

*Черныш А.С., канд. техн. наук, проф.**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## УПЛОТНЕНИЕ ГРУНТОВ С ОДНОВРЕМЕННЫМ ВЫТРАМБОВЫВАНИЕМ КОТЛОВАНОВ

[gkadastr@mail.ru](mailto:gkadastr@mail.ru)

Особенностью строительства в Центрально-черноземном районе является наличие толщ просадочных суглинков. Для устранения влияния просадочных грунтов на фундаменты зданий применяются в основном свайные фундаменты или применяются схемы реализации просадок не превышающих допустимых величин. Расчет размеров фундаментов осуществляется по характеристикам суглинков в водонасыщенном состоянии, что приводит к увеличению стоимости фундаментов. Однако большего внимания заслуживают технологические схемы, предусматривающие уплотнение грунтов с одновременным вытрамбовыванием котлованов под фундаменты, что значительно уменьшает объем земляных работ (в 3-6 раз), и позволяет увеличивать нагрузки на основание. В статье рассматриваются результаты опытных работ по вытрамбовыванию котлованов в просадочных грунтах суглинках) и приводится анализ изменения расчетных характеристик грунтов. Даны некоторые рекомендации по вытрамбовыванию котлованов.

**Ключевые слова:** Фундамент, трамбование, трамбовка, уплотнение, котлован, просадочные грунты, суглинки, деформации, плотность, плотность сухого грунта, просадка, прочностные свойства грунтов

Инженерно-геологические условия строительства в центрально-черноземном районе России и, в частности, в Белгородской области характеризуются наличием на водоразделах толщ просадочных суглинков. Мощность просадочных толщ составляет от 2...3 м до 10...15 м, суглинки твердой и полутвердой консистенции с коэффициентом пористости от 0,75 до 1,2 д.е. Для устранения влияния просадочных грунтов на фундаменты зданий применяются в основном свайные фундаменты. Однако большего внимания заслуживают технологические схемы, предусматривающие уплотнение грунтов с одновременным вытрамбовыванием котлованов под фундаменты, что значительно уменьшает объем земляных работ (в 3...6 раз), и позволяет увеличивать нагрузки на основание [1... 5].

Нагрузка от фундаментов по подошве и боковым стенкам передается вначале на уплотненный грунт, а затем на грунты природного сложения, благодаря чему и достигается более высокая несущая способность фундаментов по грунту оснований, существенно снижаются размеры фундаментов (объем фундаментов снижается в 2...3 раза).

Внедрение технологий вытрамбовывания котлованов ограничивается отсутствием конкретных рекомендаций по разработке технологических схем вытрамбовывания и расчетных параметров грунтов. Цель данной работы;

– оптимальные параметры при подготовке грунтов к уплотнению;

– технология производства работ по трамбованию;

– определение зависимости изменения плотности грунта по глубине и в стороны от трамбуемого котлована;

– определение расчетных характеристик грунтов для проектирования фундаментов.

Учитывая влияние динамических воздействий на близкорасположенные существующие сооружения, фундаменты в вытрамбованных котлованах при массе трамбовки 30...60 кН следует располагать на расстоянии не менее: 10 м – от эксплуатируемых сооружений, не имеющих деформаций, и 5 м – от неэксплуатируемых; 15 м – от сооружений, имеющих трещины в стенах.

В первую очередь, рационально применять предлагаемый метод для сооружений, у которых фундаменты столбчатого вида, с передаваемой нагрузкой на основание до 1000...1100 кН.

Для выполнения поставленных задач исследований при испытаниях использовались трамбовки массой от 15 кН до 70 кН диаметром от 0,6 до 1,5 м и квадратные со сторонами от 0,5×0,5 м до 1,2×1,2 м.

Для сбрасывания трамбовок применялись краны-экскаваторы и др. механизмы с навесным оборудованием, включающим направляющую штангу, каретку и трамбовку. Штанга длиной 8...12 м обеспечивала вертикальность падения трамбовки след в след. С целью обеспечения вытрамбовывания котлованов определенной глубины применялись трамбовки высотой от 1,0 до 2,6 м. Трамбовки сбрасывались с высоты 5...8 м. На вытрамбовывание одного котлована глубиной 1...2 м, передвижение механизма и установку трамбовки в нужном положении затрачивалось от 6 до 22 минут. Удельное давление принималось не менее 0,05 МПа.

При вытрамбовывании сочетаются два процесса – разработка котлована и уплотнение грунтов в основании, что обеспечивает устранение просадки грунта на определенную глубину и высокую несущую способность фундамен-

тов. Для повышения несущей способности грунтов под фундаментами в дно котлована втрамбовываются порциями жесткий грунтовый материал (щебень, песчано-гравийная смесь, крупный песок и т.п.).

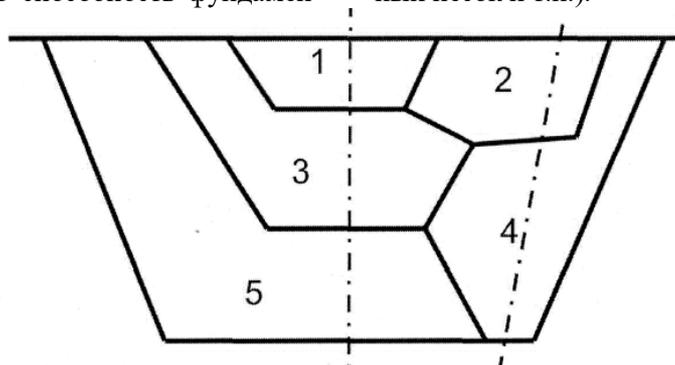


Рис.1. Последовательность вытрамбовывания котлована в два следа под спаренный фундамент у осадочного шва; 1...5 – этапы вытрамбовывания

По результатам наблюдений за вытрамбовыванием котлованов выделены следующие процессы:

1 – вытрамбовывание котлованов происходит вследствие приложения на грунт ударной нагрузки при падении трамбовки. На контакте трамбовки с грунтом возникают динамические контактные напряжения, которые определяют эффективность процесса вытрамбовывания котлованов и зависят в основном от массы трамбовки и ее удельного статического давления по основанию и боковым стенкам котлована, высоты сбрасывания трамбовки, продолжительности удара, т.е. времени взаимодействия трамбовки с грунтом. Динамические контактные напряжения передаются в грунтовый массив с определенной скоростью в виде ударной волны, уменьшаясь с глубиной. Процесс вытрамбовывания котлова-

нов в различных грунтах в зависимости от их физико-механических характеристик и формы трамбовки протекает по-разному, и состоит из следующих этапов: уплотнение грунта с формированием уплотненной зоны, продавливание уплотненной зоны, вытеснение грунта в стороны, выпор его вверх и в стороны, а также разуплотнение грунта в стенках и дне котлована его разжижения.

Уплотнение грунта в процессе вытрамбовывания котлованов происходит вследствие остаточных деформаций сжатия грунта при приложении к нему динамических напряжений в момент удара трамбовки и сопровождается в основном вытеканием воздуха из пор грунта. Образуется новая структура с более плотной укладкой частиц и агрегатов грунта.

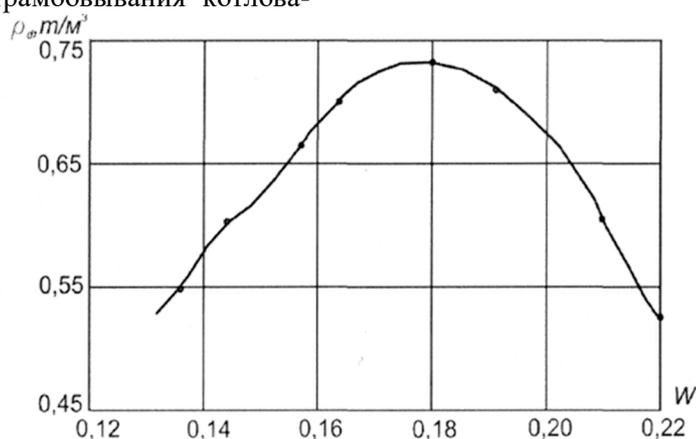


Рис. 2. Зависимость плотности  $\rho_d$  уплотненного суглинистого грунта в сухом состоянии от его влажности

Уплотняемость грунтов определяется главным образом их влажностью [1, 4, 6]. Зависимость плотности уплотняемого грунта от его влажности выражается характерной кривой стандартного уплотнения (рис. 2), в соответствии с которой вначале с увеличением влаж-

ности плотность сухого грунта возрастает, а затем при достижении максимального значения снижается.

В связи с этим, уплотняемость грунтов характеризуется максимальной плотностью уплотненного грунта и оптимальной влажностью

[7... 9]. Максимальная плотность уплотненного грунта представляет собой наибольшую плотность сухого грунта  $\rho_{d \max}$ , достигаемую при принятых режимах, методах и энергии уплотнения. Оптимальной влажностью  $W_0$  называют влажность, при которой достигается максимальная плотность уплотненного сухого грунта и требуется наименьшая затрата работы для достижения максимальной плотности грунта при заданном режиме уплотнения. Коэффициент уплотнения  $K_{уп}$  представляющий собой отношение заданного и фактически полученного значения плотности сухого уплотненного грунта к его максимальному значению по стандартному уплотнению  $\rho_{d \max}$ , т.е.

$$K_{уп} = \frac{\rho_d}{\rho_{d \max}} \quad (1)$$

Зона распространения уплотнения представляет собой толщу грунта  $h_{уп}$ , в пределах которой происходит повышение его плотности и распространяется от уплотняемой глубины, на которой плотность сухого грунта повышается не менее чем на  $0,02 \text{ т/м}^3$  по сравнению со значени-

ем его до уплотнения. За уплотненную зону  $h_{уп}$  принимают толщу грунта, в пределах которой плотность последнего не ниже заданного или допустимого его минимального значения.

Уплотнение грунтов происходит вследствие накопления остаточных деформаций при циклических нагрузках и продолжается до известного предела после передачи на грунт определенной работы. Дальнейшее увеличение энергии уплотнения без изменения режима уплотнения сопровождается продавливанием уплотненной зоны без существенного повышения плотности грунта.

Такое состояние грунта, при котором в процессе уплотнения его плотность практически не повышается, называем уплотнением до отказа, а повышение плотности грунта при единичном приложении нагрузки характеризуемое понижением уплотняемой поверхности от одного удара или прохода – отказом (рис.4) [1, 10]. Наибольшее уплотнение при  $S_r < 0,7$ , с невысокой природной степенью плотности, к которой относятся просадочные лессовые грунты.

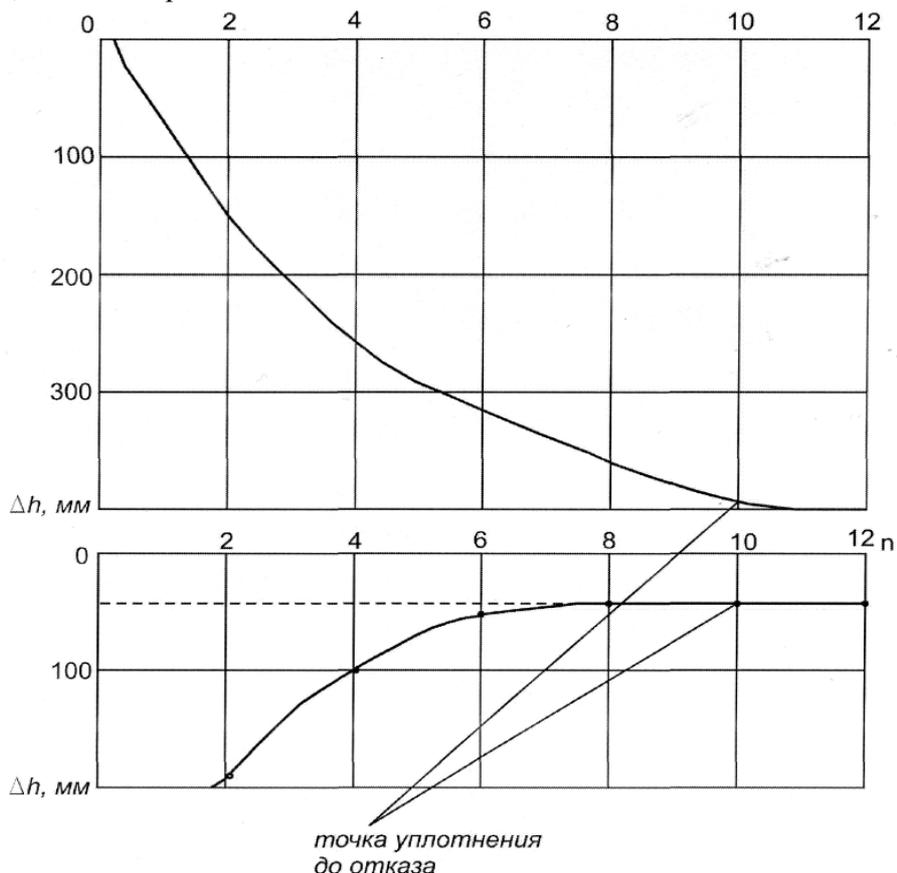


Рис. 4. Зависимость понижения трамбуемой поверхности  $\Delta h$  от числа ударов  $n$  трамбовкой (а) и от двух ударов (б)

При  $S_r > 0,7$  при вытрамбовывании котлованов возможно некоторое уплотнение грунта в результате отжатия из него свободной воды под влиянием динамического воздействия. В соответствии с приведенными на рис.4 данными про-

давливание уплотненной зоны начинается после шести ударов трамбовкой.

Глубина  $\Delta h$ , с которой начинается продавливание уплотненной зоны грунта при вытрамбовывании котлованов, определяется по формуле

$$\Delta h = \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_{d,yn}}\right) \cdot h_{eg} \quad (2)$$

где  $\rho_d$  – среднее значение плотности сухого грунта до уплотнения;  $\rho_{d,yn}$  – тоже, в пределах зоны распространения уплотнения  $h_{yn}$  принимаемая.

$$\rho_{d(yn)} = \frac{1}{2\left(\rho_d + \frac{S_r \cdot \rho_s \cdot \rho_w}{S_r \cdot \rho_w + W \cdot \rho_s}\right)}$$

$$\rho_{d(yn)} = \frac{1}{2}\left(\rho_d + \frac{S_r \cdot \rho_r \cdot \rho_w}{S_r \cdot \rho_w + W \cdot \rho_s}\right) \quad (3)$$

где  $\rho_s$  – плотность твердых частиц грунта,  $\text{кН/м}^3$ ;  $S_r$  – степень влажности уплотненного грунта, принимаемая 0,9;  $\rho_w$  – плотность воды, принимаемая равной  $1 \text{ кН/м}^3$ ;  $m_{yn}$  – коэффициент, учитывающий боковое расширение грунта в стороны и принимаемый равным 1,25.

Процесс продавливания уплотненной зоны наиболее четко прослеживается при вытрамбовывании неглубоких котлованов трамбовками с плоским основанием и удельным статическим давлением более 0,3...0,4 МПа (рис. 5, кривые 1...4)

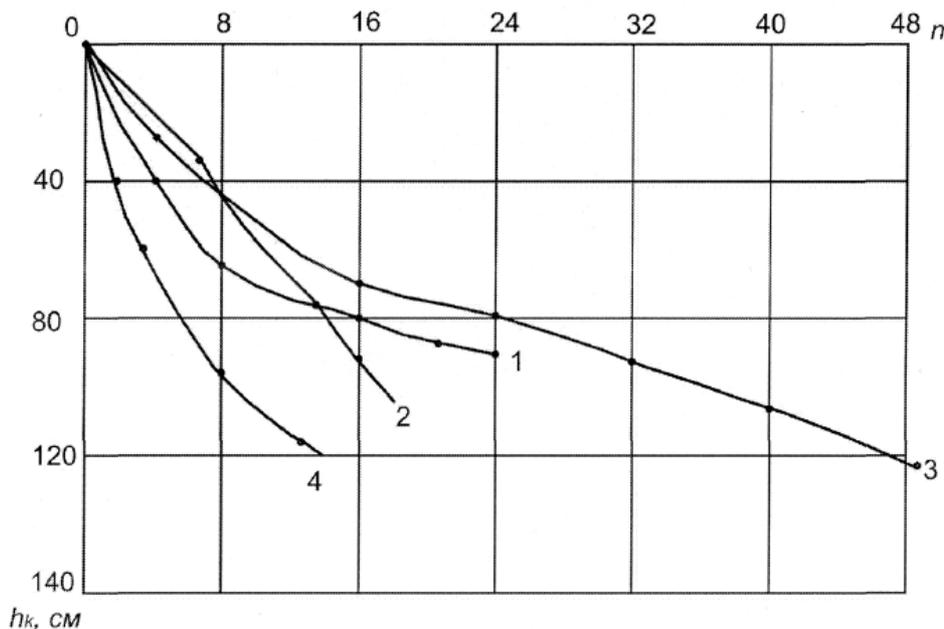


Рис. 5. Зависимость понижения дна котлованов  $h_k$  от числа ударов  $n$  трамбовкой на опытных площадках в просадочных грунтах: 1 –  $d_n = 1,4 \text{ м}$ ;  $P = 40 \text{ кН}$ ;  $\sigma_{ст} = 0,03 \text{ МПа}$ ;  $H = 8 \text{ м}$ ; 2 –  $d_n = 1,2 \text{ м}$ ;  $P = 55 \text{ кН}$ ;  $\sigma_{ст} = 0,04 \text{ МПа}$ ;  $H = 6 \text{ м}$ ; 3 –  $d_n = 1,1 \text{ м}$ ;  $P = 100 \text{ кН}$ ;  $\sigma_{ст} = 0,095 \text{ МПа}$ ;  $H = 13 \text{ м}$ ; 4 –  $d_n = 0,9 \text{ м}$ ;  $P = 50 \text{ кН}$ ;  $\sigma_{ст} = 0,06 \text{ МПа}$ ;  $H = 1 \text{ м}$

В процессе вытрамбовывания происходит выпор грунта в стороны и в верх, который вызывается тем, что объем вытесняемого грунта при вытрамбовывании котлована превышает необходимый грунт для создания уплотненной зоны. Грунт вначале перемещается в стороны, а затем вверх, из-за чего на поверхности вокруг котлована возникают вертикальные (вверх) и горизонтальные (в стороны от котлована) перемещения, что особенно характерно для плотных, а также в водонасыщенных и переувлажненных грунтах.

Разуплотнение грунта на дне и стенках котлованов обуславливается нарушением при заданном режиме трамбования равновесного состояния между суммарными силами сопротивления продавливанию уплотненной зоны и прочностью сформировавшейся новой структуры верхнего слоя грунта. При этом состоянии значительная часть энергии трамбования расходуется на образование упругих колебаний и дефор-

маций грунта в уплотненной зоне, в результате чего на контакте трамбовки с грунтом начинает формироваться зона разуплотнения грунта. Коэффициент уплотнения снижается до 0,87...0,91 с образованием радиальных и параллельных направлений трамбования трещин и обрушением грунта со стенок котлована. При  $J_p > 0,15 \dots 0,17$  разуплотнение практически отсутствует.

На эффективность вытрамбовывания и качество стенок и дна вытрамбовываемых котлованов влияет ряд факторов, которые делятся на две группы. К первой группе относятся параметры трамбовки - вес  $P$ , размеры в плане и высота ее сбрасывания, а также энергия удара, равная  $\mathcal{E} = PH$ . Ко вторым: вид, влажность и плотность сложения грунта.

При увеличении веса трамбовки  $P$  и удельного статического давления  $P_{ст}$ , глубина и эффективность вытрамбовывания котлованов возрастает. Например, для лессовидных суглин-

ков, при  $h_k = 1,1$  м и массой 100 кН при  $P_{cm} = 0,095$  МПа, сбрасываемой с высоты 8...10 м, составляло 20...25 см за удар от первых четырех - шести ударов и 5...6 см от последующих ударов, а погружение трамбовки шириной  $b_n = 1,2$  м и  $P_{cm} = 0,04$  МПа соответственно 10...15 и 2...3 см.

В процессе вытрамбовывания котлованов происходят вертикальные и горизонтальные перемещения грунта внутри грунтового массива - под котлованом и вокруг него, а также непосредственно у поверхности земли около котлованов. Специальные экспериментальные исследования позволили выявить всю картину перемещений грунта в основании вытрамбованных котлованов. Для этого было выполнено три опытных котлована, по средним осям которых было пробурено по 8 скважин диаметром 75 мм и глубиной 6 м, в которых через 0,5 м устраивались глубинные марки - фиксаторы, представляющие собой металлические цилиндрики  $d = 25$  мм и  $h = 30$  мм (по 64 марки на котлован). Исходное высотное положение фиксаторов скважины определяли нивелированием. По мере установки фиксаторов скважины заполняли грунтом с уплотнением. Вес трамбовки 55 кН;  $d_n = 1,4$  м;  $d_s = 1,5$  м и  $h = 1,6$  м, сбрасываемые с  $h = 6$  м. Котлованы вытрамбовывали глубиной 0,6, 1,10 и 1,4 м соответственно за 6, 12 и 20 ударов трамбовкой.

При глубине котлована  $h_k = 6$  м практически достигалось состояние уплотнения до отказа. После чего разрабатывали траншеи с расчисткой установленных в них фиксаторов. Вертикальные перемещения последних определяли нивелированием, а горизонтальные, - измеряя штангенциркулем расстояние по натянутой струне от зафиксированного исходного положения (осей) скважин до марок. Точность измерения составляла  $\pm 1$  мм.

Результаты определения перемещений грунта под котлованом глубиной 1,5 м приведены на рис.6, на котором перемещения показана стрелками-векторами в масштабе рисунка.

Величина перемещения представляет собой вектор с определенным уклоном. Вертикальные перемещения грунта постепенно уменьшаются по глубине и в сторону от центральной оси котлована. Например, по дну котлована у его оси составляют 95...110 см, на расстоянии 0,75 м от оси 30...40 см, а на глубине 2,2 м по оси - 4...5 см, т.е. практически затухают на глубине 2,5...2,65 м, или 1,9 диаметра

днища трамбовки. По оси котлована горизонтальные перемещения практически равны нулю, а по мере удаления от оси возрастают до максимума под краями котлована (в данном случае до 16...19 см) и затем уменьшаются до нуля. Величины перемещений грунта и размеры зоны их развития возрастают с увеличением глубины вытрамбованных котлованов: при глубине  $h_k$  равной 0,6; 1,1 и 1,4 м, глубина зоны перемещений составила 1,25; 1,75 и 1,9  $d_n$ , а ширина 2,05; 2,45; 2,65  $d$ .

На рис. 7 показаны результаты измерения перемещенной поверхности грунта, вызванных вытрамбовыванием котлованов на глубину 1,0 м при  $P = 4,5...5,5$  кН,  $b_n = 0,6-0,9$  м;  $b_s = 0,9...1,5$  м и высотой 1...1,6 м. Вертикальные перемещения  $U_v$  поверхности грунта определяли нивелированием ряда забитых в грунт металлических (арматурных) стержней-марок, расположенных в 20...30 см один от другого, а горизонтальные  $U_z$  - измеряя мерной лентой расстояния этих марок от неподвижной марки-репера, находившейся вне зоны влияния вытрамбовывания. Максимальные значения  $U_z$  наблюдаются непосредственно у стенки котлованов, а вертикальных - на расстоянии 20...30 см от них. В наименьшей степени вертикальные и горизонтальные перемещения развиваются при отсутствии влияния соседних котлованов.

Вертикальные и горизонтальные перемещения возрастают с уменьшением расстояния между котлованами. На опытной площадке максимальные значения  $U_z$  и  $U_v$  после вытрамбовывания котлованов при расстоянии между ними 1,5; 1,1 и 0,8 м составили соответственно 11, 15, 40 и 6, 10, 19 см. С увеличением горизонтальных перемещений происходит разуплотнение верхнего слоя грунта вокруг котлованов, сопровождающиеся возникновением в нем трещин, которые наблюдались при  $U_z > 20$  см.

Перемещения возрастают по мере увеличения глубины вытрамбовывания котлована (см. рис. 7), энергии удара трамбовки, плотности сложения и влажности грунта. Для установления расстояния (минимально допустимых) между соседними котлованами в случае ленточных прерывистых фундаментов, исходят из значений перемещений поверхности грунта. В качестве критерия принимается горизонтальное перемещение в размере 8...10 см; влияние которых на качество стенок котлованов практически незначительно.

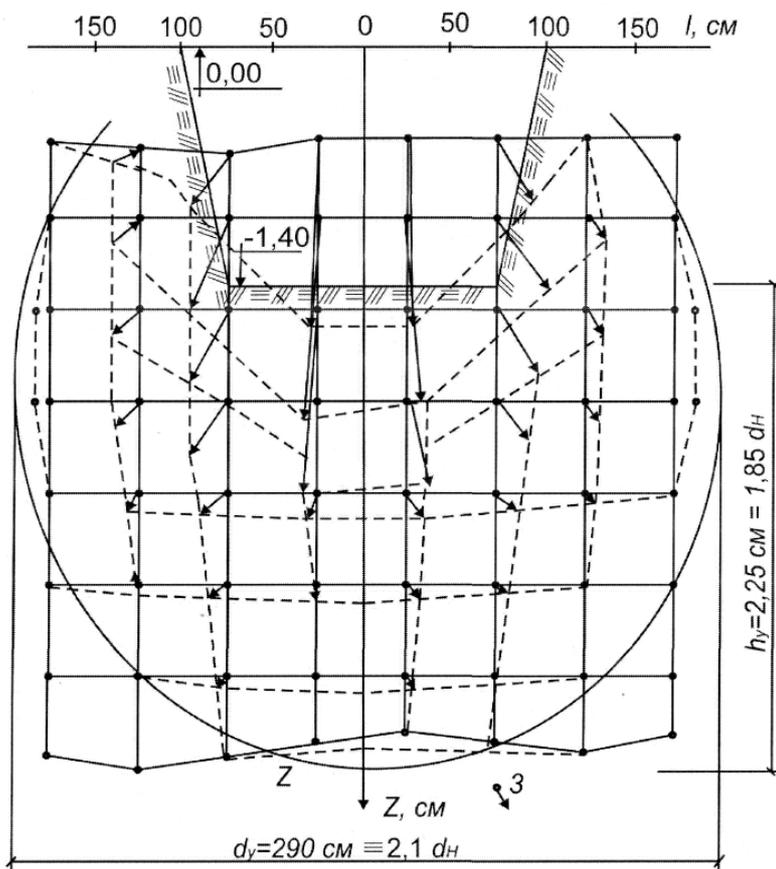


Рис. 6. Перемещения марок-фиксаторов в основании вытрамбованного котлована глубиной 1,4 м  
 1 – вытрамбованный котлован; 2 – граница зоны перемещений (уплотненной зоны); 3 – положение марок до и после вытрамбовывания;  $h_y$  и  $d_y$  – глубина и ширина уплотненной зоны

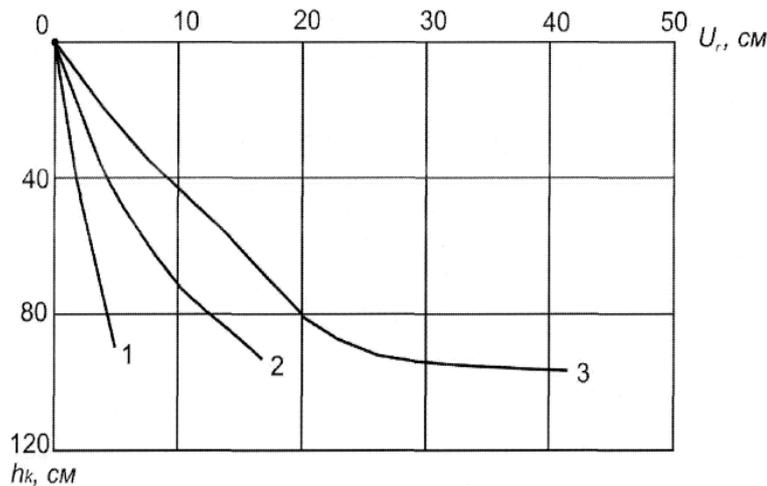


Рис. 7. Зависимость  $U_z$  от глубины котлованов  
 1,2,3 – при расстояниях между соседними котлованами 1,5; 1,1 и 0,8 м

Расстояния в свету рекомендуется принимать равным  $0,9 b_{cp}$  ( $b_{cp}$  – ширина фундамента в среднем по высоте, м).

Перед вытрамбовыванием под котлованом и вокруг него образуется уплотненная зона грунта, имеющая в поперечном сечении чаще форму усеченного эллипса, глубиной ниже дна котлована  $h_{упл} = (1,5 \dots 1,7) b_{cp}$  и шириной  $b_{упл} = (2,0 \dots 2,1) b_{cp}$ , где ширина котлована в среднем сечении по глубине –  $b_{cp}$ . Плотность грунта в су-

хом состоянии изменяется от 17,5 до 19,5 кН/м<sup>3</sup> до природного (по наружной зоне уплотнения). Максимальные размеры уплотненной зоны достигаются в грунтах с оптимальной влажностью, а  $\rho_d$  – при пониженной на 0,02...0,04 влажности.

Ориентировочное (предлагаемое) количество ударов трамбовкой при оптимальной влажности и при глубине проработки до 1,3 м (1,6 м) составляет:

Глинистые грунты (суглинки и глины)

а)  $d=0,6$  м - 10 ударов (нес. способн. основания -  $N_{осн} = 200$  кН);

$l \times b = 0,5 \times 0,5$  м (13 ударов) - ( $N_{осн} = 350$  кН);

б)  $d=0,8$  м - 12 ударов (нес. способн. основания -  $N_{осн} = 350$  кН);

$l \times b = 0,7 \times 0,7$  м (16 ударов) - ( $N_{осн} = 420$  кН);

в)  $d=1,0$  м - 14 ударов (нес. способн. основания -  $N_{осн} = 450$  кН);

$l \times b = 0,8 \times 0,8$  м (19 ударов) - ( $N_{осн} = 550$  кН);

г)  $d=1,2$  м - 16 ударов (нес. способн. основания -  $N_{осн} = 600$  кН);

$l \times b = 1,0 \times 1,0$  м (22 удара) - ( $N_{осн} = 730$  кН);

д)  $d=1,5$  м - 20 ударов (нес. способн. основания -  $N_{осн} = 800$  кН);

$l \times b = 1,2 \times 1,2$  м (27 ударов) - ( $N_{осн} = 1000$  кН);

Супеси и пылеватые пески

а)  $d=0,6$  м - 8 ударов (нес. способн. основания -  $N_{осн} = 150$  кН);

$l \times b = 0,5 \times 0,5$  м (13 ударов) - ( $N_{осн} = 270$  кН);

б)  $d=0,8$  м - 10 ударов (нес. способн. основания -  $N_{осн} = 280$  кН);

$l \times b = 0,7 \times 0,7$  м (15 ударов) - ( $N_{осн} = 360$  кН);

в)  $d=1,0$  м - 12 ударов (нес. способн. основания -  $N_{осн} = 360$  кН);

$l \times b = 0,8 \times 0,8$  м (17 ударов) - ( $N_{осн} = 450$  кН);

г)  $d=1,2$  м - 14 ударов (нес. способн. основания -  $N_{осн} = 460$  кН);

$l \times b = 1,0 \times 1,0$  м (20 ударов) - ( $N_{осн} = 560$  кН);

д)  $d=1,5$  м - 17 ударов (нес. способн. основания -  $N_{осн} = 650$  кН);

$l \times b = 1,2 \times 1,2$  м (24 удара) - ( $N_{осн} = 820$  кН);

Для повышения несущей способности основания, втрамбовывается жесткий материал.

Количество ударов трамбовкой уточняется производственными испытаниями.

В результате трамбования в уплотненной зоне значительно повышаются прочностные характеристики. Для предварительных расчетов можно предложить следующие значения удельного сцепления "С" и угла внутреннего трения "φ", при  $S_r = 0,65$ :

(суглинки)

при  $\rho_d = 17,5$  кН/м<sup>3</sup> -  $C = 0,06$  МПа и  $\varphi = 25^\circ$ ;

при  $\rho_d = 17,0$  кН/м<sup>3</sup> -  $C = 0,05$  МПа и  $\varphi = 24^\circ$ ;

при  $\rho_d = 16,5$  кН/м<sup>3</sup> -  $C = 0,045$  МПа и  $\varphi = 23^\circ$ ;

при  $\rho_d = 16,0$  кН/м<sup>3</sup> -  $C = 0,038$  МПа и  $\varphi = 21^\circ 30'$

После водонасыщения основания ( $S_r > 0,8$ ):

при  $\rho_d = 17,5$  кН/м<sup>3</sup> -  $C = 0,04$  МПа и  $\varphi = 23^\circ$ ;

при  $\rho_d = 17,0$  кН/м<sup>3</sup> -  $C = 0,036$  МПа и  $\varphi = 22^\circ$ ;

при  $\rho_d = 16,5$  кН/м<sup>3</sup> -  $C = 0,032$  МПа и  $\varphi = 21^\circ$ ;

при  $\rho_d = 16,0$  кН/м<sup>3</sup> -  $C = 0,027$  МПа и  $\varphi = 20^\circ 30'$ .

В уплотненной зоне "ρd" (с глубины 0,2...0,25 м) изменяется в пределах 7,5...16,0 кН/м<sup>3</sup> (толща в которой  $\rho_d < 16,0$  кН/м во внимание не принимается, что идет в запас прочности).

В процессе трамбования в уплотненной зоне прочностные характеристики повышаются в 3...4 раза. А модуль деформации в 2...3 раза.

Максимальная величина расчетного сопротивления  $R_{1,2}$  на основании в вытрамбованном котловане не должна превышать при ширине фундамента в среднем сечении

$$b_{cp} < 0,8 \text{ м} - R_{1,2} < 0,5 \text{ МПа};$$

$$b_{cp} < 1,4 \text{ м} - R_{1,2} < 0,6 \text{ МПа}.$$

Расчетное сопротивление  $R_1$  на уплотненный грунт по его прочностным характеристикам определяется по формуле СНиП 2.02.01 - 83.

Расчетное сопротивление  $R_2$  на уплотненный грунт, определяемое из условия устранения просадки грунта подстилающего слоя вычисляется по формуле:

$$R_2 = kP_{sl} - P_{\delta z} + \alpha P \delta$$

где  $k$  - коэффициент, учитывающий повышение величины начального просадочного давления за счет распределения уплотнения за пределы уплотняемой зоны, принимаемый равным по компрессионным испытаниям -  $k = 1,5$ ; по штамповым испытаниям -  $k = 1,2$ ;

$P_{sl}$  - величина начального просадочного давления подстилающего слоя, определяемая по компрессионным испытаниям грунтов, МПа;

$P_{\delta z} (\sigma_{z0})$  - природное давление на кровлю подстилающего слоя, МПа;

$P_{\delta}$  - природное давление на отметке заложения фундамента, МПа;

$\alpha$  - коэффициент уменьшения дополнительного давления от фундамента на кровлю подстилающего слоя, определяемый по СНиП 2.02.01-83.

10. При проверке устойчивости фундамента на сдвиг от горизонтально действующей нагрузки  $Q$  необходимо соблюдать условие:

$$Q < q b_{ch} h_k \quad (6)$$

Для предварительной оценки устойчивости можно принять следующие значения отпора грунта  $q$  от вертикального давления:

Глинистые грунты (глины и суглинки)

1) при  $R_1 = 200$  кПа -  $q = 70$  кПа.

2) при  $R_1 = 400$  кПа -  $q = 120$  кПа.

3) при  $R_1 = 600$  кПа -  $q = 170$  кПа.

Пылеватые пески и супеси

1) при  $R_1 = 150$  кПа -  $q = 50$  кПа.

2) при  $R_1 = 300$  кПа -  $q = 80$  кПа.

3) при  $R_1 = 500$  кПа -  $q = 130$  кПа.

Проведенные испытания позволили предложить рекомендации по вытрамбовыванию котлованов на лессовых просадочных грунтах:

1. Наиболее широко может применяться данный метод для сооружений, у которых фундаменты столбчатого вида, с передаваемой нагрузкой на основание до 1000...1100 кН (на один фундамент).

2. Данный метод позволяет устранить просадку лессовых грунтов на определенную глубину и обеспечить высокую несущую способность.

Для повышения несущей способности грунтов под фундаментами, в дно котлована втрамбовывается порциями жесткий грунтовый материал (щебень, песчано-гравийная смесь, крупный песок и т.п.)

Объем земляных работ сокращается в 3...5 раз. При бетонировании враспор исключаются опалубочные работы, обеспечивается плотное примыкание стенок фундамента к поверхности грунта. Это позволяет включать в работу уплотненный грунт примыкающий к его боковым стенкам, что в свою очередь, позволяет существенно снизить размеры фундаментов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крутов В.И., Галицкий В.Г., Мусаелян А.А. и др. Уплотнение просадочных грунтов. М.: Стройиздат, 1974.
2. Крутов В.И. Основания и фундаменты на просадочных грунтах. Киев: БудІвельник, 1982.
3. Крутов В.И., Багдасаров Ю.А., Рабинович

И.Г. Фундаменты в вытрамбованных котлованах. М: Стройиздат, 1985.

4. Стародворский В.В., Шаевич В.М. Исследование несущей способности фундаментов в вытрамбованных котлованах с уширенным щебеночным основанием при горизонтальных динамических воздействиях. - В кн.: Динамика оснований, фундаментов и подземных сооружений (материалы V Всесоюзной конференции). М, 1981 (НИИ ОСП).

5. Руководство по проектированию оснований зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1978.

6. Джитенов А.К., Куликов Г.В., Модликов Х. Искусственные основания и устойчивость инженерных сооружений на Прикопетдагской равнине. Ашхабад: Издательство Минвуза ТССР, 1978.

7. Куликов Г.В. и др. Уплотнение искусственных сооружений на слабых грунтах механическими методами. ЛДК ДогГТУ, Горловка, 2001.

8. Руководство по геотехническому контролю при производстве земляных работ. М.: Стройиздат, 1974.

9. Хархута Н.Я., Васильев Ю.М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна на автомобильных дорогах. М.: Транспорт, 1975.

10. Джитенов А.К., Куликов Г.В. О методе уплотнения лессовых грунтов Прикопетдагской равнины подводным взрывом. Труды ТПИ, вып. XVII. Ашхабад: Издательство Минвуза ТССР, 1971.

**Chernysh A.S.**

#### SOIL COMPACTION WITH SIMULTANEOUS WYRMBANE PITS

*Construction in the Central black earth region is the presence of subsiding strata of loam. To eliminate the influence of subsiding soils at foundations of buildings, mainly used in pile foundations or apply sales scheme drawdowns do not exceed allowable values. The calculation of the dimensions of the foundations is carried out on the characteristics of loam soil in saturated condition, which leads to an increase in the cost of foundations. However, the more noteworthy of the technological scheme, providing for dynamic soil compaction and the creation of pits for foundations, which significantly reduces the amount of earthworks (3-6 times), and allows to increase the load on the base. The article discusses the results of experimental work on dynamic compaction and the creation of pits in collapsible soil loam) and provides an analysis of changes in the design characteristics of soils. Some recommendations on dynamic compaction of pits.*

**Key words:** foundation, compaction, compaction, compaction, excavation, collapsible soils, loam, deformation, density, dry density of soil, subsidence, strength properties of soils.