

обеспечивающую при дальнейшем погружении сваи поворот лопастей 3 в наклонное положение (рис.1а). Погружение сваи можно производить забивкой или вдавливанием. Для уменьшения изгибающих моментов, действующих на оси 4, лопасти 3 в верхней части снабжаются выступами 14, контактирующими в вертикальном положении со стволом 1.

Затем извлекают шток 9 и продолжают погружать сваю на проектную отметку. В результате взаимодействия скосов 10 лопастей 3 с грунтом и расположения осей 4 выше центров тяжести лопастей 3 последние поворачиваются вместе с осями 4 до опирания упоров 7 в стенки 5 ствола 1 (рис.1б).

После поворота лопастей 3 в проектное, наклонное положение производят осаживание сваи для уплотнения грунта под лопастями 3.

Если предполагается работа сваи на выдерживающие или знакопеременные нагрузки, на заключительном этапе в полость 6 ствола 1 укладывается бетонная смесь (на чертежах не показано). В этом случае осаживание сваи для уплотнения грунта под лопастями 3 нецелесообразно. При необходимости повторного использования сваи производят ее вращение по часовой стрелке посредством завинчивающих установок. При этом, благодаря расположению лопастей 3 под углом к горизонтальной плоскости, происходит вывинчивание сваи из грунта.

Для уплотнения грунта в процессе вывинчивания сваи производят ее периодическое осаживание статической или динамической нагрузкой  $P_d$ . В этом случае вывинчивание сваи производится ступенями, высота каждой из которых принимается в зависимости от вида уплотняемого грунта, плотности его скелета и характера нагрузки  $P_d$ .

Осаживание сваи производят вначале каждой из ступеней вывинчивания на величину  $\Delta h_k$ , обеспечивающую необходимую плотность скелета грунта и принимаемую из выражения

$$\Delta h_k \geq \left(1 - \frac{\gamma}{\gamma_{yh}}\right) H_{k-1} \cdot m + \Delta h_{r-1}, \quad (1)$$

где  $k$ -порядковый номер ступени вывинчивания;

$\gamma$ - плотность скелета грунта до его уплотнения;

$\gamma_{yh}$  - необходимая плотность скелета грунта после уплотнения;

$H_{k-1}$ - высота "к-1" ступени вывинчивания или величина  $H_0$ ;

УДК 624.157.2

**Пчелин В.Н., Шляга Н.П., Сташевская Н.А.**

## СПОСОБ ЗАБИВКИ СВАЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ БЕЗОСТАНОВЧНУЮ РАБОТУ ДИЗЕЛЬ-МОЛОТОВ

При забивке сваи в слабые грунты в начальный момент забивки отказ сваи может превышать максимально допустимый отказ 18...30 см (см. [1], с.88), обеспечивающий устойчивый запуск и работу дизель-молотов, что приводит к отказам (остановке) дизель-молотов, снижающих их производительность.

Кроме того, наличие больших начальных отказов сваи может привести к значительным отклонениям сваи от проектного положения, обуславливая низкую точность работ.

В совокупности вышесказанное определяет низкую эффективность процесса забивки свай дизель-молотами.

В известной строительной практике для уменьшения отказа сваи в начальный момент забивки увеличивают ее массу

*Сташевская Надежда Александровна, к.т.н., доцент каф. технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.*

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

*Строительство и архитектура*

$m$  - коэффициент, учитывающий расширение грунта в стороны ( $m=1...1,2$ ).

Перед вывинчиванием рабочего органа на первую ступень посредством его осаживания на  $\Delta h_1$  уплотняется грунт с ненарушенной структурой на участке  $H_0$ , в этом случае при определении  $\Delta h_1$  по (1) принимают  $\Delta h_{k-1}$  равным нулю, т.к. грунт ниже этого участка не уплотняется.

После осаживания на  $\Delta h_1$  сваю вывинчивают на высоту  $H_1 + \Delta h_1$ , где  $H_1$ -высота 1-ой ступени вывинчивания, и начинается новый цикл уплотнения грунта с осаживанием сваи на высоту  $\Delta h_2$  ( $\Delta h_k$ ), определяемую по (1).

Вывинчивание сваи с осаживанием производят до ее выхода на дневную поверхность, при этом в грунте образуется выемка, которая на заключительном этапе засыпается грунтом с его уплотнением трамбовками 14.

Степень уплотнения грунта регулируется высотой ступени вывинчивания, величиной и характером нагрузки  $P_d$ .

В случае необходимости обеспечения более высокой плотности грунта наконечник ствола выполняется раскрываемым. При этом в процессе вывинчивания сваи скважину заполняют сыпучим грунтом.

Применение предлагаемой сваи позволяет упростить технологию установки сваи в грунт и обеспечить возможность повторного использования сваи и глубинного уплотнения грунта благодаря тому, что поворот лопастей выполняется с использованием того же оборудования, которым свая погружается в грунт, и лопасти, после поворота в проектное положение, устанавливаются под углом к горизонтальной плоскости.

На разработанную конструкцию сваи подана заявка на выдачу патента РБ на полезную модель, которая в настоящий момент находится на рассмотрении.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. А.С. 575395 СССР, МКИ Е 02 D 5/56. Свая./ И.П.Кулиев, Д.А.Бабаев, Т.М.Алиев; НИ и проектный ин-т.- №2141433/2-33; Заявл.02.04.76; Опубл.05.10.77; Бюл.№37 // Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки.- 1977.- № 37.

путем заливки в полость сваи жидкости [2]. Увеличение массы сваи приводит к уменьшению соотношения масс ударной части молота и сваи, что, в свою очередь, приводит к снижению К.П.Д удара молота, обуславливая уменьшение отказа сваи. Однако данное решение характеризуется сложностью производства работ, которая определяется необходимостью подключения сваи посредством шлангов к емкости с жидкостью, нагнетания жидкости насосом в полость сваи в начале забивки и последующей откачки жидкости по мере погружения сваи. При этом для реализации способа необходима специальная, сложная конструкция полый сваи. Указанные недостатки не позволяют обеспечить широкое применение известного способа в строительстве.

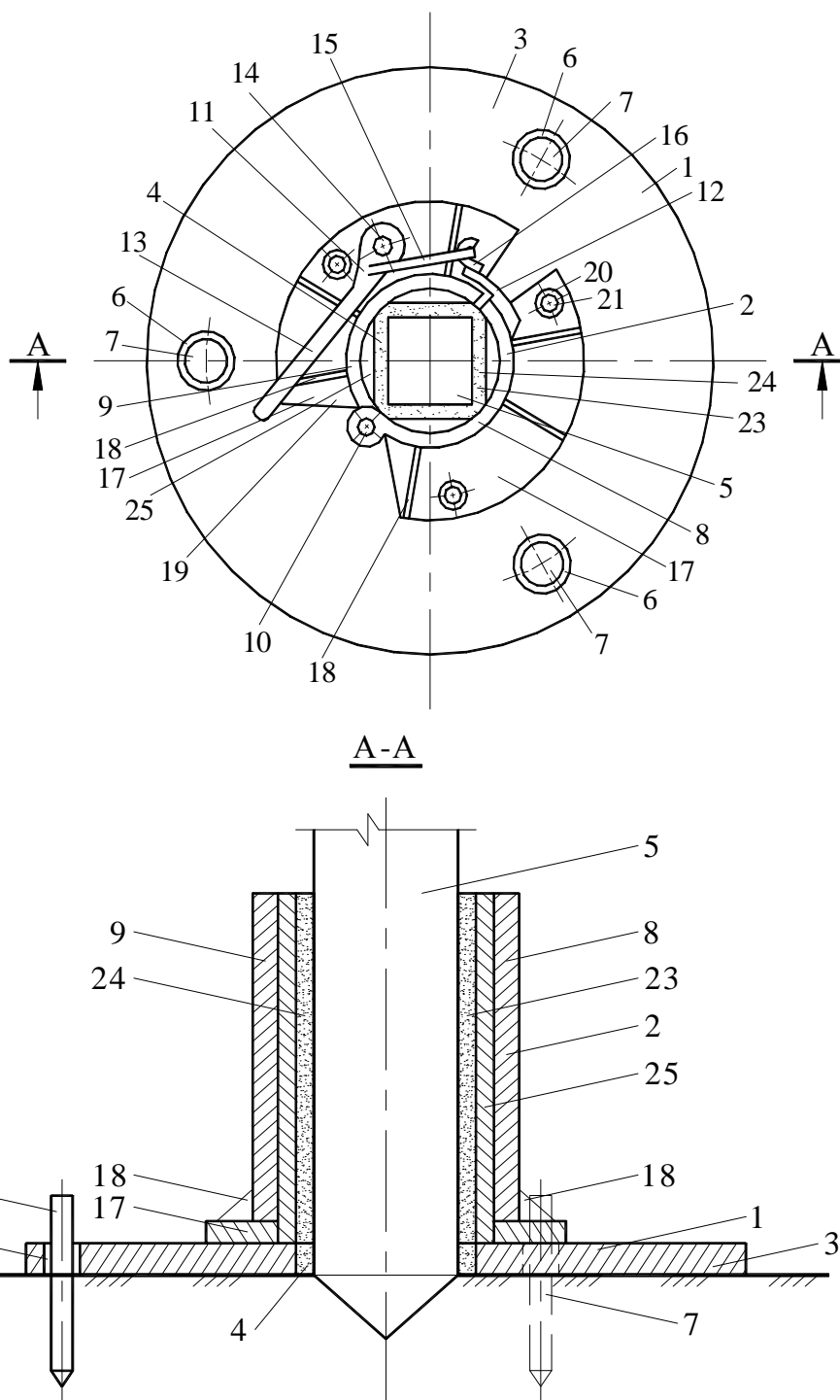


Рис. 1. Конструкция кондуктора и разъемной втулки, используемых для реализации способа, обеспечивающего создание дополнительного бокового сопротивления забивке сваи в грунт:

1 – кондуктор; 2 – разъемная втулка; 3 – опорная плита; 4 – гнездо; 5 – свая; 6 – отверстия в плите; 7 – стержневые шипы; 8,9 – половинки втулки; 10 – ось втулки; 11 – быстродействующий затвор; 12 – полосовая накладка; 13 – рычаг; 14 – ось рычага; 15 – скоба; 16 – крюк; 17 – опорная пластина; 18 – ребра жесткости; 19 – скос; 20 – отверстия в опорной плите и пластине; 21 – стержневой фиксатор; 23 – зазоры; 24 – грунт засыпки; 25 – внутренние накладки.

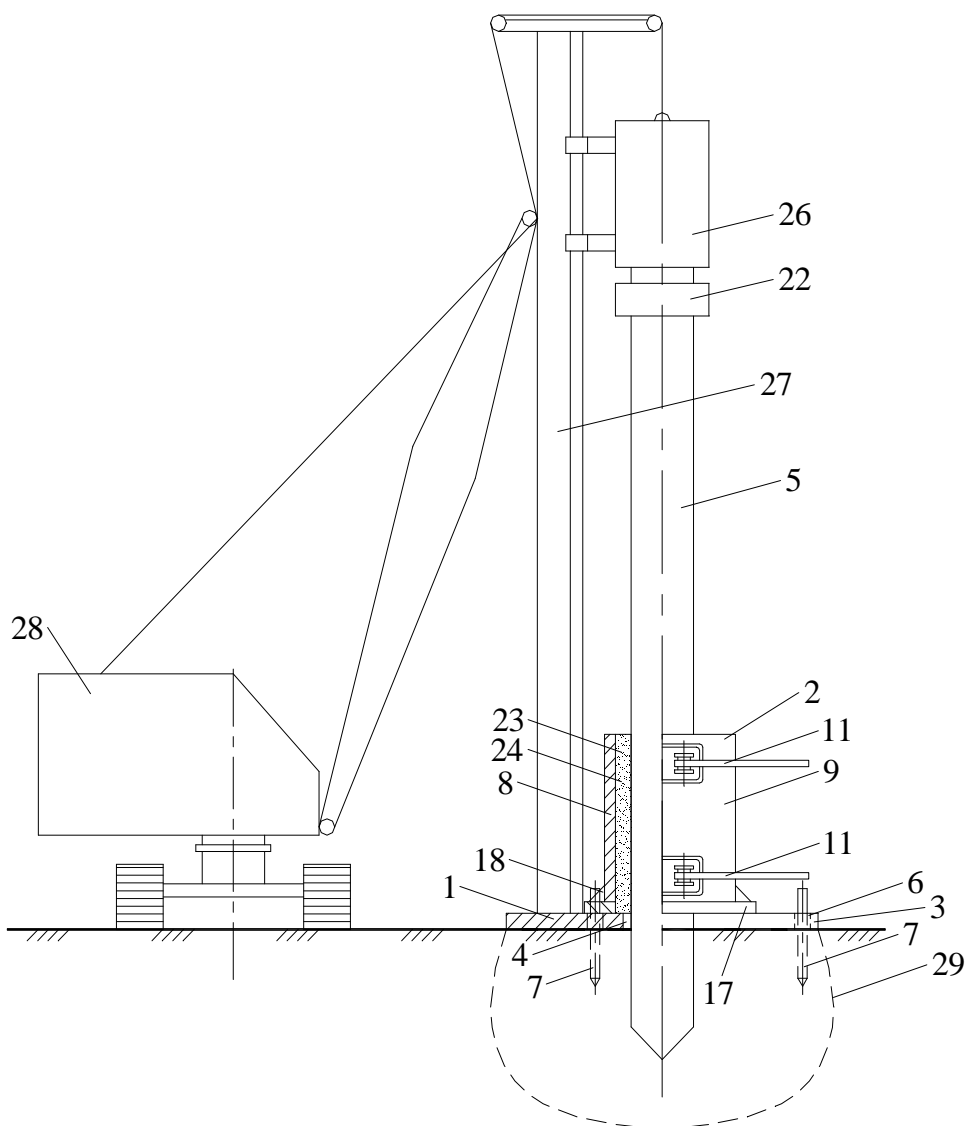
В соответствии с [3] значение отказа  $s_a$  сваи при забивке железобетонных свай длиной до 25 м можно найти по выражению

$$s_a = \frac{\eta \cdot A \cdot E_d}{F(F + \eta \cdot A)} \cdot \frac{m_1 + \varepsilon^2 \cdot m_2}{m_1 + m_2}, \quad (1)$$

где  $\eta$  – коэффициент, принимаемый по [3], прил.4, табл.2, в зависимости от материала свай;

$A$  – площадь, ограниченная наружным контуром сплошного или полого поперечного сечения ствола сваи (независимо от наличия или отсутствия у сваи острия);

$E_d$  – расчетная энергия удара молота;



**Рис. 2.** Схема забивки сваи дизель-молотом с созданием дополнительного бокового сопротивления забивке сваи посредством разъёмной втулки:

1 – кондуктор; 2 – разъёмная втулка; 3 – опорная плита; 4 – гнездо; 5 – свая; 6 – отверстия в плите; 7 – стержневые шипы; 8, 9 – половинки втулки; 11 – быстродействующий затвор; 17 – опорная пластина; 18 – ребра жесткости; 22 – наголовник; 23 – зазоры; 24 – грунт засыпки; 25 – внутренние накладки; 26 – дизель-молот; 27 – направляющая мачта; 28 – копер; 29 – уплотненная зона грунта

$m_1$  – масса молота;

$\epsilon$  – коэффициент восстановления удара;

$m_2$  – масса сваи с наголовником и подбабком;

$F$  – несущая способность сваи по грунту основания.

Из формулы (1) очевидно, что добиться уменьшения отказа сваи проще всего увеличением несущей способности сваи по грунту основания.

Несущую способность сваи в процессе ее забивки по данным статического зондирования можно определить по формуле [4]

$$F = k_1 [R_{zi} \cdot A + \sum k_2 \cdot \tau_i \cdot U \cdot h_i], \quad (2)$$

где  $k_1$  – коэффициент однородности грунта строительной площадки;

$R_{zi}$  – лобовое сопротивление грунта зондированию;

$k_2$  – коэффициент проработки грунта, учитывающий неполноту контакта сваи с грунтом в процессе ее забивки;

$\tau_i$  – величина бокового сопротивления грунта зондированию;

$U$  – периметр поперечного сечения сваи;

$h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта.

В соответствии с выражением (2) несущая способность сваи по грунту основания в процессе ее забивки состоит из лобового и бокового сопротивления погружению, причем в начальный момент забивки боковое сопротивление практически равно нулю вследствие малых значений  $h_i$ .

Лобовое и боковое сопротивление забивке сваи в грунт можно увеличить путем:

- улучшения физико-механических характеристик грунта ( $R_{zi}$  и  $\tau_i$ );
- увеличения площади поперечного сечения сваи  $A$ ;
- увеличения периметра поперечного сечения ствола  $U$ ;
- увеличения толщины взаимодействующего с боковой поверхностью сваи слоя грунта.

На основе приведенных выше рассуждений авторами разработан способ погружения свай дизель-молотами, основанный на создании дополнительного бокового сопротивления забивке путем увеличения толщины взаимодействующего с боковой поверхностью сваи слоя грунта в начальный момент забивки сваи.

Для реализации способа используется кондуктор 1 и разъемная втулка 2 (рис.1). Кондуктор состоит из опорной плиты 3 с гнездом 4 для пропуска сваи 5. В опорной плите 3 выполнены сквозные отверстия 6, через которые в грунт забиваются стержневые шипы 7 для фиксации кондуктора 1 в плане. Размеры опорной плиты в плане должны в 2,5...3 раза превышать размеры сваи.

Разъемная втулка 2 представляет собой отрезок трубы, который разрезан по образующим на две половинки 8,9, соединенные осью 10 и стягиваемые быстродействующими затворами 11. Половинка 8 снабжена жестко прикрепленной к ней снаружи с возможностью нахлеста на половинку 9 полосовой накладкой 12.

Каждый быстродействующий затвор 11, основанный на схеме шатунно-кривошипного механизма, состоит из рычага 13, поворачивающегося вокруг оси 14, закрепленной на поверхности половинки. На каждом из рычагов 13 укреплена скоба 15, входящая в крюк 16, прикрепленный к наружной поверхности накладки 12. Для обеспечения нормального стягивания половинок 8,9 должно быть не менее двух быстродействующих затворов. К нижним торцам половинок 8,9 жестко прикреплены опорные пластины 17 с ребрами жесткости 18 со скосами 19, обеспечивающими поворот половинок 8,9 на угол, позволяющий снять втулку 2 со сваи.

Для предотвращения смещения втулки относительно кондуктора и обеспечения их соосности в пластинах 17 и плите 3 выполнены отверстия 20, в которые устанавливаются стержневые фиксаторы 21.

Способ реализован следующим образом.

Вначале производят установку кондуктора 1 над точкой погружения сваи и фиксацию его в плане посредством заглубления в грунт через отверстия 6 в плите 3 стержневых шипов 7.

После монтажа кондуктора 1 производят подтаскивание, подъем и заведение сваи 5 в наголовник 22 и гнездо 4 кондуктора 1 и вокруг сваи 5 соосно устанавливают разъемную втулку 2 с возможностью опирания ее пластин 17 на плиту 3. Установку втулки 2 заканчивают совмещением отверстий 20 плиты 3 и пластин 17 и заведением в отверстия 20 фиксаторов 21.

Зазоры 23 между втулкой 2 и свайей 5 засыпают малосжимаемым грунтом 24, например, песком или гравием, при этом фиксаторы 21 предотвращают смещение (расхождение) половинок 8,9 втулки 2. В случае квадратных свай 5 для уменьшения объема зазоров 23 к внутренней поверхности половинок могут быть прикреплены накладки 25. Засыпку грунта 24 в зазоры 23 можно производить, при необходимости, с его уплотнением.

Далее выполняют обжатие грунта 24 засыпки и сваи 5 путем стягивания половинок 8,9 быстродействующими затворами 11. В процессе стягивания половинок 8,9 производят выемку фиксаторов 21. Стягивание половинок 8,9 выполняют путем поворота рычагов 13 вокруг осей 14 до упора на наружную стенку половинок 9, при этом скобы 15 натягивают крюки затягиваемой втулки 8 и переходят через мертвую точку рычагов 13.

Возможна также засыпка зазоров 23 смесью малосжимаемого грунта и негашеной извести. В этом случае, после засыпки смеси, стягивают половинки 8,9 втулки 2 и производят увлажнение засыпки водой. При этом происходит гашение извести, которая увеличивается в объеме, обеспечивая обжатие смеси засыпки и сваи 5. При применении в качестве засыпки смеси грунта с известью стягивание половинок 8,9 втулки 2 возможно также перед засыпкой зазоров 23.

После обжатия грунта 24 засыпки и сваи 5 выполняют забивку последней на проектную отметку дизель-молотом 26 (рис.2), который перемещается вдоль направляющих 27 копра 28. При этом, после погружения сваи на глубину, в пределах

которой при обычной забивке сваи 5 ее отказ превышает максимально допустимый отказ, обеспечивающий устойчивый запуск и работу дизель-молота 26, откидывают рычаги 13 быстродействующих затворов 11 и со сваи 5 снимают, в случае необходимости, разъемную втулку 2.

В процессе забивки сваи 5 при ее прохождении через грунт 24 засыпки часть ударной нагрузки через грунт 24 засыпки, втулку 2, пластины 17 и опорную плиту 3 кондуктора 1 передается на верхние слои грунта основания, что приводит к их уплотнению с образованием уплотненной зоны 29.

Обжатие грунта 24 засыпки и сваи 5 производят до получения в начальный момент забивки сваи 5 бокового сопротивления  $\tau$  статическому зондированию, обеспечивающего отказ сваи не более максимально допустимого отказа и определяемого из соотношения

$$\tau \geq \frac{\sqrt{\eta^2 \cdot A^2 + \frac{4\eta \cdot A \cdot E_d (m_1 + \varepsilon^2 \cdot m_2)}{S_{\max} (m_1 + m_2)}} - \eta \cdot A - 2k_1 \cdot R_3 \cdot A}{2k_1 \cdot k_2 \cdot h \cdot U} \quad (3)$$

где  $h$  – высота грунта 24 засыпки в зазорах 23 между втулкой 2 и свайей 5 относительно поверхности земли.

Данное соотношение получено путем подстановки в формулу (1) определения отказа сваи максимально допустимого отказа сваи (вместо  $S_n$ ) и несущей способности сваи  $F$  (2) в момент начала ее забивки и выражения из полученного уравнения необходимого бокового сопротивления  $\tau$ .

Величину дополнительного бокового сопротивления забивке сваи 5 можно регулировать степенью обжатия грунта 24 засыпки и сваи 5, количеством вводимой в грунт засыпки негашеной извести, высотой столба грунта 24 засыпки, размерами зазоров 23.

Благодаря дополнительному боковому сопротивлению, которое создается силами трения и сцепления между грунтом засыпки и боковой поверхностью сваи 5, на всей глубине забивки отказ сваи 5 не превысит максимально допустимый отказ, т.е. будет обеспечена устойчивая (безотказная) работа дизель-молота 26 и, тем самым, максимальная его производительность.

Предлагаемым способом можно погружать любые забивные сваи, что расширяет область его применения. Кроме того, предлагаемым способом можно создавать дополнительное боковое сопротивление погружению сваю на любой глубине.

Уплотнение грунта обеспечивает повышение несущей способности сваи на горизонтальные нагрузки и уменьшает затраты труда на последующее уплотнение грунта, например, в случае устройства по грунту основания полов.

На разработанный способ оформлена и подана заявка на выдачу патента Республики Беларусь на изобретение № а 20011125 от 28.12.2001 г. "Способ погружения сваи", которая в настоящий момент находится на рассмотрении.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лубнин В.В., Заикина В.З. Машины и оборудование для погружения свай: Учеб. для ПТУ.- М.: Высш.шк., 1989.- 215 с.
2. А. С. 676687 СССР, МКИ Е 02 D 7/02. Способ для погружения полый или сплошной сваи и устройство для осуществления способа / М.И. Межогчих, В.Г. Тришин; Северный филиал ВНИИСТ.- Заявл. 20.03.78; Опубл. 30.07.79; Бюл.№28 // Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки.- 1979.- № 28.- с.113.
3. СНиП 3.02.01-87. Земляные сооружения, основания и фундаменты/ Госстрой СССР.- М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988.- 128 с.
4. Еникеев А.Х. Методические рекомендации по выбору молота и расчету времени погружения свай по данным статического зондирования.- Уфа: НИИПромстрой, 1977. - 24 с.