

определять характер разрушения изгибаемого элемента, и в частности, установить возможность появления горизонтальных трещин (ветвления трещин нормального отрыва). По результатам статистической оценки модели в соответствии с методикой EN1990:2001 [6] получено, что при расчетах прочности для конструкций не выше второго класса надежности следует использовать коэффициент безопасности  $\gamma_{sr}=1,7$ .

### 3. ВЫВОДЫ

1. Предложенная деформационная модель для расчета комбинированно-напряженных элементов без сцепления напрягаемой арматуры с бетоном адекватно описывает их сопротивление действию нагрузок. Наблюдаемые отклонения в опытных и расчетных значениях предельных усилий следует связывать главным образом с ошибками при моделировании характеристик свойств материалов, используемых в расчетах и применением эмпирических коэффициентов.

2. При расчете прочности нормальных сечений по предложенной нелинейной деформационной модели следует использовать коэффициент безопасности  $\gamma_{sr}=1,7$ .

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Васильев П.И., Залесов А.С., Рочняк О.А., Образцов О.Л., Деркач В.Н. Рекомендации по расчету железобетонных предварительно напряженных изгибаемых элементов без сцепления арматуры с бетоном. Москва – Санкт-Петербург – Брест, 1993.
2. Образцов Л.В. Исследование железобетонных предварительно напряженных балок без сцепления арматуры с бетоном на действие изгибающего момента и поперечной силы. Дис. Канд.техн.наук - Брест, 1980.
3. Тур В.В. Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжения конструкций при применении напрягающего бетона.-изд. БПИ, 1997, Брест - 240 с.
4. СНБ 5.03.01 «Конструкции бетонные и железобетонные. Нормы проектирования.»-Минск, Стройтехнорм-2002 г.- 274 с.
5. Eurocode 2 EN 1992 : 2001 (Final Draft) Design of concrete structures- Part 1 : General rules and rules for building – Brussels-2001-230 p.
6. EN 1990 : 2001 Eurocode 1 : Basis of structural design.
7. Alkhari F.M., Naaman A.E. Analysis of beams prestressed with unbonded internal or external tendons.// Journ. of Struct. Engrg.-vol. 119, №9, 1993-p.p.2680-2700.
8. Al-Zaid R.Z., Naaman A.E., Nowak A.S. Partially prestressed composite beams under sustained and cyclic loads.// Journ. of Struct. Engrg.-vol. 114, №2, 1988-p.p.269-291.
9. Harajli M.H., Hijazi S. Evaluation of the ultimate steel stress in partially prestressed concrete members.// PCI Journ.-vol. 36, №1, 1991-p.p.62-68.
10. Teo T.P. Experimental study of the behavior of simply supported unbonded post-tensioned one-way slabs.// MSc thesis, University of Waterloo-Waterloo, Canada, 1975-273 p.
11. Harajli M.H., Kanj M.Y. Service load behavior of concrete members prestressed with unbonded tendons.// Journ. of Struct. Engrg.-vol. 118, №9, 1993-p.p.2569-2589.
12. Branson D.E., Trost H. Unified procedures for predicting the deflection and centroidal axis location of partially cracked non-prestressed and prestressed concrete members.// ACI Journ.-vol.72, №2, 1982-p.p. 119-130.
13. Recommendation for concrete members prestressed with unbonded tendons.// ACI 423, 3R-89-Amer.Concr.Inst., Detroit, Mich.
14. Moon J.H., Burns N.H. Flexural behavior of member with unbonded tendons.// Journ. of Struct. Engrg.-vol. 123, №8, 1997-p.p.1087-1101.
15. Образцов О.Л. Самонапряженные изгибаемые элементы без сцепления напрягаемой арматуры с бетоном. Отчет по научно-исследовательской теме ГБ 01/205, Брест, 2001 г., 70 с.
16. Образцов О.Л., Щербач А.В. Основы деформационного метода расчета конструкций без сцепления напрягаемой арматуры с бетоном и его компьютерная реализация. Вестник БГТУ. Строительство и архитектура №1 (13), 2002 г.

УДК 624.157.2

**Пчелин В.Н., Шляга Н.П., Щербач В.П.**

## СПОСОБ ПОГРУЖЕНИЯ СВАЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ БЕЗОТКАЗНУЮ РАБОТУ ДИЗЕЛЬ-МОЛОТОВ

При погружении 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-молота, что приводит к отказам (остановке) дизель молота, снижающих его 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

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.

**Пчелин Вячеслав Николаевич.** Доцент каф. технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.

**Шляга Николай Петрович.** Студент строительного факультета Брестского государственного технического университета.

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

Беларусь, БГТУ, 224107, г. Брест, ул. Московская, 267.

В соответствии с [3] значение отказа  $S_d$  сваи при забивке железобетонных свай длиной до 25 м в зависимости от энергии удара  $E_d$  выбранного молота и несущей способности  $F$  сваи можно найти по выражению

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

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

$A$  – 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;

$m_1$  – масса молота;

$\varepsilon$  – 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]

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

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) несущую способность сваи по грунту основания в процессе ее забивки можно увеличить путем:

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

Добиться улучшения физико-механических свойств верхних слоев грунта проще всего его уплотнением, технология которого в настоящий момент хорошо отработана в строительстве. Более предпочтительным является уплотнение грунта трамбованием, при котором обеспечивается компактная зона уплотнения в точке погружения сваи.

На основе приведенных выше рассуждений авторами разработан способ погружения свай дизель-молотами с предварительным уплотнением верхних, слабых слоев грунта.

Суть способа состоит в том, что перед погружением сваи устанавливают отказную глубину  $h_{om}$  ее забивки, в пределах которой отказ сваи превышает максимально допустимый отказ, обеспечивающий устойчивый запуск и работу дизель-молота, и производят уплотнение грунта на отказную глубину.

Причем отказную глубину забивки сваи устанавливают путем забивки пробных свай, а грунт уплотняют до обеспечения в пределах отказной глубины несущей способности сваи  $F$ , определяемой из соотношения

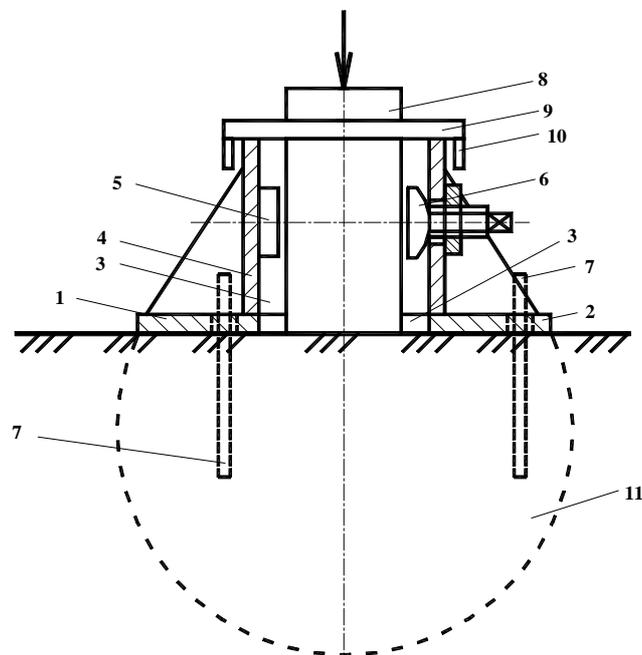
$$F \geq \sqrt{\eta^2 \cdot A^2 / 4 + \frac{\eta \cdot A \cdot E_d (m_1 + \varepsilon^2 \cdot m_2)}{S_{max} (m_1 + m_2)}} - \eta \cdot A / 2, \quad (3)$$

где  $S_{max}$  – максимально допустимый отказ сваи, обеспечивающий устойчивый запуск и работу дизель-молота.

Данное соотношение получено путем подстановки в формулу (1) определения отказа сваи максимально допустимого отказа сваи (вместо  $S_d$ ) и выражения из полученного уравнения несущей способности сваи в процессе ее забивки.

В случае однородных верхних слоев грунта отказную глубину  $h_{om}$  можно определить по выражению

а)



б)

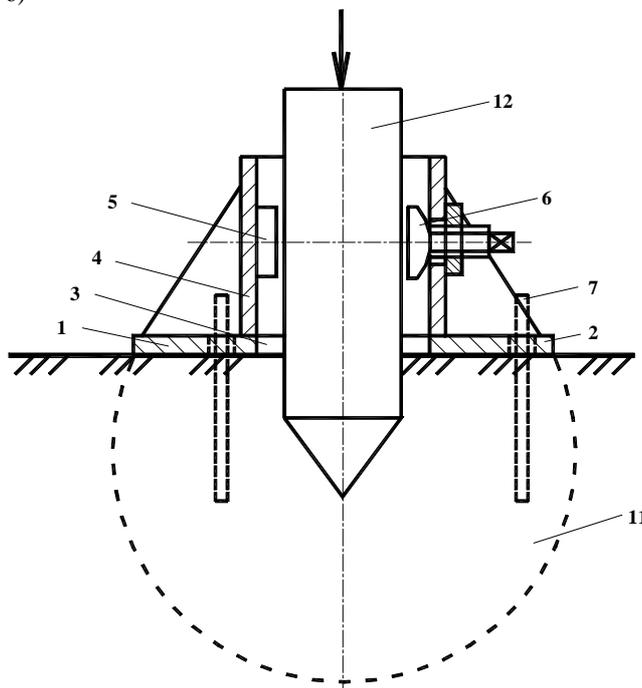


Рисунок 1 – Схема забивки свай в грунт дизель-молотами с предварительным уплотнением верхних, слабых слоев грунта: а) процесс уплотнения грунта на отказную глубину путем нанесения ударов дизель-молотом по трубку; б) процесс забивки сваи дизель-молотом; 1 – кондуктор; 2 – опорная плита; 3 – гнездо; 4 – втулка; 5 – неподвижные упоры; 6 – подвижные упоры; 7 – стержневые шипы; 8 – патрубок; 9 – кольцевой упор; 10 – штыревой фиксатор; 11 – уплотненная зона грунта; 12 – свая.

$$h_{om} \geq \left[ \sqrt{\eta^2 \cdot A^2 + \frac{4\eta \cdot A \cdot E_d(m_1 + \varepsilon^2 \cdot m_2)}{S_{max}(m_1 + m_2)}} - \eta \cdot A - 2k_1 \cdot R_3 \cdot A \right] / ((2k_1 \cdot k_2 \cdot \tau \cdot U) - S_{max} / 2) \quad (4)$$

Выражение (4) получено на основании (3) из условия, что несущая способность сваи в момент ее забивки на отказную глубину равна

$$F = k_1 [R_{31} \cdot A + k_2 \cdot \tau_1 \cdot U (h_{om} + S_{max} / 2)], \quad (5)$$

где:  $R_{31}$  – лобовое сопротивление верхнего слоя грунта зондированию;

$\tau_1$  – величина бокового сопротивления верхнего слоя грунта зондированию.

Для реализации способа без привлечения дополнительных грунтоуплотняющих машин используется кондуктор 1, который состоит из опорной плиты 2 с гнездом 3 для пропуска сваи (рис.1). На опорной плите соосно гнезду монтирована втулка 4 которая жестко скреплена с плитой. Для фиксации сваи в плане в процессе ее забивки втулка снабжена двумя неподвижными 5 и двумя радиально подвижными 6 упорами. В опорной плите выполнены сквозные отверстия, через которые в грунт забиваются стержневые шипы 7 для фиксации кондуктора в плане. Размеры опорной плиты в плане должны в 2,5-3 раза превышать размеры сваи.

При уплотнении грунта в гнездо кондуктора соосно устанавливается патрубок 8 с заглушенными торцами и с кольцевым упором 9 на боковой поверхности, опирающимися на торец втулки (фиг.1 а). Для обеспечения соосности кондуктора и патрубка кольцевой упор последнего снабжается штыревыми фиксаторами 10. Длину патрубка 14 от кольцевого упора до нижнего торца следует принимать равной высоте кондуктора, при этом нижний торец будет контактировать при установке в кондуктор с грунтом основания.

После чего по патрубку наносят удары дизель-молотом. Энергия ударов через патрубок, упор, втулку и опорную плиту передается на грунт основания, при этом производится образование уплотненной зоны 11 грунта.

УДК. 624.157.2

**Пчелин В.Н., Шляга Н.П., Чернюк В.П.**

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ДИЗЕЛЬ-МОЛОТОВ ЗА СЧЕТ СОЗДАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЛОБОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАБИВКЕ СВАЙ

Для обеспечения нормальной работы дизель-молотов необходимо, чтобы отказ забиваемой сваи (величина осадки сваи за один удар) не превышал максимально допустимого отказа 18...30 см (см. [1], с.88), в противном случае дизель-молоты глохнут, то есть происходит их остановка. Чаще всего данная ситуация возникает в начальной стадии погружения свай в слабые грунты.

В случае наличия слабых грунтов небольшой толщины для исключения недопустимых отказов сваи достаточно просто уплотнить грунт. Однако при большой толщине слабых грунтов уплотнение грунтов становится затруднительным.

Для решения данной проблемы авторами предложена конструкция забивной сваи, благодаря которой в начальный момент забивки сваи создается дополнительное лобовое сопротивление ее погружению.

Для создания дополнительного лобового сопротивления

После уплотнения грунта поднимают дизель-молот с наголовником в верхнее положение, из кондуктора извлекают патрубок и производят подтаскивание, подъем и заведение сваи 12 в наголовник и гнездо кондуктора. Положение сваи в плане фиксируется посредством упоров кондуктора.

На заключительном этапе выполняют забивку сваи на проектную отметку (рис.1 б), при этом на всей глубине забивки будет обеспечена устойчивая (безотказная) работа дизель-молота, так как благодаря уплотнению грунта отказ сваи не будет превышать максимально допустимого отказа.

Уплотнение грунта в пределах предварительно установленной отказной глубины позволяет получить на всей глубине погружения отказ сваи, не превышающий максимально допустимый отказ, благодаря чему обеспечивается устойчивый запуск и работа дизель-молота, т.е. его максимальная производительность. Предлагаемым способом можно погружать любые забивные сваи. Уплотнение грунта обеспечивает также 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, 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. Авторское свидетельство СССР № 676687, Е 02 D 7/02, 1979, № 28.
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.

забивке сваи, включающей ствол 1 с заостренным наконечником 2 в нижней части, свая снабжается опорным элементом 3 в виде охватывающих ствол и соединенных между собой полублоков 4 (рис.1).

Высота полублоков принимается не менее глубины забивки ствола дизель-молотом, в пределах которой отказ ствола 1 превышает максимально допустимый отказ, обеспечивающий устойчивый запуск и работу дизель-молота.

Полублоки выполнены с возможностью опирания на поверхность наконечника, для чего в нижней части полублоков имеются наклонные площадки 5, плотно контактирующие при прижатии полублоков к стволу с поверхностью наконечника.

Полублоки соединены между собой разъемным соединением в виде пропущенных через прикрепленные в нижней части полублоков петли 6 стержневых фиксаторов 7 с гори-

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

Беларусь, БГТУ, 224107, г. Брест, ул. Московская, 267.