

УДК 624.138.003

Пчелин В.Н., Пойта П.С., Петрунич В.А.

УПЛОТНЕНИЕ ГРУНТА УНИВЕРСАЛЬНЫМИ ТРАМБОВКАМИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИМИ СОЗДАНИЕ В ГРУНТЕ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДИНАМИЧЕСКИХ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Для улучшения физико-механических свойств слабых грунтов основания в ряде случаев производят уплотнение грунта сбрасываемыми с высоты тяжелыми трамбовками.

Как показывают исследования, результаты которых представлены в [1], при уплотнении грунта трамбовками с созданием в грунте в процессе его уплотнения возрастающих динамических контактных напряжений от 0,6 до 2 МПа через интервал 0,45...0,7 МПа глубина уплотнения увеличивается на 15-20% с одновременным снижением энергозатрат на 14%. Кроме того, обеспечивается получение устойчивой плотности всей массы уплотненного грунта, так как исключается образование буферной зоны (взрыхленного слоя).

Наиболее простым способом, обеспечивающим возрастание создаваемых трамбовкой постоянной массы в грунте динамических контактных напряжений, является способ, основанный на уменьшении рабочей площади трамбовки [1], для чего на объекте достаточно иметь набор трамбовок с разными рабочими площадями. Однако при этом увеличиваются затраты труда на уплотнение грунта, связанные с необходимостью периодической замены трамбовок.

Указанный недостаток устраняет трамбовка постоянной массы, у которой корпус выполнен из концентрично расположенных с возможностью их вертикального перемещения секций с фиксаторами каждой из них [2]. При этом уменьшение рабочей площади трамбовки достигается путем последовательного подъема с последующей фиксацией секций, начиная с наружной.

Однако данная трамбовка характеризуется сложностью конструкции и невысокой надежностью в работе, так как при нанесении ударов с поднятыми наружными секциями возникают большие динамические нагрузки, воздействующие на фиксаторы и приводящие к деформациям последних.

Для упрощения конструкции трамбовки и повышения ее надежности авторами разработаны новые способ уплотнения грунта и конструкции трамбовок, обеспечивающие возможность регулирования создаваемых в грунте динамических контактных напряжений.

В предлагаемом способе уплотнения грунта 1 используется трамбовка 2 в виде прямой четырехгранной призмы с разными длиной, шириной и высотой, а изменение рабочей площади трамбовки производят путем последовательного ее поворота в вертикальной плоскости на 90° в направлении уменьшения рабочей площади (рис. 1).

Для обеспечения зацепления к крюку грузоподъемного механизма трамбовка 2 снабжена петлями 3, прикрепленными к верхнему основанию призмы и к двум боковым ее граням.

Длину l и ширину b призмы принимают, предварительно задавшись ее высотой, по выражениям:

$$l = \left(P_n + 2 \cdot P_{ш} \right) \cdot h / P_n \quad (1)$$

$$b = \left(P_n + P_{ш} \right) \cdot h / P_n, \quad (2)$$

где P_n — создаваемые в грунте 1 динамические контактные напряжения в начальной стадии уплотнения;

$P_{ш}$ — шаг возрастания динамических контактных напряжений;

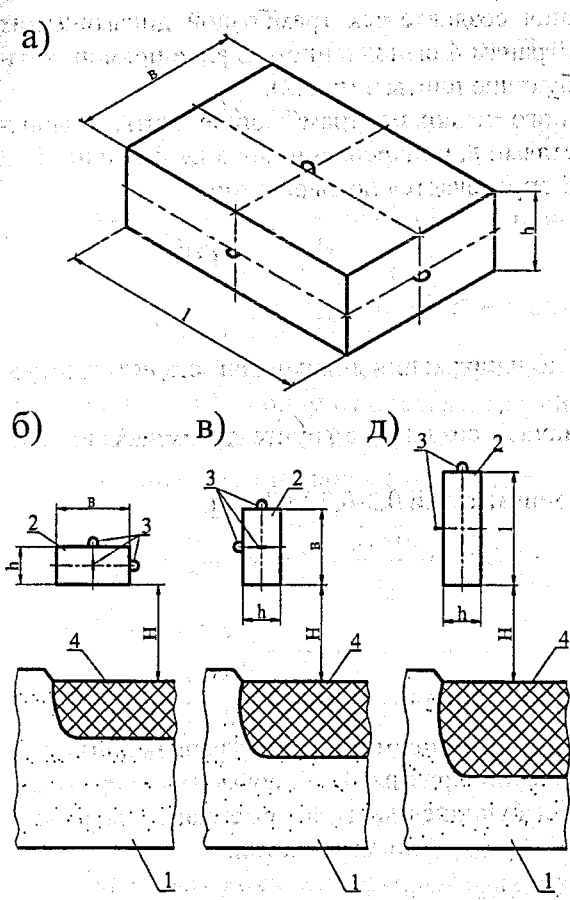
h — высота призмы.

Например, если принять $h = 0,8$ м, $P_n = 0,6$ МПа и $P_{ш} = 0,7$ МПа (см. [1])

$$l = \frac{0,6 + 2 \cdot 0,7}{0,6} \cdot 0,8 = 2,67 \text{ м} \quad \text{и} \quad b = \frac{0,6 + 0,7}{0,6} \cdot 0,8 = 1,73 \text{ м.}$$

При этом получаем следующие возможные рабочие площади трамбовки 2:

- нижнее основание — $F_1 = l \cdot b = 2,67 \cdot 1,73 = 4,62 \text{ м}^2$;
- большая боковая грань — $F_2 = l \cdot h = 2,67 \cdot 0,8 = 2,14 \text{ м}^2$;
- меньшая боковая грань — $F_3 = b \cdot h = 0,8 \cdot 1,73 = 1,39 \text{ м}^2$.



а) общий вид трамбовки; б) схема формирования уплотненного слоя грунта на первом этапе при начальной величине P_n динамического контактного напряжения; в) то же, на втором этапе при возросшей величине динамических контактных напряжений; г) то же, на третьем этапе при предельной величине создаваемых в грунте динамических напряжений. Обозначения: 1 – уплотняемый грунтовый массив; 2 – трамбовка в виде прямой четырехгранной призмы; 3 – петля; 4 – уплотненная зона грунта

Рисунок 1 – Способ уплотнения грунта трамбовкой в виде прямой четырехгранной призмы с разными длиной, шириной и высотой

Масса трамбовки 2 и высота H ее сбрасывания принимаются из условия обеспечения $P_n = 0,6$ МПа в случае нанесения ударов нижним основанием трамбовки 2, имеющим максимальные размеры $l \times b = 2,67 \times 1,73$ м (рис.1 б).

Тогда при нанесении удара большей боковой гранью в грунте 1 будут создаваться динамические контактные напряжения $P_1 = \frac{P_n \cdot F_1}{F_2} = \frac{0,6 \cdot 4,62}{2,14} = 1,3$ МПа (рис.1 в), а при нанесении удара

меньшей боковой гранью (рис.1 г) - $P_2 = \frac{P_n \cdot F_1}{F_3} = \frac{0,6 \cdot 4,62}{1,39} = 2$ МПа, т.е. динамические контактные напряжения в грунте будут возрастать с шагом $P_{ш} = 0,7$ МПа.

На первом этапе уплотнения сбрасываемой трамбовкой 2 наносятся удары нижним ее основанием (рис. 1 б) с рабочей площадью F_1 сериями по два удара в след, при этом в грунте 1 создаются динамические контактные напряжения $0,6 \dots 0,75$ МПа и формируется уплотненная зона 4.

Затем трос грузоподъемной машины открепляют от петли 3 верхнего основания трамбовки 2 и цепляют за петлю 3 большей боковой грани. При последующем подъеме трамбовки 2 осуществляется ее поворот на 90° , при этом трамбовка 2 разворачивается большей боковой гранью с площадью F_2 вниз. После чего проводят второй этап уплотнения грунта сериями по два удара в след (рис.1 в).

На заключительном этапе трос грузоподъемной машины открепляют от петли 3 большей боковой грани трамбовки 2 и цепляют за петлю 3 меньшей боковой грани. При последующем подъеме трамбовки 2 осуществляется ее поворот на 90° , при этом трамбовка 2 разворачивается меньшей боковой гранью с площадью F_3 вниз. После чего проводят третий этап уплотнения грунта сериями по два удара в след (рис.1 г) до отказа понижения поверхности и полного сформирования уплотненной зоны 4 грунта.

Однако указанной трамбовкой обеспечивается только два интервала увеличения динамических контактных напряжений.

Для увеличения количества интервалов возрастания создаваемых трамбовкой динамических контактных напряжений к основаниям 3 и/или боковым граням 4 выполненного в виде прямой четырехгранной призмы 2 корпуса соосно прикреплены трамбующие плиты 5 (рис.2).

Для обеспечения зацепления к крюку грузоподъемного механизма трамбующие плиты 5 выполнены с выемками 6 и перекладинами 7 или снабжены петлями 8, прикрепленными к центру плит 5.

Рабочая площадь F_n каждой из трамбующих плит 5 определяется по выражению:

$$F_n = \frac{P_H \cdot F_1}{P_H + P_{III} (n-1)}, \tag{3}$$

где n – порядковый номер трамбующей плиты 5;

P_H – создаваемые в грунте динамические контактные напряжения в начальной стадии уплотнения, которые могут приниматься 0,6 МПа;

F_1 – рабочая площадь первой плиты 5, обеспечивающей создание в грунте динамических контактных напряжений P_H ;

P_{III} – шаг возрастания динамических напряжений, принимаемый 0,3-0,7 МПа [1].



1 – корпус; 2 – прямая четырехгранная призма; 3 – основания призмы; 4 – боковые грани призмы; 5 – трамбующие плиты; 6 – выемка; 7 – перекадина; 8 - петли.

Рисунок 2 – Общий вид трамбовки трамбовки в виде прямой четырехгранной призмы с прикрепленными к основаниям и боковым граням призмы трамбующими плитами

Толщина δ каждой из трамбующих плит 5 определяется на основании толщины напротив расположенной плиты 5 по выражению:

$$\delta = -\frac{b}{2} + \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \frac{F_{np} \cdot \delta_{np}}{F} (b + \delta_{np})}, \tag{4}$$

где b – расстояние между расположенными напротив друг друга плитами 5;

F_{np} – рабочая площадь напротив расположенной плиты 5;

δ_{np} – толщина напротив расположенной трамбующей плиты 5;

F – рабочая площадь трамбующей плиты 5, толщина которой определяется.

Благодаря назначению толщины каждой из трамбующих плит 5 на основании толщины напротив расположенной плиты 5 по выражению (4) и соосному прикреплению плит 5 к основаниям 3 и/или боковым граням 4 призмы 2, обеспечивается устойчивое положение трамбовки при нанесении ударов по грунту любой трамбующей плитой 5, так как в этом случае сумма статических моментов трамбующих плит 5 относительно центральной точки плиты 5, через которую проходит ось призмы 2, равна нулю.

Количество трамбующих плит 5 определяется количеством интервалов (шагов) возрастания динамических контактных напряжений. При количестве интервалов равном пяти к призме 2 прикрепляется шесть плит 5 (рис.2), а при трех – четыре плиты 5. В последнем случае плиты 5 достаточно прикрепить только к боковым граням 3 призмы 2.

Например, если принять $F_1 = 2 \cdot 2 = 4 \text{ м}^2$, $P_H = 0,6 \text{ МПа}$, $P_{III} = 0,3 \text{ МПа}$ и $\delta_{np} = 0,2 \text{ м}$:

$$F_2 = \frac{0,6 \cdot 4}{0,6 + 0,3(2-1)} = 2,67 \text{ м}^2 \text{ – принимаем размеры плиты } 2 \times 1,335 \text{ м;}$$

$$F_3 = \frac{0,6 \cdot 4}{0,6 + 0,3(3-1)} = 2 \text{ м}^2 \quad - \text{принимаем размеры плиты } 2 \times 1 \text{ м};$$

$$F_4 = \frac{0,6 \cdot 4}{0,6 + 0,3(4-1)} = 1,6 \text{ м}^2 \quad - \text{принимаем размеры плиты } 2 \times 0,8 \text{ м};$$

$$F_5 = \frac{0,6 \cdot 4}{0,6 + 0,3(5-1)} = 1,333 \text{ м}^2 \quad - \text{принимаем размеры плиты } 1 \times 1,333 \text{ м};$$

$$F_6 = \frac{0,6 \cdot 4}{0,6 + 0,3(6-1)} = 1,143 \text{ м}^2 \quad - \text{принимаем размеры плиты } 1 \times 1,143 \text{ м}.$$

Основание призмы 2 целесообразно принять равным максимальной рабочей площади F_1 трамбующей плиты 5, а одну из боковых граней – равной площади F_3 . Принимаем окончательно следующие размеры призмы 2 – $2 \times 2 \times 1$ м.

В этом случае толщина второй плиты 5 при $\delta_1 = 0,2$ м равна

$$\delta_2 = -\frac{b}{2} + \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \frac{F_1 \cdot \delta_1}{F_2} (b + \delta_1)} = -\frac{1}{2} + \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 + \frac{4 \cdot 0,2}{2,67} (1 + 0,2)} = 0,281 \text{ м}$$

Аналогично:

$$\delta_4 = -\frac{b}{2} + \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \frac{F_3 \cdot \delta_3}{F_4} (b + \delta_3)} = -\frac{2}{2} + \sqrt{\left(\frac{2}{2}\right)^2 + \frac{2 \cdot 0,2}{1,6} (2 + 0,2)} = 0,245 \text{ м}$$

$$\delta_6 = -\frac{b}{2} + \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \frac{F_5 \cdot \delta_5}{F_6} (b + \delta_5)} = -\frac{2}{2} + \sqrt{\left(\frac{2}{2}\right)^2 + \frac{1,33 \cdot 0,2}{1,14} (2 + 0,2)} = 0,23 \text{ м}$$

Благодаря выполнению трамбовки с указанными размерами при нанесении ударов второй плитой в грунте создаются динамические контактные напряжения $P_2 = \frac{P_H \cdot F_1}{F_2} = \frac{0,6 \cdot 4}{2,67} = 0,9$ МПа, при

нанесении удара третьей плитой 5 - $P_3 = \frac{P_H \cdot F_1}{F_3} = \frac{0,6 \cdot 4}{2} = 1,2$ МПа, при нанесении удара четвертой

плитой 5 - $P_4 = \frac{0,6 \cdot 4}{1,6} = 1,5$ МПа и т. д.

При нанесении ударов шестой плитой 5 с минимальной площадью в грунте создаются максимальные напряжения $P_6 = 2,1$ МПа.

Масса трамбовки, высота ее сбрасывания и максимальная рабочая площадь плиты 5 F_1 подбираются из условия обеспечения начальных динамических контактных напряжений $P_H = 0,6$ МПа.

На первом этапе уплотнения сбрасываемой трамбовкой наносятся удары первой трамбующей плитой 5 с максимальной рабочей площадью F_1 серией по два удара в след, при этом в грунте 1 создаются динамические контактные напряжения 0,6 МПа.

Затем трос грузоподъемной машины открепляют от петли 8 или перекладины 7 второй плиты 5, трамбовку поворачивают на 180° и цепляют за петлю 8 или перекладину 7 первой плиты 5. После чего проводят второй этап уплотнения грунта несколькими сериями по два удара в след второй плитой 5 с рабочей площадью F_2 , при этом в грунте создаются динамические напряжения 0,9 МПа.

На третьем этапе трос грузоподъемной машины открепляют от петли 8 первой плиты 5 и цепляют за петлю 8 четвертой плиты 5. При последующем подъеме трамбовки осуществляется ее поворот на 90° , при этом трамбовка разворачивается третьей плитой 5 с площадью F_3 вниз, после чего уплотняют грунт несколькими сериями по два удара в след с созданием динамических контактных напряжений 1,2 МПа.

Аналогично выполняются остальные этапы уплотнения грунта с последовательным нанесением ударов плитами с уменьшающейся рабочей площадью.

На заключительном этапе грунт уплотняется шестой плитой 5 с минимальной рабочей площадью F_6 сериями по два удара в след до отказа понижения поверхности и полного сформирования уплотненной зоны грунта, при этом в грунте создаются максимальные динамические напряжения, равные 2,1 МПа.

Выполнение трамбовки или ее корпуса в виде прямой четырехгранной призмы с разными длиной, шириной и высотой с возможным соосным прикреплением трамбующих плит к основаниям и/или боковым граням призмы и изменение рабочей площади трамбовки путем ее последовательного поворота в вертикальной плоскости позволяют существенно упростить конструкцию трамбовки и повысить ее надежность, благодаря чему обеспечивается снижение себестоимости уплотнения грунта не менее чем на 10...15%.

На разработанные способ уплотнения грунта и конструкцию трамбовки оформлены и поданы заявки на выдачу патентов Республики Беларусь на изобретение и полезную модель, которые в настоящий момент находятся на рассмотрении.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. А. С. 1289959 СССР, МКИ Е 02 D 3/046. Способ уплотнения связных грунтов трамбованием./ В.Д.Зотов, Е.А.Сорочян, Ю.П.Кальнин, И.В.Ананьев, А.И.Семененко, Ш.М.Шлафман; Ростовский инженерно-строительный ин-т.- №3899039/29-33; Заявл.01.04.85; Оpubл.15.02.87; Бюл.№6 // Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки.- 1987.- №6.
2. А. С. 1335643 СССР, МКИ Е 02 D 3/046. Трамбовка для уплотнения грунта./ Ю.П.Кальнин, В.Д.Зотов, А.И.Семененко; Ростовский инженерно-строительный ин-т.- №4048966/29-33; Заявл.04.04.86; Оpubл.07.09.87; Бюл.№33 // Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки.- 1987.- № 33.

УДК 624.155

Ребеко В.Я.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ШПУНТОВЫХ СТЕНОК ИЗ БУРООПУСКНЫХ СВАЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОФИСНОГО ЦЕНТРА В ГРАНИЦАХ УЛ. ГАГАРИНА-ПРОЛЕТАРСКАЯ В Г. ГОМЕЛЕ

При строительстве офисного центра в стесненных условиях при разработке котлована для обеспечения устойчивости близкорасположенных зданий потребовалось устройство шпунтовых стенок.

Вместо применения буронабивных свай [4], предложено выполнить шпунтовые стенки из буроопускных свай, когда в скважины опускаются стальные электросварные трубы, параметры которых (диаметр, шаг и глубина скважин) назначаются из расчета совместного действия горизонтальных сил и момента от активного давления грунта стенок котлована.

Такое конструктивное решение шпунтовых стенок в виде буроопускных свай позволило снизить трудоёмкость и материалоемкость устройства нулевого цикла строящегося здания офисного центра.

Расчет шпунтовых стенок из буроопускных свай велся на совместное действие горизонтальных сил и момента от активного давления самого слабого грунта стенок котлована (по результатам инженерно-геологических изысканий [1] этим грунтом является песок ИГЭ2 с характеристиками: $\gamma = 18,2$ кН/м³; $c_1 = 16$ кПа; $\phi_1 = 29^\circ$). Грунтом, окружающим сваю на расчетной глубине заземления, является супесь прочная ИГЭ6 с характеристиками: $\gamma = 19,2$ кН/м³; $c_1 = 32$ кПа; $\phi_1 = 26^\circ$.

Расчет буроопускных свай шпунтовых стенок при этих геологических условиях на совместное действие горизонтальных сил и момента велся на основе приложения 1 СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты» [2]. Горизонтальные нагрузки и изгибающие моменты от активного давления грунта определялись по главе 7 «Расчет и проектирование подпорных стен» справочника проектировщика «Основания, фундаменты и подземные сооружения» [3].

За относительную отметку 0,000 офисного центра принята отметка уровня чистого пола 1-го этажа, что соответствует абсолютной отметке 142,500 м. Уровень земли у магазина соответствует отм. 141,26 м., а у корпуса №2 сельхозтехникума-141,40 м.

У оси 1 на расстоянии 4,48 м располагается фундамент одноэтажного магазина с минимальной глубиной заложения 0,9 м = 140,35 м, а по оси 1 требуется забетонировать монолитный фундамент Фм3, что при глубине заложения фундамента -4,650 = 137,85 м дает высоту шпунтовой стенки (глу-