

## ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА ВОКРУГ КОРОТКИХ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ СВАЙ В ПЕСЧАНЫХ ГРУНТАХ.

*Карпюк И.А., Новский А.В., Карпюк В.М., Колесников Л.И.  
(Одесса)*

Рассматриваются размеры и форма активной зоны песчаного грунта, образованной вдавливанием или забивкой моделей призматических свай с последующим их нагружением вертикальной статической вдавливающей нагрузкой.

Многочисленными экспериментальными исследованиями установлено, что деформации грунта при погружении свай и последующей их работе под нагрузкой развиваются в ограниченном объеме.

В процессе погружения свая любой формы создает значительное уплотнение окружающего грунта с вытеснением его в стороны и вверх. Уплотнение грунта происходит до того предела, при котором его боковое пассивное давление не уравновесится реактивным сопротивлением грунта.

Вследствии того, что, как правило, сопротивление грунта выпиранию в стороны значительно превосходит сопротивление грунта выпиранию вверх вокруг сваи образуются криволинейные поверхности скольжения, по которым происходят сдвиги грунта. Для призматических коротких свай объем выпираемого вверх грунта иногда составляет 40...70% от объема погруженной части сваи [1]. Наклонные грани пирамидальной сваи создают эффект пригружения, вследствие чего сопротивление грунта выпиранию вверх и его уплотнение увеличивается вплоть до верхних слоев грунта [2]. По этой причине удельная несущая способность пирамидальной сваи выше, чем призматической.

По предложению А.А. Луга [3] различают четыре зоны деформации грунта вокруг сваи. Первая зона представляет собой рубашку толщиной до 10мм из деформированного и весьма плотного грунта. Вторая зона имеет вид уплотненного грунтового слоя с переменной сохранностью структуры грунта. В этой зоне первоначальная структура грунта совершенно нарушена на контакте с первой и постепенно переходит к естественной структуре на грани с третьей зоной. В третьей зоне структура грунта сохраняется, но, иногда, наблюдается некоторое снижение его плотности и увеличение влажности из-за сдвигающих и небольших растягивающих напряжений. Четвертая зона характеризуется весьма небольшим нарушением первоначальных свойств грунта.



Установлено, что на работу одиночных свай существенное влияние имеют первые две, а соседних свай - первые три зоны.

Выделим понятие активной зоны. Первоначально она формируется в виде зоны активного уплотнения грунта (вторая зона по А.А. Луга [3]) при погружении сваи и, затем, может развиваться за счет образования в ней и за ее пределами зоны деформации грунта под внешней нагрузкой.

Размеры уплотненной зоны зависят от объема погружаемых свай и их конфигурации. Уплотнение грунта уменьшает его деформативные свойства и имеет решающее влияние на несущую способность сваи, так как формирование зоны деформации под нагрузкой, которая определяет осадку сваи, происходит в искусственно улучшенном основании. Стабилизация осадки сваи наступает тогда, когда внутренние силы, наиболее полно проявляющие себя в пределах зоны деформации, уравнивают внешнюю нагрузку.

Натурные исследования [4, 5] показали, что зона деформации развивается в уплотненном при погружении объеме грунта и при осадках 8...10 см не выходит за пределы уплотненной зоны.

Если граница зоны деформации находится в пределах высоких значений плотности грунта, то осадка составляет небольшую величину (начальный прямолинейный участок графика  $S=f(P_{св})$ ).

Когда же граница зоны деформации приближается к границе зоны уплотнения, где плотность грунта приближается к значениям таковой в естественном состоянии, - осадка значительно возрастает (последующий криволинейный участок графиков).

Анализ литературных источников [1-5] показал, что форма активной зоны, в первую очередь, зависит от вида сваи, а ее размеры приведены для связных глинистых грунтов. В несвязных песчаных грунтах определение формы и размеров активной зоны в натуральных условиях затруднено. Имеются расплывчатые сведения о том, что диаметр активной зоны в песчаных грунтах по данным [3] колеблется в пределах 1,4...6,0 диаметров ствола сваи, по данным [6] - 6...10 диаметров.

Для уточнения размеров активной зоны в песчаных грунтах были выполнены лабораторные исследования по методике, изложенной в работах [7,8] по полному трехфакторному, близкому по свойствам к D- оптимальному, трехуровневому плану типа  $B_3$ .

Исходя из анализа априорной информации в качестве исследуемых факторов в первых двух сериях опытов выбраны: средняя крупность зерен песка  $D = 0,2; 0,5; 0,8$  мм (X1), его плотность  $\rho_d = 1,30; 1,45; 1,60$  т/м<sup>3</sup> (X2) и влажность  $\omega = 0,3, 5; 7,0\%$  (X3).

Моделируемый песчаный грунт заданной планом крупности и плотности послойно укладывали в сухом состоянии в лоток, а затем, также послой-



но, увлажняли расчетным количеством воды. В опытах с использованием сухого песка перед разборкой лотка его увлажняли для того, чтобы он не осыпался. Горизонтальные фиксаторы по осям свай удерживались в неподвижном положении до и в процессе заполнения лотка песком с послойным его уплотнением с помощью натянутых стальных спиц.

Бытовое давление величиной 0,03 мПа было искусственно создано путем укладки сверху металлической пластины с пригрузом.

Погружение моделей свай осуществляли с помощью специальных переставных винтового (первая серия опытов) и забивного (вторая серия) приспособлений с количеством ударов  $100 \pm 5$ .

По форме активная зона состоит (см. рис. 1) из двух объемов: усеченного конуса по длине модели сваи с основанием у ее нижнего конца и полусферы под ним. После обработки экспериментальных данных первой и второй серий по методике [7] получены адекватные линейные математические модели для относительных диаметров активной зоны под нижними концами вдавливаемой и забивной моделей свай, соответственно:

$$\hat{Y}_{\frac{D_{H1}}{d}} = 3,90 + 0,30X_2 \quad (1)$$

$$\hat{Y}_{\frac{D_{H2}}{d}} = 4,17 + 0,41X_2 \quad (2)$$

из которых видно, что в отличие от плотности, ни крупность, ни влажность не оказывают существенного влияния на этот выходной параметр. С увеличением плотности песка от 1,3 до 1,6 т/м<sup>3</sup> относительный диаметр активной зоны под нижними концами вдавливаемой и забивной моделей свай увеличивается по отношению к средним значениям (см. рис. 2), соответственно, на 15 и 20%.

Вследствие дополнительного динамического уплотнения песчаного грунта при забивке свай  $D_{H2}/d$  увеличивается, в среднем, на 7% по отношению к  $D_{H1}/d$ .

Относительные диаметры активной зоны, включающие в себя зоны выпора, в головах вдавливаемых и забивных моделей свай, соответственно, могут быть выражены следующими моделями:

$$\hat{Y}_{\frac{D_{B1}}{d}} = 2,72 + 0,22X_1 + 0,27X_2 \quad (3)$$

$$\hat{Y}_{\frac{D_{B2}}{d}} = 2,87 + 0,23X_1 + 0,25X_2 \quad (4)$$



Анализ этих моделей показывает, что на отношение  $D_b/d$ , кроме плотности, оказывает влияние и крупность песка. Так, относительные диаметры активной зоны в головах вдавливаемых и забивных моделей свай увеличиваются (см. рис. 3) по сравнению со средними значениями, соответственно:

- с увеличением средней крупности песка от 0,2 до 0,8мм на 16%;
- с увеличением его плотности от 1,3 до 1,6т/м<sup>3</sup> на 20 и 17%.

Диаметры активных зон под нижними концами вдавленных и забивных моделей свай больше диаметров этих зон в их головах, в среднем, на 43 и 45% соответственно.

Практический интерес представляют также объемы активных зон, отнесенные к объемам вдавленных, а также забивных моделей свай и подсчитанные с использованием вышеуказанных параметров. Математические модели указанных объемов имеют вид:

$$\hat{Y} \frac{V_1}{V_{св}} = 9,11 + 0,92X_1 + 1,56X_2 + 0,52X_3 \quad (5)$$

$$\hat{Y} \frac{V_2}{V_{св}} = 10,31 + 0,87X_1 + 2,00X_2 + 0,66X_3 \quad (6)$$

По моделям (5) и (6) видно, что все три исследуемые факторы, в том числе и влажность, оказывают заметное влияние на формирование объемов активных зон песчаного грунта.

Относительные объемы активных зон песчаного грунта вдавленных и забивных моделей коротких призматических свай увеличиваются (см. рис. 4) по отношению к их средним значениям, соответственно:

- с увеличением плотности песка от 1,3 до 1,6т/м<sup>3</sup> на 34 и 39%.
- с увеличением его средней крупности от 0,2 до 0,8мм на 20 и 17%;
- с увеличением его влажности от 0 до 7% на 11 и 13%.

Относительные объемы активных зон грунта забивных, в среднем, на 13% больше, чем вдавленных моделей свай.

Частичное наложение активных зон и зон влияния в некоторых опытах третьей серии привело к частичному снижению несущей способности (в среднем, на 8%) вдавливаемых моделей свай С-2, расположенных на контролируемом удалении от соседних предварительно нагруженных вертикальной вдавливающей нагрузкой моделей свай С-1, по сравнению с несущей способностью одиночной вдавленной модели свай.

Практическое значение полученных результатов заключается в том, что установлено влияние исследуемых факторов на относительные размеры активной зоны несвязного грунта. По ширине ствола короткой призматической свай или ее объему в зависимости от крупности, плотности, влажности



песчаного грунта и способа ее погружения по приведенным выше зависимостям после замены в них кодированных переменных на натуральные можно прогнозировать величину нижнего и верхнего диаметров, а также объем активной зоны, отражающей реальную несущую способность свай.

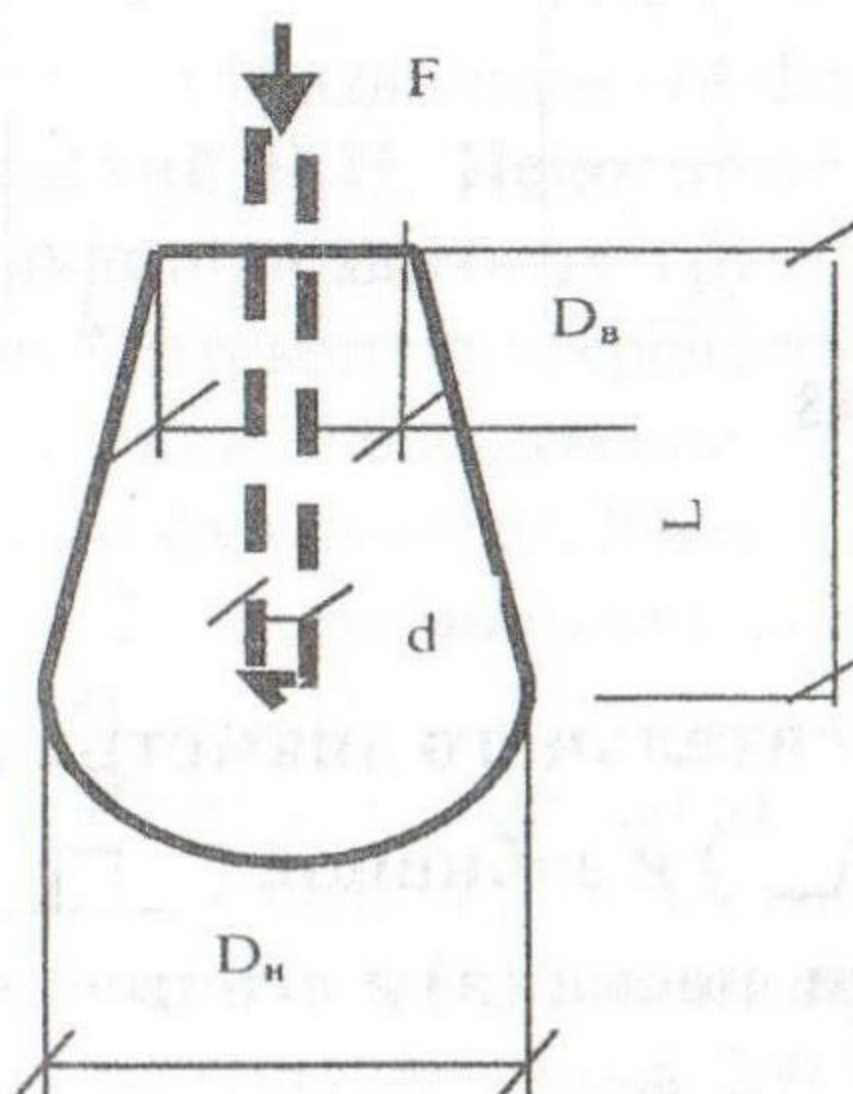


Рис. 1 Форма активной зоны песчаного грунта вокруг модели призматической свай.

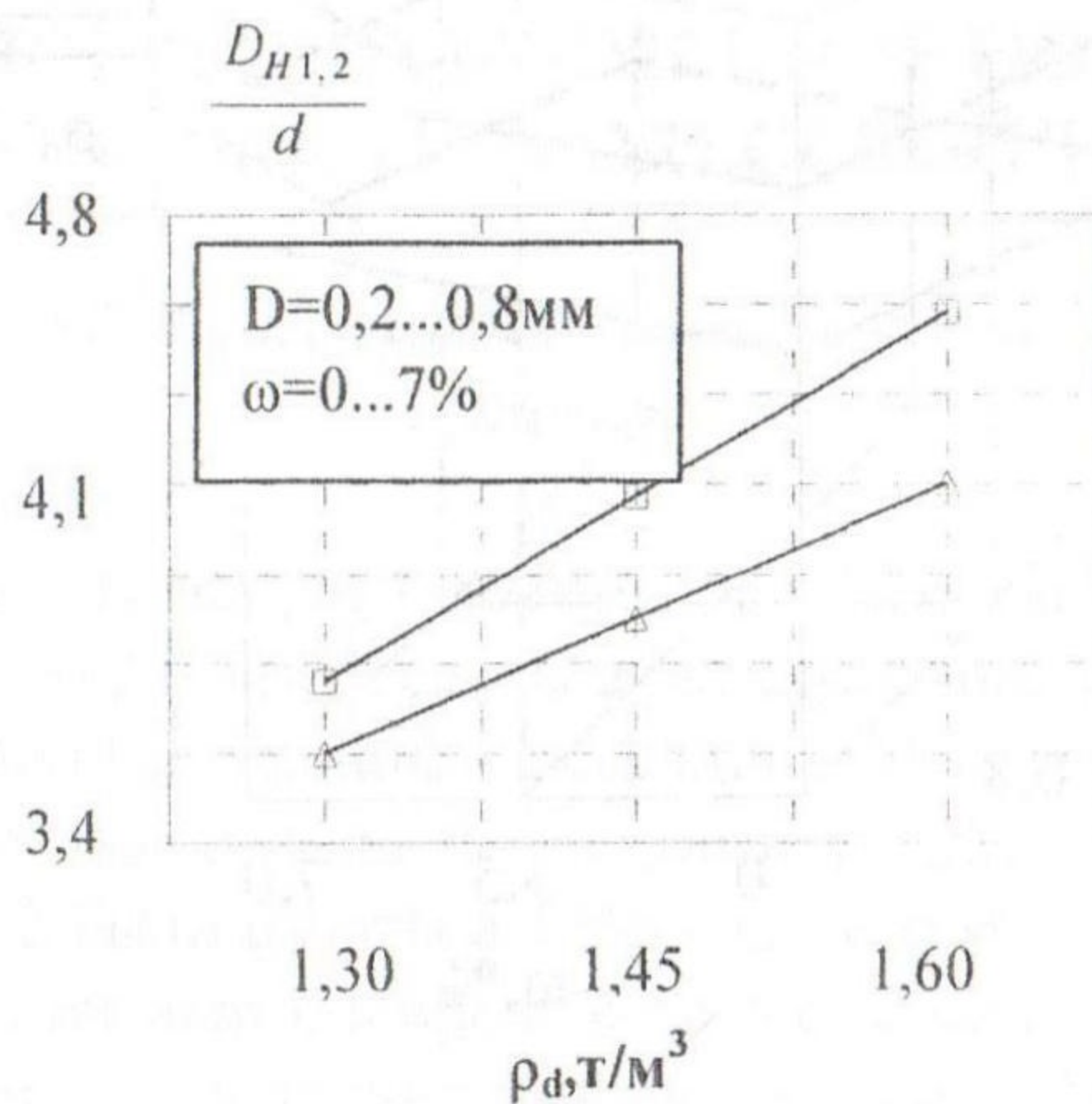


Рис.2 Влияние плотности песка на относительный диаметр активной зоны под нижним концом вдавливаемой (  $\triangle$  ) и забивной (  $\square$  ) моделей свай.



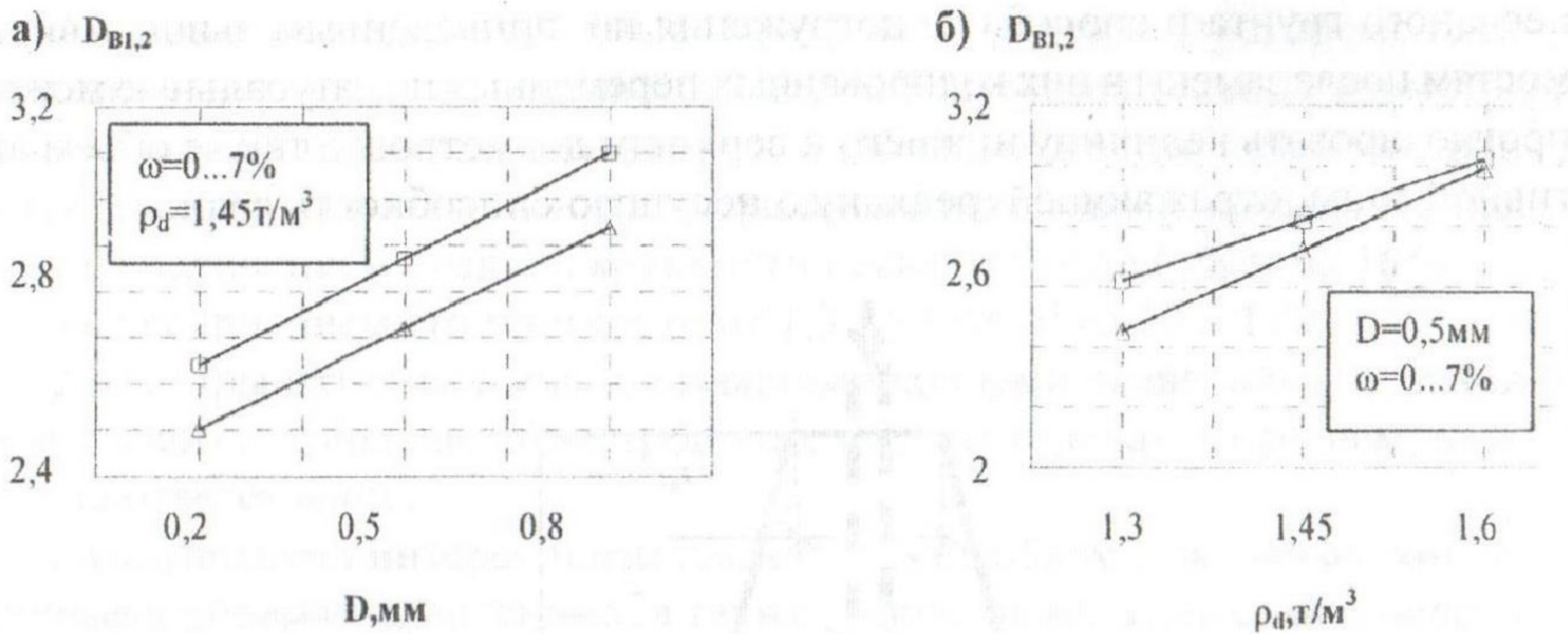


Рис.3 Зависимость относительного диаметра активной зоны в голове вдавливаемой ( $\triangle$ ) и забивной ( $\square$ ) моделей свай от крупности песка (а) и его плотности (б).

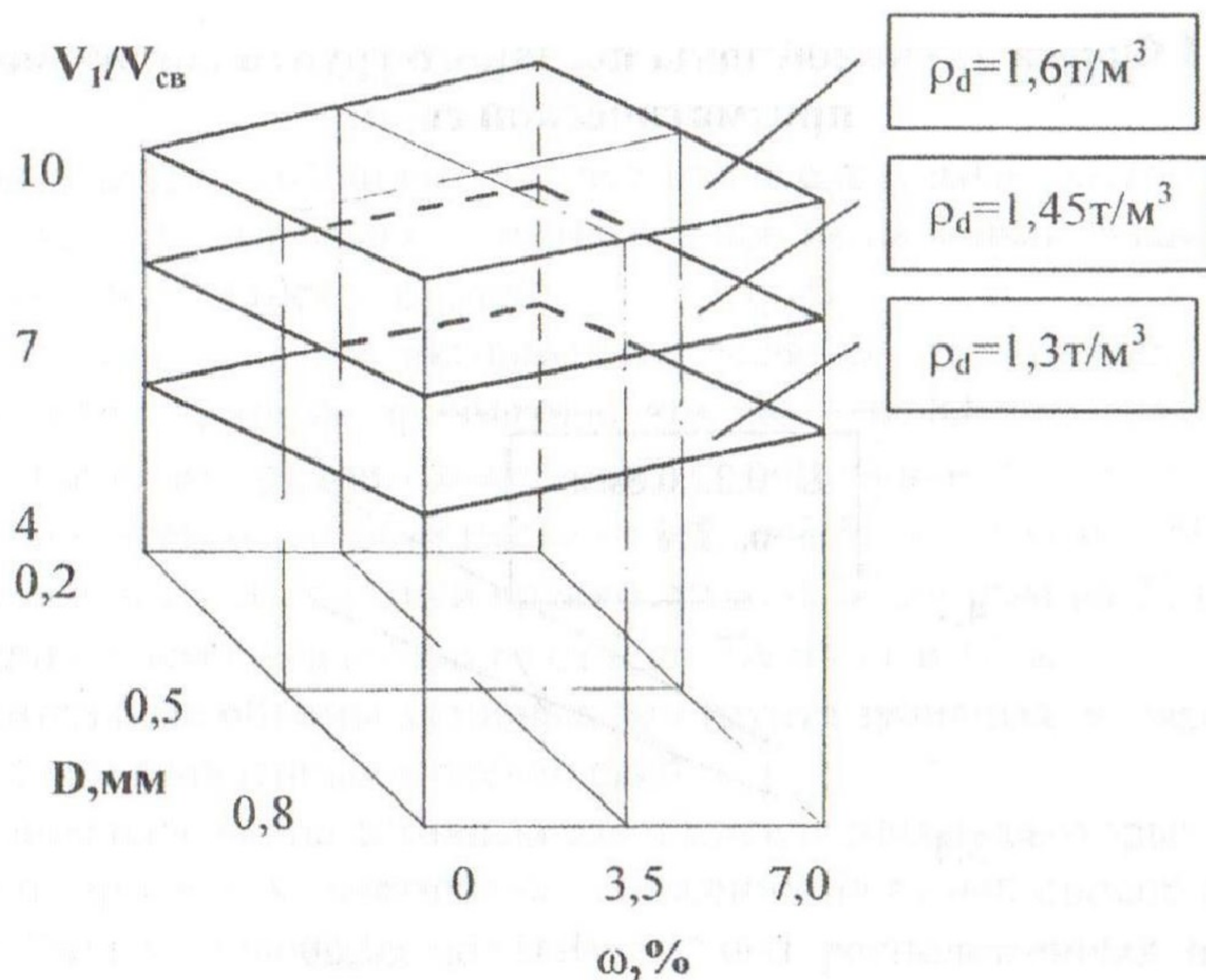


Рис.4 Влияние исследуемых факторов на относительный объем активной зоны уплотнения грунта вокруг вдавливаемой модели свай.

$$\left( \text{Для забивной } \frac{V_2}{V_{св}} = 1.132 \frac{V_1}{V_{св}} \right)$$



## Литература

1. Васильев Б. Д. Основания и фундаменты, Военмориздат. 1945.-С.63-66.
2. Голубков В.Н., Тугаенко Ю.Ф., Шеховцов В.С. Полевые испытания зоны деформаций в лессовых основаниях. Известия вузов. Строительство и архитектура. 1963, №4.-С.8.
3. Цыгович Н.А. и др. Основания и фундаменты. -М.:Госстройиздат. 1959.-С.208,209.
4. Колесников Л.И., Синявский В.Н. Некоторые результаты исследования пирамидальных свай в сильнопросадочных грунтах. Свайные фундаменты в просадочных грунтах. Изд-во Киевского университета. 1970.С.67-70.
5. Новский А.В. Экспериментальные исследования совместной работы козловых и биклинарных свай. Основания и фундаменты. Киев. - 1974, вып.7.-С.73-76.
6. Улицкий В.М., Шашкин А.Г. Геотехническое сопровождение рекомендации городов. -М.: Изд-во АСВ, 1999. -С.231.
7. Карпюк И.А. Новский А.В. Использование математической теории планирования эксперимента в исследовании несущей способности свай и их взаимодействия с окружающим грунтом. Сбо.рник трудов 4-ой Украинской научно-технической конференции по механике грунтов и фундаментостроению. - Киев, 2000.-С.430-433.
8. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. -2-е изд., испр. и доп.-М.: Финансы и статика, 1981.-С.118.