

ГОУ ВПО Донбасская национальная академия  
строительства и архитектуры

Кафедра «Техническая эксплуатация и сервис  
автомобилей, технологических машин и  
оборудования»

Обоснование энергосберегающих технологий  
погружения винтовых свай и якорей

магистрант группы ЗПТМмб-46 Константиненко В.В.

научный руководитель д.т.н. проф. Пенчук В.А.

# Цель и задачи работы

Целью работы является обоснование энергосберегающих технологий погружения винтовых свай и якорей.

Задачи для достижения цели следующие:

- Системный анализ конструкций и областей применения винтовых свай и якорей;
- Установление факторов определяющих процессы погружения винтовых свай и якорей (конструкция, грунтовые условия, механизм погружения);
- Анализ существующих конструкций механизмов и машин для погружения винтовых свай и якорей;
- Разработка математической модели процесса погружения винтовой сваи в поверхностные слои грунта;
- Оценка процессов погружения винтовых свай в массив грунта с учетом осевой силы пригруза;
- Разработка рекомендаций на проектирование технологий и машин погружения винтовых свай.

# Конструкции современных винтовых свай и механизмов их погружения

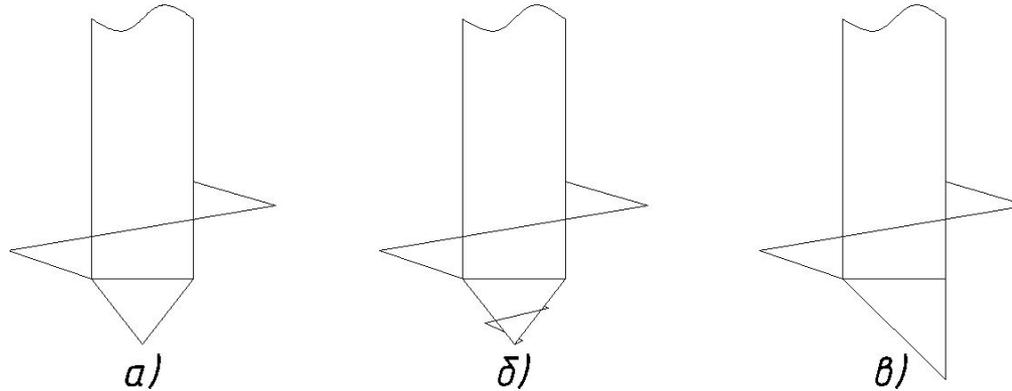


Рисунок 1 – Современные конструкции винтовых свай: а) однолопастная винтовая свая с коническим наконечником; б) однолопастная винтовая свая с коническим наконечником и лопастью с витком, продленным на наконечнике; в) однолопастная винтовая свая со скошенным под углом наконечником.

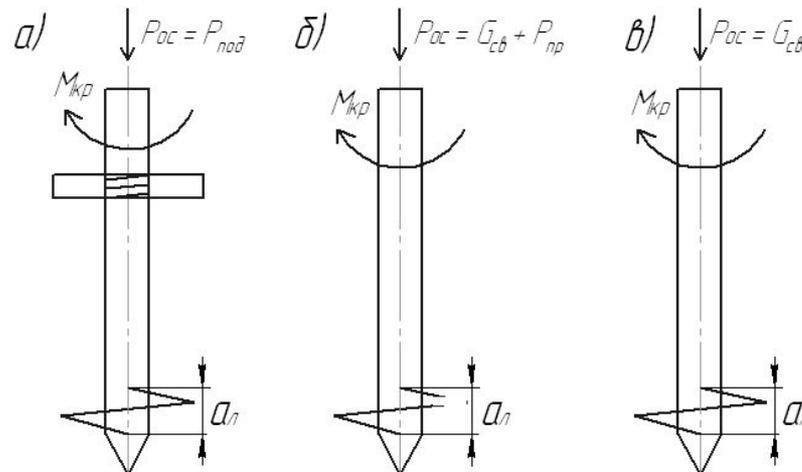


Рисунок 2 – Современные конструкции механизмов погружения: а) с усилием осевой подачи; б) с усилием пригруза; в) без усилия пригруза

# Математическая модель процессов погружения винтовых свай в поверхностный слой грунта

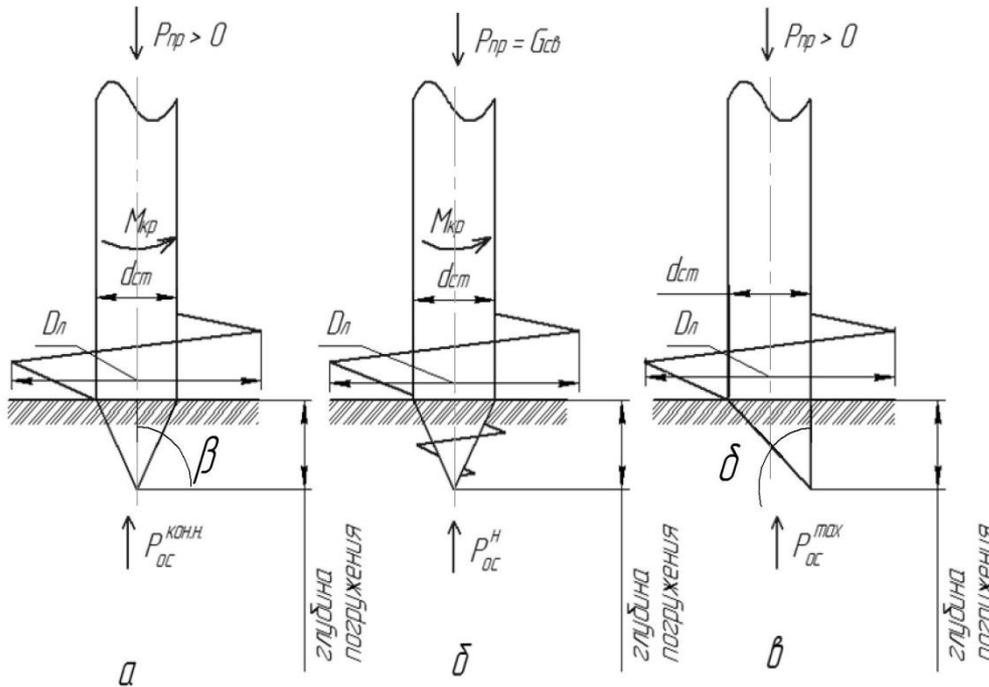


Рисунок 3 – Расчетные схемы процессов погружения винтовых свай различных конструкций

Для обеспечения процессов погружения винтовых свай в массив грунта, механизм погружения должен обеспечивать усилие пригруза не меньше:

$$P_{\text{пр}} \geq P_{\text{ос}}^{\text{конч.н.}} - G_{\text{св}}$$

где  $G_{\text{св}}$  - вес сваи.

Сопротивление внедрению конуса в массив грунта можно представить как:

$$P_{\text{ос}}^{\text{конч.н.}} = \frac{2\pi k_p}{\sqrt{\sin \beta \sin \beta}} \left[ \frac{\sin \beta d_{\text{см}}^2}{10} \sqrt{\frac{d_{\text{см}}}{2}} + 2f \sqrt{\frac{a_{\text{ф}}}{2\pi}} \frac{1}{3} \left( \frac{\pi d_{\text{см}}}{a_{\text{ф}}} \right)^{\frac{3}{2}} + \frac{1}{2} \left( \frac{a_{\text{ф}}}{\pi d_{\text{см}}} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

сжатию;

$2\beta$  - угол заострения конуса;

$a_{\text{ф}}$  - фактический шаг погружения конуса.

Максимальное осевое сопротивление наконечника с открытой полостью можно представить как:

$$\text{где } D - \text{диаметр сваи, } P_{\text{ос}}^{\text{max}} = \pi D \cdot \delta \cdot \sigma_{\text{см}},$$

$\delta$  - угол резания;

$\sigma_{\text{см}}$  - напряжение смятия грунта.

# Численный анализ процессов погружения наконечников свай в поверхностный слой грунта

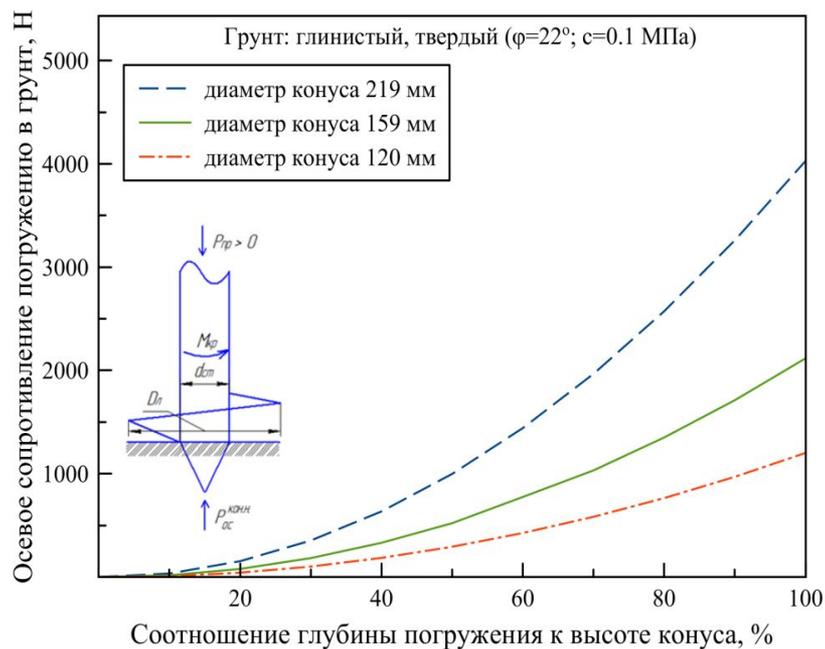


Рисунок 4 – График изменения осевого сопротивления конического наконечника в процессе погружения в поверхностный слой грунта.

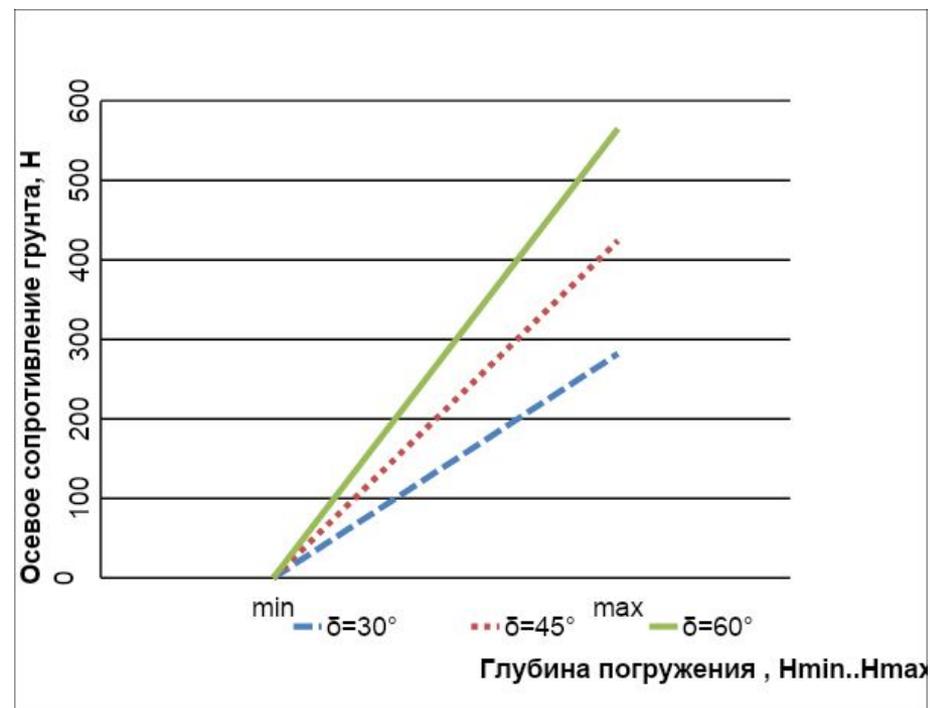


Рисунок 5 – График изменения осевого сопротивления на скошенном наконечнике с открытой полостью в процессе его погружения диаметром 120 мм..

# Глубина погружения, определяющая работоспособность винтовой пары «лопасть-грунт»

Несущая способность винтового анкера или якоря при действии вертикальной нагрузки

равна:

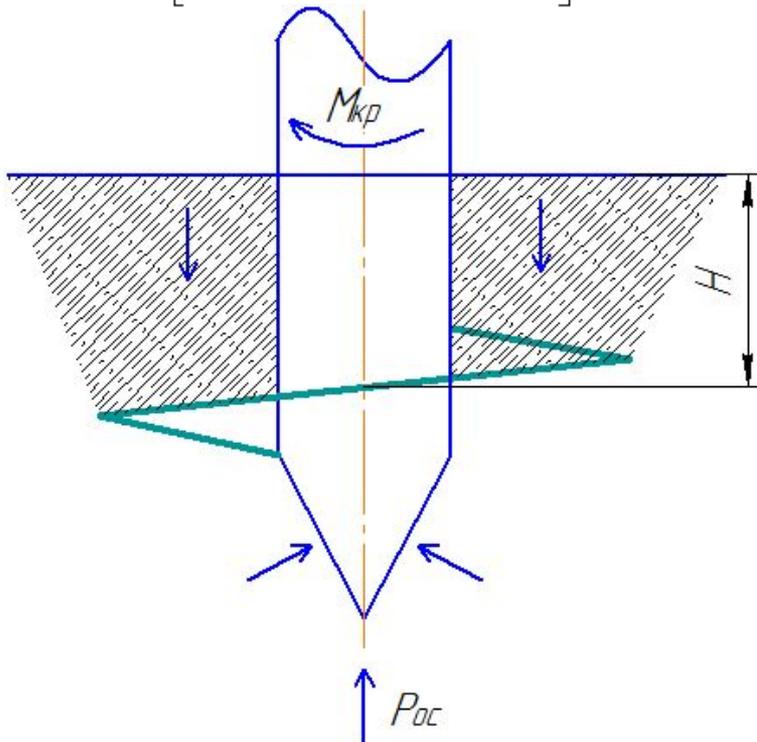
$$P_{нес} = \frac{\gamma \pi D_r^2 H}{4} \left[ 1 + \frac{2H \operatorname{tg} \psi_0}{D_r} + \frac{4}{3} \left( \frac{H}{D_r} \operatorname{tg} \psi_0 \right)^2 \right] + c_0 \pi H (D_r + H \operatorname{tg} \psi_0)$$


Рисунок 6 – Расчетная схема для определения требуемой глубины погружения для дальнейшего погружения без осевой силы пригруза

Минимальное осевое усилие пригруза определяется путем решения уравнения:

$$\frac{P_{ос} - Q_{см} - Q_x + P_{оп}^y + G_{се}}{\cos \alpha^* - f \sin \alpha^*} \cos \alpha^* R^* = 0$$

Требуемая глубина погружения для работоспособности винтовой пары «лопасть-грунт» определяется аналитическим путем.

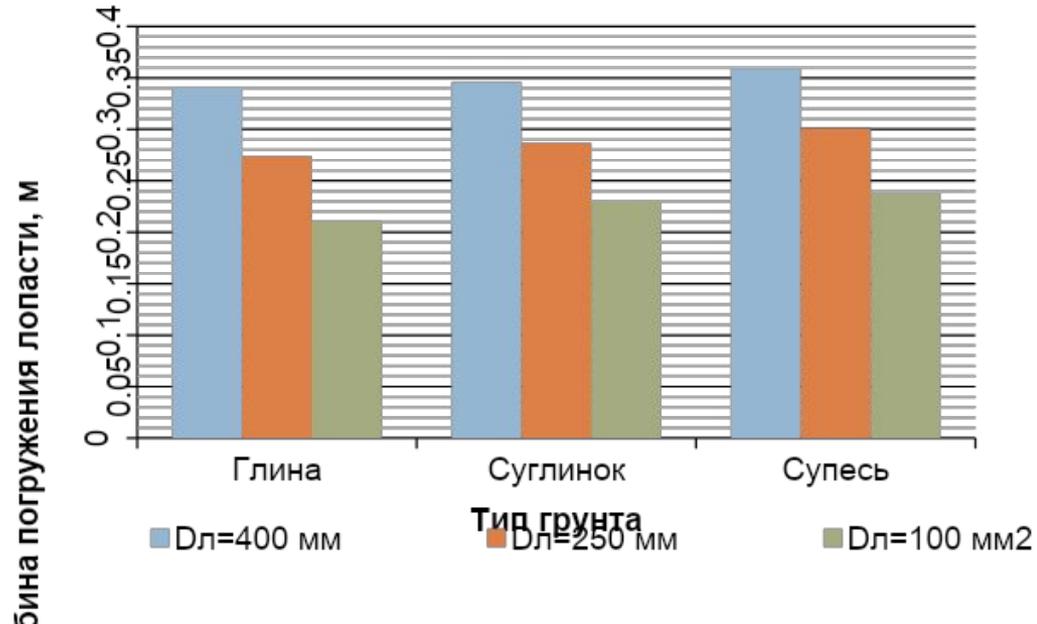


Рисунок 7 - График зависимости требуемой глубины погружения лопасти для дальнейшего завинчивания без осевой силы пригруза.

# Процессы завинчивания винтовых свай

Момент сопротивления на нижней поверхности лопасти определяется выражением:

$$M_{л.н}^c = \frac{P_{ос} - Q_{см} - Q_{к} + P_{ср}^y + G_{св}}{\cos \alpha^* - f \sin \alpha^*} \cos \alpha^* R^*,$$

где  $P_{ос}$  - осевое усилие пригруза;  $Q_{см}$  - сопротивление погружению в грунт на стволе сваи;  $Q_{к}$  - сопротивление погружению на коническом наконечнике;  $\alpha^*$  - средний угол наклона лопасти;  $R^* = 0,33 D_{л}$  - радиус трения винтовой пары «нижняя поверхность лопасти - грунт»;  $G_{св}$  - вес винтовой сваи или якоря

Требуемый крутящий момент равен или больше момента сопротивления завинчивания лопасти:

$$M_{кр} \geq M_{л.н}^c$$

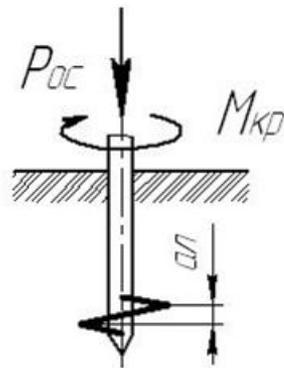


Рисунок 8 – Схема движения винтовой сваи в массиве грунта

Момент сопротивления на верхней поверхности лопасти определяется следующим выражением:

$$M_{л.в}^c = 0,33 D_{л} \sigma_{л.в} F_n (f \cos \alpha^* + \sin \alpha^*)$$

где  $\sigma_{л.в}$  - силы трения на верхней части лопасти,  $f$  - коэффициент, зависящий от типа грунта;  $\alpha^*$  - средний угол наклона поверхности лопасти.

При использовании механизма без осевого усилия пригруза фактический шаг погружения значительно меньше шага лопасти. Это приводит к необходимости сделать дополнительные обороты сваи в грунте для завинчивания на заданную глубину.

Коэффициент пробуксовки влияет на фактическое количество оборотов сваи при завинчивании:

$$n_{\phi} = \frac{n_{P_{ос}}}{K_n},$$

где  $n_{P_{ос}}$  - количество оборотов при использовании осевой силы пригруза;  $K_n$  - коэффициент пробуксовки лопасти,  $a_{\phi}$  - фактический шаг погружения.

Коэффициент пробуксовки  $K_n$  вычисляется по формуле:

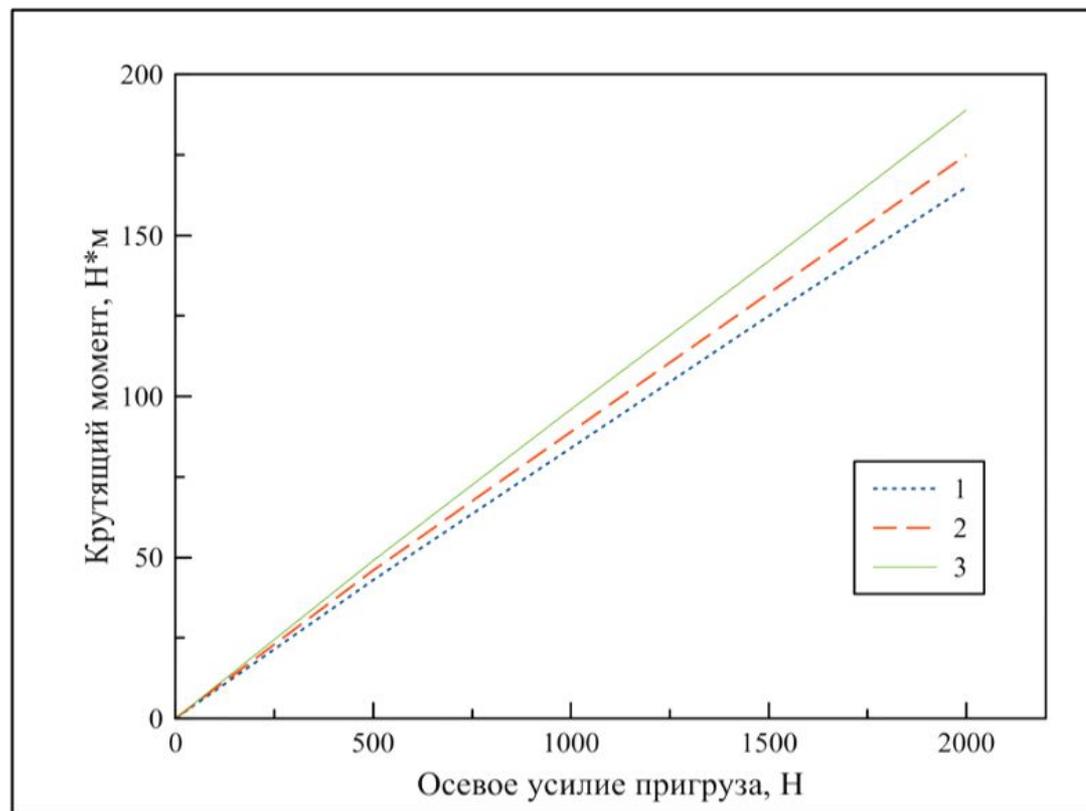
$$K_n = \frac{a_{\phi}}{a_n},$$

где  $a_{\phi}$  - фактический шаг погружения;  $a_n$  - шаг лопасти винтовой сваи.

$$a_{\phi} = n_{\phi} H,$$

Так как  $a_{\phi} < a_n$ , то коэффициент пробуксовки  $K_n < 1$ .

# Оценка влияния осевой силы пригруза на процесс погружения винтовой сваи



1 –  $D_{л}=100$  мм;

2 –  $D_{л}=125$  мм;

3 –  $D_{л}=150$  мм.

Рисунок 9 – Зависимость крутящего момента от осевой силы пригруза для винтовой сваи с диаметром лопасти 400 мм при следующих условиях: грунт – суглинок; наконечник - конический,  $\beta=60^\circ$ ; лопасть – одновитковая;

# Энергообеспечение процессов погружения винтовых свай и якорей

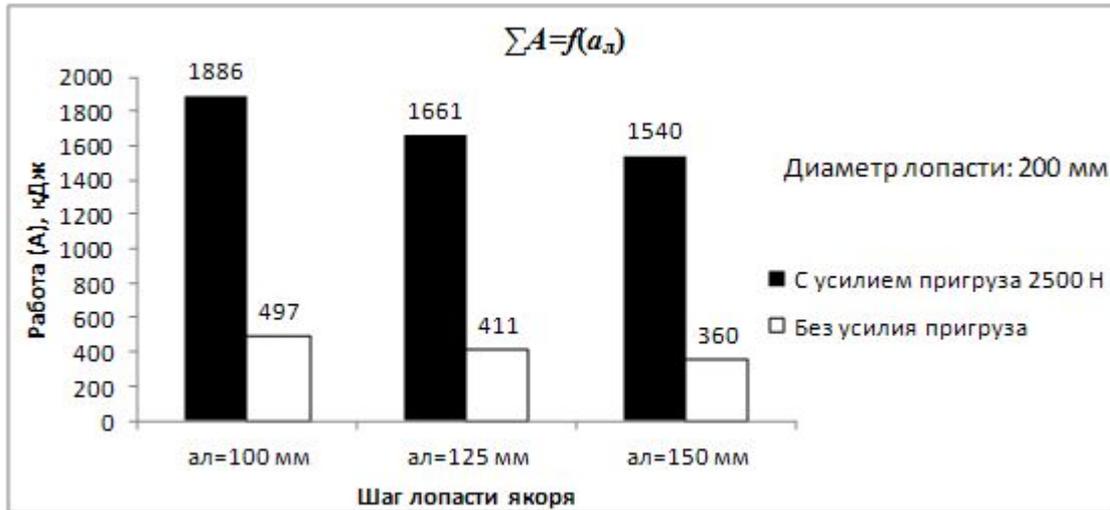


Рисунок 10 – Зависимость работы от шала лопасти и наличия усилия пригруза

В общем случае работу по погружению винтовых свай можно представить в виде двух частей: работы на погружение ствола сваи и работы по погружению лопасти. Тогда суммарная работа может быть описана как

$$\sum A = \int_0^m M_{кр} d\varphi + \int_0^H (P_{np} + G_{ce}) dH$$

где  $\varphi$  - угол поворота ствола сваи;  
 $n$  – количество оборотов винтовой сваи для ее погружения на глубину  $H$ ,  
 $M_{кр}$  - крутящий момент, необходимый для погружения сваи;  $P_{np}$  - осевое усилие пригруза;  $G_{ce}$  - масса сваи или якоря.

# Выводы

1. Закономерности процессов погружения винтовых свай в грунт зависят от их конструкции и конструкции механизма завинчивания.
2. Для обеспечения процессов ввинчивания винтовых свай в массив грунта целесообразно только на начальных этапах применять осевую силу пригруза, или делать предварительные скважины для погружения ствола сваи.
3. Осевая сила пригруза якоря или сваи имеет прямое влияние на необходимый для завинчивания крутящий момент установки погружения и, соответственно на работу, выполняемую механизмом.
4. С экономической точки зрения, целесообразнее погружать винтовые сваи и якоря без пригруза, что значительно уменьшает затраты на энергоресурсы.