обратной засыпки (13-14%).

Для проверки возможной деформации вертикальных стенок и фиксации взаимного их расположения до и после трамбования были установлены боковые реперы и определена точная ширина

траншеи на различных участках и горизонтах. Опыты показали, что вертикальные стенки траншеи не деформировались, несмотря на большую повторность ударов. Это имеет важное значение, так как в случае податливости стенок на различных участках изменялся бы и характер уплотнения обратной засыпки внутри траншеи.

Подготовленные для проведения настоящих исследований четыре опытных участка представляли собою отрезки траншей длиной 40–60 погм каждый, глубиной 2,2–2,3 м и шириной 0,6 м. Обратная засыпка траншей производилась из расчета создания плотности насыпного грунта на уровне  $1,2 \text{ г/см}^3$ . Уплотняли траншеи специально сконструированной экспериментальной трамбующей установкой (ЭТУ), создающей направленные удары по обратной засыпке без касания стенок траншеи. Трамбующий орган установки (рис. I) представляет собою тележку, на которой закрепляется комплект быстросъемных стальных плит шириной 0,55 м.

Исследования были направлены на определение влияния веса, высоты сбрасывания и длины уплотняющего профиля трамбующего органа, а также числа наносимых ударов на изменение распределения плотности уплотненного грунта по глубине обратной засыпки. При трамбовании всей толщ обратной засыпки в дренажных траншеях ставилась задача получения в верхней зоне эффективного противофильтрационного экрана толщиной 0,5–0,7 м, плотность в котором не ниже плотности естественного грунта в стенках траншеи  $\delta_{\text{ср}} = 1,5 \text{ г/м}^3$ . В нижних горизонтах засыпки требовалось получить плотность не менее  $1,35\text{--}1,4 \text{ г/см}^3$ , чтобы нижележащий 1–1,3-метровый слой не давал значительных осадок и не приводил к явлениям сводообразования на границе между верхними, более уплотненными, и нижними, менее уплотненными слоями.

До укладки в траншею влажность грунта обратной засыпки повышалась до  $W = 13\text{--}14\%$ , которая в наших условиях близка к оптимальной. На отдельных участках вынутый из траншеи грунт

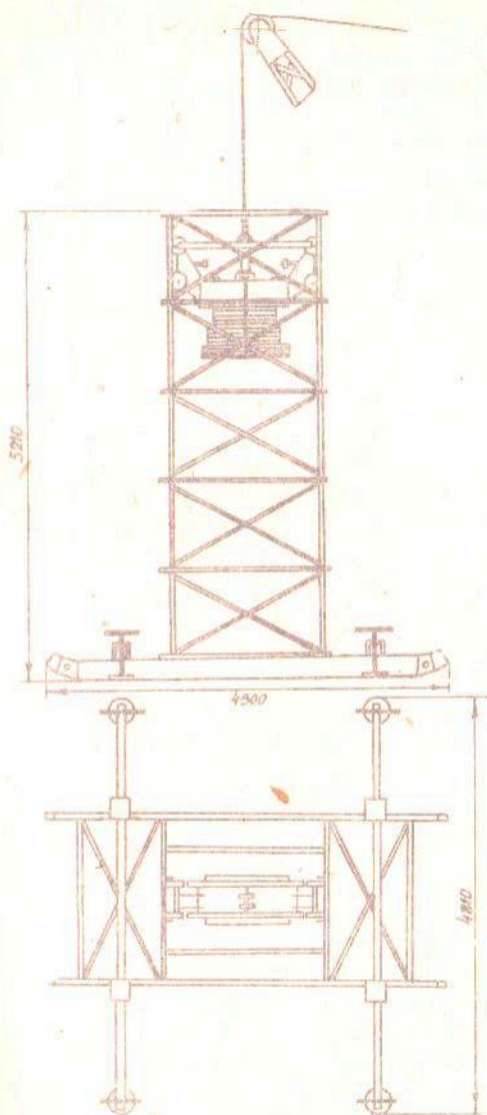


Рис. I. Схема экспериментальной трамбующей установки (ЭТУ).

не доувлажнялся, и влажность уплотняемого грунта не превышала 9-10%.

В настоящих исследованиях /4/ видоизменялись схемы производства работ. В частности, на одной из траншей трамбование производилось по одиночным следам-площадкам, центры которых отстояли друг от друга на 2,5-5 м. В опытах использовались трамбующие органы различной длины от 0,7 до 1,4 м. Остальные траншеи уплотнялись трамбующим органом одной длины ( $\lambda = 0,7$  м). Здесь обратная засыпка прорабатывалась непрерывно по всей длине траншеи путем последовательного перемещения трамбующего органа на новый уплотняемый след. Шаг перестановки соответствовал длине трамбующего органа. В опытах использовались трамбующие органы весом от 1 до 2,5 т, высота сбрасывания изменялась от 0,5 до 4 м, а число наносимых ударов от 1 до 12.

В представленной таблице даны условия проведения и результаты трех серий опытов, которые вскрывают влияние изменения длины трамбующего органа на уплотнение грунта в траншее. Во всех опытах по одному следу наносилось пять ударов.

К числу наиболее важных параметров трамбующего органа для уплотнения грунта в траншеях относится вес  $G$  и длина уплотняющего профиля  $\lambda$ . Анализ достигнутого уплотнения показал, что вне зависимости от указанной длины при одинаковом весе трамбующего органа в верхней зоне достигается практически одинаковая величина максимальной плотности (рис.2). При использовании 1,5-тонного трамбующего органа указанная плотность находится на уровне 1,52-1,53 г/см<sup>3</sup>, а 3-тонный трамбующий орган позволяет довести плотность до 1,6 г/см<sup>3</sup> и выше.

Однако, при постоянном весе изменение длины трамбующего органа существенно влияет на распределение плотности в нижних слоях уплотняемой засыпки. Чтобы плотность уплотненного грунта в нижних слоях засыпки не опускалась ниже минимального уровня 1,35 г/см<sup>3</sup>, необходимо для каждого конкретного веса  $G$  ограничить длину уплотняющего профиля  $\lambda$ . В

Таблица

| Номер серии                                                                             | I     |       |       |       |       | II    |     |       | III |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|--|--|
|                                                                                         | I     | 2     | 5     | I     | 3     | 9     | II  | 7     | 5   |  |  |
| Номер опыта                                                                             |       |       |       |       |       |       |     |       |     |  |  |
| Длина трамбующего ор-<br>тана, м                                                        | 1,4   | 1,05  | 0,7   | 1,4   | 1,05  | 0,7   | 1,4 | 1,05  | 0,7 |  |  |
| Высота сбрасывания, м                                                                   |       | 2,0   |       | 2,0   | 1,5   | 1,0   |     | 2,0   |     |  |  |
| Вес трамбующего орга-<br>на, т                                                          |       | 1,5   |       |       | 1,5   |       | 3,0 | 2,244 | 1,5 |  |  |
| Удельное статическое<br>давление, кг/см <sup>2</sup>                                    | 0,195 | 0,26  | 0,39  | 0,195 | 0,26  | 0,39  |     | 0,39  |     |  |  |
| Удельная работа од-<br>ного удара, кгм/м <sup>2</sup>                                   | 3900  | 5200  | 7800  |       | 3900  |       |     | 7800  |     |  |  |
| Удельный импульс од-<br>ного удара,<br>$\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{см}^2}$ | 0,121 | 0,161 | 0,242 | 0,121 | 0,141 | 0,175 |     | 0,242 |     |  |  |

конкретных условиях уплотнения грунта в траншеях при 1,5-тонном трамбующем органе оптимальное значение длины  $X$  составляет 0,7 м, а при 3-тонном трамбующем органе — 1,4 м.

Исследования подтвердили, что эффект уплотнения находится в прямой зависимости от удельного импульса: чем больше импульс, тем выше плотность уплотненного грунта (рис.3). По характеру изменения плотности уплотненного грунта можно сделать заключение, что при удельном импульсе удара  $0,175 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{см}^2}$ ,

трамбуемый орган с длиной уплотняющего профиля 0,7 м обеспечивает одновременно получение в толще засыпки противофильтрационного экрана толщиной 0,6 м и достижение в нижних слоях засыпки требуемой плотности  $1,37 \text{ г/см}^3$ .

Несмотря на использование трамбуемых органов различного веса при одинаковых значениях удельного импульса удара, эффект уплотнения оказался практически одинаковым по величине (рис.4). С точки зрения достижения рекомендуемого распределения плотности уплотненного грунта некоторое предпочтение может быть отдано 3-тонному трамбуемому органу. Однако сравнение зависимостей на рис.2, 3 и 4 показало, что с целью снижения общего веса уплотняющего оборудования и возможности его навески на мобильное шасси серийного производства, более целесообразно использовать 1,5-тонный трамбуемый орган с длиной уплотняющего профиля 0,7 м.

Уплотнение трех опытных траншей выполнялось трамбуемым органом с постоянной длиной уплотняющего профиля 0,7 м. На каждой из траншей изменялся в определенных пределах один из параметров  $Q$ ,  $H$  или  $n$  (рис.5). Кривые, примыкающие к левой стороне графика и обозначенные сплошными линиями, соответствуют опытам, в которых использовался 1-тонный трамбуемый орган, сбрасываемый с высоты 2 м. Анализ этой группы кривых показывает, что близкое к рекомендуемому распределению плотности уплотненного грунта получено при девяти ударах по одному следу.

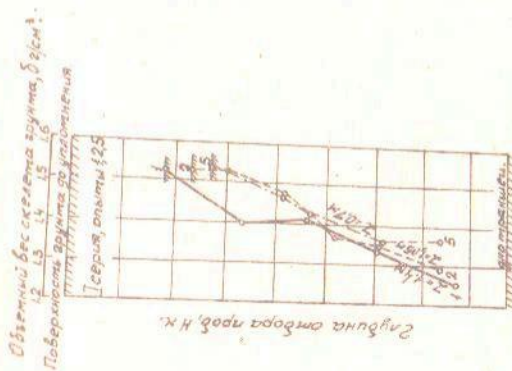


Рис. 2. Изменение плотности грунта  $\delta_{\text{орг}}$  от длины трамбующего органа  $\alpha$  при  $q=1,5$  т,  $H=2$  м,  $n=5$ .

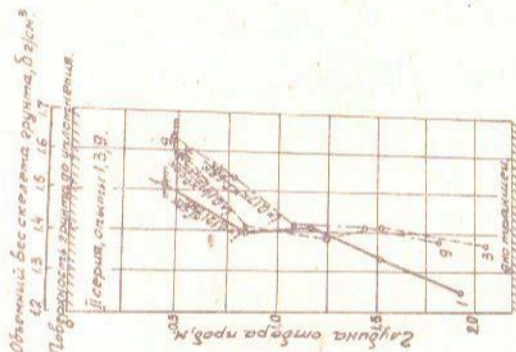


Рис. 3. Изменение плотности грунта  $\sigma_{\text{гор}}$  от удельного импульса удара  $i$  при  $\alpha = 1,5$  т,  $n = 5$ ,  $a_{\text{гг}} = 3900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$

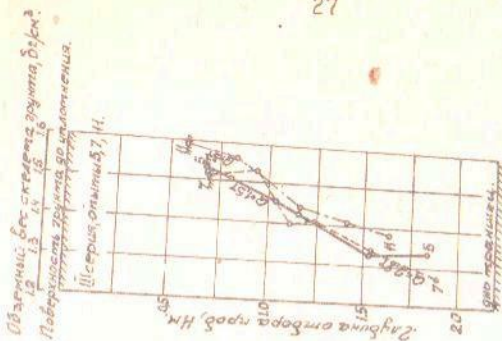


Рис. 4. Изменение плотности грунта  $\rho_{\text{орг}}$  от веса трамбующего органа при  $H = 2 \text{ м}$ ,  $n = 5$ ,  $i = 0,245 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{см}^2}$



Группа кривых, занимающая на графике среднее положение и обозначенная пунктирными линиями с точками, соответствует опытам, в которых режим уплотнения характеризовался постоянной высотой сбрасывания ( $H = 2$  м) и постоянным числом ударов по одному следу ( $n = 5$ ). Близкое к рекомендуемому распределение плотности получено здесь при использовании 1,5-тонного трамбующего органа.

Группа кривых, расположенная на правой стороне графика и обозначенная пунктирными линиями, соответствует опытам, в которых использовался 1,5-тонный трамбующий орган и по одному следу наносилось постоянное число ударов ( $n = 5$ ). Здесь близкое к рекомендуемому распределение плотности уплотненного грунта получено при сбрасывании трамбующего органа с высоты 2-3 м.

Выполненные исследования подтвердили, что путем изменения параметров, определяющих режим работы трамбующей машины, можно в определенных пределах регулировать распределение плотности грунта на всех горизонтах уплотненной засыпки. С ростом числа повторностей приложения ударной нагрузки повышается плотность грунта в верхних его слоях и, наряду с этим, увеличивается глубина проработки.

Увеличение высоты сбрасывания трамбующего органа также ведет к аналогичному росту плотности грунта в верхних слоях засыпки. После достижения определенного предела увеличение числа ударов, а также увеличение высоты сбрасывания трамбующего органа приводит к противоположному явлению — снижению плотности в верхних слоях и увеличению плотности в нижних слоях, что свидетельствует о перемещении "ядра уплотнения" вниз к подошве траншеи.

Таким образом, для достижения требуемой плотности на различных горизонтах обратной засыпки, 1,5-тонный трамбующий орган с длиной уплотняющего профиля 0,7 м необходимо пять раз сбрасывать с высоты 2-3 м. При влажности уплотняемого грунта, близкой к оптимальной, высоту сбрасывания можно принять равной 2 м, а при влажности на 3-5% ниже оптимальной — 3 м.

В результате выполненных исследований разработаны технические требования на трамбующие машины для дренажного строительства. Машины должны производить уплотнение насыпного слоя грунта высотой 2,25 м в траншеях шириной 0,6 м при влажности грунта, близкой к оптимальной, но не менее чем на 3-5% ниже оптимальной. Рабочие органы трамбующих машин должны обеспечить создание направленных ударов по поверхности уплотняемой засыпки. Трамбовать необходимо при непрерывном движении, нанося за один проход трамбуемое число ударов по одному следу. После прохода машин в верхней зоне засыпки должен быть создан уплотненный слой толщиной 0,5-0,7 м с плотностью не ниже  $1,5 \text{ г/см}^3$ . В нижних слоях засыпки - плотность не ниже  $1,35 \text{ г/см}^3$ .

Подводя итог выполненным исследованиям рекомендуется доводить рабочую скорость машины до 80 погм/ч, что соответствует пяти ударам по одному следу. Эксплуатационная производительность должна составлять 60 пог.м/ч дренажа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Обобщение отечественного и зарубежного опыта по борьбе с засолением орошаемых земель, Научно-технический отчет НИС ММИ, Машинопись, т. I, М., 1968.
2. Хархута Н.Я. Машины для уплотнения грунтов, Машгиз, М., 1963.
3. Пулатов У.Ю., Островский Э.М. Уплотнение грунтов обратной засыпки траншей при строительстве закрытого горизонтального дренажа, Бюлл. "Механизация хлопководства", 1963, № 7.
4. Разработка технических требований на трамбующие машины для уплотнения грунта в траншеях закрытого горизонтального дренажа, Научно-технический отчет САНИИРИ, Машинопись, Ташкент, 1970. Депонирован в ВТИЦ, инв. № Б133100.