

3. Писаненко, В. П. Исследование коэффициентов Пуассона монотропных глинистых грунтов / В. П. Писаненко. – Тр. НИИЖТа, 1977. – Вып. 180. – С.74–79.

4. Способ определения коэффициентов упругости трансверсально-изотропного грунта : пат. 5618 Респ. Беларусь / Галецкий В. В.

5. Прибор для исследования свойств грунтов : а. с. 302665 СССР: МКИ G01n 33/24 / А. Л. Крыжановский, Э. И. Воронцов, А. А. Музафаров., Б. Л. Морозов. – № 1409204/29-14; заявл. 02.03.70; опубл., Бюл. № 15 // Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. – 1971. – № 15. – С. 162.

УДК 624.131.37:624.131.43

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГРУППЫ СВАЙ С УЧЕТОМ ОБЪЕМНОГО «СТЕСНЕНИЯ» НЕСВЯЗНОГО ГРУНТА**

**Уласик Т. М.**, канд. техн. наук., **Балыш А.В.**, маг. техн. наук  
(Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь)

В статье приведены результаты исследований моделирования работы группы свай в определенном объеме «стеснения», который предполагает реализацию несущей способности свай с учетом дилатансии. Выполнен сравнительный анализ полученных данных и результатов ранее проведенных исследований. Показано, как реализуется несущая способность свай в условиях различных комбинаций нагружения свай в группе.

The article presents the results of research of modeling the work of a group of piles in a certain amount of "constraint", which involves the realization of the bearing capacity of piles, taking into account dilatancy. The article presents a comparative analysis of the obtained data and the results of previous research. It is shown how the bearing capacity of piles is realized in conditions of various combinations of loading of piles in a group.

Свайные фундаменты, работающие в группе, традиционно размещаются на расстоянии не менее  $3d$  друг от друга. Нами были выполнены моделирования условий работы буронабивных свай диаметром  $d = 300\text{мм}$ , длиной  $l = 6\text{м}$  с помощью инструмента для численного моделирования – программы Plaxis 3D Foundation. Сваи располагались на расстоянии  $0,15l$  друг от друга, т.к. наши предыдущие исследования [1,2] показали связь между несущей способностью одиночной буронабивной сваи и объемом ее «стеснения», распространяющимся на всю длину сваи, где и происходит мобилизация контактного трения на боковой поверхности сваи. Схема расположения свай в группе показана на рисунке 1.

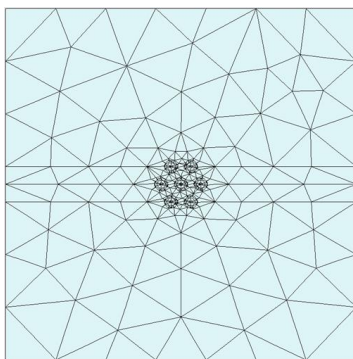


Рис. 1. Размещение моделируемых буронабивных свай в плане (2D-сетка конечных элементов)

Исходные параметры и данные для моделирования: область моделирования:  $Z_{\min}=-8\text{м}$ ,  $Z_{\max}=+8\text{м}$ ;  $X_{\min}=-8\text{м}$ ,  $X_{\max}=+8\text{м}$ ,  $Y_{\max}=15\text{м}$ ;

грунт(несвязный):  $E_{\text{гр}}=20\text{МПа}$ ,  $\nu=0.3$ ,  $\phi=340$ ,  $\psi = 40$ ,  $Y = 20\text{кН/м}^3$  (используется модель пластического разрушения Мора-Кулона);

сваи:  $l = 6\text{м}$ ,  $d_{\text{св}} = 300\text{мм}$ ,  $E = 40\text{ГПа}$ ,  $Y = 24\text{кН/м}^3$ ,  $\nu = 0.35$  (линейно-деформируемый изотропный материал).

В группе принято 7 свай. Расстояние между любыми двумя смежными сваями равно  $0,15 l = 3d = 900\text{мм}$ .

Проведенные ранее исследования [1] по определению оптимальных параметров области «стеснения» для одиночной буронабивной сваи в несвязном грунте, позволили нам определить контур области объемного «стеснения». В пределах этого контура мы расположили

моделируемые сваи. Все этапы моделирования включали 4 основных случая нагружения свай:

1. Нагружение одиночной сваи до нагрузки 500кН;

2. Нагружение только центральной сваи в свайной группе из 7 свай. Сравнение осадок сваи и сил трения по ее боковой поверхности в 1 и 2 случае позволит увидеть, как расположенные по контуру оптимального объемного «стеснения» сваи влияют на несущую способность центральной сваи.

3. Нагружение всей свайной группы (500кН на каждую сваю). Рассматриваемая свая – центральная. Эксперимент покажет, как изменится осадка сваи и силы трения по ее боковой поверхности при работе сваи в составе группы.

4. Нагружение периферийных свай в группе до нагрузки 500кН на каждую из свай. Центральная свая остается ненагруженной. Данный эксперимент покажет какую часть общей осадки сваи составляет осадка, вызванная влиянием соседних свай («несобственная» осадка сваи).

Результаты нагружения центральной сваи (всего в группе 7 свай, эксперимент 2) приведены на рисунке 2.

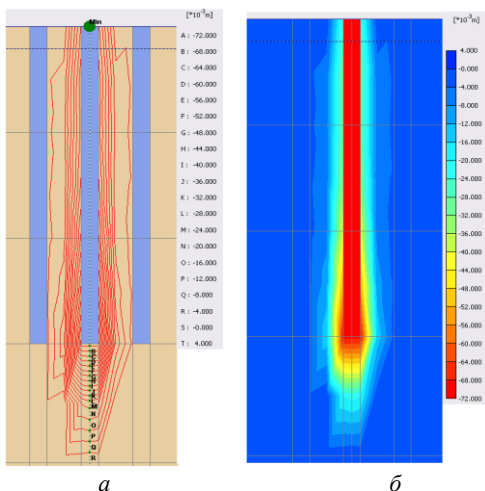


Рис. 2. Нагружение только центральной сваи при нагрузке на оголовок 500кН: а – изолинии вертикальных перемещений центральной сваи и окружающего грунта; б – изополя вертикальных перемещений центральной сваи и окружающего грунта

Моделирование работы всей группы свай (3-й эксперимент), показало, что осадка центральной сваи больше, чем в предыдущих случаях (в 3-м эксперименте 106 мм, во 2-м – 71мм и в 1-м – 95мм), т.к. нагруженные соседние сваи создают условия для изменения дилатантных напряжений [3] и здесь, в первую очередь, имеет значение размещение свай относительно друг друга. На рисунке 3 показаны эпюры продольных усилий  $N$ , кН, возникающие в сваях, и изолинии вертикальных перемещений.

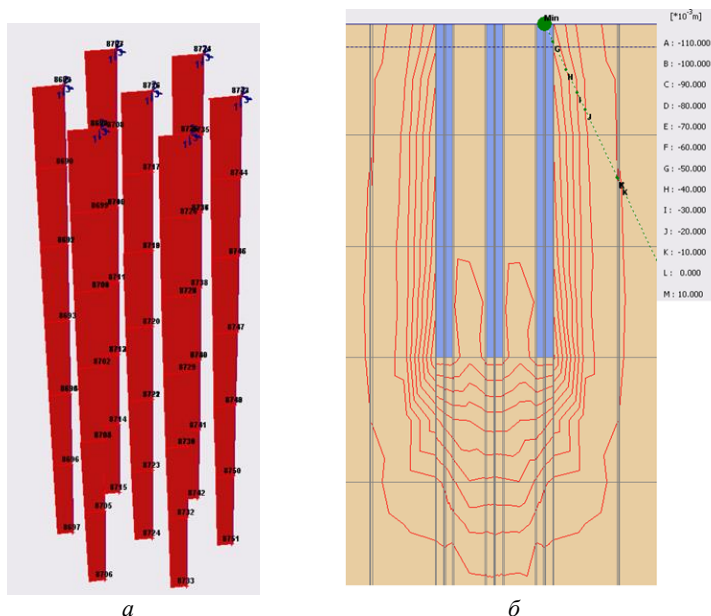


Рис. 3. Нагружение всех свай при нагрузке на оголовок одной сваи 500кН: *а* – эпюры продольных усилий  $N$ , кН (для центральной:  $N_{max}=500$ кН,  $N_{min}=313$ кН, для крайних:  $N_{max}=500$ кН,  $N_{min}=269$ кН); *б* – изолинии вертикальных перемещений

Сопоставление результатов 4 эксперимента, когда нагружаются все сваи, находящиеся по контуру объемного «стеснения», а центральная свая не нагружена, и результатов 2 эксперимента, когда из всей группы свай работает только центральная, показывают идентичные результаты (осадка центральной сваи 71 мм и 70 мм). Это подтверждает наши исследования [1] о влиянии условий «стеснения» на несущую способность одиночной буронабивной сваи. Во

2-м эксперименте центральная свая испытывает присутствие «стеснения» от свай, расположенных по контуру оптимального объема «стеснения».

В 4-м эксперименте ненагруженная центральная свая также реагирует на объемное «стеснение» работающих периферийных свай. Данные всех 4-х экспериментов приведены в таблице 1.

Здесь коэффициент соотношения  $k_1 = P_{бок} / N$  (показывает отношение нагрузки, воспринимаемой боковой поверхностью сваи по отношению к общей нагрузке на центральную сваю). Коэффициент  $k_2 = P_{бок-дил.} / N$  (показывает отношение силы трения, обусловленной дилатансией, по отношению к общей нагрузке, воспринимаемой боковой поверхностью).

Таблица 1

Сопоставление результатов нагружения свай в группе

№ эксперимента	$k_1$ , %	Осадка центральной сваи $S$ , мм	$k_2$ , %	Примечание
1	44	95	0	одиночная свая
2	53,4	71	9,4	группа из 7 свай, нагружена только центральная
3	37,4	106	4,8	То же, нагружены все
4	-	70	-	То же, нагружены периферийные

Проанализировав выполненные исследования, можно сделать следующие выводы:

1. Для свай, работающих в группе, окружающие сваи создают условия дополнительного «стеснения», которое реализуется посредством мобилизации контактного трения на боковой поверхности при возникновении так называемого дилатантного распора [3].

2. Расстояние между осями свай равно 0,15 $l$  при нагружении всех свай в группе, влияет на уменьшение горизонтальных сжимающих напряжений в несвязном грунте, возникающих из-за проявления «стесненной» дилатансии.

3. При сопоставлении результатов моделирования можно отметить, что по боковой поверхности сваи происходит увеличение силы трения и это обусловлено явлением дилатансии. Из таблицы 1 видно, что силы трения, обусловленные дилатансией, по отношению к общей нагрузке, воспринимаемой боковой поверхностью составляют 4,8% для случая нагружения всех свай в группе. В реальных условиях это может дать ощутимый экономический эффект [4].

Предметом дальнейших исследований будет являться наиболее эффективное и рациональное размещение свай, работающих в группе, в пределах свайного поля. Таким образом, учет явления «стесненной» дилатансии позволит определить наиболее экономичные решения при проектировании свайных фундаментов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Уласик, Т.М. Моделирование работы одиночной буронабивной сваи в условиях дополнительного «стеснения»/ Т. М. Уласик, А.В. Балыш // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Строительство. Прикладные науки. – 2017. – № 8. – С. 43–48.

2. Уласик, Т.М. Влияние "стесненной" дилатансии на несущую способность свайных фундаментов / Т.М. Уласик // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Строительство. Прикладные науки. – 2015. – № 16. – С. 30–33.

3. Соболевский, Д.Ю. Прочность и несущая способность дилатирующего грунта / Д.Ю.Соболевский. – Минск: Навука і тэхніка, 1994.– 232 с.

4. Уласик, Т.М. Несущая способность свайных фундаментов с учетом скорректированного значения расчетного сопротивления на боковой поверхности / Т.М. Уласик // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Строительство. Прикладные науки. – 2010. – № 12. – С. 82–86.