

Пойта П.С.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ ТЯЖЕЛЫМИ ТРАМБОВКАМИ

Опыт проектирования и строительства искусственных оснований зданий и сооружений показывает, что повышение их экономичности может быть достигнуто за счет совершенствования технологических параметров, определяющих выбранную технологию. Они, в ряде случаев, определяют возможности технологии, конструкцию грунтового основания, стоимость и сроки производства работ. При выборе технологических параметров уплотнения возможны различные подходы. На наш взгляд, наиболее оптимальным будет тот, который в максимальной степени учитывает возможности строительных организаций. Следовательно, при проектировании уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками необходимо учитывать наличие грузоподъемных механизмов в строительной организации. При наличии соответствующих кранов известными факторами будут их грузоподъемность и высота сбрасывания трамбовки.

С другой стороны, исследования, выполненные различными авторами [1, 3, 4, 5, 6, 7] показывают, что наиболее целесообразным при поверхностном уплотнении грунтов является применение трамбовок наибольшего веса. Это дает возможность получить значительно большую остаточную осадку грунта в отпечатке при одних и тех же энергетических затратах. Иными словами, остаточная осадка грунта в отпечатке при двух ударах трамбовкой массой 10тс будет всегда больше остаточной осадки грунта, полученной при 10 ударах трамбовки массой 2тс. Очевидным является, что чем больше остаточная осадка грунта, тем качество уплотненного грунта будет выше. Это подтверждает и то, что увеличение массы трамбовки не только позволяет получить как можно большую осадку, но и дает более равномерное распределение плотности сухого грунта по глубине уплотняемой толщи [6].

Следует иметь в виду, что трамбовка одной и той же массы может иметь различные размеры подошвы, т.е. статическое давление на грунт может быть совершенно разным. А чем больше статическое давление на грунт, тем большее число ударов в одной точке необходимо выполнить для достижения грунтом требуемой плотности. Слишком малые размеры подошвы трамбовки затрудняют производство работ по уплотнению грунтов, а при достижении определенного предела по диаметру делают эти работы не возможными. Следовательно, оптимальная площадь основания трамбовки будет иметь место в том случае, когда работа, затрачиваемая на уплотнение грунта на каком-то участке, будет минимальной

$$N = M \cdot H \cdot \frac{B}{A} \cdot n,$$

где M – масса трамбовки, принимаемая с учетом грузоподъемности механизма;

H – высота сбрасывания трамбовки;

B – площадь участка, в пределах которого требуется уплотнение грунтов;

A – площадь основания трамбовки;

n – число ударов трамбовки в одной точке.

Задача заключается в определении оптимального диаметра трамбовки, имеющей площадь подошвы A .

Ю.К. Зарецким и М.Ю. Гарицеловым [3] установлена связь между динамической и статической осадкой трамбовки, имеющая вид

$$S_{дин} = K_{\delta} S_{стат}, \quad (1)$$

где K_{δ} – коэффициент динамичности при интенсивных ударах, определяемый по формуле

$$K_{\delta} = \sqrt{\frac{2H}{S_{стат}}},$$

где H – высота сбрасывания трамбовки.

Величина осадки трамбовки от действия собственного веса может быть определена по формуле

$$S_{стат} = (1 - \nu^2) \omega d_{mp} \frac{P}{E},$$

где ν – коэффициент поперечной деформации, принимаемый в зависимости от наименования грунта;

ω – безразмерный коэффициент, равный 0,785;

E – модуль деформации грунта до уплотнения;

d_{mp} – диаметр трамбовки;

P – давление на грунт, определяемое по формуле

$$P = \frac{Mg}{A}.$$

Учитывая, что основание трамбовки – круг, то его площадь $A = \frac{\pi d_{mp}^2}{4}$.

Тогда статическая осадка будет равна

$$S_{стат} = (1 - \nu^2) \omega \cdot \frac{4Mg}{\pi d_{mp} E}. \quad (2)$$

Подставив выражение (2) в (1) получим динамическую осадку грунта от одного удара трамбовки

$$S_{дин} = \sqrt{\frac{2H\pi d_{mp} E}{(1 - \nu^2)\omega 4Mg} \cdot \frac{(1 - \nu^2) \omega 4Mg}{\pi d_{mp} E}}. \quad (3)$$

$$S_{дин} = \sqrt{\frac{8MHg(1 - \nu^2)\omega}{\pi d_{mp} E}}.$$

С другой стороны Л.Р. Ставницер [4] рекомендует понижение поверхности трамбуемого грунта, обеспечивающие достижение необходимой плотности и достаточной глубины уплотняемого слоя определять по формуле

Пойта Петр Степанович. К.т.н., зав. каф. оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии, ректор Брестского государственного технического университета.

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

$$\Delta_{mp} = \frac{e_0 - e_{yn}}{1 + e_0} l, \quad (4)$$

где e_0 – коэффициент пористости грунта до уплотнения;

e_{yn} – среднее значение коэффициента пористости грунта после уплотнения в пределах толщины достаточно уплотненного слоя;

l – мощность достаточно уплотненного слоя.

Мощность слоя, требующего уплотнения, как правило, устанавливается в результате инженерно-геологических изысканий. Коэффициент пористости грунта до уплотнения определяют по формуле

$$e_0 = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1, \quad (5)$$

где ρ_s – плотность частиц грунта;

ρ_d – плотность сухого грунта.

Коэффициент пористости уплотненного грунта равен

$$e_{yn} = \frac{\rho_s}{\rho_d^{mp}} - 1, \quad (6)$$

где ρ_d^{mp} – среднее значение требуемой плотности сухого грунта, задаваемое в проекте уплотнения основания.

Подставив выражения (5) и (6) в (4), получим

$$\begin{aligned} \Delta_{mp} &= \frac{\rho_s - \rho_d - \rho_s \cdot \rho_d^{mp}}{\rho_d \cdot \rho_d^{mp}} \cdot l = \\ &= \frac{\rho_s \cdot \rho_d^{mp} - \rho_d \cdot \rho_d^{mp} - \rho_s \cdot \rho_d + \rho_d^{mp} \cdot \rho_d}{\rho_d \cdot \rho_d^{mp}} \cdot l = \\ &= \frac{\rho_s \cdot \rho_d^{mp} - \rho_s \cdot \rho_d}{\rho_d \cdot \rho_d^{mp}} \cdot l. \end{aligned}$$

Выполнив соответствующие сокращения, получим

$$\Delta_{mp} = \frac{\rho_s \cdot \rho_d^{mp} - \rho_s \cdot \rho_d}{\rho_d \cdot \rho_d^{mp}} \cdot l. \quad (7)$$

Очевидно, что

$$\Delta_{mp} = S_{дин} \quad (8)$$

Подставив в (8) выражения (3) и (7) и решив равенство относительно d_{mp} , будем иметь

$$\frac{\rho_s \cdot \rho_d^{mp} - \rho_s \cdot \rho_d}{\rho_d \cdot \rho_d^{mp}} \cdot l = \sqrt{\frac{8MgH(1 - \nu^2)\omega}{\pi d_{mp} E}}.$$

Отсюда

$$d_{mp} = \frac{2,55MgH(1 - \nu^2)\omega}{\left(\frac{\rho_s \cdot \rho_d^{mp} - \rho_s \cdot \rho_d}{\rho_d \cdot \rho_d^{mp}} \cdot l\right)^2 E}. \quad (9)$$

Полученная зависимость (9) позволяет определить оптимальный диаметр трамбовки, имеющей заданные массу и высоту сбрасывания, а также учесть начальное состояние грунта, его деформационные свойства. Не менее важным является и то, что формула учитывает и требуемую плотность уплотняемого грунта.

Следует отметить, что Л.Р. Ставницер [4] предложил следующую формулу для определения площади трамбовки

$$A = KR \frac{Q}{\Delta_{mp}}, \quad (10)$$

где K – коэффициент, характеризующий неупругие свойства грунтов при повторных нагружениях и не зависящий от параметров трамбовки;

R – коэффициент, зависящий от деформационных свойств грунта и скорости удара;

Q – вес трамбовки.

Основным недостатком формулы (10) является то, что определение коэффициентов K и R следует производить по результатам лабораторных испытаний грунтов на специальных приборах, либо по результатам уплотнения грунтов на проектируемом участке трамбовкой произвольных размеров, сбрасываемой с одинаковой высоты. Требуемое количество ударов назначается в зависимости от вида грунта. После проведенного цикла испытаний вносятся коррективы в определение d_{mp} . При использовании предлагаемой зависимости (9) выполнение лабораторных и полевых испытаний грунтов для определения диаметра трамбовки не требуется.

ВЫВОДЫ

1. Выполненные исследования позволили получить зависимость диаметра трамбовки от целого ряда технологических параметров: массы трамбовки; высоты сбрасывания; модуля деформации уплотняемого грунта; плотности сухого грунта до и после уплотнения.
2. Размеры подошвы трамбовки, определенные по предложенной зависимости, позволяют получить качественно подготовленное искусственное основание при минимальной работе, затраченной на уплотнение грунтов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гарицелов М.Ю. Интенсивное ударное уплотнение водонасыщенных грунтов оснований энергетических сооружений // Ускорение научно-технического процесса в фундаментостроении. Сб. трудов в 2-х томах. 1987. Т.1. С. 239-241.
2. Зарецкий Ю.К., Вуцель В.И., Гарицелов М.Ю., Березинский С.А. Интенсивное динамическое уплотнение слабых грунтовых оснований. Энергетическое строительство. – 1983. - №10. – с. 37-40.
3. Зарецкий Ю.К., Гарицелов М.Ю. Глубинное уплотнение грунтов ударными нагрузками. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 192с.
4. Ставницер Л.Р. Деформации оснований сооружений от ударных нагрузок. М.: Стройиздат, 1969. – 128с.
5. Бобылев Л.М. Об уплотнении связного грунта слоями конечной толщины трамбуемыми плитами. "Основания, фундаменты и механика грунтов", 1964, №6.
6. 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.
7. Menard L. La consolidation dynamique des sols de fondation // Annales de J'JTRTP. 1974. №320. Sept. P. 194 – 222.