

- ✓ приняв несущую способность сваи равной  $F_{j1}$  по формуле (3) определяется первоначальный отказ сваи  $S_1$ ;
- ✓ если  $S_1$  превышает максимально допустимый отказ сваи  $S_{пред}$ , то  $S_1$  принимается равным  $S_{пред}$ ;
- ✓ приняв отказ сваи равным  $S_1$  по (7) находим  $F_{j2}$ , а затем по (4) и  $F_j$ ;
- ✓ подставив в формулу (3)  $F_j$  находим отказ сваи  $S_2$  с учетом среднего значения несущей способности сваи (рис.1 в);
- ✓ устанавливается относительная разность между  $S_1$  и  $S_2$

$$\Delta = \frac{S_1 - S_2}{S_2} 100\%$$

- ✓ - если  $\Delta$  меньше заданной допустимой относительной разности  $\delta = 2...5\%$ , то итерационный процесс для рассматриваемого удара прекращается и отказ сваи на  $j$ -ом ударе принимается равным  $S_j = S_2$ ;
- ✓ если  $\Delta$  больше заданной допустимой относительной разности  $\delta = 2...5\%$ , то принимается  $S_1 = S_2$ , находится  $F_{j2}$ ,  $F_j$ ,  $S_2$ ,  $\Delta$  и так до тех пор, пока  $\Delta$  не станет меньше  $\delta$ ;

- ✓ отказы сваи при нанесении ударов рассчитываются до тех пор, пока свая не будет погружена на проектную отметку  $h_c$ ;
- ✓ устанавливается чистое время погружения сваи по формуле

$$T = \frac{j}{B}, \quad (11)$$

где  $j$  – число ударов, необходимое для погружения сваи на проектную отметку.

Авторами составлена программа для определения отказов сваи, времени ее погружения на ПЭВМ с учетом неоднородных слоев грунта, которую предполагается использовать при выполнении контрольной работы по курсу "Технология строительства в особых условиях" и при разработке технологических карт в составе дипломного проекта на производство свайных работ.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Еникеев А.Х. Методические рекомендации по выбору молота и расчету времени погружения свай по данным статического зондирования.- Уфа: НИИПромстрой, 1977.- 24 с.
2. СНиП 3.02.01-87. Земляные сооружения, основания и фундаменты/ Госстрой СССР.- М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988.- 128 с.

УДК 624.15.002.51

**Пчелин В.Н., Щербач В.П.**

### СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ВЫТРАМБОВЫВАНИЯ В ГРУНТЕ КОТЛОВАНОВ

Традиционная технология устройства фундаментов открытым способом связана с выполнением трудоемких и дорогостоящих работ, таких, например, как разработка котлованов и траншей, крепление их стенок, обратная засыпка и уплотнение грунта пазах, перемещение больших объемов грунта, водоотлив или водопонижение и т.д.

Снизить объем земляных работ в 3...6 раз, расход бетона в 1,5...2 раза, арматуры в 1,5...4 раза позволяет использование технологии устройства фундаментов в вытрамбованных котлованах и траншеях.

Сущность данной технологии состоит в том, что на очищенной от растительного слоя поверхности трамбовкой падающей по направляющей штанге в одно и то же место вытрамбовывают котлован, в котором устанавливается сборный фундамент или укладывается монолитный бетон.

Однако известные традиционные способы и устройства для их осуществления [1], обладают целым рядом недостатков, определяющих повышенную энергоемкость вытрамбовывания котлованов:

- ✓ вытрамбовывание котлованов происходит при наличии значительных сил трения и сцепления по боковой поверхности и лобового сопротивления внедрению трамбовки в грунт;
- ✓ наличие сил трения и сцепления по боковой поверхности определяет необходимость приложения к трамбовке при ее извлечении из котлована, значительных усилий и, тем самым, больших энергозатрат;
- ✓ затрудняется попадание трамбовки при ее сбрасывании в одно и то же место, что может привести к перекосу трамбовки, возникновению значительных динамических уси-

лий, вследствие которых устройство может выйти из строя, и повышенным энергозатратам вследствие понижения коэффициента полезного действия удара.

Устранить указанные недостатки позволяет разработанное в Брестском государственном техническом университете способ и устройство для вытрамбовывания котлованов (рис.1).

Способ для вытрамбовывания в грунте котлованов осуществляется посредством устройства, содержащего направляющую мачту 1, каретку 2 и установленную в направляющих мачты и соединенную с кареткой трамбовку 3 (рис.1). Трамбовка выполнена в виде усеченного конуса 4 с заостренным наконечником 5 в нижней части. На боковой поверхности усеченного конуса жестко закреплены уширения 6, которые могут быть расположены по образующим усеченного конуса или под углом к вектору касательной скорости. Количество уширений должно быть не менее трех, при этом они должны быть расположены в каждом из горизонтальном сечений на одинаковом расстоянии друг от друга.

Трамбовка соединена с кареткой с возможностью вращения вокруг продольной (вертикальной) оси, для чего трамбовка оборудуется центральной штангой 7, пропущенной через каретку и установленной в радиально-упорных подшипниках 8.

На верхний конец штанги одето ведомое зубчатое колесо 9. В направляющих мачты установлена дополнительная каретка 10 с механизмом вращения, включающим двигатель 11, редуктор 12 и ведущее зубчатое колесо 13, взаимодействующее при подъеме трамбовки с ведомым колесом.

**Щербач Валерий Петрович.** Доцент каф. технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.

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

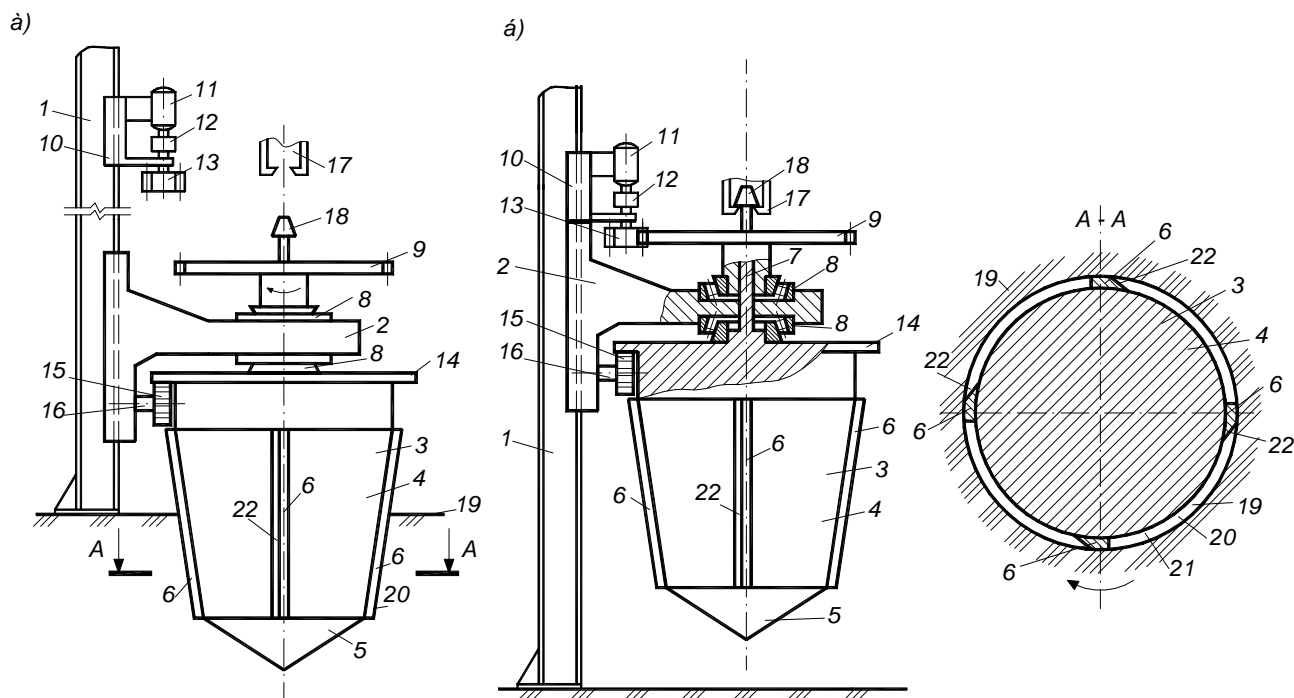


Рис. 1. Устройство для реализации способа вытрамбовывания котлованов раскручиваемой трамбовкой:

а) в момент подъема трамбовки с ее раскручиванием; б) в момент формирования в грунте котлована; 1 – направляющая мачта; 2 – каретка; 3 – трамбовка; 4 – усеченный конус; 5 – наконечник; 6 – уширения; 7 – штанга; 8 – радиально-упорный подшипник; 9 – ведомое колесо; 10 – дополнительная каретка; 11 – двигатель; 12 – редуктор; 13 – ведущее зубчатое колесо; 14 – кольцевой выступ; 15 – катки; 16 – оси; 17 – клещевина; 18 – захват; 19 – грунт; 20 – котлован; 21 – пазухи; 22 – скосы.

Для снижения нагрузок, передаваемых на радиально-упорные подшипники и консольную часть каретки 2, трамбовка выполнена с кольцевым выступом 14, опираемым на катки 15, которые насажены на прикрепленные к каретке 2 оси 16.

Подъем трамбовки производится посредством сцепного устройства, клещевина 17 которого взаимодействуют с грибовидным захватом 18, в виде которого выполнен верхний торец штанги.

Способ реализован следующим образом.

Вначале трамбовку станавливают на грунт 19 в точке вытрамбовывания котлована 20, при этом каретка 10 упирается в каретку 2, ведущее зубчатое колесо находится в зацеплении с ведомым колесом, а клещевина сцепного устройства обхватывают грибовидный захват.

Затем выполняют подъем трамбовки. После отрыва трамбовки от грунта или стенок и дна котлована (при последующих циклах вытрамбовывания) включается механизм вращения, который производит раскручивание трамбовки вокруг продольной оси параллельно с подъемом (рис.1 б).

После подъема трамбовки на расчетную высоту и раскручивания до необходимой угловой скорости клещевина выводят из зацепления с грибовидным захватом и происходит падение трамбовки вместе с кареткой 2 вниз. При этом, вследствие гироскопического эффекта, падение трамбовки происходит вертикально (вдоль продольной оси), благодаря чему обеспечивается попадание трамбовки в одно и то же место в плане.

После контакта трамбовки с грунтом в нем, вследствие взаимодействия с трамбовкой, образуется котлован (рис.1 а), при этом, благодаря вращению трамбовки и наличию конического наконечника, трамбовка 3 как бы вкручивается в грунт, что обуславливает уменьшение лобового сопротивления при внедрении трамбовки в грунт (см.[2], рис.24).

Кроме того, при вращении трамбовки между стенками котлована и боковой поверхностью усеченного конуса уширениями образуются пазухи 21, уменьшающие силы трения и сцепления между трамбовкой и грунтом (рис.1, разрез А-А). Для облегчения образования пазух целесообразно уширения выполнить со скосами 22 по ходу вращения трамбовки.

Параллельно с падением трамбовки и формированием котлована синхронно опускают вниз сцепное устройство и механизм вращения из расчета, чтобы после полной остановки трамбовки клещевина вошли в зацепление с захватом, ведущее колесо – с ведомым колесом, а дополнительная каретка 10 уперлась в каретку 2.

После чего трамбовка отрывается от стенок и дна котлована и выполняется новый цикл вытрамбовывания котлована, причем количество циклов ограничивается моментом получения котлована требуемых размеров. Наличие пазух и свободный доступ воздуха к дну отлована определяет необходимость приложения к сцепному устройству при отрыве трамбовки незначительных усилий.

Раскручивание трамбовки параллельно с ее подъемом и сбрасывание трамбовки с коническим наконечником в раскрученном состоянии вниз позволяет повысить точность попадания в одно и то же место и снизить энергозатраты на вытрамбовывание котлована за счет снижения лобового сопротивления внедрению трамбовки в грунт. Образование пазух между стенками котлована и боковой поверхностью трамбовки при взаимодействии уширений вращающейся трамбовки с грунтом позволяет снизить энергозатраты на формирование котлована и выемку трамбовки из котлована и требует для извлечения трамбовки меньших усилий. В совокупности, все вышесказанное позволяет повысить эффективность вытрамбовывания котлованов.

На разработанный способ оформлена и подана заявка на выдачу патента РБ на изобретение, которая в настоящий момент находится на рассмотрении.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Крутов В.И., Багдасаров Ю.А., Рабинович И.Г. *Фундаменты в выгравированных котлованах.* - М.: Стройиздат, 1985. - 164 с.
2. Чернюк В.П., Пойта П.С. *Расчет, проектирование и устройство свайных фундаментов.* - Брест : облтипография, 1998. - 215 с.

УДК 624.155.001.23

**Чернюк В.П., Тимошук В.А.**

**К РАСЧЕТУ ВЕЛИЧИНЫ ОТКАЗА ЗАБИВНЫХ СВАЙ ПРИ ПОГРУЖЕНИИ В ГРУНТ**

Правильный и точный расчет величины погружения забивных свай в грунт на стадии проектирования фундаментов имеет важное значение для нормирования трудовых и денежных затрат, определения времени погружения свай и сроков производства работ, создания наименее энергоемких условий погружения и рационального выбора сваебойной техники.

В практике строительства отказы и продолжительность погружения свай определяют фактически на стадии производства работ после забивки пробного числа свай. При забивке свай паровоздушными молотами одиночного действия или дизельными последний залог следует принимать равным 30 ударам, а отказ определять как среднее значение из 10 последних ударов в залоге [1]. Это объясняется отсутствием соответствующей надежной методики расчета.

В теории фундаментостроения известны две методики определения отказа забивных свай при погружении в грунт. Первая из них, предложенная в 30-ых годах прошлого века Н. М. Герсевановым (НИИОСП), используется в расчетных целях до сих пор [1]. Однако она имеет несколько эмпирических коэффициентов и обладает определенной сложностью вычислений. Вторая методика, предложенная сотрудниками кафедры ТСП БГТУ [2-5], относительно проста в расчетах, не имеет эмпирических коэффициентов и дает сравнительно точные результаты вычислений, приблизительно одинаковые с формулой Н. М. Герсеванова. Обе формулы представлены ниже в таблице 1.

В формулах (1), (2) приняты следующие обозначения:

$\eta$  – эмпирический коэффициент, зависящий от материала свай, кН/м<sup>2</sup>, принимаемый по таблице;

$A$  – площадь поперечного сечения свай, м<sup>2</sup>;

$Ed$  – расчетная энергия удара молота, кДж, принимаемая по таблице;

$Fd$  – расчетная несущая способность свай, кН;

$m_1$  – масса молота, т;

$m_2$  – масса свай и наголовника, т;

$m_3$  – масса подбабка, т;

$\epsilon^2$  – эмпирический коэффициент восстановления удара, принимаемый для дизельных молотов с применением наголовника с деревянным вкладышем  $\epsilon^2 = 0,2$ ;

$m_y$  – масса ударной части молота, т;

$g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения;

**Таблица 1.** Расчетные формулы (1), (2).

Формула Н. М. Герсеванова (1)	Формула кафедры ТСП БГТУ (2)
$S = \frac{\eta A E d}{F d (F d + \eta A)} \cdot \frac{m_1 + \epsilon^2 (m_2 + m_3)}{m_1 + m_2 + m_3}$	$S = \frac{m_y g H (1 - \mu)}{F d} \cdot \frac{m_y}{m_1 + m_2 + m_3}$

**Чернюк Владимир Петрович.** К.т.н., доцент каф. технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.

**Тимошук Валерий Анатольевич.** Ассистент каф. технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.

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

$H$  – фактическая высота падения ударной части молота, м;

$\mu$  – коэффициент отскока ударной части свай, дол. ед., принимаемый по экспериментальным данным.

Как видно в формуле (1) имеется два эмпирических коэффициента  $\eta$  и  $\epsilon^2$ , в формуле (2) – один  $\mu$ . Также в формуле (1) используется большее количество расчетных значений.

Для наглядности сравним результаты расчетов, вычисленных по формулам (1), (2) при следующих общих исходных данных:

Забивная свая с 7-30 (сечение 0,3×0,3 м, длина – 7м,  $m_c = 1,6$  т); трубчатый дизель-молот С-859 ( $m_y = 1,8$  т, высота падения ударной части  $H = 2,8$  м; полная масса молота  $m = 3,5$  т; энергия удара молота

$Ed = 0,9 \cdot m_y \cdot H \cdot g = 0,9 \cdot 1,8 \cdot 2,8 \cdot 9,81 = 44,5$  кДж);

масса наголовника  $m_{наг} = 0,1$  т; масса подбабка  $m_n = 0$ ; несущая способность свай  $F = 200$  кН;  $\epsilon^2 = 0,2$ ; коэффициент

$\eta = 1500$  кН/м<sup>2</sup>; коэффициент отскока  $\mu = 0,3$ ;

$A = 0,3 \times 0,3 = 0,09$  м<sup>2</sup>.

*Результаты вычислений:*

по формуле (1)

$$\delta = \frac{1500 \cdot 0,09 \cdot 44,5}{200 \cdot (200 + 1500 \cdot 0,09)} \cdot \frac{3,5 + 0,2 \cdot (1,6 + 0,1)}{3,5 + 1,6 + 0,1} =$$

$$= 0,09 \cdot 0,74 = 0,066 \text{ м} = 6,6 \text{ см}$$

по формуле (2)

$$\delta = \frac{1,8 \cdot 9,81 \cdot 2,8 \cdot (1 - 0,3)}{200} \cdot \frac{1,8}{3,5 + 1,6 + 0,1} =$$

$$= 0,165 \cdot 0,345 = 0,061 \text{ м} = 6,1 \text{ см}$$

Как видно из расчетов результаты вычислений совпадают достаточно близко.

Для подтверждения реальности значений коэффициента отскока  $\mu$  авторами проводились экспериментальные исследования величины отскока  $h$  металлических шаров массой 50 и 5г от деревянных, металлических и железобетонных поверхностей с высоты падения  $H = 3; 2,5; 2; 1,5; 1; 0,5$  м.