

# Утрамбовывание просадочных лессовых грунтов тяжелыми трамбовками и разработка новых конструкций трамбовок на основе использования утилизированных покрышек

УДК 624.15

## Габиров Фахрадин Гасан Оглы

доцент, кандидат технических наук, академик РАЕН, заслуженный изобретатель СССР, заведующий лабораторией оснований, фундаментов и механики грунтов Азербайджанского научно-исследовательского института; e-mail: farchad@yandex.ru;

## Халафов Намик Мадат Оглы

старший научный сотрудник лаборатории оснований, фундаментов и механики грунтов Азербайджанского научно-исследовательского института; e-mail: farchad@yandex.ru;

## Амрахов Азад Тахир Оглы

канд. техн. наук, замдиректора Азербайджанского НИИ строительства и архитектуры; e-mail: azad\_amrahov@mail.ru

Статья получена: 22.01.2016. Рассмотрена: 29.01.2016. Одобрена: 13.02.2016. Опубликовано онлайн: 28.03.2016. ©РИОР

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы совершенствования трамбовочного снаряда в виде усеченного конуса из утилизированных покрышек. Это позволяет значительно улучшить процесс поверхностного уплотнения при устранении просадочных свойств грунтов при толщине до 5 метров.

**Ключевые слова:** трамбовка, поверхностное уплотнение, эффект уплотнения, просадочные грунты, конические трамбовки, утилизированные покрышки, опалубки, конструкция.

Способ уплотнения просадочных грунтов тяжелыми трамбовками заключается в том, что грунт уплотняется с помощью плиты или трамбовочного снаряда, повешенного к стреле крана или экскаватора, а также копру, путем сбрасывания с определенной высоты.

В результате ударного воздействия на грунт в его толще образуется уплотненное ядро, имеющее, как правило, форму эллипсоида вращения, наибольший

диаметр которого примерно в 2 раза больше диаметра рабочей поверхности трамбовки. Под воздействием трамбования происходит понижение уплотняемой поверхности. Размеры уплотненного ядра и величина понижения поверхности зависят от диаметра трамбовки, ее веса и высоты сбрасывания, а также от физического состояния и свойств грунта. Для поверхностного уплотнения применяются трамбовки с диаметром рабочей поверхности от 0,8 до 2,0 м, весом от 1,5 т до 7,0 т. Высота сбрасывания колеблется от 3,5 м до 8,0 м.

Способ поверхностного уплотнения тяжелыми трамбовками чаще всего используется для устранения просадочных свойств грунтов, залегающих слоем толщиной до 5 м, и применим при степени влажности грунта не более 0,7.

При соприкосновении падающего груза с поверхностью грунта наблюдаются следующие деформации:

а) взрыхление грунта в пределах некоторого слоя  $\Delta H$  у поверхности в месте контакта грунта с рабочей поверхностью падающего груза;

## ABOUT THE MODE INFLUENCE OF APPLYING SHOCK LOADS ON THE INDICATORS OF COMPACTIBILITY OF CLAY LOAM

### Gabibov Faxraddin Gasan Ogly

Associate Professor. Ph.D. in Engineering, head of lab bases, foundations and soil mechanics, Azerbaijan scientific-research Institute; e-mail: farchad@yandex.ru;

### Halafov Namik Madat Ogly

senior researcher lab bases, foundations and soil mechanics, Azerbaijan scientific-research Institute; e-mail: farchad@yandex.ru;

### Amrahov Azad Tahir Ogly

Ph.D.in Enginnering, the Deputy Director of Azerbaijan research institute of construction and architecture, e-mail: azad\_amzarov@mail.ru  
Manuscript received: 22.01.2016. Revised: 29.01.2016. Accepted: 13.02.2016. Published online: 28.03.2016. ©RIOR

**Abstract.** The issues of improvement of ramming or the projective in the form of a truncated cone from recycled tires. It allows to significantly improve the process of surface seal while eliminating subsidence of soil properties at a thickness of up to 5 meters.

**Keywords:** compaction, surface sealing, sealing effect, collapsible soils, conical rammers, recycled tires, formwork, construction.

б) общее понижение поверхности грунта в пределах следа падающего грунта вследствие деформации уплотнения грунта в некотором объеме массива грунта основания.

Взрыхление грунта у поверхности происходит вследствие возникающего динамического напряжения в грунте на контакте с падающим грузом за период времени  $\Delta t$ .

Напряжение в грунте от действия удара составит:

$$\sigma = \frac{Q}{g} \cdot \frac{\sqrt{2gH}}{F\Delta t} = \frac{Q}{\sqrt{g}} \cdot \frac{\sqrt{2H}}{F\Delta t}, \quad (1)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести;  $H$  – высота подъема трамбовки;

$F$  – площадь рабочей поверхности трамбовки.

Из формулы (1) видно, что напряжение в грунте на контакте с падающим грузом зависит от веса падающего груза, его рабочей площади, высоты сбрасывания и продолжительности удара.

Согласно исследованиям Ю.М. Абелева и М.Ю. Абелева [1] толщина слоя взрыхленного грунта зависит также от условий падения груза. Если применяется трамбуемый снаряд, имеющий форму плиты, наблюдаются колебания трамбовки в воздухе, и в процессе ее падения зачастую удар по грунту производится ребром плиты, а не всей ее рабочей поверхностью.

Такие условия падения груза способствуют местному перенапряжению грунты, и общая толщина взрыхленного слоя значительно возрастает. Для устранения этого явления трамбовки изготавливают в виде усеченного конуса или усеченной пирамиды, т. е. с низким расположением силы тяжести. При диаметре рабочей поверхности трамбовки до 1,3–1,5 м вес трамбовки назначается из расчета передачи статического давления  $p_{cm}$  на лессовый грунт не менее  $0,2 \text{ кг/см}^2$ . Высота сбрасывания для лессовых суглинков составляет 3,5–4,0 м из расчета уменьшения толщины взрыхленного слоя трамбуемой поверхности до 10–15 см.

Глубина распространения действия удара определяется зоной распространения напряжений в грунте, превышающих структурную прочность сжатия грунта при данной влажности.

При первых ударах трамбовки о грунт деформации локализируются в ограниченном слое, в пределах которого начинает формироваться уплотненное ядро. Дальнейшее трамбование приводит к

перемещению этого слоя вместе с нижерасположенной новой зоной уплотненного грунта, что сопровождается новым понижением трамбуемой поверхности.

Такое понижение поверхности наблюдается до тех пор, пока работа удара будет расходоваться на перемещения объема грунта в уплотненном ядре, т. е. будет достаточна для преодоления сопротивления сдвигу грунта по поверхности уплотняемого ядра.

В.Б. Швецом [2] проведены исследования зависимости глубины уплотнения от размеров рабочей поверхности трамбовки  $D_0$  (диаметр трамбовки при уплотнении лессовидных суглинков в природном их залегании). Проведенные исследования позволили в первом приближении получить опытную зависимость между толщиной  $T_{упл}$  достаточно уплотненного слоя и диаметром  $D_0$  трамбовки для некоторых разновидностей просадочных грунтов:

$$T_{упл} = D_0 K, \quad (2)$$

где  $K$  – опытный коэффициент, принимаемый для супеси – 1,4; а для суглинка – 1,3.

Особое влияние на эффект уплотнения трамбованием оказывает состояние влажности грунта в пределах уплотняемой зоны, которая характеризуется степенью заполнения пор грунта водой, т.е. степенью увлажнения  $G$ . Оптимальным условием для уплотнения просадочного грунта трамбованием является степень увлажнения грунта, равная 0,7. Обычно природная влажность просадочных лессовых грунтов меньше оптимальной, соответствующей степени увлажнения  $G=0,7$ . Чтобы уплотнить такой грунт трамбованием, его необходимо увлажнить до оптимальной влажности.

Глубина уплотнения ( $H$ ) контролируется затрачиваемой энергией в виде работы уплотнения:

$$H = B\sqrt{Ph}, \quad (3)$$

где  $P$  – вес трамбовки;  $h$  – высота сбрасывания трамбовки;  $B$  – эмпирический коэффициент, численные значения которого для различных типов грунтовых условий меняется от 0,5 до 0,8.

В пределах большей части уплотняемого слоя просадочные свойства пород полностью устраняются, а в остальной части существенно уменьшаются. При использовании трамбовок весом 3,0–4,5 т толщина уплотненного слоя составляет 1,0–2,5 м,

а трамбовок весом 5 т, сбрасываемых с высоты 6–9 м, достигает 2–3,5 м. Для увеличения толщины уплотненного слоя можно использовать способ повышения контактных напряжений, это достигается постепенным увеличением высоты падения трамбовки и применением трамбовок одного и того же веса, но с разной площадью подошвы.

Лучшее уплотнение трамбованием достигается в просадочных лессовых грунтах типа мелких и средних лессовидных суглинков с зернисто-пленчатыми и пылевато-пленчатыми структурами. В этом случае уплотненный слой может достигать 1,5–3,5 м в зависимости от веса трамбовки, площади ее рабочей поверхности, высоты сбрасывания и числа ударов, влажности грунта. Тяжелые суглинки с зернисто-агрегативной и агрегативной структурой трамбуются хуже и уплотняются не более 1 м<sup>3</sup>.

Уплотнение тяжелыми трамбовками в основном рекомендуется при строительстве на просадочных лессовых грунтах типа. Это существенно снижает величины возможных просадок или даже полностью устраняет просадочность от нагрузки фундаментов в пределах деформируемой зоны.

Трамбование при типе просадочных грунтов необходимо сочетать с другими способами, позволяющими устранять просадочность в нижележащих слоях просадочных лессовых толщ.

Величину понижения требуемой поверхности при трамбовке определяют по формуле

$$\Delta h = \left[ \frac{\varepsilon_o - \varepsilon_{cp,упл.}}{1 - \varepsilon_o} \right] \cdot T, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_o$  – коэффициент пористости грунта в природном залегании;  $\varepsilon_{cp,упл.}$  – среднее значение коэффициента пористости уплотненного слоя грунта, которое определяется по формуле

$$\varepsilon_{cp,упл.} = \frac{\varepsilon_{макс.упл.} + \varepsilon_{мин.упл.}}{2}, \quad (5)$$

где  $\varepsilon_{макс.упл.}$  – коэффициент пористости грунта на границе слоя достаточно уплотненного грунта;  $\varepsilon_{мин.упл.}$  – коэффициент пористости грунта у поверхности уплотненного слоя;  $T$  – толщина уплотненного слоя.

Количество воды, необходимое для заливки котлована или траншеи с целью повышения влажности грунта до оптимального значения, на 1 м<sup>2</sup> уплотняемого основания определяют по формуле

$$A = \frac{\gamma_{ск.}(w_{онм.} - w_o)}{\gamma_e \cdot 100} T_{упл.} \quad (6)$$

В том случае если грунт переувлажнен, то способ уплотнения тяжелыми трамбовками не применим.

Наиболее надежны в работе трамбовки в виде усеченного конуса с круглым поперечным сечением. Но на строительной площадке изготовление трамбовочных снарядов с круглым поперечным сечением связано со сложностью изготовления специальной металлической опалубки круглого сечения.

С экономической точки зрения является интересным для изготовления трамбовок использование в качестве несъемной опалубки утилизированных металлокордных покрышек. Надо отметить, что утилизированные покрышки использовались в сложной известной конструкции трамбовок в качестве эластичных кольцевых манжет, образующих силовые камеры [5].

Нами предлагается конструкция трамбовочного снаряда в виде усеченного конуса, выполненная с помощью несъемной опалубки в виде утилизированных металлокордных покрышек разного диаметра (см. рис.1).

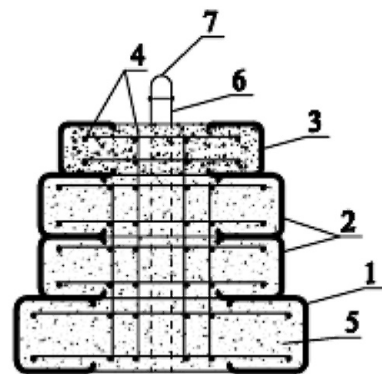


Рис. 1. Коническая трамбовка из утилизированных покрышек

Для получения приблизительно формы усеченного конуса несъемная опалубка трамбовочного снаряда выполняется из двух или трех видов утилизированных металлокордных покрышек различного диаметра. Покрышка самого большого диаметра 1 располагается внизу, покрышка (или покрышки) среднего диаметра 2 располагаются по середине, в верхней части располагается покрышка (или покрышки) наименьшего диаметра. В зависимости от проектных требований в верхних и в средней частях

трамбовочного снаряда могут быть использованы по две одинаковые покрышки. Арматурный каркас 4 из поперечных кольцевых и радиальных элементов и продольной вертикальной арматуры собирается внутри несъемной опалубки поэтапно начиная с нижней части.

По центру трамбовочного снаряда устанавливается полая сквозная труба 6, связанная с арматурным каркасом. Труба 6 выступает над несъемной опалубкой и к верхней части ее приваривается металлическая серьга 7 для крепления к тяговому канату. Труба 6 служит для выпуска сжатого воздуха образуемого при ударе трамбовочного снаряда о поверхность уплотняемого грунтового основания. Как видно изготовление указанного трамбовочного снаряда в условиях строительной площадки не представляет трудностей. На нижней поверхности этого снаряда естественным образом получается окаймляющее кольцо из армированной резины, которое способствует выравниванию динамической контактной ударной эпюры. Кроме этого создается эффект замедленности удара, что способствует лучшей реализации пластических деформаций в грунте при ударной нагрузке. Размерный ассортимент утилизированных металлокордных покрышек позволяет конструировать трамбовочные снаряды различных размеров, конструкций и с различным весом.

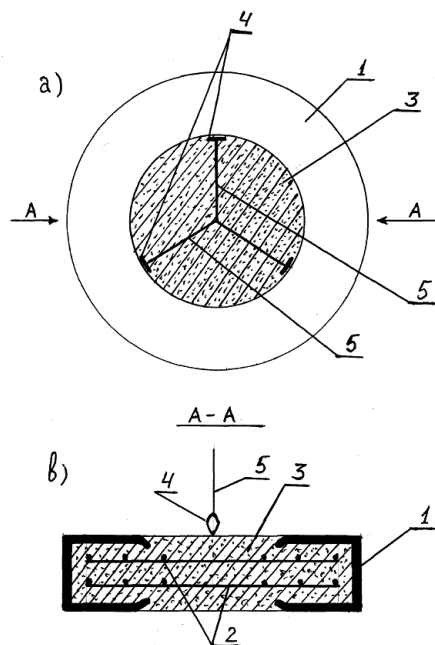


Рис. 2. Плитная трамбовка: а) вид сверху; б) продольный разрез

С помощью утилизированной металлокордной покрышки от большегрузных автомобилей (например, от БелАЗов) можно изготовить круглые плитные трамбовки (см. рис. 2). Здесь во внутренней части утилизированной металлокордной покрышки 1, диаметром например 3 м и шириной протектора 0,6 м устанавливается арматура 2, а затем на строительной площадке в полость покрышки заливается бетон 3. По краям бетона в верхней части трамбовки на границе с боковиной покрышки по крайней мере через 1200 (можно и чаще) устанавливаются закладные детали к которым крепятся серьги 4. К серьгам 4 крепятся тросы 5, связанные со стрелой крана или экскаватора.

В плитном варианте трамбовки, изготовленной с помощью утилизированной металлокордной покрышки, по сравнению с известными плитными трамбовками, преимущества те же, что и в ранее описанной конструкции трамбовки.

## Литература

1. Абелев Ю.М., Абелев М.Ю. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах. М., Издательство литературы по строительству, 1968, 432 с.
2. Швец В.Б. Исследование эффективности уплотнения лессовых грунтов основания тяжелыми трамбованиями. В сб.: «Вопросы строительства на макропористых просадочных грунтах», М., Госстройиздат, 1959.
3. Трофимов В.Т. Инженерная геология массивов лессовых пород. М., Издательство «КДУ», 2008, 398 с.
4. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83). М., Стройиздат, 1986, 415 с.
5. Власов В.Н., Кислов Ю.В., Власов И.Н., Степанов В.Т. Ударное устройство. Патент РФ на изобретение №2024676, 1994.

## References

1. Abelev Yu.M., Abelev M.Yu. Osnovi proektirovaniya i stroitelstva na prosadochnih makroporistih gruntah [Principles of design and construction on macroporous soils subsidence]. Moscow, Publ. literature on construction, 1968, 432 p.
2. Shvez V.B. Issledovanie effektivnosti uplotneniya lessovih gruntov osnovaniya tyzhelimi trambovaniyami [Investigation of the effectiveness of sealing of loess soils by heavy trebovaniyami]. Moscow, Gosstrouizdat, 1959.
3. Trofimov V.T. Inzhenernaya geologiya massivov porod [Engineering Geology of loess massifs of rocks]. Moscow, KDU Publ., 2008, 398 p.
4. Manual for design of foundations of buildings and structures (to SNiP 2.02.01-83). Moscow, Stroizdat, 1986, 415 p.
5. Vlasov V.N., Kislov Yu.V., Vlasov I.N., Stepanov V.T. Udarное ustroystvo [Impact device]. RF patent for the invention №2024676, 1994.