

ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗОВ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ ПРИ ИХ УПЛОТНЕНИИ ТЯЖЕЛЫМИ ТРАМБОВКАМИ

Пойта П.С., Шалобыта Т.П., Клебанюк Д.Н., Четырбок Н.П.

Искусственное улучшение свойств грунтов оснований производят с целью повышения их прочности, снижения деформативности и водопроницаемости. Одним из наиболее эффективных применяемых методов преобразования свойств грунтов является уплотнение тяжелыми трамбовками. Этот метод нашел применение и в нашей Республике. Применение трамбровок с повышенной массой и высотой ее сбрасывания положило начало использования интенсивных ударных нагрузок для глубинного уплотнения грунтов, в том числе и водонасыщенных. Однако, имеющиеся теоретические и эмпирические зависимости позволяют установить лишь глубину распространения уплотнения, но не гарантируют, и тем более не позволяют прогнозировать уровень улучшения свойств грунтов оснований.

В качестве критериев, определяющих предельную глубину уплотнения, используют требования по пористости, сжимаемости грунта, влажности и др. Разнообразие этих факторов дополняют физико-механические свойства грунтов, условия их залегания в толще, а также технологические параметры уплотнения: число ударов по одному следу, расстояние между точками уплотнения, число этапов повторного уплотнения и др.

Однако результаты определения глубины уплотнения по рекомендуемым методикам [1-4] весьма противоречивы. Их различие для одних и тех же грунтовых условий и вполне конкретных параметров используемых трамбровок проанализируем на конкретных примерах.

В соответствии с рекомендациями [1], уплотнение тяжелыми трамбовками применяется в глинистых и песчаных грунтах, характеризующихся степенью влажности $S_r < 0,7$ и плотностью сухого грунта $\rho_d < 1,55 \text{ т/м}^3$.

Уплотнение осуществляют трамбовками весом 40...200 кН, диаметром $d=1,4...3,5 \text{ м}$, сбрасываемых с высоты 4...10 м.

В результате трамбования в массиве грунта образуется уплотненная зона мощностью от 1,5 до 6,0 м. Глубина ее зависит от природной влажности и плотности грунтов, диаметра и веса трамбовки, и при оптимальной влажности может быть определена по формуле [1]:

$$h_s = k \cdot d, \quad (1)$$

где d – диаметр основания трамбовки, м;

k – коэффициент, принимаемый по данным экспериментальных исследований в пределах 1,5...1,8.

Л. Менард [2] предложил другую зависимость для прогноза глубины уплотненной зоны

$$h_s = \alpha \sqrt{M_t g h_t}, \quad (2)$$

где M_t – масса трамбовки, т;

g – ускорение свободного падения, $\text{м}^2/\text{с}$;

h_t – высота сбрасывания трамбовки, м;

α – эмпирический коэффициент, $(\text{м/тс})^{1/2}$, рекомендуемый принимать равным от 0,27 до 0,7.

Применение коэффициента $\alpha=0,45$ практически гарантирует, что выбранная трамбуемая установка справится с уплотнением на заданную глубину, если данная грунтовая толща может быть уплотнена этим методом [2]. При $\alpha=0,7$ можно прогнозировать максимально возможную глубину уплотнения трамбуемой установкой данного класса.

В соответствие с [3] ориентировочная глубина уплотняемой зоны h_s , при уплотнении тяжелыми трамбовками, при известных параметрах – массе трамбовки (M_t , т), ее диаметре (d_m , м), высоты сбрасывания (h_t , м) и определенных инженерно-геологических условиях грунтового основания, может быть определена по следующей зависимости

$$h_s = k \cdot \ln(A_t \cdot M_t \cdot \sqrt{h_t}), \quad (3)$$

где k – коэффициент, характеризующий вид грунта и принимаемый в пределах от 1,0 до 1,4;

A_t – площадь основания трамбовки, m^2 ;

M_t – масса трамбовки, т;

h_t – высота сбрасывания трамбовки, м.

Нашими исследованиями [4] установлено, что глубина уплотненной зоны может быть определена по формуле

$$h_s = \sqrt{\frac{2,55 M_t \cdot h_t (1 - \nu^2) \omega \rho_d^{tp2}}{d_{tp} (\rho_d^{tp} - \rho_d)^2 E}}, \quad (4)$$

где M_t – масса трамбовки, т;

h_t – высота сбрасывания трамбовки, м;

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

ω – эмпирический коэффициент $\omega = 0,79$;

ρ_d^{tp} – требуемая (по проекту) плотность сухого грунта, t/m^3 ;

d_{tp} – диаметр трамбовки, м;

ρ_d – плотность сухого грунта до уплотнения, t/m^3 ;

E – модуль общей деформации грунта, t/m^3 .

Результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Мощность зоны уплотнения грунтового основания тяжелыми трамбовками

Параметры трамбовок		Глубины уплотнения, м										
		по [1]		по [2]			по [3]			по [4]		
				Высоты сбрасывания трамбовок, м								
Вес, кН	Диаметр, м	песок	глина	5	10	15	5	10	15	5	10	15
25	1,2	2,2	2,0	$\frac{0,95(1,59)}{2,47}$	$\frac{1,35(2,25)}{3,50}$	$\frac{1,65(2,76)}{4,30}$	1,44	1,77	1,96	1,55	2,20	2,69
35	1,4	2,6	2,4	$\frac{1,13(1,88)}{2,93}$	$\frac{1,60(2,66)}{4,14}$	$\frac{1,96(3,26)}{5,07}$	2,07	2,38	2,61	1,70	2,40	2,95
45	1,6	3,0	2,7	$\frac{1,28(2,13)}{3,32}$	$\frac{1,81(3,02)}{4,70}$	$\frac{2,22(3,7)}{5,75}$	2,56	3,05	3,42	1,81	2,56	3,13
60	2,0	3,6	3,2	$\frac{1,48(2,46)}{3,83}$	$\frac{2,09(3,49)}{5,42}$	$\frac{2,56(4,27)}{6,64}$	3,74	4,27	4,85	1,86	2,64	3,23
70	2,0	4,8	3,8	$\frac{1,59(2,66)}{4,14}$	$\frac{2,26(3,76)}{5,86}$	$\frac{2,78(4,61)}{7,17}$	3,98	5,0	5,24	2,02	2,85	3,49
90	2,0	5,5	5,0	$\frac{1,81(3,01)}{4,70}$	$\frac{2,56(4,27)}{6,64}$	$\frac{3,14(5,23)}{8,13}$	4,57	5,30	5,82	2,29	3,23	3,95

Примечание: в числителе приведены глубины уплотнения при $\alpha=0,27$, а в знаменателе – при $\alpha=0,7$, в скобках – при $\alpha=0,45$.

На рисунке 1 показаны зависимости глубины уплотнения грунтовой толщи в зависимости от энергии удара. Сравнение полученных данных по различным методикам указывает на их значительный разброс.

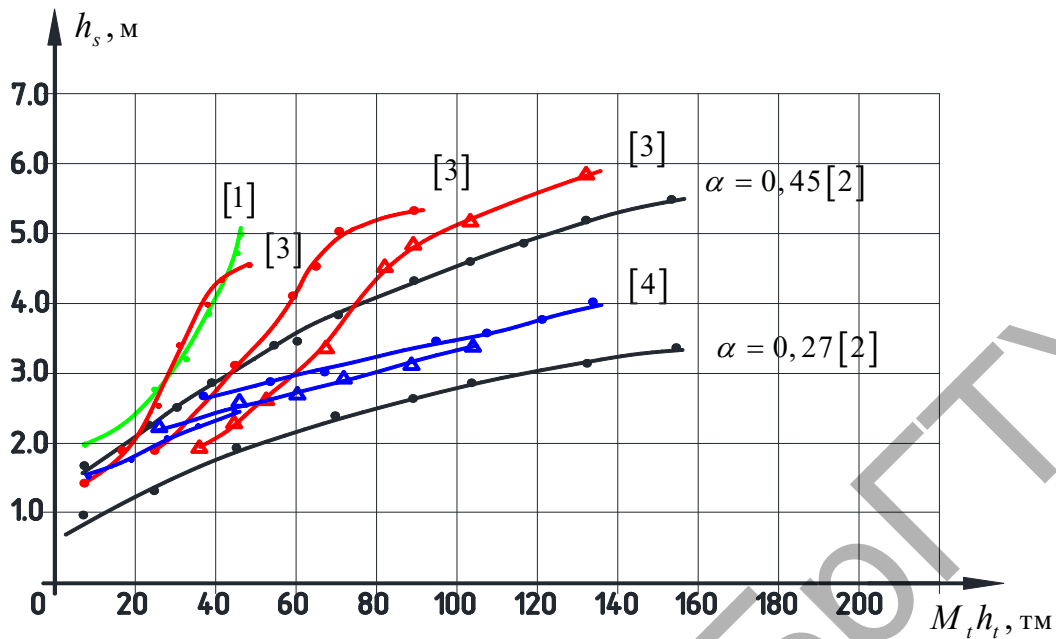


Рисунок 1 – Зависимость глубины уплотнения грунта от энергии уплотнения удара

Минимальное значение глубины уплотнения для любого значения энергии удара получено по [2] при значении $\alpha=0,27$. Увеличение коэффициента α в 1,67 раза пропорционально отражается на глубине уплотнения. Особенностью определения h_s по данной методике является то, что при увеличении энергии удара, приращение h_s уменьшается, что объясняется достижением максимальной плотности грунта. Совсем другой характер изменения h_s по [1]. Во-первых, полученные значения глубины уплотнения во всём диапазоне изменения энергии удара, являются самыми большими, исключая результаты по [2] при $\alpha=0,7$. Во-вторых, при увеличении параметров трамбовки (массы и диаметра), с ростом энергии удара глубина уплотненной зоны резко увеличивается. Так, при увеличении энергии удара в 6 раз h_s возрастает в 2,5 раза. Более значимый рост значений h_s имеет место по [3] – 3,2 раза. Этот момент, как нам кажется, имеет существенную неопределённость и требует дальнейшего детального изучения процесса уплотнения грунта при передаче ударных нагрузок, и особенно, с учётом его исходного физического состояния.

Если учесть, что по методике [2] при $\alpha \leq 0,45$ мы получим гарантированную зону уплотнённого грунта, то результаты за пределами полученной кривой свидетельствуют о той же неопределённости.

Данные h_s , полученные по методике [4], полностью находятся в гарантированно уплотнённой зоне и возрастают при увеличении энергии удара. Значения h_s в данном случае значительно меньше результатов, полученных по [1, 3] при одинаковой энергии удара. Этот факт объясняется принятыми в расчёте параметрами исходного физического состояния грунта: плотности сухого грунта и его модуля деформации.

Таким образом, очевидно, что рассмотренные и применяемые в проектной практике методы прогноза уплотнения грунтов тяжёлыми трамбовками дают весьма широкий диапазон разброса исследуемых данных. Это свидетельствует о необходимости дальнейших исследований с целью разработки более совершенных методов расчёта. И здесь, на наш взгляд, большое значение имеет учёт исходного физического состояния грунта, оказывающее существенное влияние на формирование эксплуатационных свойств полученного грунтового массива.

Как правило, рекомендуемые методы прогноза уплотнения грунтов тяжёлыми трамбовками предполагают проведение работ при оптимальной влажности грунта. На практике, в большинстве случаев, требуется корректировка исходного состояния грунта. При использовании традиционных методов уплотнения, изменение исходного состояния может производиться в весьма ограниченных пределах. Например, переувлажнённые в естественном со-

стоянии связные грунты, не могут быть уплотнены традиционными методами более, чем это позволяет ниспадающая правая ветвь графика стандартного уплотнения.

Любой возможный вариант использования переувлажнённого грунта сопряжён с повышением стоимости строительства и увеличением объёма работ. Изменение любого из параметров исходного физического состояния грунта, влечёт за собой изменение механических свойств уплотнённого основания. Исходное состояние грунта оказывает влияние на ход основных процессов, таких как консолидация, ползучесть, релаксация и др.

Таким образом, знание и учёт исходного физического состояния грунта, технологического режима уплотнения, закономерностей изменения прочности, деформируемости, суффозионной устойчивости, водопроницаемости, изменений физического состояния грунта в результате уплотнения, позволяют совершенствовать существующие подходы в прогнозировании уплотнения грунтов тяжёлыми трамбовками и обеспечить получение достоверных результатов исследуемых параметров.

Список источников

1. Справочник геотехника: основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общ. ред. В.А. Ильичёва и Р.А. Мангушева. – Москва: Издательство АСВ, 2014. – 727 с.
2. Зарецкий Ю.К. Глубинное уплотнение грунтов ударными нагрузками / Ю.К. Зарецкий, М.Ю. Гарицелов. – Москва: Энергоатомиздат 1989. – 192 с.
3. Проектирование и устройство оснований из насыпных, малопрочных и слабых грунтов, уплотнённых вибродинамическим методом: П-5-2000 к СНБ 5.01.01.-99.– Минск. Минскостройархитектуры, 2011, 126 с.
4. Пойта, П.С. Строительные свойства искусственных оснований / П.С. Пойта. – Брест: Изд. БрГТУ, 2004.-164 с.