

УДК 624.137.5

UDC 624.137.5

**ВЛИЯНИЕ АНКЕРНЫХ СВАЙ НА  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОПОЛЗНЕВОГО  
ГРУНТА СО СВАЯМИ ОДНОРЯДНЫХ  
УДЕРЖИВАЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ****INFLUENCE OF ANCHOR PILES ON  
LANDSLIDE SOIL INTERACTION WITH THE  
PILES OF SINGLE-ROW RETAINING  
CONSTRUCTIONS**

Деревенец Филипп Николаевич

Derevenets Philipp Nickolaevich

к.т.н.

Cand.Tech.Sci.

*Кубанский государственный аграрный  
университет, Краснодар, Россия**Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

Рассмотрены особенности взаимодействия  
оползневого грунта со сваями однорядных  
удерживающих сооружений с учетом влияния  
анкерных свай

The features of landslide soil interaction with piles of  
single-row retaining constructions, taking into account  
the influence of anchor piles are considered

Ключевые слова: ОПОЛЗЕНЬ, ИНЖЕНЕРНАЯ  
ЗАЩИТА, СВАЯ, АНКЕР, НАПРЯЖЕННО-  
ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ГРУНТА,  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГРУНТА СО СВАЯМИ

Keywords: LANDSLIDE, ENGINEER  
PROTECTION, PILE, ANCHOR, STRESS-STRAIN  
STATE OF SOIL, SOIL-PILES INTERACTION

## ВВЕДЕНИЕ

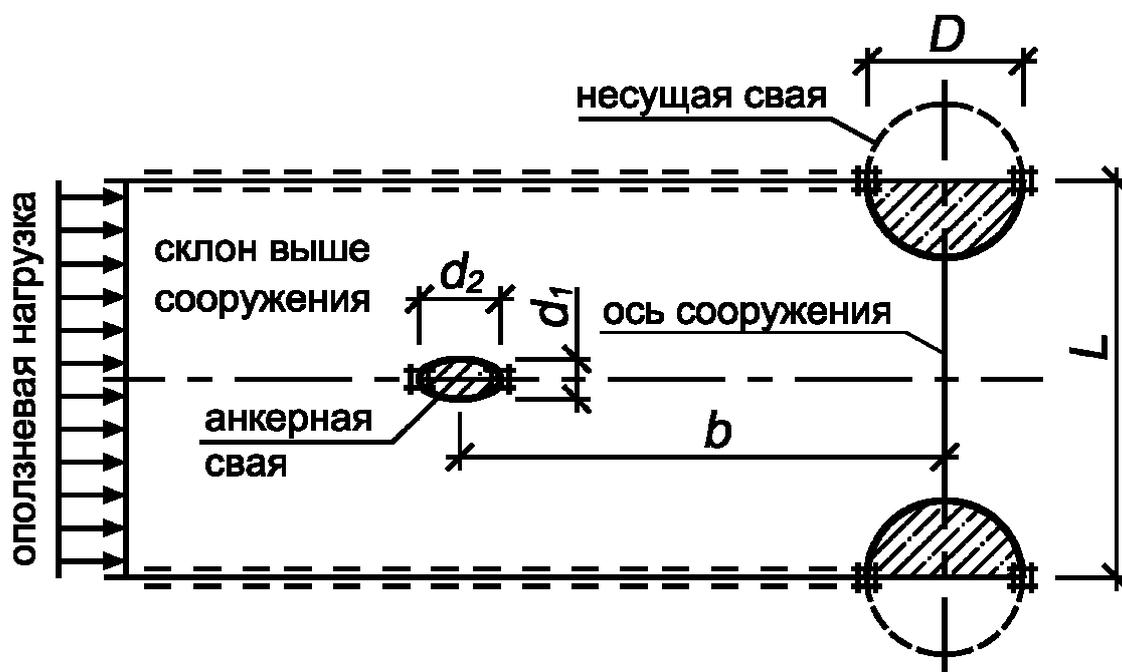
Возведение различных инженерных объектов на склонах часто производится под защитой однорядных свайных удерживающих сооружений. С целью повышения несущей способности удерживающей конструкции нередко применяется анкерное крепление, расположенное в один или несколько ярусов. В качестве анкерных элементов в последнее время широко используются наклонные анкерные сваи малого диаметра. В силу особенностей конструкции анкерные сваи контактируют с оползневом грунтом и непосредственно воспринимают на себя часть оползневого давления.

Вопросами взаимодействия грунта укрепляемого склона с контрфорсными, в частности свайными, элементами удерживающих сооружений занимались Шадунц К.Ш. [1], Гинзбург Л.К. [2], Маций С.И. [3], Федоровский В.Г. [4], Ито Т., Мацуи Т. [5], Адаши [6] и др. Автором проведены исследования [7], уточняющие и дополняющие результаты этих работ. Однако в них не учитывается влияние анкерных элементов на напряженно-деформированное состояние грунта при продавливании между сваями удерживающей конструкции. В результате несущая способность сооружения по продавливанию грунта получает заниженную оценку.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены численным методом с использованием пакета конечно-элементного анализа *PLAXIS*. Расчеты проводились с учетом следующих условий и допущений.

Моделировалась работа однорядного свайно-анкерного сооружения, предназначенного для удержания верхового откоса выемки и состоящего из вертикальных свай большого диаметра (далее – «несущих свай») и наклонных анкерных свай малого диаметра (далее – «анкерных свай»). Рассматривалась плоская задача – осесимметричный фрагмент бесконечно протяженного сооружения в горизонтальной плоскости (рисунок 1). Закрепление несущих и анкерных свай принято жестким. Поведение грунта описывалось упругой идеально пластической моделью Кулона-Мора. Предельное давление грунта на сооружение из условия непродавливания между сваями учитывалось как активное оползневое давление грунта выше расположенного склона. Ниже сооружения по склону грунт отсутствовал. В рамках средств используемой программы несущие и анкерные сваи в расчетной модели представлены одной из симметричных половин «тоннеля» (*tunnel*). Форма «тоннеля» для несущих свай принята круглого сечения.



**Рисунок 1** – Расчетная схема модели продавливания грунта между сваями. Анкерные сваи не перпендикулярны плоскости расчетной схемы, поэтому форма «тоннеля» для них принята овального сечения. Материалу

обделки тоннелей-свай заданы достаточно высокие значения изгибной и нормальной жесткости, позволяющие пренебречь их собственными деформациями. Для моделирования работы грунта на контакте со сваями с возможностью проскальзывания или отрыва грунта, к «тоннелям» применены контактные поверхности («интерфейсы»). Моделирование оползневого давления производилось распределенной нагрузкой (*distributed load*) по левой границе расчетной схемы.

Вся расчетная область разбивалась на элементы средней крупности. В области влияния сооружения производилось измельчение сетки. Дополнительное сгущение сетки конечных элементов производилось в непосредственной близости от свай при использовании соответствующего «тоннеля» без обделки и контактных поверхностей.

Рассмотрен наиболее распространенный вариант конструкции при средних грунтовых условиях и разном положении анкерной сваи:

диаметр несущих свай $D$ , .....	1000 мм
малая ось анкерной сваи $d_1$ , .....	150 мм
большая ось анкерной сваи $d_2$ , .....	300 мм
Шаг свай в ряду $L$ , .....	2,5 м
расстояние от центра анкера до оси сооружения $b$ , .....	0,0-3,0 м
удельное сцепление $c$ , .....	20 кПа
угол внутреннего трения $j$ , .....	10°
модуль деформации $E$ , .....	30 МПа
коэффициент Пуассона $\mu$ , .....	0,38
коэффициент трения по свае $\eta$ , .....	0,6

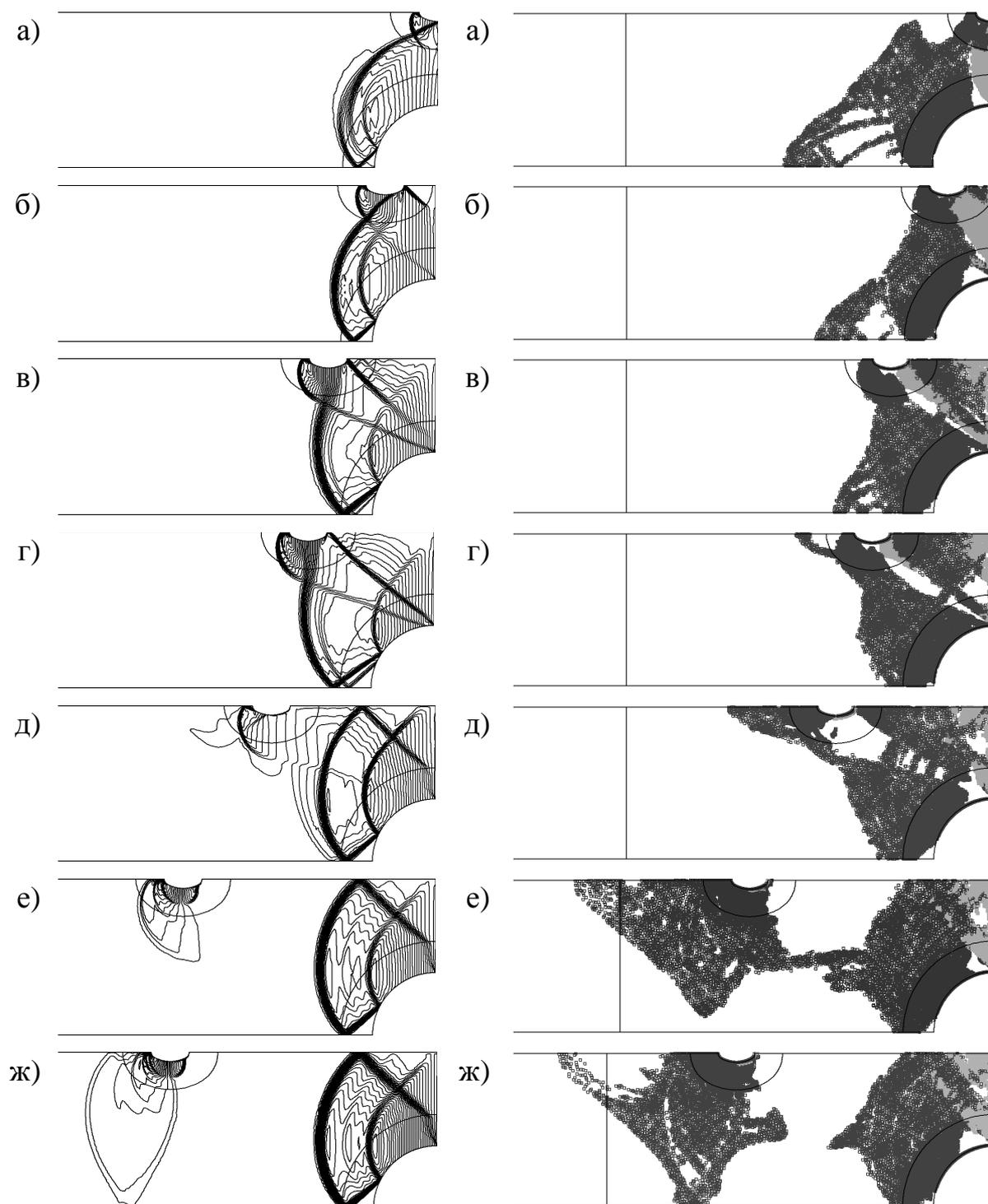
Поскольку численные исследования выполнены для оползневых глинистых грунтов, угол дилатансии  $\psi$  принят равным нулю. Увеличение нагрузки в каждом численном эксперименте проводилось в режиме авто-

матического пошагового нагружения, вплоть до разрушения грунтового тела в межсвайном пространстве и начала пластического течения грунта.

### **НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ГРУНТА**

Изучение влияния анкерных свай на напряженно-деформированное состояние грунта около свайного пространства производилось посредством изменения расстояния между центром анкерной сваи и продольной осью конструкции. Исследовались поля относительных деформаций, продольных и поперечных перемещений грунта, а также «пластических зон» по критерию Кулона-Мора. Перемещения грунта приняты продольными и поперечными относительно вектора оползневого давления.

При расположении анкерных свай по оси сооружения ( $b = 0.00D$ ) и предельных оползневых давлениях из условия непродавливания грунта, перед несущими и анкерными сваями формируются характерные области пластических деформаций (рисунок 2-а, 3-а) в виде симметричных криволинейных треугольников или «лепестков» [3]. Процесс их формирования аналогичен развитию пластических зон у свай однорядного сооружения [7, 8]. Однако начинают они формироваться сначала перед анкерными сваями, затем – перед несущими. «Лепестки» у несущих свай больше развиты по ширине межсвайного пространства (около  $1.06D$ ), чем у анкерных свай (около  $0.18D$ ). Точка смыкания «лепестков» находится на линии, соединяющей крайние фронтальные точки смежных несущих и анкерных свай со стороны верхового склона. Грунт деформируется по форме обтекания сначала несущей сваи, затем продавливается между несущей и анкерной сваями. Максимальные перемещения грунта концентрируются ближе к анкерной свае, которая работает в этом случае в виде своеобразного режущего элемента.



$a - b = 0.00D$ ;  $б - b = 0.40D$ ;  $в - b = 0.85D$ ;  $г - b = 1.00D$ ;

$д - b = 1.30D$ ;  $е - b = 2.00D$ ;  $ж - b = 2.10D$

**Рисунок 2** – Поперечные перемещения грунта

**Рисунок 3** – «Пластические зоны» Кулона-Мора

При небольших расстояниях между центром анкерной сваи и осью сооружения ( $b = 0.05 \div 0.35D$ ) характер пластических зон практически не меняется. «Лепестки» у несущих свай незначительно уменьшаются по ширине и увеличиваются – у анкерных свай.

При расстояниях от анкерной сваи до оси сооружения  $b$  от  $0.40D$  до  $1.25D$  характер деформирования грунта меняется: развитие областей пластических деформаций перед анкерными сваями заметно опережает формирование пластических зон перед несущими сваями. Размер области пластического деформирования грунта перед анкерными сваями существенно увеличивается. Появляются трещины сдвига от точки смыкания «лепестков» к боковой поверхности несущих свай и от крайней тыльной точкой анкерной сваи со стороны низового склона субпараллельно первой трещине (рисунок 2-б, 3-б). При расстоянии  $b$  около  $0.85D$ , вторая трещина достигает боковой поверхности несущих свай, образуя треугольный клин выдавливания грунта между смежными несущими и позади анкерной свай (рисунок 2-в, 3-в). Практически одновременно при  $b$  около  $0.9 \div 1.0D$  на фоне основного «лепестка» у несущих свай появляется новая лепестковая деформация, которая развивается от основания клина уплотненного грунта к середине межсвайного пространства (рисунок 2-г, 3-г).

При расстоянии от анкерной сваи до оси сооружения  $b$  более  $1.25 \div 1.30D$  взаимовлияние между несущими и анкерными сваями существенно снижается (рисунки 2-д, 3-д). «Лепестковые» пластические зоны смежных несущих свай смыкаются между собой, а «лепестки» у анкерных свай обособляются. Ширина «лепестковых» зон у анкерных свай вырастает приблизительно до  $0.40 \div 0.45D$ .

При  $b$  от  $1.85D$  до  $2.00D$  основные перемещения грунта в зоне влияния анкерной сваи концентрируются непосредственно у ее боковой поверхности (рисунок 2-е, 3-е), ширина которой составляет около  $0.1D$ . Однако на фоне основной области деформаций постепенно проявляется зона

пластических деформаций, значительно меньших по интенсивности. При  $b$  около  $2.00 \div 2.05D$  ее размеры достигают середины пространства между анкерными сваями и «фоновые» «лепестки» у смежных анкерных свай смыкаются (рисунок 2-ж, 3-ж). Взаимовлияние между несущими и анкерными сваями прекращается. Одновременно отмечается появление взаимовлияния между смежными анкерными сваями.

Дальнейшее увеличение расстояния между анкерными сваями и осью сооружения ( $b > 2.05D$ ) не приводит к существенному изменению напряженно-деформированного состояния грунта в районе несущих и анкерных свай.

### АНАЛИЗ ПРЕДЕЛЬНЫХ ДАВЛЕНИЙ

При изменении положения анкерных свай относительно оси сооружения в пределах  $b = 0.0 \div 0.5D$ , предельное давление продавливания незначительно падает (рисунок 4).

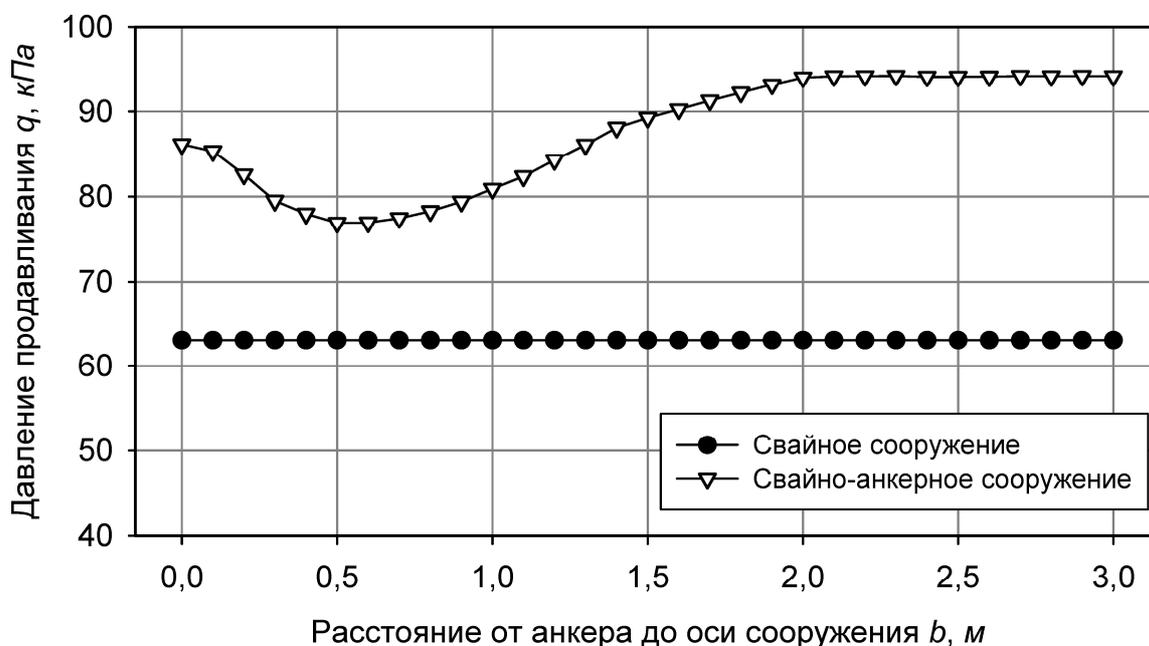


Рисунок 4 – Критическое давление продавливания

Характер областей пластических деформаций указывает на работу несущих и анкерных свай по типу «ломанного ряда свай» [7, 9], поскольку взаимовлияние между смежными несущими сваями отсутствует. Причина снижения давления продавливания состоит в увеличении расстояния между смежными несущими и анкерными сваями. При увеличении расстояния между анкерными сваями и осью сооружения  $b$  от  $0.5D$  до  $2.0D$  критические давления продавливания заметно растут. Причем, в первой половине интервала ( $b = 0.5 \div 1.35D$ ) интенсивность роста давлений несколько выше. Пластическое деформирование грунта имеет характер работы «полуторядного сооружения» – появляется и растет взаимовлияние между смежными несущими сваями. Во второй части интервала ( $b = 1.35 \div 2.0 D$ ) взаимовлияние между несущими и анкерными сваями существенно уменьшается.

При расстоянии между анкерными сваями и осью сооружения  $b > 2.00 \div 2.05D$  взаимовлияние между несущими и анкерными сваями исчезает. В результате дальнейшее увеличение расстояния  $b$  не приводит к изменению предельного давления продавливания. Сваи работают как «отдельно стоящие ряды свай» [7, 9].

Необходимо также отметить, что предельное давление продавливания грунта во всем интервале положения анкерных свай существенно выше, чем в случае конструкции без анкерного крепления. Для рассмотренного варианта конструкции и принятых грунтовых условий повышение сопротивления продавливанию грунта составляет от 20 до 40 %.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования взаимодействия оползневого грунта со сваями однорядного свайно-анкерного удерживающего сооружения методом конечных элементов установлено следующее:

1. Анкерные сваи оказывают заметное влияние на напряженно-деформированные состояния грунта межсвайного пространства.
2. Характер зон пластических деформаций грунта межсвайного пространства соответствует результатам более ранних исследований.
3. Учет анкерных свай в расчетной схеме позволяет существенно повысить сопротивление конструкции продавливанию грунта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шадунц К.Ш. К расчету контрфорсных сооружений // Вопросы геотехники: Тр. ДИИТа, 1962. Вып. № 5. С. 24-42.
2. Гинзбург Л.К. Противооползневые удерживающие конструкции. М: Стройиздат, 1979. 81 с.
3. Маций С.И. Взаимодействие свайных рядов с грунтом оползней // Автореферат диссертации. СПб., 1991.
4. Федоровский В. Г. Предельное давление на ряд ленточных штампов и эффект «непродавливания» / В. Г. Федоровский // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М.: Стройиздат. 2006. – № 3. – С. 9–13.
5. Ito T. Extended design method for multi-row stabilizing piles against landslide. / T. Ito, T. Matsui, W.P. Hong // Soils and foundations. 1982. Vol. 22. № 1, pp. 1–13.
6. Adashi T. Model tests on the preventive mechanism of landslide stabilizing piles. / T. Adashi, M. Kimura, S. Tada // Doboku gakkou rombunshu: proc. of JSCE, 1988. № 400, pp. 243–252
7. Деревенец Ф.Н. Взаимодействие оползневого грунта со сваями с учетом конфигурации удерживающего сооружения // Дис. ... канд. техн. наук. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – 259 с.
8. Маций С.И. Применение метода конечных элементов для исследования взаимодействия грунтов оползня со сваями / С.И. Маций, Ф.Н. Деревенец // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М.: Стройиздат, 2005. – № 4. – С. 8–12.
9. Маций С. И. Взаимодействие оползневого грунта со сваями с учетом конфигурации удерживающего сооружения / С.И. Маций, Ф.Н. Деревенец // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М.: Стройиздат, 2007. – № 2. – С. 8–12.