

Пойта П.С., Тарасевич А.Н.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСТОЯНИЯ МЕЖДУ ТОЧКАМИ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА ТЯЖЕЛЫМИ ТРАМБОВКАМИ

Необходимая степень уплотнения грунтов зависит от ряда факторов: назначения уплотненных грунтов; нагрузок, передаваемых на основание; принятых схем производства работ; производственных возможностей строительных организаций и др. Одной из весьма важных причин, существенным образом влияющих на однородность уплотненного основания, является расстояние между соседними точками, в которых производится уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками. При правильном определении этого расстояния будет высоким качество подготовленного искусственного слоя при минимальных затратах работ по уплотнению грунтов.

Следует отметить, что в настоящее время нет обоснованных рекомендаций по выбору схемы производства работ уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками. В некоторых работах рекомендуется в качестве оптимальной схемы размещения точек трамбования по вершинам квадрата [1, 2, 5]. В других [3] рекомендуется трамбование грунтов производить "с перекрытием следов отдельными циклами при постоянном поворачивании стрелы по мере перехода с одного следа на другой". Теоретические и экспериментальные исследования, выполненные нами [4] показывают, что наиболее оптимальная схема размещения точек трамбования грунта – шахматная, в вершинах углов равностороннего треугольника (рис. 1).

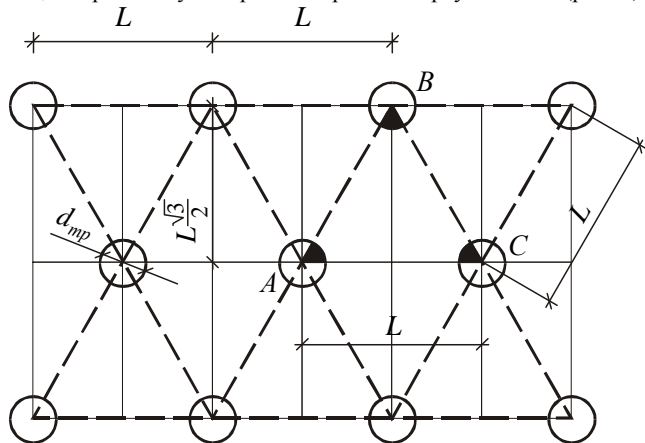


Рис. 1. Схема размещения точек уплотнения грунта тяжелыми трамбовками и определения расстояния между ними

Расстояние  $L$  между точками уплотнения грунта тяжелыми трамбовками, диаметром  $d_{mp}$ , можно определить исходя из следующих рассуждений. Площадь заштрихованного сектора отпечатка трамбовки равна шестой части всей площади ее подошвы. В площадь треугольника  $ABC$  входит три таких сектора, составляющие в сумме половину площади подошвы трамбовки, т.е.

$$A_s = \frac{\pi d_{mp}^2}{8}.$$

Площадь треугольника  $ABC$  равна

$$A = \frac{L^2 \sqrt{3}}{4}.$$

Обозначим требуемую глубину уплотнения грунта через  $l$ . Тогда объем твердых частиц в единице объема грунта до уплотнения будет равен

$$V_{m.ч.} = \frac{1}{1 + e_0} = \frac{\rho_d}{\rho_s},$$

где  $e_0$  – коэффициент пористости грунта природного сложения;

$\rho_d$  – плотность сухого грунта природного сложения;

$\rho_s$  – плотность частиц.

Объем твердых частиц в единице объема грунта после уплотнения равен

$$V_{m.ч.}^1 = \frac{1}{1 + e_{yn}} = \frac{\rho_d^{mp}}{\rho_s},$$

где  $e_{yn}$  – среднее значение коэффициента пористости грунта после уплотнения;

$\rho_d^{mp}$  – среднее значение плотности сухого грунта после уплотнения, или требуемая в проекте уплотнения плотность сухого грунта.

Далее необходимо определить размеры зоны уплотненного грунта. Исследованиями, выполненными авторами [4], а также данными других авторов свидетельствуют о том, что при выполнении цикла ударов уплотненная зона имеет вид эллипсоида вращения с отпечатком трамбовки в верхней части. С достаточной степенью точности этот объем можно представить в виде объема грунта между отпечатками, объема грунта между зонами уплотнения и объема, образованного сегментами отпечатков трамбовки. Тогда объем твердых частиц в грунте природного сложения, но который будет уплотнен равен

$$\begin{aligned} V_{m.ч.}^q &= \frac{\sqrt{3} l}{4} \cdot \frac{\rho_d}{\rho_s} L^2 - \left( \frac{\sqrt{3}}{4} \Delta L^2 - \frac{\pi d_{mp}^2 \Delta}{8} \right) \frac{\rho_d}{\rho_s} - \\ &- \frac{4}{3} \pi \left( \frac{3}{16} L^2 - \frac{d_{mp}^2}{4} \right) \left( \frac{\sqrt{3}}{2} L - \frac{d_{mp}}{2} \right) \frac{\rho_d}{\rho_s} = \\ &= \frac{\rho_d}{\rho_s} \left( -\frac{\sqrt{3}}{8} \pi L^2 + \left[ \frac{\sqrt{3}}{4} (l - \Delta) + \frac{\pi d_{mp}}{8} \right] L^2 - \right. \\ &\left. - \frac{4d_{mp}^3 + 3\pi d_{mp}^2 \Delta}{24} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\Delta$  – понижение поверхности грунта после завершения трамбования в данной точке;

Тарасевич Алексей Николаевич. К.т.н., доцент. каф. оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

$l$  – мощность уплотняемого слоя.

Объем твердых частиц в уплотненном грунте, который уменьшился в сравнении с первоначальным объемом на объем трех сегментов отпечатков, будет равен

$$V_{m.ч.}^{1n} = \frac{\rho_d^{mp}}{\rho_s} \left( V_{m.ч.}^q - \frac{\pi d_{mp}^2 \Delta}{8} \right). \quad (2)$$

Поскольку объем скелета грунта до и после уплотнения остался неизменным, то правые части равенств (1) и (2) можно приравнять между собой и, выполнив соответствующие преобразования, получим

$$\begin{aligned} & \frac{\sqrt{3}}{8} \pi (\rho_d^{mp} - \rho_d) L^3 + \left[ \frac{\sqrt{3}}{4} (l - \Delta) + \frac{\pi d_{mp}}{8} \right] (\rho_d - \rho_d^{mp}) L^2 + \\ & + \frac{\sqrt{3}}{2} d_{mp}^2 (\rho_d^{mp} - \rho_d) L + \frac{d_{mp}^3}{6} \rho_d^{mp} - \frac{4d_{mp}^3 + 3\pi d_{mp}^2 \Delta}{24} \rho_d = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Полученное уравнение (3) запишем в виде

$$aL^3 + bL^2 + cL + m = 0, \quad (4)$$

где  $a = \frac{\sqrt{3}}{8} \pi (\rho_d^{mp} - \rho_d);$

$$b = \left[ \frac{\sqrt{3}}{4} (l - \Delta) + \frac{\pi d_{mp}}{8} \right] (\rho_d - \rho_d^{mp});$$

$$c = \frac{\sqrt{3}}{2} d_{mp}^2 (\rho_d^{mp} - \rho_d);$$

$$m = \frac{d_{mp}^3}{6} \rho_d^{mp} - \frac{4d_{mp}^3 + 3\pi d_{mp}^2 \Delta}{24} \rho_d.$$

Корни кубического уравнения (4) находим по формуле

$$L = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{Q}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{Q}}, \quad (5)$$

где  $Q = \left(\frac{p}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{2}\right)^2;$

$$p = \frac{1}{3} \left(\frac{b}{a}\right)^2 + \frac{c}{a};$$

$$q = 2 \left(\frac{b}{3a}\right)^3 - \frac{bc}{3a^3} + \frac{m}{a}.$$

Анализ уравнения (4) выполнен с помощью прикладного пакета "Математика". Установлено, что расстояние между центрами отпечатков трамбовки практически не зависит от диаметра трамбовки и величины понижения поверхности грунта  $\Delta$  после завершения трамбования. При этом значения  $\rho_d, \rho_d^{mp}, l$  принимались фиксированными. На рис. 2 приведены результаты анализа функции  $L=f(d_{mp}, \rho_d, \rho_d^{mp}, l, \Delta)$  при постоянных значениях  $\Delta, d_{mp}, l$ . При увеличении начальной плотности сухого грунта расстояние между центрами точек трамбования увеличивается.

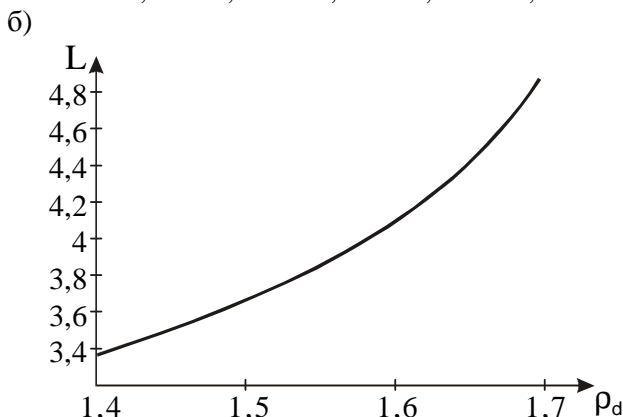
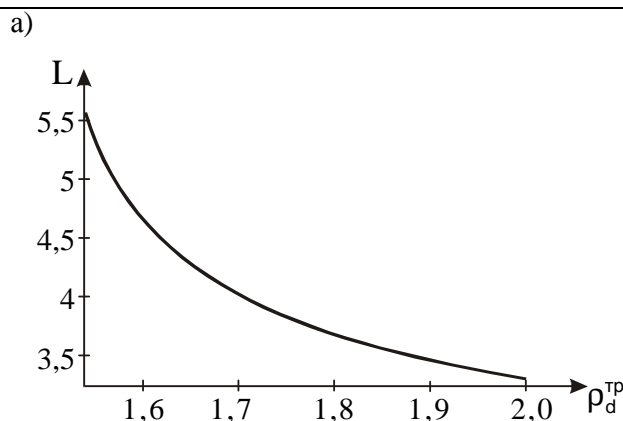


Рис. 2. Изменение расстояния между центрами точек трамбования грунта в зависимости от  $\rho_d$  и  $\rho_d^{mp}$

Однако, если требуется получить уплотненное основание более высокого качества, то тогда величина  $L$  уменьшается и в весьма значительной степени. Так, если  $\rho_d^{mp} = 1,9 \text{ т/м}^3$ , то расстояние между центрами отпечатков трамбовки должно быть не более 3,5м. Таким образом, величина перемычки между краями отпечатков составляет 1,5м, что согласуется с результатами экспериментальных исследований, выполненных на площадке Гродненского ПО "Азот". При  $\rho_d^{mp} = 1,7 \text{ тс/м}^3$  расстояние между центрами отпечатков составляет 4,1м.

Таким образом, полученные теоретические результаты дают хорошую сходимость с результатами экспериментальных исследований и позволяют определить оптимальное расстояние между центрами отпечатков без выполнения опытов в полевых условиях.

### ВЫВОДЫ

1. Выполненные теоретические исследования позволили получить зависимость для определения оптимального расстояния между точками уплотнения грунта тяжелыми трамбовками.
2. Установлено, что расстояние между центрами отпечатков трамбовки не зависит от ее диаметра и понижения поверхности грунта. При увеличении начальной плотности сухого грунта расстояние между центрами точек трамбования увеличивается. При увеличении требуемой плотности сухого грунта это расстояние уменьшается.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бобылев Л.М. Об уплотнении связного грунта слоями конечной толщины трамбуемыми плитами. "Основания, фундаменты и механика грунтов", 1964, №6.

2. Зарецкий Ю.К., Гарицелов М.Ю. Глубинное уплотнение грунтов ударными нагрузками. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 192с.
3. Основания, фундаменты и подземные сооружения / М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др.; Под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с., ил. – (Справочник проектировщика).
4. Пойта П.С., Макарук П.Н., Тарасевич А.Н. Исследования зоны уплотнения грунта // Тезисы докладов юбилейной научно-технической конференции, посвященной 25-летию института. Брест, 1995.
5. Menard L. La consolidation dynamique des sols de fondation // Annales de J'ITRTP. 1974. №320. Sept. P. 194 – 222.

УДК 624.157.2

**Пчелин В.Н., Тарасевич Д.И., Чернюк В.П.**

## СПОСОБ ПОГРУЖЕНИЯ СВАИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ НОРМАЛЬНУЮ РАБОТУ ДИЗЕЛЬ-МОЛОТОВ

Для обеспечения нормальной работы дизель-молотов необходимо, чтобы отказ забиваемой сваи (величина осадки сваи за один удар) не превышал максимально допустимого отказа 18...30 см (см. [1], с.88), в противном случае дизель-молоты гложут, то есть происходит их остановка. Чаще всего данная ситуация возникает в начальной стадии погружения свай в слабые грунты.

В случае наличия слабых грунтов небольшой толщины для исключения недопустимых отказов сваи достаточно просто уплотнить грунт. Однако при большой толщине слабых грунтов уплотнение грунтов становится затруднительным.

С целью решения данной проблемы авторами предложен способ погружения забивной сваи, благодаря которому в начальный момент забивки сваи создается дополнительное лобовое сопротивление ее забивке.

Для реализации способа используется кондуктор 1 (рис.1), который состоит из опорной плиты 2 с центральным отверстием 3 для пропуска сваи 4 и направляющим патрубком 5, и устанавливаемые в патрубок 5 блоки 6. Размеры опорной плиты в плане должны в 2,5-3 раза превышать размеры поперечного сечения сваи. Для повышения жесткости кондуктора применяются ребра жесткости 7.

С целью обеспечения фиксации сваи в плане в процессе ее забивки используются П-образные направляющие 8, которые одеваются на стенки патрубка и фиксируются посредством винтов 9. Свободные концы винтов выполнены с квадратными головками 10 под ключ.

В опорной плите выполнены сквозные отверстия 11, через которые в грунт забиваются стержневые шипы 12 для фиксации кондуктора в плане.

Для уменьшения сил трения между блоками и патрубком внутренние стенки последнего могут облицовываться антифрикционным материалом 13, например, фторопластом.

Блоки выполнены со скошенными верхними и нижними торцами, образующими при установке в патрубок в нижней части заострение 14, а верхней – гнездо 15 для наконечника 16 сваи. В патрубок может устанавливаться два или четыре блока. При установке двух блоков образуются заострение и гнездо в виде клина, а при установке четырех блоков – в виде пирамиды.

Высота блоков принимается не менее отказной глубины погружения сваи, в пределах которой отказ сваи превышает

максимально допустимый отказ, обеспечивающий устойчивый запуск и работу дизель-молота. Высота патрубка принимается не менее высоты блоков.

Для получения в начальный момент забивки отказа сваи, обеспечивающего устойчивый запуск и работу дизель-молота, площадь  $A$ , ограниченная наружным контуром поперечного сечения блоков, принимается из соотношения

$$A \geq \frac{\eta \cdot E_d [m_1 + \varepsilon^2 (m_2 + m_3)]}{K \cdot R_3 \cdot S_{\max} (K \cdot R_3 + \eta)(m_1 + m_2 + m_3)}, \quad (1)$$

где:  $\eta$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от материала сваи;

$E_d$  – расчетная энергия одного удара дизель-молота;

$m_1$  – масса молота;

$\varepsilon$  – коэффициент восстановления удара;

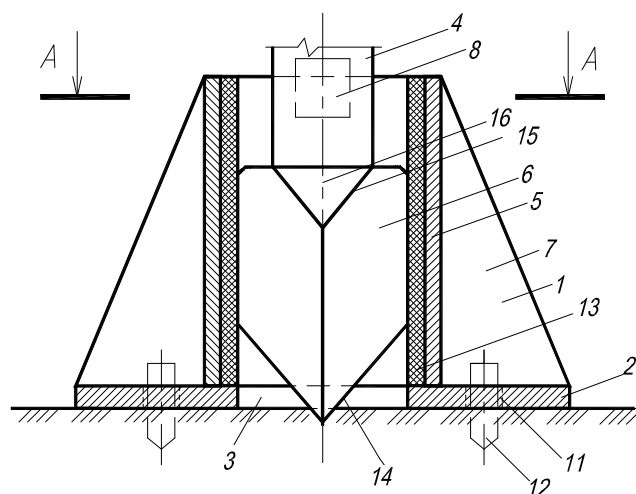
$m_2$  – масса сваи с наголовником;

$m_3$  – масса подбабка;

$K$  – коэффициент однородности грунта;

$R_3$  – лобовое сопротивление верхнего слоя грунта статическому зондированию;

$S_{\max}$  – максимально допустимый отказ сваи, обеспечивающий устойчивый запуск и работу дизель-молота.



**Пчелин Вячеслав Николаевич.** Доцент каф. технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.

**Тарасевич Дмитрий Иванович.** Студент строительного факультета Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.