

Чернюк В. П., Шляхова Е. И.

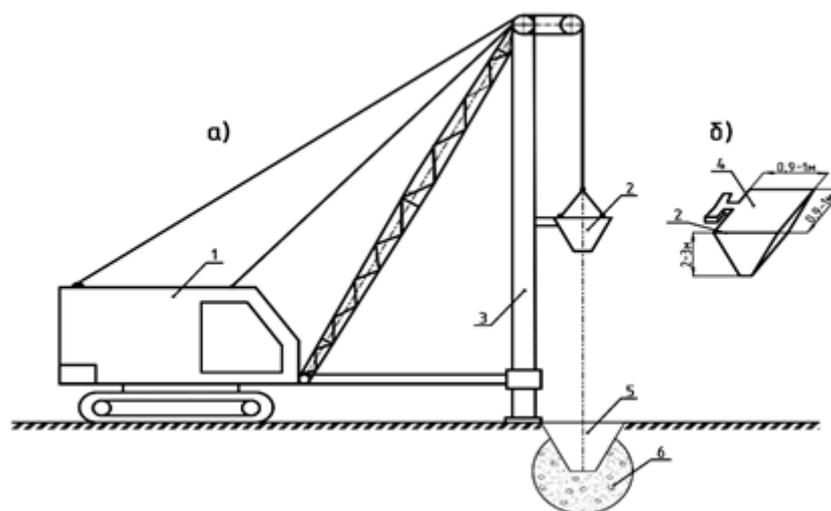
## ЭФФЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТРАМБОВОК ДЛЯ УСТРОЙСТВА ФУНДАМЕНТОВ В ВЫТРАМБОВАННЫХ КОТЛОВАНАХ

*Брестский государственный технический университет, кафедра ТСП*

Вытрамбовывание котлованов по наиболее простой схеме (рисунок 1) производят путем сбрасывания трамбовки по направляющей штанге с высоты 4–8 м в одну и ту же точку котлованов для устройства выемки.

Масса трамбовки может составлять 5–10 т и более. Для вытрамбовывания котлованов под отдельные столбчатые фундаменты без уширенного основания на глубину 1 м требуется 10–16 ударов трамбовки и 2–4 минуты времени, а котлованов глубиной до 3 м с уширенным основанием, т. е. с учетом втрамбовывания в дно жесткого материала - около 40–60 ударов трамбовки, что составляет 10–20 минут времени работы установки.

Метод устройства ФВК весьма эффективен, так как позволяет полностью исключить земляные, опалубочные и распалубочные работы, обратную засыпку, повысить в 2–3 раза несущую способность фундамента по грунту основания, полностью механизировать сам процесс устройства ФВК, повысить производительность труда, сэкономить бетон, арматуру и т. д.



1 – экскаватор (кран); 2 – трамбовка; 3 – направляющая штанга; 4 – каретка;  
5 – вытрамбованный котлован; 6 – ядро из жесткого материала

Рисунок 1 – Схема вытрамбовки фундаментов (а) и типовая конструкция трамбовки (б)

Вытрамбованный до проектной отметки котлован заполняется бетонной смесью. Верхняя часть фундамента выполняется различной формы в зависимости от типа сопряжения фундамента с надфундаментными конструкциями (плоская, со стаканом под колонну, с пазами для укладки фундаментных балок и др.). Фундаменты зданий и сооружений в вытрамбованных котлованах можно устраивать двумя способами: путем вытрамбовывания грунта котлована за счет уплотнения на требуемую глубину заложения фундаментов механической трамбовкой, после чего производится устройство фундамента (первый способ), а также путем устройства фундаментов с уширенным основанием или ядром. Вначале вытрамбовывают котлован на глубину 2–3 м, а затем в образованный котлован (ложе) отдельными порциями отсыпают

щебень, гравий, крупный песок или другой жесткий материал и производят его уплотнение механическими трамбовками (второй способ). Имеются также и другие варианты устройств ФВК.

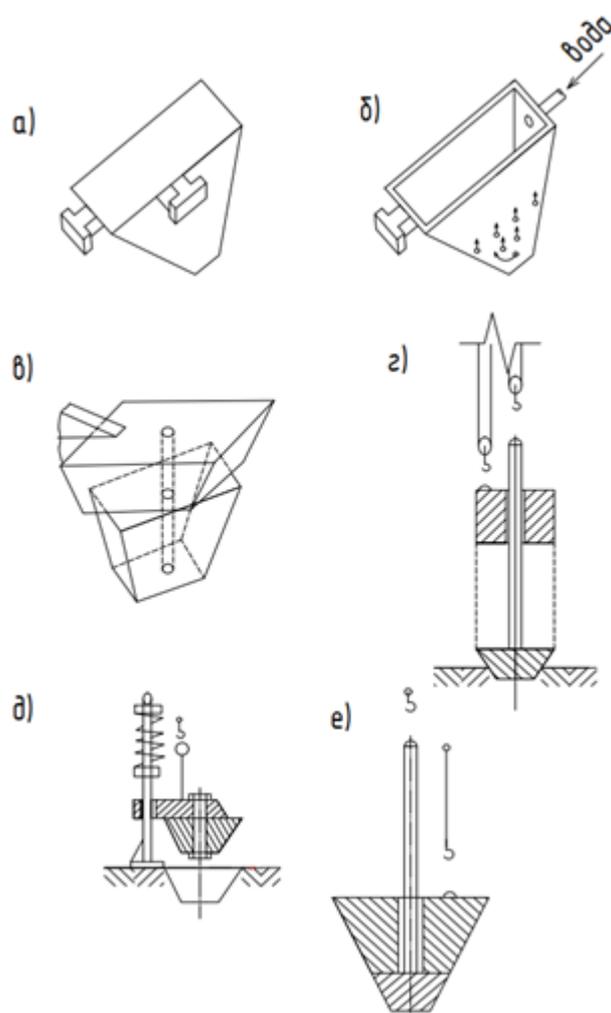


Рисунок 2 – Конструкции трамбовок для вытрамбовывания котлованов

Что же касается трамбовок, то авторами предложено около десятка их разнообразных конструкций и технических решений, более прогрессивных и производительных по сравнению с существующими (типовыми). Предлагаем несколько из них.

Эффективны крестообразные в плане фундаменты ФВК, обладающие повышенной несущей способностью на действии вертикальных, а также горизонтальных нагрузок, низкой металло- и материалоемкостью, для образования которых могут использоваться крестообразные трамбовки. Однако образование крестообразных фундаментов крестообразными трамбовками малоэффективно из-за снижения качества вытрамбовки и срыва грунта, в частности во внутренних углах трамбовки, по причине обрушения грунта, повышенной энерго- и материалоемкости устройства фундамента.

В этом случае для образования крестообразных ФВК более просты, практичны и экономичны прямоугольные в плане трамбовки с двумя каретками, расположенными на смежных гранях трамбовки (а. с. СССР № 1807168). Это позволяет путем разовой замены кареток в направляющей штанге базовой машины производить

вытрамбовывание крестообразных котлованов, вначале вдоль одной оси, затем вдоль другой (рисунок 2, а).

Подобные, в том числе крестообразные котлованы, могут быть вытрамбованы с помощью специальной прямоугольной трамбовки (патент РБ на полезную модель № 1998, рисунок 2, д), выполненной в виде усеченной прямоугольной пирамиды и снабженной пружиной сжатия, с возможностью ее вращения относительно каретки посредством болтового соединения. Это позволяет путем поворота трамбовки относительно каретки на  $90^\circ$  вытрамбовывать крестообразные котлованы, которые не могут быть образованы обычными трамбовками, а также получать дополнительную энергию падения от сжатой пружины, выстреливаемой трамбовку вниз.

Трамбовки, выполненные согласно патентам на изобретения РФ № 2012717 (рисунок 2, в) и РБ № 4659 (рисунок 2, е) содержат взаиморазворачивающиеся верхнюю и нижнюю плиты прямоугольного или квадратного сечения, соединенные между собой болтовым соединением с возможностью их вращения. Это позволяет образовывать котлованы, а затем и фундаменты, звездообразной или иной сложной формы высокой несущей способности и обладающих теми же достоинствами, что крестообразные.

Известно применение воды для смазки стенок котлована при вытрамбовке. При наличии сыпучих и маловлажных грунтов с целью повышения эффективности и качества вытрамбовывания котлованов успешно могут быть использованы трамбовки, позволяющие подавать воду самотеком или под давлением к боковым граням трамбовки (а. с. СССР № 1794992, рисунок 2, б). Это уменьшает энергоемкость извлечения трамбовки из грунта, снижает силу сцепления трамбовки с грунтом, повышает качество вытрамбовки, уменьшает грузоподъемность крана для извлечения трамбовки из грунта.

Для повышения качества уплотнения грунта и снижения сопротивления воздуха трамбовка может снабжаться подпружиненным поршнем и цилиндром с отверстиями для выхода воздуха в атмосферу (а. с. СССР № 1765298), что позволяет увеличить время действия развивающихся в грунт напряжений и удалять воздух из пор грунта.

Повышает к. п. д. удара трамбовки выполнение ее из двух частей (верхней и нижней плит) разной массы (верхняя тяжелее нижней в 3–4 раза) – патент РБ на полезную модель № 9780, рисунок 2, г. При этом поднимается вверх только верхняя плита и она же ударяет и падает на нижнюю. Благодаря различной массе повышается к. п. д. вытрамбовки и снижается общая масса трамбовки.

К другим полезным разработкам можно отнести технические решения согласно патентам РБ на изобретение № 6653 и полезные модели № 1104, № 2031.

Для эффективного и минимально энергоемкого производства работ по вытрамбовке котлованов необходимо решить важную технологическую задачу – определить оптимальную величину наклона граней трамбовки к вертикали.

При определении рациональной формы трамбовки следует исходить из того, что устойчивость грунта при вытрамбовывании стенок котлована существенно повышается с увеличением угла наклона к вертикали стенок котлована и приближении его формы в плане к окружности. Кроме того, в этом случае устойчивость грунта повышается также вследствие того, что при большом наклоне граней трамбовки достигается больший эффект уплотнения как по размерам уплотненной зоны, так и плотности грунта в ней. Однако при чрезмерном увеличении наклона граней трамбовки несущая способность фундамента хотя и возрастает, но более интенсивно увеличивается объем котлована, а, следовательно, расход и бетона. Получается, что чрезмерное увеличение наклона граней трамбовки малоэффективно.

С другой стороны, при уменьшении наклона граней трамбовки возникает опасность обрушения стенок котлован при извлечении трамбовки из него.

С целью определения оптимального наклона граней трамбовки для упрощения постановки задачи и последующего ее решения примем, во-первых, грунт однородный однослойный вокруг котлована, что вполне допустимо, т. к. глубина вытрамбовки фундамента невелика и редко превышает 2,5–3 м. Во-вторых, с точки зрения максимальной эффективности уплотняемости грунта вокруг котлована примем саму трамбовку в виде усеченного конуса, ориентированного вниз меньшим основанием, что позволяет, с небольшой долей погрешности, перейти на эффективные шести-, восьми-, двенадцати- и др. многогранные трамбовки [1, 2].

Исходя из этих предпосылок можно установить рациональную величину наклона граней трамбовки к вертикали  $\beta$ , при которой грунт стенок котлована не будет срываться, обрушаться или разрушаться. Для этого необходимо выполнение двух условий:

1. Вертикальная составляющая силы отпора грунта на трамбовку должна быть больше вертикальной силы трения грунта с трамбовкой с целью минимизации усилия извлечения трамбовки из грунта. Это осуществимо при углах наклона граней трамбовки к вертикали

$$\beta_{min} \geq 0,5 \arctg f,$$

где  $f$  – коэффициент трения грунта о трамбовку.

2. Вертикальная составляющая силы сцепления грунта с трамбовкой не должна превышать силу тяжести грунта, заключенного в объем конуса обрушения, иначе он будет вынут из выемки вместе с трамбовкой на дневную поверхность и в грунте образуется не вытрамбованный котлован, а выемка. Это реализуемо при следующих углах наклона граней к вертикали

$$\beta_{max} \leq \arctg \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi}{3 \cdot \tau_c},$$

где  $\rho$  – плотность грунта,  $\text{T}/\text{м}^3$ ;  $g = 9,8 \text{ М}/\text{с}^2$  – ускорение свободного падения;  $\varphi$  – угол внутреннего трения грунта, град.;  $H$  – глубина вытрамбовки котлована, м;  $\tau_c$  – расчетное сопротивление грунта на боковой поверхности трамбовки, кПа.

Таким образом, оптимальные значения углов наклона граней трамбовки к вертикали должны быть в пределах

$$0,5 \cdot \arctg f \leq \beta \leq \arctg \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi}{3 \cdot \tau_c}.$$

В качестве примера расчета определим оптимальный угол наклона граней реальной трамбовки высотой  $H = 3 \text{ м}$  с размерами верхнего (большого) основания  $a \cdot b = 1,25 \cdot 1,25 \text{ м}$ , и нижнего (меньшего) основания  $a \cdot b = 0,2 \cdot 0,2 \text{ м}$ , погружаемой в мелкозернистые пески, четвертичного отложения, средней плотности со следующими нормативами:  $l = 0,5$ ;  $c = 4$ ;  $E = 30$ , имеющими такие параметры:  $\varphi = 37^\circ$ ;  $f = 0,15$ ;  $\rho = 1,6 \text{ т}/\text{м}^3$ ;  $\tau_c = 40 \text{ кПа}$ . Подставляя значения параметров в приведенное выше неравенство, получим

$$0,5 \cdot \arctg 0,15 \leq \beta \leq \arctg \frac{1,6 \cdot 9,8 \cdot 3 \cdot \operatorname{tg}^2 37^\circ}{3 \cdot 40} \text{ или } 4,15^\circ \leq \beta \leq 12^\circ 30'.$$

В реальной трамбовке  $\beta \approx \arctg \frac{1,25 - 0,2}{2 \cdot 3} = 9^\circ 50'$ , а это достаточно близко совпадет с расчетными значениями.

Расчеты, выполненные по упомянутому способу показывают, что оптимальные значения углом наклона граней трамбовок к вертикали могут меняться в пределах  $5\text{--}15^\circ$ . В трамбовках, применяющихся в фундаментостроении РФ, РБ, Молдавии, Украины, Казахстана угол наклона граней трамбовок также колеблется в пределах  $0\text{--}20^\circ$  (от достаточно тупых до весьма острых), причем он установлен в них спонтанно

без учета конкретных грунтовых условий. В нашем способе расчета угла наклона граней трамбовки позволяет учитывать реальные грунтовые условия, зависящие от физических (нормативных) параметров грунта  $\rho, \varphi, f, \tau_c$ , т.е. учитывать их на стадии проектирования фундаментов.

В заключении отметим, что нами рекомендуются к производству эффективная технология устройства фундаментов в вытрамбовочных котлованах, прогрессивные конструкции трамбовок, защищенных патентами и а. с. СССР, РФ и РБ, и метод расчета угла наклона граней трамбовки к вертикали.

*Список использованных источников:*

1. Чернюк, В. П., Ивасюк, П. П. Производство свайных работ в особых условиях. – Германия, LAP LAMBERT Academic Publinsing, 2016. – 195 с.
2. Чернюк, В.П., Шляхова, Е.И. Технология свайных работ в особенностях строительства / Учебное пособие. – Москва, РУСАЙНС, 2019. – 242 с.

**Разаков М. А.**

## **ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА В ТОРГОВЫХ ЗАЛАХ**

*Преподаватель-исследователь, старший преподаватель, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (НИУ МЭИ), Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский Биотехнологический Университет" (ФГБОУ ВО Росбиотех)*

### **Аннотация**

В работе рассмотрены варианты обеспечения микроклимата помещений розничной торговли парфюмерными изделиями. Представлены особенности расхода энергетических ресурсов при различных способах подогрева воздушной среды. Приведены отличия в расходе теплоносителя при установке различных видов оборудования обеспечения микроклимата и постоянном значении тепловых потерь в помещении.

**Ключевые слова:** система отопления; система вентиляции; режимы работы; инженерные системы; проектирование; тепловая энергия.

Современный человек большое количество времени проводит в общественных зданиях. Одним из наиболее распространенных помещений является торговый зал. В данной работе исследованы расходы теплоносителя при различных способах обеспечения температурно-влажностного режима помещения в зимний период. Расчеты проводились для случая, когда в магазине нет посетителей и отсутствуют теплопоступления от солнечной радиации (после 20-00). Тепловые потери через ограждающие конструкции (с учетом инфильтрации) для города Владимира рассчитывались по характеристикам ГСОП и в сумме для помещения торгового зала составили 16340 Вт [1-3]. Для обеспечения нормальных условий работы в помещении применяются 3 вида классических систем отопления: 1 – водяное отопление без механической вентиляции; 2 – полная электрическая совмещенная рециркуляционная система вентиляции/отопления; 3 – совмещенная прямоточная электрическая система вентиляции/отопления. Расходы теплоносителя для 2 и 3 систем идентичны друг другу,