

### ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА ТЯЖЕЛЫМИ ТРАМБОВКАМИ

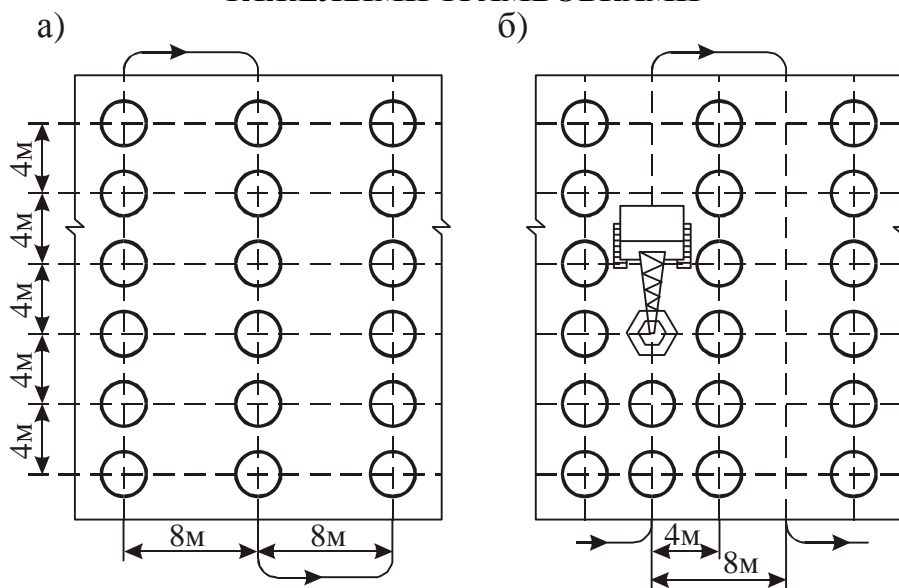


Рис. 1. Схема уплотнения оснований по условной сетке размером 4x8м:  
а – первый этап; б – второй этап (через 10 дней).

Строительство зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях связано с выполнением весьма значительных объемов работ, связанных с инженерной подготовкой территорий, либо устройством фундаментов, передающих нагрузки на прочные грунты, расположенные на сравнительно большой глубине. Ю.К. Зарецкий и М.Ю. Гарицелов [1] отмечают, что экономически целесообразной является инженерная подготовка территорий, выполненная с применением технологии поверхностного уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками. Использование тяжелых трамбовок для уплотнения слабых грунтов оказывает решающее влияние на качество грунтов оснований, в частности на физико-механические характеристики, интенсивность выполнения работ, экономические показатели. На эффективность уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками (интенсивное ударное уплотнение) влияет ряд факторов и это не позволяет менять определенные технологические параметры и однозначно прогнозировать их качество. В их числе различие физико-механических свойств слабых грунтов естественного залегания, их структура, условия залегания в уплотненном массиве и такой важный фактор, как схема уплотнения.

В ряде работ, посвященных исследованиям уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками, в большинстве случаев рассматривается квадратная схема, суть которой заключается в расположении точек удара трамбовки в вершинах квадрата (рис. 1).

Уплотнение грунтов осуществляется в один либо в два этапа. При производстве работ по одноэтапной схеме точки, в которых производится уплотнение грунтов, расположены по вершинам квадрата. При этом уплотнение выполняют во всех точках с начала и до конца. При двухэтапной схеме вначале производят уплотнение в точках, расположенных по вершинам больших квадратов. Затем делают технологический перерыв, составляющий от 10 до 30 суток [1]. По окончании перерыва

производят дальнейшее уплотнение грунта в точках, расположенных в середине расстояния между существующими отпечатками трамбовки. В итоге получается схема размещения точек трамбования грунта, как и при одноэтапной схеме.

Следует отметить, что каких-либо рекомендаций по выбору длины стороны квадрата не существует. В большинстве случаев сторона квадрата принималась равной 4,0 м. Но очевидно, что на формирование зоны уплотнения большое значение имеют свойства уплотняемых грунтов, их мощность, наличие более прочного подстилающего слоя на глубине 2,0...8,0 м., энергия удара, размеры трамбовки и т.д. Однако влияние этих факторов при выборе схемы уплотнения грунта тяжелыми трамбовками не учитывалось. Если результаты экспериментальной проверки физико-механических характеристик уплотненного грунта давали удовлетворительные значения, то в дальнейшем схема не менялась.

В работах других авторов [2] рекомендуется трамбование грунтов осуществлять с перекрытием следов отдельными циклами при постоянном повороте стрелы крана по мере перехода с одного следа на другой (рис. 2). В каждой точке выполняют по 2 – 4 удара трамбовки. Затем изменяют вылет стрелы крана, либо кран переезжает назад.

Но такая схема совершенно не применима при уплотнении водонасыщенных грунтов, ибо, как отмечают Ю.К. Зарецкий, М.Ю. Гарицелов и др. [1, 3], при производстве работ по такой схеме возможно ожигание грунтов, т.е. существует опасность перехода грунтов в подвижное состояние. Следовательно, такая схема уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками является вообще не приемлемой для водонасыщенных оснований.

С другой стороны после 2-4 ударов, как показывает практика уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками, образуется отпечаток глубиной до 40...60 см в зависимости от энергии удара и первоначальных свойств грунта и имеющий опреде-

*Пойта Петр Степанович, доктор технических наук, ректор Брестского государственного технического университета.*

*Тарасевич Алексей Николаевич, кандидат технических наук, доцент каф. оснований фундаментов, инженерной геологии и геодезии Брестского государственного технического университета.*

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

ленный откос. Учитывая, что, как правило, для уплотнения грунтов используются краны с гибкой подвеской трамбовки, обеспечить частичное перекрытие ранее полученного отпечатка весьма проблематично.

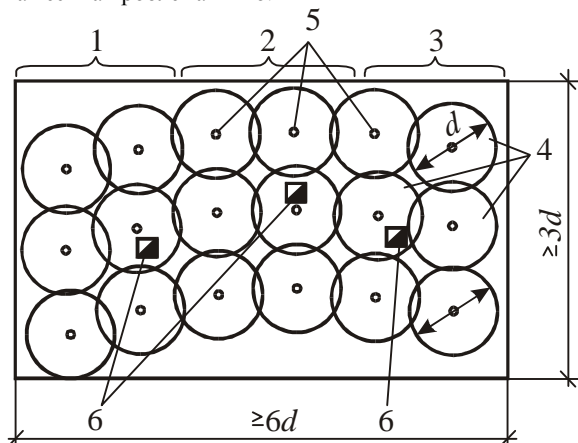


Рис. 2. Схема опытного участка для уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками: 1 – 3 – участки грунта с влажностью соответственно  $0,8\omega_p$ ,  $\omega_p$ ,  $1,2\omega_p$ ; 4 – следы ударов трамбовки; 5 – точки нивелирования (штыри); 6 – шурфы или радиометрические скважины для определения  $\rho_d$  и  $\omega$ .

Более того, удар трамбовки с частичным перекрытием ранее полученного отпечатка вызывает обрушение откоса, а следовательно, исключается возможность эффективного использования такой схемы.

Нормативные документы Республики Беларусь [4] рекомендуют при производстве работ по уплотнению грунтов тяжелыми трамбовками поверхность строительной площадки разбивать на отдельные участки, равные  $1,4...1,5$  радиуса действия стрелы крана, и работы выполнять по схеме, приведенной на рис. 3.

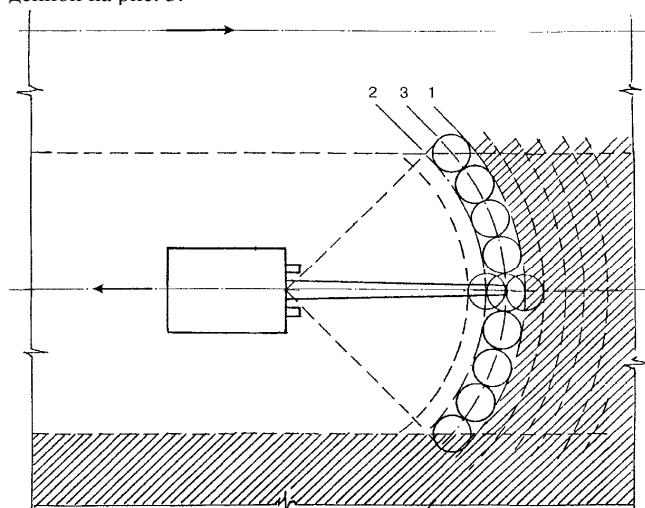


Рис. 3. Схема производства работ по уплотнению грунтов тяжелой трамбовкой: 1 – первый цикл (2 удара); 2 – второй цикл (2 удара); 3 – третий цикл (2 удара); далее повторение циклов до получения отказов.

Затем трамбование грунта в пределах каждого участка следует производить в последовательности, указанной на рис. 4. При этом трамбование грунта осуществляется по всему выделенному участку двумя-тремя ударами трамбовки в каждой точке. После завершения уплотнения при первой проходке производят трамбование уже при второй проходке, и так, до завершения работ на выделенном участке.

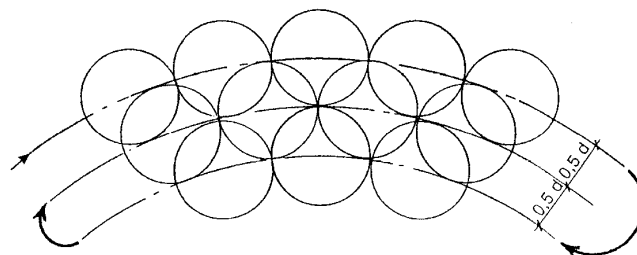


Рис. 4. Схема трамбования в пределах отдельных участков.

Анализ всех, выше рассмотренных схем уплотнения грунтов, показывает, что ни одна из них не является оптимальной по следующим причинам:

- не обеспечивается равномерное уплотнение грунта по всей площадке (рис. 1, 2);
- исключается возможность уплотнения водонасыщенных оснований ввиду отсутствия технологического перерыва;
- увеличиваются трудозатраты, а, следовательно, и стоимость работ из-за необходимости двух-четырёхкратного прохождения крана по одному и тому же пути;
- затруднение выполнения работ по уплотнению грунтов при сплошном трамбовании из-за сложности обеспечения формирования последующего отпечатка с рядом расположенным.

Для оценки качества основания, полученного методом интенсивного ударного уплотнения с использованием различных схем, выполнен анализ экспериментальных данных распределения плотности сухого грунта  $\rho_d$  на различных уровнях.

С этой целью на опытной площадке было выполнено уплотнение грунтов по квадратной и треугольной схемам (рис. 5). Расстояние между точками уплотнения  $L'$  определено по формуле (14).

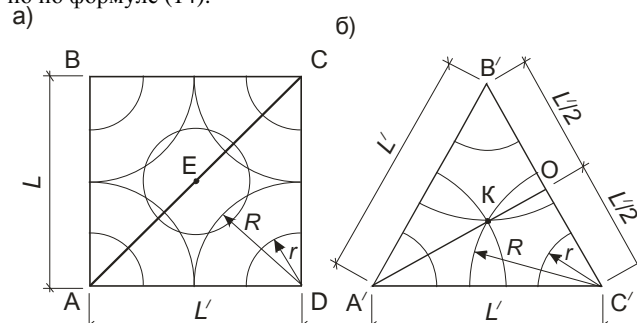


Рис. 5. Схема уплотнения грунтов: а – квадратная; б – треугольная;  $r$  – радиус трамбовки;  $R$  – радиус зоны уплотнения.

Результаты опытов позволили установить распределение плотности сухого грунта на различных уровнях при различных схемах уплотнения (рис. 6, 7).

Анализ полученных данных показывает, что квадратная схема, наиболее часто применяемая в практике подготовки искусственных оснований, не обеспечивает качество уплотненного грунта как по площади, так и по глубине. В центре квадрата (точка  $E$ ) ввиду отсутствия наложения зон уплотнения друг на друга в верхней части имеет место неуплотненная область, мощностью до 75 см. Различие показателей  $\rho_d$  уплотненного и неуплотненного грунта здесь составляет 1,2 раза. Несколько меньше это различие на двух- и трехметровой глубине. Сопоставление положения точек пересечения зон уплотнения грунта в нижней части уплотняемой толщи показывает, что проекция точки  $E$  на 60 см выше проекции точки  $M$ . Это свидетельствует о снижении мощности уплотняемого слоя грунта. Следует отметить, что кажущееся относительно небольшое различие в значениях  $\rho_d$  (1,2 раза) означает отличие в деформационных и прочностных характеристиках грунта в 1,5...2,5 раза.

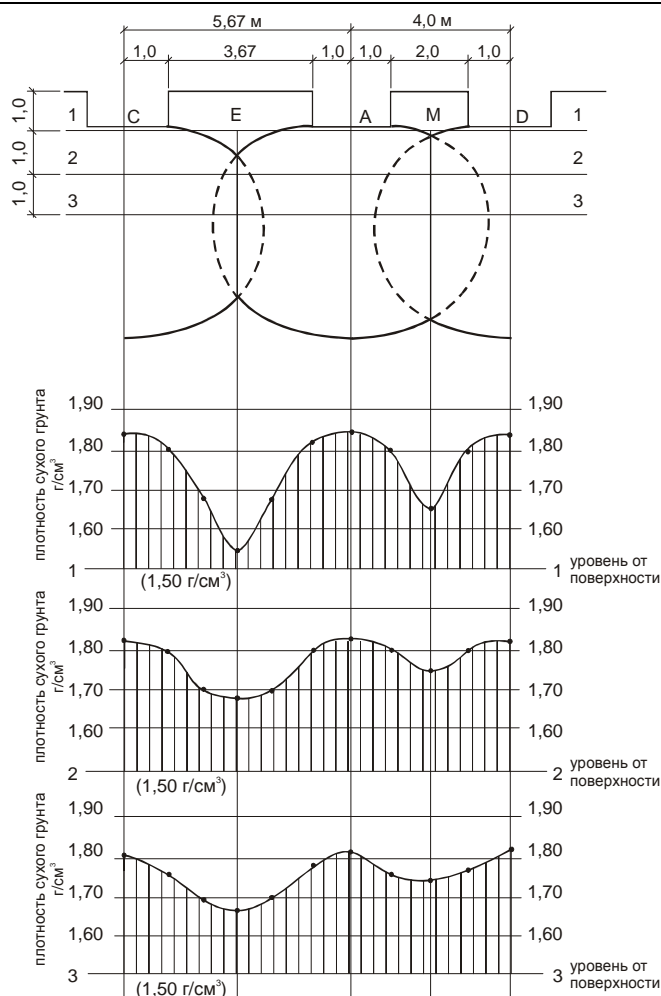


Рис. 6. Распределение плотности сухого грунта на различных уровнях при квадратной схеме уплотнения.

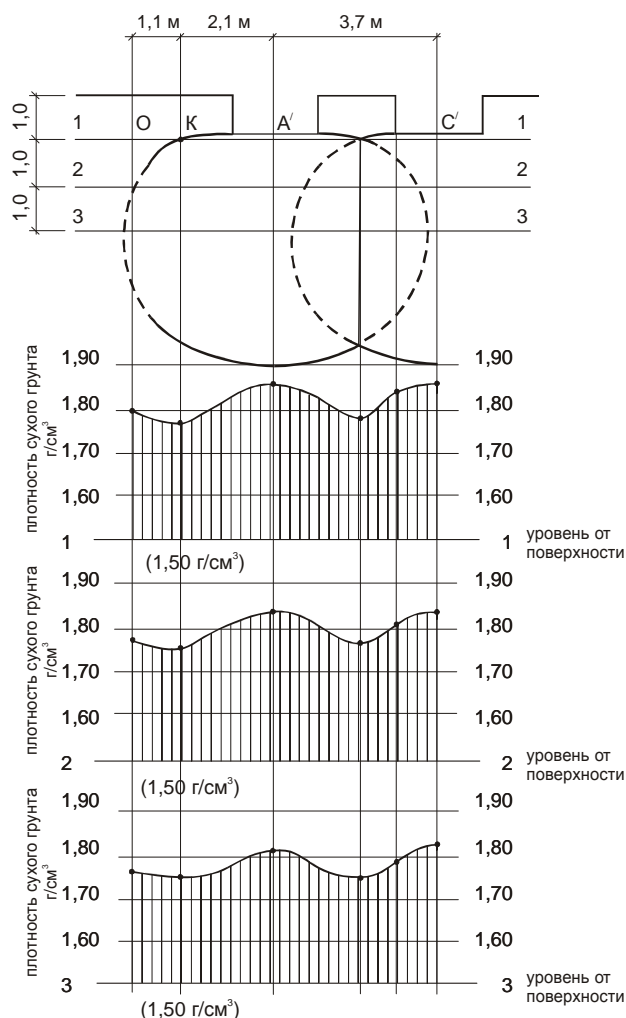


Рис. 7. Распределение плотности сухого грунта на различных уровнях при треугольной схеме уплотнения.

Таким образом, выполненные экспериментальные исследования доказывают несостоятельность применяемых квадратных схем уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками, ибо наличие неуплотненных зон в значительной степени снижает качество искусственных оснований и ведет к развитию неравномерных осадок зданий и сооружений.

Отмеченные выше недостатки исключены в предлагаемой нами треугольной схеме уплотнения грунтов. Максимальное различие в значениях  $\rho_d$  в данном случае составляет 1,04 раза.

Важным преимуществом треугольной схемы является практически полное исключение неуплотненных зон грунта, большая мощность уплотненного слоя. Более того, при условии обеспечения одинакового качества уплотняемого грунта, применение треугольной схемы обеспечивает снижение энергозатрат при производстве работ по уплотнению грунтов тяжелыми трамбовками.

**Выводы:**

1. Из всех рекомендуемых для применения схем уплотнения

УДК 624.131

*Пойта П.С., Шалобыта Т.П.*

**О ВЗАИМОСВЯЗИ ОПРЕДЕЛЕННЫХ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТОВ С ДАННЫМИ ИХ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

Строительные нормы Республики Беларусь [1] требуют, чтобы типы, виды и разновидности грунтов при проектировании оснований зданий и сооружений именовались в соответ-

ствии с СТБ 943-93 [2]. Действие данного документа распространяется на все грунты и устанавливает их классификацию, применяемую при инженерно-геологических изысканиях,

2. Выполненные экспериментальные исследования качества уплотнения подтвердили высокую эффективность предложенной треугольной схемы.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Зарецкий Ю.К., Гарицелов М.Ю. Глубинное уплотнение грунтов ударными нагрузками. - М.: Энергоатомиздат. 1989. - 192 с.
2. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения. - М.: Стройиздат. 1985. - 480 с.
3. Абелев Ю.М. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах. - М.: Госстройиздат. 1962. - 148 с.
4. Пособие П1-97 и СнИП 2.02.01-83. Проектирование и уплотнение оснований зданий и сооружений тяжелыми трамбовками. - Минск: Минстройархитектура. 1997. - 35 с.