

Выбор и расчёты производительности сваебойного оборудования Selection and performance calculations pile-driving equipment

к.т.н., доцент Булатов Георгий Яковлевич
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
bulatov.spbgpu@gmail.com
Санкт-Петербург
Российская Федерация

Ph. D, Associate Professor Georgiy Yakovlevich Bulatov
Saint-Petersburg State Polytechnical University
bulatov.spbgpu@gmail.com
Saint-Petersburg
Russian Federation

студент Шилкин Филипп Сергеевич
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
shilkin2992@mail.ru
Санкт-Петербург
Российская Федерация

Student Filipp Sergeevych Shilkin
Saint-Petersburg State Polytechnical University
shilkin2992@mail.ru
Saint-Petersburg
Russian Federation

Ключевые слова: сваебойное оборудование, критерии выбора сваебойного оборудования, расчёты производительности сваебойных молотов и копров, несущая способность свай, КПД удара.

В статье предложены различные критерии выбора сваебойного оборудования (молоты и копры), соответствующие конкретным условиям строительства.

Приводится расчет эксплуатационной производительности погружения свай при учёте условий строительства.

В конечном итоге подбирается сваебойное оборудование, определяется соответствующая эксплуатационная производительность (расчётная и нормативная) и время выполнения работ.

Key words: driving equipment, driving equipment selection criteria, calculations of piling hammers and headgears, the pile bearing capacity, efficiency impact.

Various selection criteria pile driving equipment (hammers and copra), corresponding to the specific conditions of the construction in this article.

The same calculation is piling operational performance, taking into account the conditions of construction.

In conclusion, pile-driving equipment is selected, the corresponding operating performance determined (calculated and regulatory) and the time of performance.

1. Введение

Как известно, главным показателем производительных сил общества является производительность труда человека (ПЧ), уровень которой в нашей стране считается достойным повышения. Она зависит от многих факторов, которые в современном мире определяются производительностью машин (ПМ). Но повышение эффективности их использования невозможно без уточнений методик расчета их эффекта. Этой теме и посвящена настоящая работа, которая рассматривает один из важных вопросов строительной индустрии на примере свайных фундаментов.

Повышение актуальности этой темы обусловлено быстрым ростом этажности зданий, а для Петербурга – еще и сложностью инженерно-геологического строительства.

2. Описание объекта исследования

Объектом исследования являются критерии оптимального выбора сваебойного оборудования и методики расчета его эксплуатационной производительности. Для этого вначале нужно было определить изменения несущей способности по глубине погружения сваи. Без этих данных нам не определить чистое время погружения сваи. В существующих методиках определяется только несущая способность для одной точки при полной глубине погружения.

3. Цель работы

Цель работы – существенно уточнить и расширить критерии выбора как молотов, так и копровых установок. И что самое главное, получить аналитические зависимости для расчетов производительности сваебойного оборудования, которые до сих пор определялись только на основании приближенных статистических данных (ЕНиР). В литературе [3, 10, 11, 13] мы находим расчет несущей способности свай только для конечной глубины погружения, что не позволяет применить эти зависимости для оценки изменения несущей способности по глубине погружения свай. Также в существующей литературе представлены весьма сокращенные рекомендации по выбору сваебойного оборудования (молотов и копров) и отсутствуют какие-либо зависимости для расчета времени чистого погружения сваи и коэффициента использования рабочего времени.

4. Обзор литературы

Как и в любом направлении человеческой деятельности, вопросами выбора и производительности молотов и копров занимались многие исследователи [1 - 12, 18, 19, 20 - 24].

Концентрацией практического приложения знаний являются, прежде всего, СНиПы, СП и ГОСТы [13 - 17]. Они естественно не могут включать новейшие научные достижения, однако это крайне желательно, и поэтому период их пересмотра должен быть существенно сокращен.

Обзор современного состояния проблемы показывает, что имеются возможности расширения критериев выбора и уточнения расчетов производительности сваебойных машин на основе использования системного подхода и количественного учета большего числа влияющих факторов.

5. Решение поставленной задачи

5.1. Исходные данные для расчета

1. Характеристики сваи: длина, форма и размеры сечения, материал, глубина погружения, уклон при погружении.

2. Характеристики грунта: наименование, плотность, показатель текучести.

5.2. Расчет несущей способности сваи по грунту

Расчет выполняем согласно методике СНиП 2.02.03-85 [13], однако несущую способность сваи представим в более удобном виде.

$$F_d = F_{df} + F_{dR} \quad \text{при} \quad (1)$$

$$F_{df} = \sum \gamma_c \cdot \gamma_{cf} \cdot u \cdot f_i \cdot h_i \quad \text{и} \quad (2)$$

$$F_{dR} = \sum \gamma_c \cdot \gamma_{cR} \cdot R \cdot A, \quad (3)$$

где F_{df} - несущая способность на боковой поверхности сваи;

F_{dR} - несущая способность на острие сваи;

γ_c – коэффициент условий работы сваи в грунте;

γ_{cf} – коэффициент условий работы на боковой поверхности сваи;

γ_{cR} – коэффициент условий работы на острие сваи;

u – периметр поперечного сечения сваи, м;

i – номер расчётного слоя;

f_i – расчетное сопротивление i -го слоя грунта по боковой поверхности сваи, тс/м²;

h_i – толщина расчетного i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м;

R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, тс/м²;
 A – площадь опирания сваи на грунт.

Расчётная схема представлена на рисунке 1.
 Расчётные сопротивления по [13] представлены на рисунке 2.

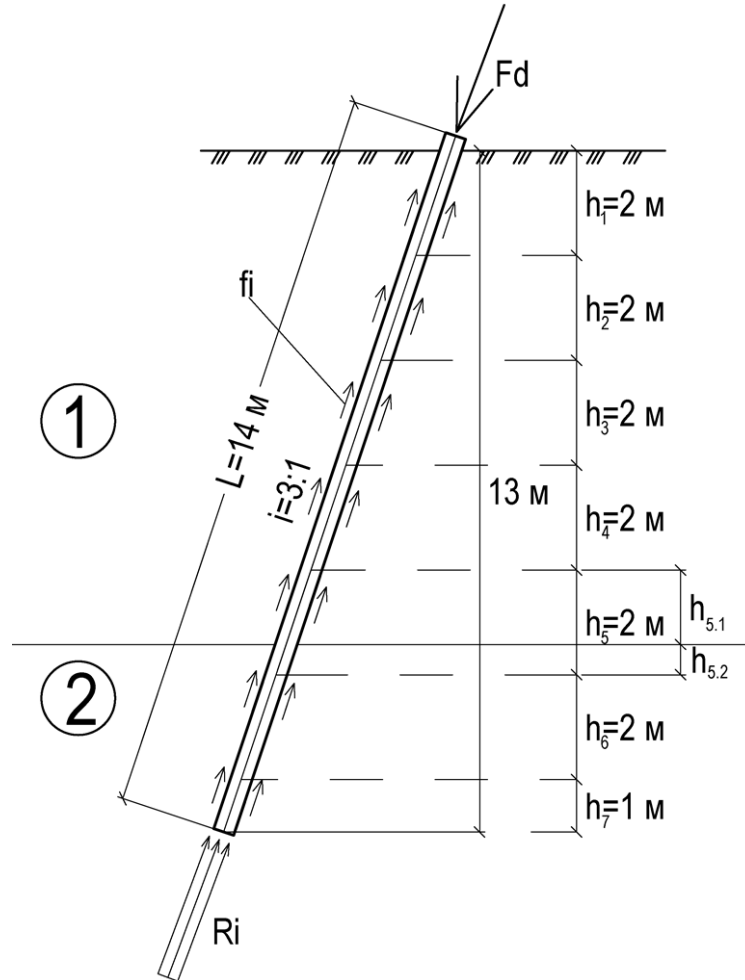


Рисунок 1. Расчётная схема сопротивления забивке сваи: 1 и 2 - инженерно-геологические элементы

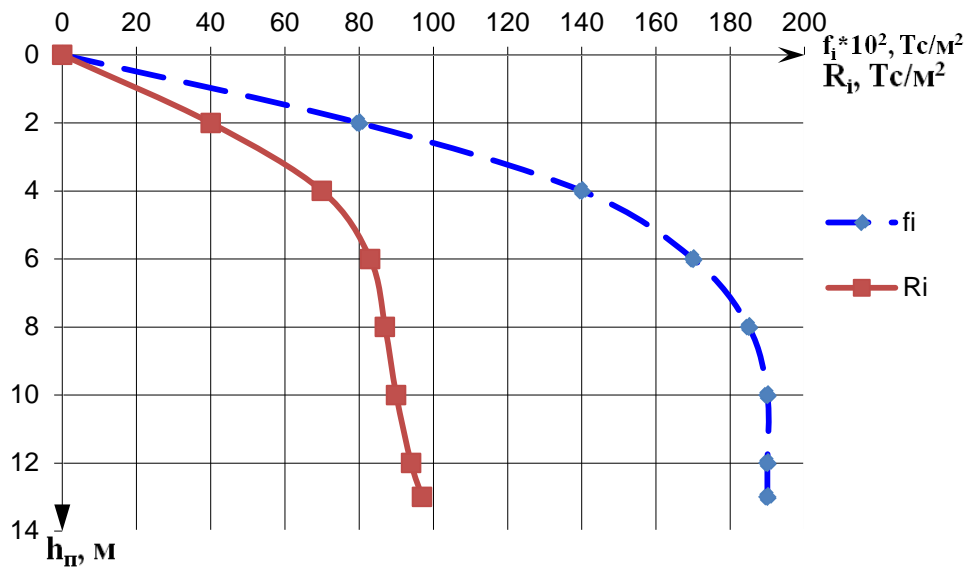


Рисунок 2. Зависимость расчётных сопротивлений сваи от глубины погружения

Расчеты сведём в табличную форму.

Таблица 1. Определение несущей способности сваи на разных глубинах

№сл оя	h _i , м	ОПС , м	h _{пi} , м	h _{пi.c} р, м	ИГЭ	I _L	f _i , тс/м ²	f _i *h _i , тс/м	Σf _i *h, тс/м	R _i , тс/м ²	F _{df} , тс	F _{dr} , тс	F _d , тс	F _d , кН
-----------	--------------------	------------	------------------------	---------------------------	-----	----------------	---------------------------------------	------------------------------------------	-----------------------------	---------------------------------------	-------------------------	-------------------------	------------------------	------------------------

Здесь ОПС - отметка подошвы расчетного слоя, м.;

h_п – глубина погружения сваи до подошвы расчётного слоя, м;

h_{пср} – глубина середины расчётного слоя, м;

ИГЭ – инженерно-геологический элемент;

I_L – показатель текучести грунта;

R_i - расчётное сопротивление грунта под нижним концом сваи, тс/м².

Примечание. Для слоя h₅ принимаем средневзвешенное значение f_i.

Результаты расчёта показаны на рисунке 3. Здесь же определим погружение сваи h₀ под действием её собственного веса P_с.

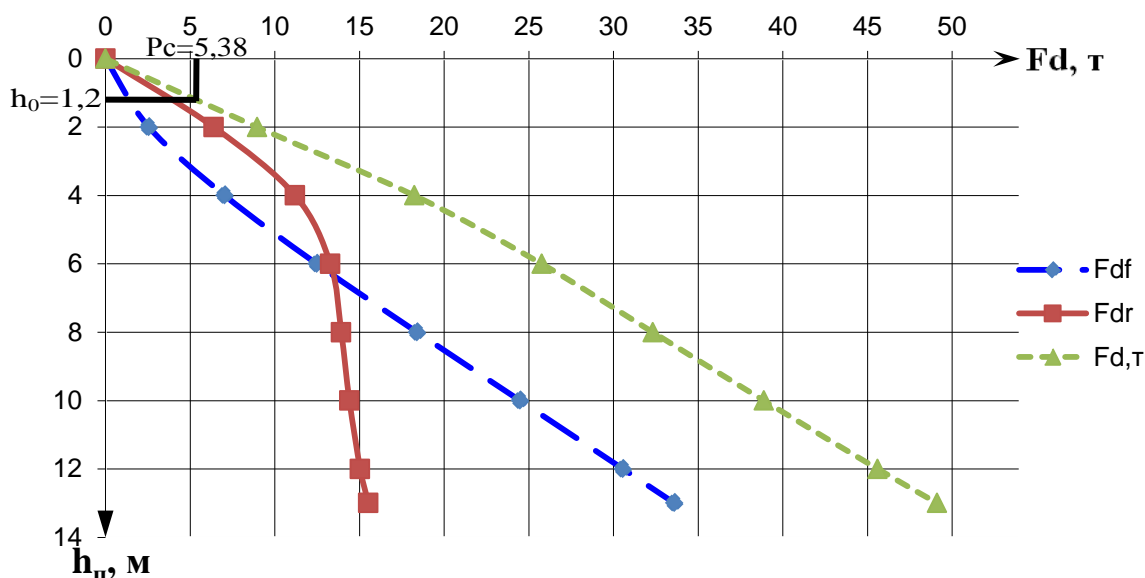


Рисунок 3. Зависимость несущей способности на острие сваи, несущей способности на боковой поверхности, несущей способности сваи от глубины погружения

5.3. Выбор свайных молотов

Предлагаем записать критерии выбора молотов в следующем виде.

Критерий IV-1 энергии удара $E^B \geq E^T$,

где E^B - энергия одного удара выбранного молота (возможная энергия); E^T – необходимая для погружения сваи энергия одного удара молота (требуемая энергия).

$$E^T = F_d \cdot S_A \cdot k_{тс} \cdot k_{\alpha}, \quad (4)$$

где $k_{тс}$ – коэффициент, учитывающий тип сваи;

k_{α} – коэффициент, учитывающий наклон сваи;

S_A – условный требуемый отказ сваи.

Критерий V-1 безопасности удара для сваи $k_B^B \leq k_B^T$,

$$k_B^B = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{E^B}, \quad (5)$$

где m_1 – масса молота, т.;

m_2 - масса сваи с наголовником, т.;

m_3 - масса подбавка;

$$k_B^T = k \cdot k_{TX}, \quad (6)$$

где k - стандартный коэффициент применимости по [13];

k_{TX} - коэффициент, учитывающий технологию погружения.

Критерий IV-2 работоспособности молота $S_{amin}^B \geq S_a^T$,

где S_a^B - возможный отказ сваи по расчету;

S_a^T - требуемый отказ сваи (по [14] равен $S_a^T = 0,002$ м).

$$S_a^B = \frac{c_1 E_b}{F_d (F_d + c_1)} \cdot c_2, \quad (7)$$

$$c_1 = \eta \cdot A_{бр}, \quad (8)$$

$$c_2 = \frac{m_1 + e^2 \cdot (m_2 + m_3)}{m_1 + m_2 + m_3}, \quad (9)$$

где c_1, c_2 – постоянные удара молота;

$A_{бр}$ – площадь сечения сваи брутто;

e – коэффициент восстановления удара;

η – коэффициент материала сваи.

Критерий IV-3 частоты ударов $v^B \geq v^T$,

Критерий V-2 защиты железобетонных свай $\sigma_{усл}^B \geq \sigma_{усл}^T$,

где $\sigma_{усл}^B$ – возможное условное статическое напряжение в свае;

$\sigma_{усл}^T$ – требуемое условное статическое напряжение в свае;

$$\sigma_{усл}^B = m_y / A, \quad (10)$$

где m_y – масса ударной части молота.

Критерий V-3 аналогичен предыдущему, но в нем рассматриваются динамические напряжения от удара при условии, что $\sigma_{дин}^T = 33$ МПа для железобетона.

Критерий III вертикального габарита молота $h^B \leq h^T$,

где h^B и h^T – возможная и требуемая высота молота с наголовником.

Здесь h^T выбирается в зависимости от высотных характеристик кранов и копровых устройств, применяемых для обеспечения нормальной эксплуатации молота.

Критерий VII-1 обеспечения безопасности по расстоянию $R^B \geq R^T$,

где R^B и R^T – возможное и требуемое расстояния от места забивки до ближайших зданий и сооружений. ($R^T = 25$ м.)

Критерий VII-2 безопасности по ускорениям колебаний $1/A^B = 1/A^T$,

где A^B и A^T – возможное и допустимое ускорение колебаний фундамента существующего здания, при котором исключаются опасные значения дополнительных осадок.

Аналогичным образом могут быть записаны критерии, показателями которых являются скорости, амплитуды, частоты колебаний и других, кроме фундамента, элементов существующих зданий.

Приведенные критерии позволяют упростить процедуру выбора свайных молотов и выбрать оптимальный вариант решения технической задачи.

5.4. Расчет КПД удара молота

Для расчёта предлагаем следующую формулу

$$\eta_y = \frac{F_d \cdot S_a^B}{E^B}, \quad (11)$$

где η_y - КПД удара молота.

Отметим, что при малых F_d значение E^B не реализуется полностью.

В свою очередь:

$$E^B = E_M \cdot \eta_M \text{ при } E_M = G \cdot H,$$

где E_M – полная энергия молота на один удар;

η_M – КПД молота;

G – вес ударной части;

H – высота падения ударной части.

Расчеты сведем в таблицу 2.

Таблица 2. Определение КПД удара молота

№	h_n , м	F_d , кН	S_a , м	η_y
---	-----------	------------	-----------	----------

По результатам расчета строим графики зависимости отказа сваи и КПД удара молота от глубины погружения сваи.

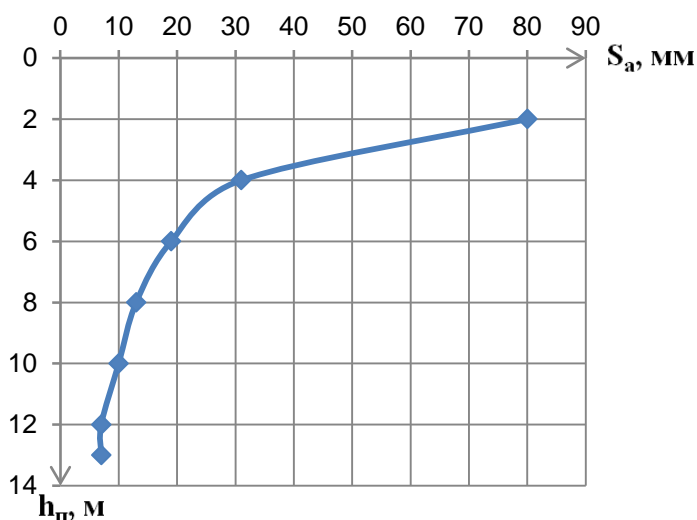


Рисунок 4. Зависимость отказа сваи S_a от глубины погружения сваи

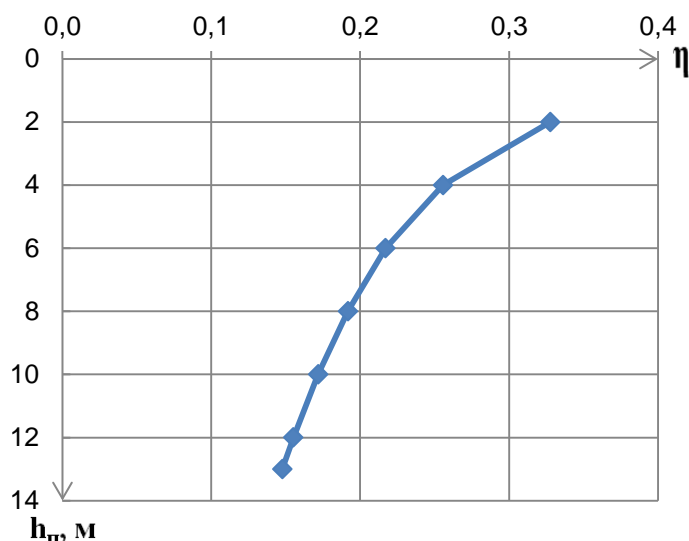


Рисунок 5. Зависимость КПД удара молота от глубины погружения сваи

5.5. Определение чистого времени погружения свай

Чистое время погружения свай определяем по формуле

$$t_{\text{чп}} = \sum t_{\text{чпи}} = \sum \frac{h_i}{V_i} \text{ при } V_i = S_{ai} \cdot \nu, \quad (12)$$

где V_i - средняя скорость погружения в данном i -м слое грунта;

ν - частота ударов молота;

$t_{\text{чпи}}$ - время пробивки i -го слоя.

Расчеты сведем в таблицу 3.

Таблица 3. Расчет чистого времени погружения свай

№	h_n , м	S_a , м	V_i , м/мин	t_i , мин/сл	$t_{\text{чп}} = \sum t_i$, мин
---	-----------	-----------	---------------	----------------	----------------------------------

По результатам расчетов построим графики зависимости, которые отображены на рисунках 6-8.

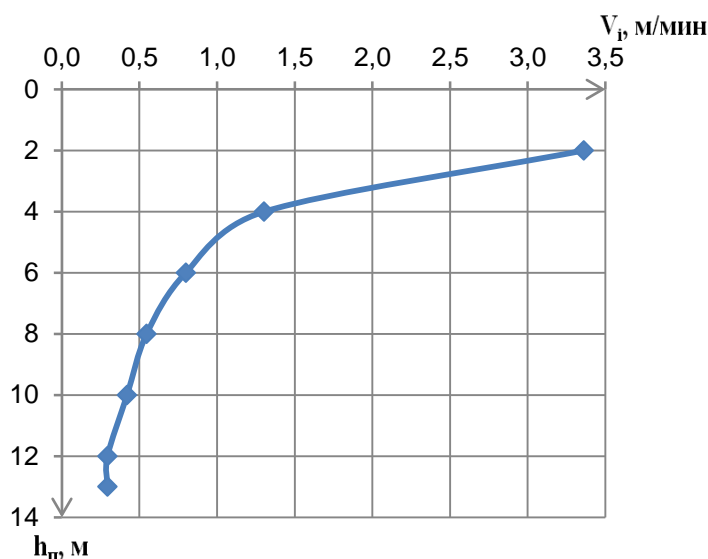


Рисунок 6. Зависимость средней скорости V_i погружения свай от глубины погружения

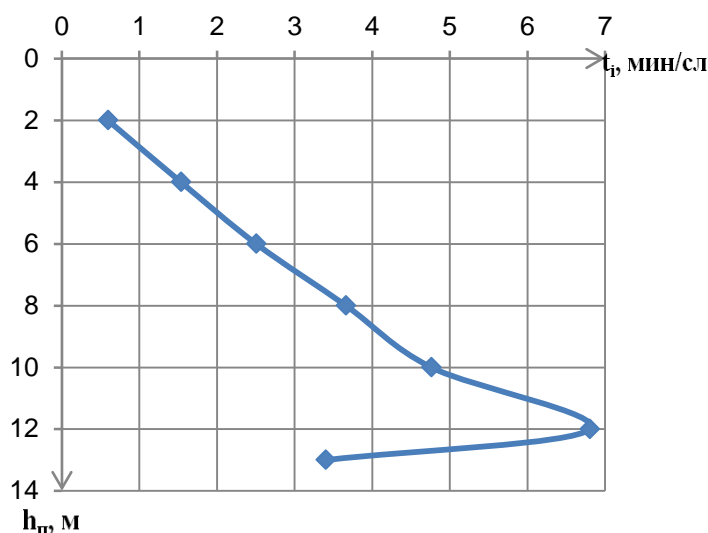


Рисунок 7. Зависимость времени t_i пробивки i -го слоя грунта от глубины погружения свай

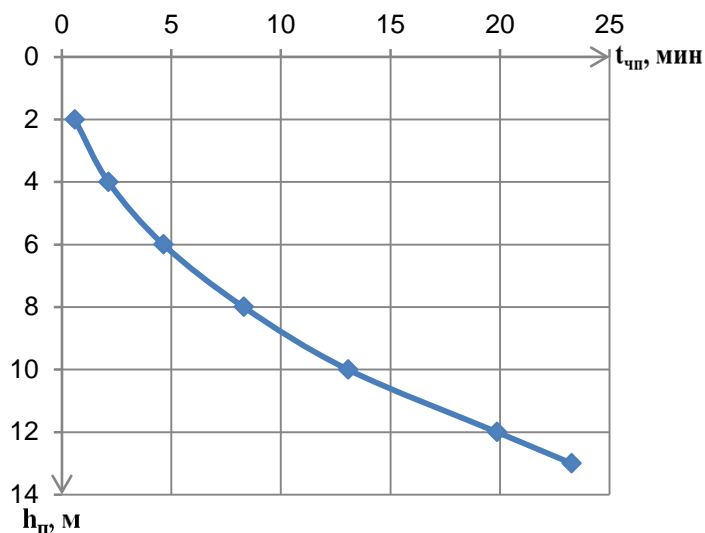


Рисунок 8. Зависимость чистого времени $t_{чп}$ забивки от глубины погружения сваи

5.6. Погружение свай на суше

5.6.1 Выбор сухопутного копра

Копры предназначены для подвешивания молота и сваи. В зависимости от назначения различают копры:

- *стандартные* - для забивки свай вертикальными рядами;
- *наклонные* (наклоняемые, маятниковые) – для забивки наклонных свай;
- *поворотные* – для забивки свайных кустов;
- *универсальные* – при забивке свай различными способами (на 360 градусов относительно оси – полноворотные);
- *краны-копры* – на конце стрелы навешиваются вертикальные направляющие балки;
- *батареи копры* – для забивки одновременно нескольких рядов свай.

Выбор вида и типа копра обуславливается технологической схемой производства работ. В данной пункте считаем, что забивка свай производится при помощи сухопутного копра на гусеничном ходу.

Критерии для выбора копра.

Критерий II-1 возможности погружения наклонной сваи $i^B \geq i^T$,

где i^B - рабочий наклон мачты копра; i^T - требуемый наклон сваи.

Критерий IV-1 грузоподъемности копра $m^B \geq m^T$,

где m^B - масса, которую может поднять крюк копра;

m^T – масса груза.

$$m^T = \max\{m_1; m_2 + m_3\},$$

Критерий III-1 высоты подъема крюка (длины сваи) $H^B \geq H^T (l_c^B \geq l_c^T)$,

где H^B – возможная высота подъема крюка;

H^T - требуемая высота подъема крюка:

$$H^T = l_c + h_{\text{молота}} + \Delta h,$$

где Δh – запас высоты подъема крюка.

Критерий I-1 максимального вылета от оси вращения копра до оси погружения сваи

$$R^B \geq R^T.$$

Критерий I-2 изменения вылета мачты копра $\Delta R^B \geq \Delta R^T$.

Критерий I-3 ограничения размеров поперечного сечения сваи $d^B \geq d^T$,
 где d^B – наибольший размер поперечного сечения сваи.

Критерий II-1 угла поворота копра $\beta^B \geq \beta^T$.

Критерий IV-3 эксплуатационной производительности копра $\Pi_3^B \geq \Pi_3^T$.

Критерий IV-5 вездеходности и устойчивости копра $i^B \geq i^T$,
 где i^B – уклон, преодолеваемый копром; i^T – требуемый (проектируемый) уклон выездов.

5.6.2 Выбор сухопутного транспортного средства

Выбор сухопутного транспортного средства осуществляем по следующим критериям.

IV-1: по длине кузова $l^B \geq l^T$;

IV-2: по грузоподъемности $G^B \geq G^T$;

IV-3: по объему кузова $V^B \geq V^T$;

IV-4: по скорости хода $v^B \geq v^T$.

5.6.3. Расчет технической производительности погружения свай

Техническая производительность погружения сваи:

$$\Pi^T = \frac{Q_{ц}}{T_{ц}} = \frac{1}{T_{ц}} \quad (13)$$

Время цикла погружения сваи по [7]:

$$T_{ц} = t_{чп} + t_{доп}, \quad (14)$$

$$t_{доп} = t_{ст} + t_{гор} + t_{вер} + t_{ус} + t_{ум} + t_{оп} + t_{ко} + t_{рс} + t_{пм} + t_{мк}, \quad (5)$$

где $T_{ц}$ - время выполнения одного цикла;

$t_{чп}$ - время чистого погружения сваи (см. пункт 5);

$t_{доп}$ - время выполнения дополнительных операций;

$t_{ст}$ - время на строповку сваи и установку отводных блоков (0,5-2 мин);

$t_{гор}$ - время подтаскивания сваи к копру на длину пути 10...20 м со скоростью 10...30 м/мин;

$t_{вер}$ – время подъема сваи на копер с той же скоростью;

$t_{ус}$ – время установки сваи в направляющие копра (3-5 мин);

$t_{ум}$ – время установки наголовника и молота на сваю (1-4 мин);

$t_{оп}$ – время опускания и установки сваи на грунт в проектное положение (1-2 мин);

$t_{ко}$ – время, затрачиваемое на контроль направления погружения сваи (2-5 мин);

$t_{рс}$ – время на расстраповку сваи (0,5-1 мин);

$t_{пм}$ – время на подъем молота и снятие наголовника (1-4 мин);

$t_{мк}$ – время на маневры копра (2-10 мин).

5.6.4. Расчет эксплуатационной производительности копра

Расчет производим по формуле

$$\Pi^3 = \Pi^T \cdot k_B, \quad (16)$$

здесь k_B - коэффициент использования рабочего времени копра, определяем в виде:

$$k_B = \frac{1 - \sum \theta_j}{1 + \sum \theta_i} k'_B. \quad (17)$$

Здесь θ_j - относительная потеря времени j-го вида,

θ_i - относительная производительность с учетом потери времени i-го вида,

k'_B - дополнительный коэффициент использования рабочего времени копра ($k'_B \approx 0,95$).

$$\theta_j = \frac{T_{пj}}{T_{oj}}, \quad (18)$$

где $T_{пj}$ – абсолютная потеря времени j-ого вида;

T_{oj} - общая продолжительность работ, включая потерю времени.

В расчетах учитываем:

- j=1.** Ежечасные потери времени.
- j=2.** Ежеполусуточные потери времени.
- j=3.** Ежедневные потери времени.

$$\theta_i = \frac{\Pi^T}{\Pi^i}, \quad (19)$$

здесь Π^T - техническая производительность;

Π^i - условная производительность с учетом потери времени i -го вида:

$$\Pi^i = \frac{W_i}{T_{\Pi i}}. \quad (20)$$

где W_i - объем основных работ, выполненный до начала потери времени i -го вида.

$T_{\Pi i}$ - абсолютная потеря времени i -го вида.

Подставляя (20) в (19) получаем:

$$\theta_i = \frac{\Pi^T \cdot T_{\Pi i}}{W_i}. \quad (21)$$

В расчетах учитываем следующие потери времени.

i = 1: передвижка копра с одной стоянки на другую в пределах одного ряда.

T_{n1} - потеря времени на передвижку копра;

W_1 - число свай, погружаемых с одной стоянки.

Для расчёта W_1 вначале определим число шагов свай, погружаемых с одной стоянки копра (рис.9).

$$n_{\text{ш}} = \frac{B}{b}, \quad (22)$$

где B - часть длины свайного ряда, входящая в рабочую зону копра;

b - шаг свай в ряду.

$$B = 2\sqrt{(R_{\text{max}}^B)^2 - (l^T)^2}, \quad (23)$$

где R_{max}^B - наибольший радиус рабочей зоны копра,

l^T - расстояние от оси копра до оси свайного ряда.

$$l^T = l_1 + l_5 + l_4 \quad \text{при } l_5 = l_2 + l_3, \quad (24)$$

где l_i - расстояния, указанные на чертеже (рисунок 9).

При этом l_5 рекомендуется СНиП 3.02.01-87 в зависимости от глубины котлована H и типа грунта.

Принятое число свай при этом будет соответствовать следующим значениям:

- при $n_{\text{ш}} < 2$ будет $W_1 = 1$;
- при $2 \leq n_{\text{ш}} < 4$ будет $W_1 = 3$;
- при $4 \leq n_{\text{ш}} < 6$ будет $W_1 = 5$ и т.д.

При нахождении оси копра Y между сваями, то принятое число свай при этом будет соответствовать следующим значениям:

- при $n_{\text{ш}} < 1$ будет $W_1 = 0$;
- при $1 \leq n_{\text{ш}} < 3$ будет $W_1 = 2$;
- при $3 \leq n_{\text{ш}} < 5$ будет $W_1 = 4$ и т.д.

i = 2: передвижка копра с одного свайного ряда на другой в пределах одной секции свайного поля.

T_{n2} - потеря времени на передвижку копра;

W_2 - число свай в одном ряду в пределах секции.

i = 3: передвижка копра на следующую секцию свайного поля.

T_{n3} - потеря времени на передвижку; W_3 - число всех свай в предыдущей секции.

$$W_3 = W_2 * n_{\text{ряд}} \quad (22)$$

$i = 4$: замена транспортных средств доставки свай.

$T_{\text{п4}}$ – потеря времени на замену;

W_4 – число свай, доставляемых в одном транспортном средстве (ТС) с учётом грузоподъёмности.

$$W_4^P = \min \left\{ \frac{G^B}{m_{\text{св}}}; \frac{V_{\text{ТС}}}{V_{\text{св}}} \cdot k_v \right\} \quad (23)$$

где G^B – возможная грузоподъёмность ТС; $m_{\text{св}}$ – масса сваи;

$V_{\text{ТС}}$ – объём кузова ТС; $V_{\text{св}}$ – объём сваи; k_v – коэффициент использования объёма кузова.

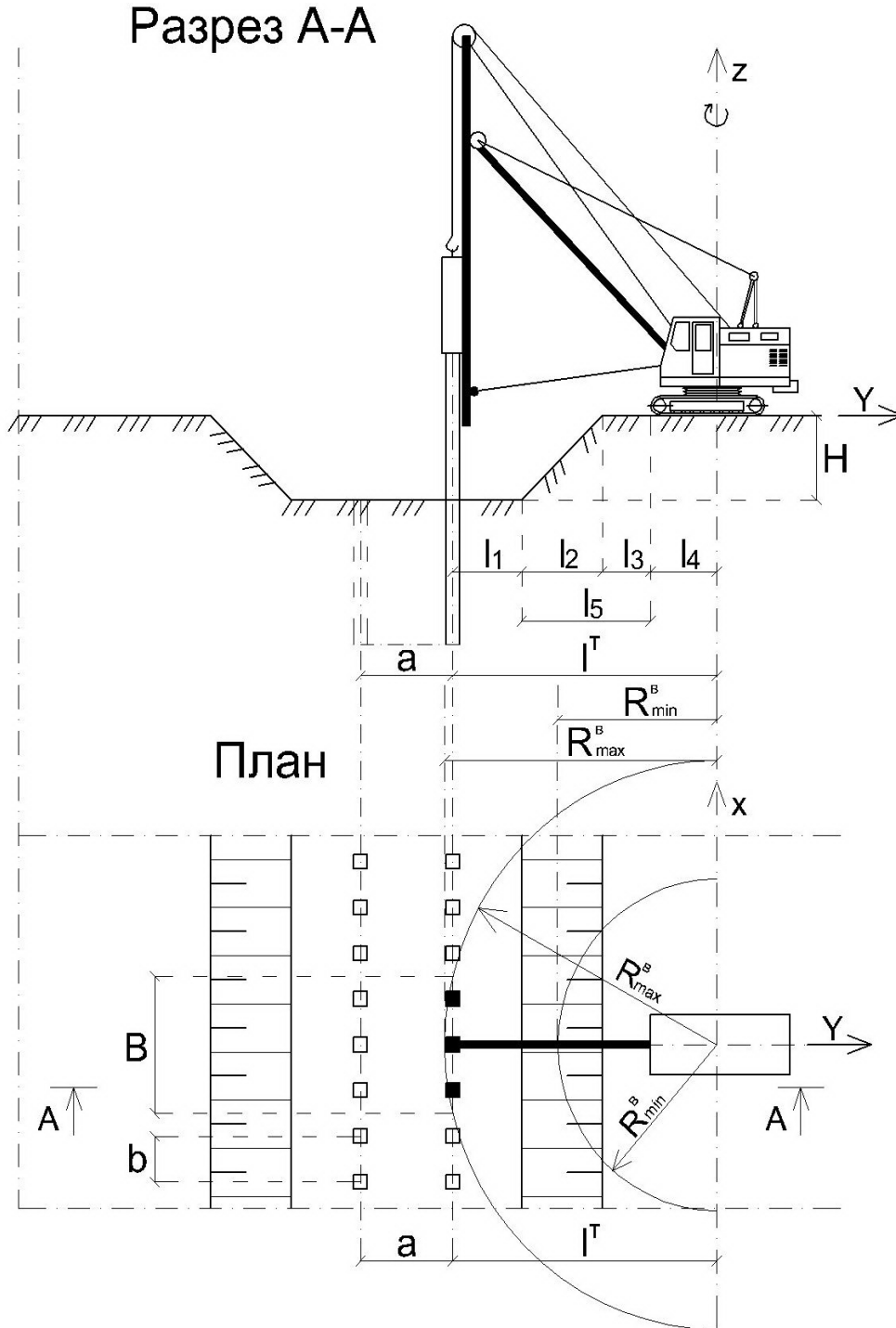


Рисунок 9. Технологическая схема погружения свай

Примечание. Если сваи доставлены заранее и разложены по местам погружения, то $i=4$ не рассматривается.

Далее определяем эксплуатационную производительность копра в соответствии с формулами (16) и (17).

По ЕНиР [15] определяем норму времени $H_{вр}$, затем нормативную эксплуатационную производительность.

$$P_H^э = \frac{1}{H_{вр}}. \quad (24)$$

Сравниваем результаты и делаем выводы.

5.6.5 Расчет времени выполнения свайных работ

Время выполнения свайных работ определяем по формуле:

$$T = \frac{N_{св}}{P_H^э} \cdot k_{зап}, \quad (25)$$

где $N_{св}$ - число всех свай,

$k_{зап}$ - коэффициент запаса времени выполнения работ.

6. Выводы

1. Систематизирован расчет несущей способности сваи при различных глубинах её погружения и разработана соответствующая таблица расчета. Построены графики изменения несущей способности по глубине погружения.

2. Разработана расчетная схема сопротивления погружению сваи.

3. Уточнены критерии выбора свайных молотов и существенно расширена их номенклатура, позволяющая получить оптимальные решения.

4. Предложены зависимости для расчета КПД удара молота и для определения чистого времени погружения свай, сопровождаемые для наглядности соответствующими графиками.

5. Существенно уточнены и расширены критерии выбора копра и транспортирующего средства для свай.

6. Предложены новые аналитические зависимости для расчета эксплуатационной производительности копровой установки, включая раскрытие коэффициента использования рабочего времени копра с учетом влияния потерь времени любого вида и происхождения, как, например, отдых обслуживающего персонала и технологические передвижки копра с конкретными особенностями применяемых машин.

7. Заключение

Результаты работы, по нашему мнению, отличаются существенной новизной и, насколько нам известно, не имеют аналогов в отечественной литературе. Они не обнаружены и в зарубежных источниках. Работа позволяет произвести оптимальный выбор всего комплекта сваебойного оборудования, соответствующего конкретным условиям строительства. Она также обеспечивает наиболее точный количественный учет этих условий в расчете эксплуатационной производительности погружения свай. Полученные аналитические зависимости прозрачны, они точно указывают влияние каждого фактора, как на выбор, так и на главный целевой параметр технологии – эксплуатационную производительность оборудования. А она, в свою очередь, только и может быть главным резервом повышения производительности человеческого труда.

Литература

1. Булатов Г. Я. Общая теория строительных технологий. Учеб.пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та., 2011. 208 с.
2. Ясинецкий В. Г., Фенин Н. К. Организация и технология гидромелиоративных работ. М. :Агропромиздат, 1986. 352 с.
3. Справочник по строительству портов и гидротехнических сооружений / Под общей ред. Николаева Г. Н. М.: Транспорт, 1972. 474 с.
4. Телешев В. И., Ватин Н. И., Марчук А. Н. [и др.]. Производство гидротехнических работ. Часть 1. Учебник для вузов. М. : Изд-во АСВ, 2010. 432 с.

5. Зерцалов М. Г., Хечинов Ю. Е., Корчагин Е. А. [и др.] Производство гидротехнических работ. Часть 2. Учебник для вузов. М. : Изд-во МГОУ, 2010. 450 с.
6. Булатов Г. Я. К теории производительности строительных машин // Сборник «Труды СПбГТУ» №502 (К 100-летию инженерно-строительного факультета). СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2007. С.129-138.
7. Кладько С. Н. Гидротехническое строительство (технология работ) : учебник для вузов / Кладько С. Н. 2-е изд., перераб.и доп. М. : Транспорт, 1993. 399 с.
8. Булатов Г. Я. Обобщенные критерии оптимального выбора технологий и машин // Инженерно-строительный журнал. 2009. №1. С. 32-39.
9. Теличенко В. И., Терентьев О. М., Лапидус А. А. Технология строительных процессов. Учебник для вузов. Часть1. М. : Изд-во Высшая школа, 2008. 392 с.
10. Tsinker, Gregory P. Port engineering: planning, construction, maintenance and security / Gregory P. Tsinker. Harbors. Design and Construction. Printed in the USA : New Jersey, 2004. 881 p.
11. FOREVER (FONdationREnforceesVERTicalement). Synthèse des résultats et recommandation du Projet national sur les MICROPIEUX. Paris. Pontset chaussées, 2004. 347 p. (President du Projet – Henri, Cyna (in Preface))
12. Gerard Philipponnat, Bertrand Hubert. Fondationetouvrages en terre. Paris :Eyrolles, 2008. 548 p.
13. СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты».
14. СНиП 3.02.01-87 «Земляные сооружения, основания и фундаменты».
15. ЕНиР Сборник Е12 «Свайные работы» ВПТИтрансстрой.
16. СП 24.13300.2011 Актуализированная редакция СНиП 2.02.03 – 85 «Свайные фундаменты».
17. СП 45.13300.2012 Актуализированная редакция СНиП 3.02.01 – 87 «Земляные сооружения, основания и фундаменты».
18. Булатов Г. Я., Колосова Н. Б. Критерии выбора вибропогружателей // Инженерно-строительный журнал. 2011. №7(25). С. 71-75
19. Верстов В. В., Гайдо А. Н., Иванов Я. В. Технология и комплексная механизация шпунтовых и свайных работ: Учеб. пособие. 2-е издание, стереотипное. СПб.: Изд-во «Лань», 2012. 288 с.
20. Булатов Г. Я., Колосова Н. Б., Теплов А. Б. Несущая способность забивной сваи различных форм поперечного сечения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №1. С. 22-27.
21. Masoumi H. R, Degrande G., Lombaert G. Prediction of free field vibrations due to pile driving using a dynamic soil–structure interaction formulation // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Vol. 27. Issue 2. 2007. Pp. 126–143.
22. Rajapakse R. 23 – Pile Inspection // Pile Design and Construction Rules of Thumb. 2008. Pp.361–379.
23. Thandavamoorthy T. S. Piling in fine and medium sand—a case study of ground and pile vibration // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Vol.24. Issue 4. 2004. Pp. 295–304.
24. Mohamed A. El-Reedy. Chapter 4 – Geotechnical Data and Pile Design // Offshore Structures. 2012. Pp. 213-292.

References

1. *Bulatov G. Ja. Obshhaja teorija stroitel'nyh tehnologij. Ucheb.posobie. SPb.: Izd-vo Politehn. un-ta., 2011. 208 p. (rus)*
2. *Jasineckij V. G., Fenin N. K. Organizacija i tehnologija gidromeliorativnyh rabot. M. :Agropromizdat, 1986. 352 p. (rus)*
3. *Spravocnik po stroitel'stvu portov i gidrotehniceskijh sooruzhenij / Pod obshhej red. Nikolaeva G. N. M.: Transport, 1972. 474 s. (rus)*
4. *Teleshev V. I., Vatin N. I., Marchuk A. N. [i dr.]. Proizvodstvo gidrotehniceskijh rabot. Chast' 1. Uchebnik dlja vuzov. M. : Izd-vo ASV, 2010. 432 p. (rus)*
5. *Zercalov M. G., Hechinov Ju. E., Korchagin E. A. [i dr.]. Proizvodstvo gidrotehniceskijh rabot. Chast' 2. Uchebnik dlja vuzov. M. : Izd-vo MGOU, 2010. 450 p. (rus)*
6. *Bulatov G. Y. K teorii proizvoditel'nosti stroitel'nyh mashin // Sbornik «Trudy SPbGTU» №502 (K 100-letiju inzhenerno-stroitel'nogo fakul'teta). SPb. : Izd-vo SPbGPU, 2007. Pp. 129-138. (rus)*
7. *Klad'ko S. N. Gidrotehniceskoe stroitel'stvo (tehnologija rabot) : uchebnik dlja vuzov / Klad'ko S. N. 2-e izd., pererab.i dop. M. : Transport, 1993. 399 p. (rus)*

8. Bulatov G. Y. *Obobshhennye kriterii optimal'nogo vybora tehnologij i mashin* // Magazine of Civil Engineering. 2009. No. 1. Pp. 32-39. (rus)
9. *Telichenko V. I., Terent'ev O. M., Lapidus A. A. Tehnologija stroitel'nyh processov. Uchebnik dlja vuzov. Chast'1. M. : Izd-vo Vysshaja shkola, 2008. 392 p. (rus)*
10. Tsinker, Gregory P. *Port engineering: planning, construction, maintenance and security* / Gregory P. Tsinker. Harbors. Design and Construction. Printed in the USA : New Jersey, 2004. 881 p. (rus)
11. FOREVER (FondationREnforceesVERTicalement). *Synthese des resultateset recommandation du Projet national sur les MICROPIEUX*. Paris. Pontset chaussées, 2004. 347 p. (President du Projet – Henri, Cyna (in Preface))
12. Gerard Philipponnat, Bertrand Hubert. *Fondationetouvrages en terre*. Paris :Eyrolles, 2008. 548 p.
13. *SNiP 2.02.03-85 "Svajnye fundamenty"*. (rus)
14. *SNiP 3.02.01-87 "Zemljanye sooruzhenija, osnovanija i fundamenty"*. (rus)
15. *ENiR Sbornik E12 «Svajnye raboty» VPTItransstroj*. (rus)
16. *SP 24.13300.2011 Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.02.03 – 85 «Svajnye fundamenty"*. (rus)
17. *SP 45.13300.2012 Aktualizirovannaja redakcija SNiP 3.02.01 – 87 «Zemljanye sooruzhenija, osnovanija i fundamenty"*. (rus)
18. Bulatov G. Ya., Kolosova N. B. *Criteria for selecting the vibratory pile drivers* // Magazine of civil engineering. 2011. No. 7(25). Pp. 71-75. (rus)
19. *Verstov V. V., Gajdo A. N., Ivanov Ja. V. Tehnologija i kompleksnaja mehanizacija shpuntovyh i svajnyh robot: Ucheb. posobie. 2-e izdanie, stereotipnoe. SPb.: Izd-vo «Lan'», 2012. 288 p. (rus)*
20. Bulatov G. Y., Kolosova N., Teplov A. B. *Bearing capability of driven piles with different types of cross-section* // Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. No. 1. Pp. 22-27. (rus)
21. Masoumi H. R, Degrande G., Lombaert G. *Prediction of free field vibrations due to pile driving using a dynamic soil–structure interaction formulation* // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Vol. 27. Issue 2. 2007. Pp. 126–143.
22. Rajapakse R. 23 – *Pile Inspection* // Pile Design and Construction Rules of Thumb. 2008. Pp.361–379.
23. Thandavamoorthy T. S. *Piling in fine and medium sand—a case study of ground and pile vibration* // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Vol.24. Issue 4. 2004. Pp. 295–304.
24. Mohamed A. El-Reedy. *Chapter 4 – Geotechnical Data and Pile Design* // Offshore Structures. 2012. Pp. 213-292.