

## **ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ МОДЕЛЕЙ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ СВАЙ В ПРОЦЕССЕ ПООЧЕРЕДНОГО ИХ ВДАВЛИВАНИЯ И НАГРУЖЕНИЯ.**

**Карпюк Ирина Анатольевна**

Одесская государственная академия строительства и архитектуры.

**Рассматриваются особенности совместной работы моделей призматических свай в песчаных грунтах в процессе поочередного их погружения и нагружения вертикальной статической вдавливающей и нагрузкой.**

До настоящего времени методика расчета и проектирования свайных фундаментов с условиях существующей застройки разработана не в полной мере. Для частичного решения поставленной задачи были выполнены лабораторные исследования, которые проводились по методике, изложенной в работе [1,2] по полному трехфакторному, близкому по свойствам к Д- оптимальному, трехуровневому плану типа В<sub>3</sub>.

Исходя из анализа априорной информации в качестве исследуемых факторов в третьей серии выбраны:

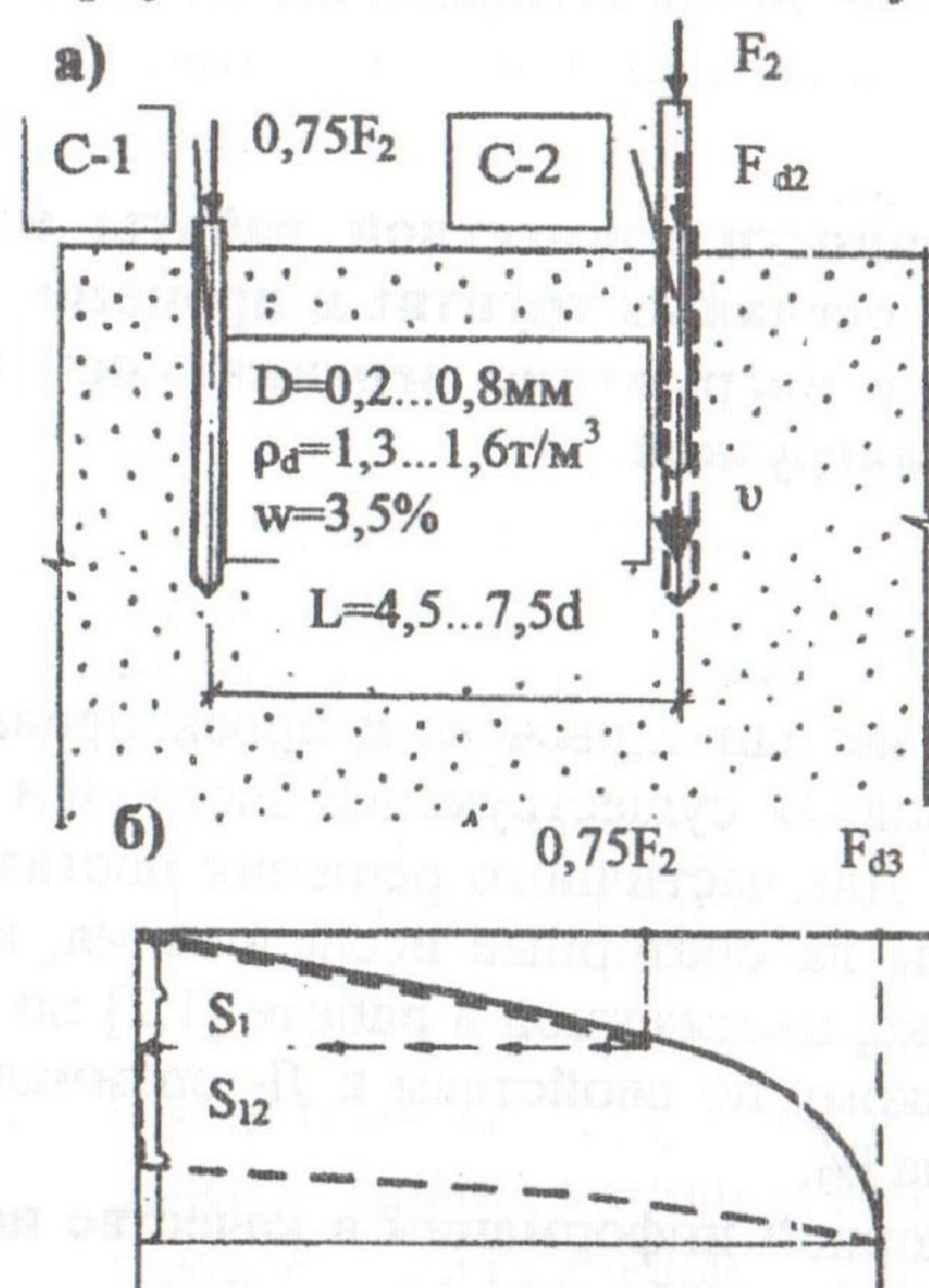
- расстояние между продольными осями моделей свай  $L=4,5d; 6,0d; 7,5d$  (фактор  $X_1$ ), крупность зерен песка,  $D=0,2; 0,5; 0,8$  мм ( $X_2$ ) и его плотность  $\rho_d=1,3; 1,45; 1,60$  т/м<sup>3</sup> ( $X_3$ ).

Моделируемый песчаный грунт заданной планом крупности и плотности послойно укладывали в сухом состоянии в лоток, а затем, также послойно, увлажняли расчетным количеством воды. Горизонтальные фиксаторы по осям свай удерживались в про-



ектном положении до и в процессе заполнения лотка песком с помощью натянутых стальных спиц. По ходу заполнения песком лотка по принятой схеме закладывали датчики давления мембранного типа. Бытовое давление величиной  $0,03\text{МПа}$  было искусственно создано путем укладки сверху металлической пластины с пригрузом. Погружение моделей свай осуществляли с помощью специального переставного винтового приспособления. Усилие вдавливания измеряли динамометром.

В соответствии с принятой схемой (см. рис. 1а) вдавливали первую модель сваи С-1. После условного «отдыха» через сутки к



ней ступенями прикладывали вертикальную статическую вдавливающую нагрузку, равную 75% от усилия вдавливания и производили весь комплекс измерений, в том числе ее осадки  $S_1$  (см. рис. 1б).

Величина уровня нагружения первой модели сваи С-1 выбрана с таким расчетом, чтобы она соответствовала расчетной нагрузке на сваю  $N \leq F_d / 1,2 \approx 0,83F_d$ , как при определении расчетной нагрузки на сваю по результатам полевых испытаний [3].

После полной стабилизации осадки сваи С-1 на следующие сутки производили вдавливание второй модели сваи С-2 со всеми измерениями, в том числе дополнительной осадки  $S_{12}$  (см. рис. 1б)

предварительно нагруженной сваи С-1, обусловленной влиянием сваи С-2. После «отдыха» через 36...48 часов к модели сваи С-2 ступенями прикладывали вдавливающую статическую нагрузку.

Рис. 1 Схема исследования совместной работы свай (а), основные и дополнительные их осадки (б).



В качестве несущей способности сваи С-2 принимали значение статической вдавливающей нагрузки  $F_{дз}$  на ступени, предшествующей ее срыву.

В процессе обработки опытных данных этой серии, исключения незначимых и перерасчета оставшихся коэффициентов уравнений регрессии получены адекватные математические модели основной ( $S_1$ ) и дополнительной ( $S_{12}$ ) осадки первой модели сваи С-1, обладающие достаточной информационной полезностью:

$$\hat{Y}_{S_1} = 1.492 + 0.257X_2 + 0.622X_3 - 0.069X_2X_3, \text{мм}; \quad (1)$$

$$\hat{Y}_{S_{12}} = 3.415 - 1.082X_1 - 0.235X_2 + 1.762X_3 - 0.830X_2X_3, \text{мм} \quad (2)$$

Анализ этих моделей показывает, что исследуемые факторы линейно (см. рис. 2а,б,в) и существенно влияют на выходные параметры. Наибольшее влияние на основную осадку  $S_1$  сваи С-1 оказывает плотность песка, а затем его крупность. Расстояние между осями свай на основную осадку  $S_1$ , как и следовало ожидать, никак ее не влияет, а на дополнительную  $S_{12}$  существенно (по значимости занимает второе место). Так, значения основной и дополнительной осадки увеличиваются по отношению к их средним ее значениям  $S_1=1,492\text{мм}$ ,  $S_{12}=3,415\text{мм}$ , соответственно:

- с увеличением плотности песка  $\rho_d$  от 1,3 до 1,60т/м<sup>3</sup> на 83 и 103%;
- с уменьшением ( $S_1$ ) и увеличением ( $S_{12}$ ) его крупности  $D$  от 0,2 до 0,8мм на 34 и 14%.
- с уменьшением ( $S_{12}$ ) величины  $L$  от 7,5d до 4,5d на 63%;

Существенно взаимодействуют между собой факторы  $X_2$  и  $X_3$ : при одновременном увеличении плотности и уменьшении крупности песка осадка  $S_1$  и  $S_{12}$  возрастают.

Для изучения влияния уровня нагружения сваи С-1 на величину дополнительной ее осадки при вдавливании и нагружении сваи С-2 были выполнены дополнительные опыты при средних («нулевых») значениях трех вышеуказанных факторов с величиной нагрузки на сваю С-1, составляющей 64 и 53% от усилия вдавливания. По результатам первой серии опытов при указанных средних значениях исследуемых факторов несущая способность аналогичной модели сваи составляла 90% от усилия ее вдавливания. Исходя из этого, уровень нагрузки на сваю С-1 составлял 83%, 71% и 59% от ее несущей способности, что соответ-



стствует значениям коэффициента надежности  $\gamma_k = 1,205; 1,401$  и  $1,695$ . Как видно из рис. 3, с увеличением уровня нагрузки на сваю С-1 от 59 до 83% от ее несущей способности значение ее дополнительной осадки  $S_{12}$  при вдавливании и нагружении сваи С-2 увеличилось с 0,49 до 3,29мм, т.е. в 6,7раза.

Выразим отношение дополнительной осадки сваи С-1 к основной через коэффициент  $K_3 = S_{12}/S_1$ . После обработки по принятой методике этих данных получим математическую модель:

$$\hat{Y}_{K_3} = 2.259 - 0.873X_1 - 0.417X_2 + 0.345X_3 + 0.146X_2^2 - 0.154X_3^2 - 0.375X_2X_3, \quad (3)$$

из которой видно, что преобладающее влияние на величину  $K_3$  оказывает расстояние между сваями (77%), затем крупность песка (37%) и его плотность (31%). Характеристики песка влияют на  $K_3$  нелинейно. При одновременном уменьшении плотности и увеличении крупности песка значение  $K_3$  уменьшается (см.рис.2г).

В идентичных грунтовых условиях по величине основной осадки призматической сваи с помощью коэффициента  $K_3$  можно прогнозировать величину дополнительной осадки при погружении рядом с ней другой сваи:  $S_1 = K_3 \cdot S_2$ .

Усилие вдавливание  $F_2$  и несущая способность  $F_{дз}$  второй модели призматической сваи могут быть представлены адекватными математическими моделями:

$$\hat{Y}_{F_2} = 3.476 + 0.575X_2 + 1.730X_3 - 0.125X_2^2 - 0.550X_3^2 + 0.205X_2X_3, \text{ кН}; \quad (4)$$

$$\hat{Y}_{F_{дз}} = 2.767 + 0.374X_2 + 1.359X_3 + 0.101X_2^2 - 0.434X_3^2 + 0.126X_2X_3, \text{ кН} \quad (5)$$

Анализ моделей (4) и (5) показывает, что усилие вдавливания и несущая способность сваи С-2, практически, полностью зависят от характеристик песчаного грунта (см. рис.4а,б,в) и возрастают по сравнению со средними значениями  $F_2=3,476$ кН и  $F_{дз}=2,767$ кН, соответственно, (см. рис. 3а,б,в):

- с увеличением плотности песка  $\rho_d$  от 1,3 до 1,60т/м<sup>3</sup> на 100 и 98%;
- с увеличением крупности песка  $D$  от 0,2 до 0,8мм на 33 и 27%.

Обе характеристики песчаного грунта влияют нелинейно на функции выхода. Усилие вдавливания и несущая способность сваи С-2 увеличивается, соответственно, при одновременном увеличении плотности и крупности песка, плотности и расстояния между сваями.



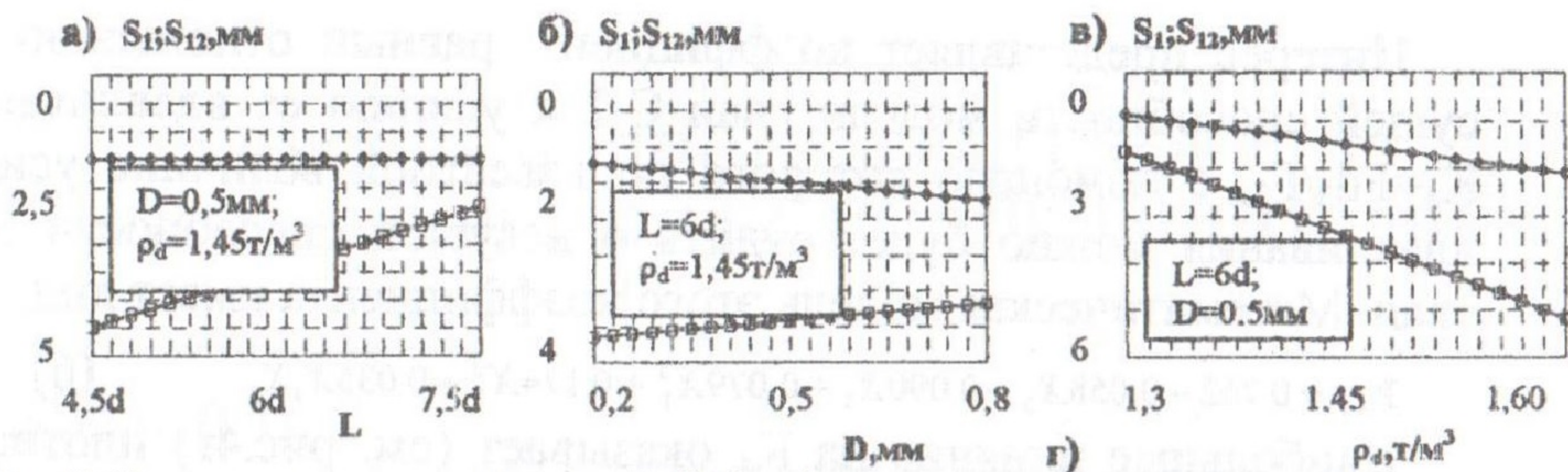


Рис.2 Зависимости основной  $S_1$  (—○) и дополнительной  $S_{12}$  (—□) осадки модели сваи С-1 от расстояния между осями моделей свай С-1 и С-2 (а), крупности зерен (б) и плотности песка (в), коэффициента  $K_3$  от трех исследуемых факторов (г) при погружении модели сваи С-2.

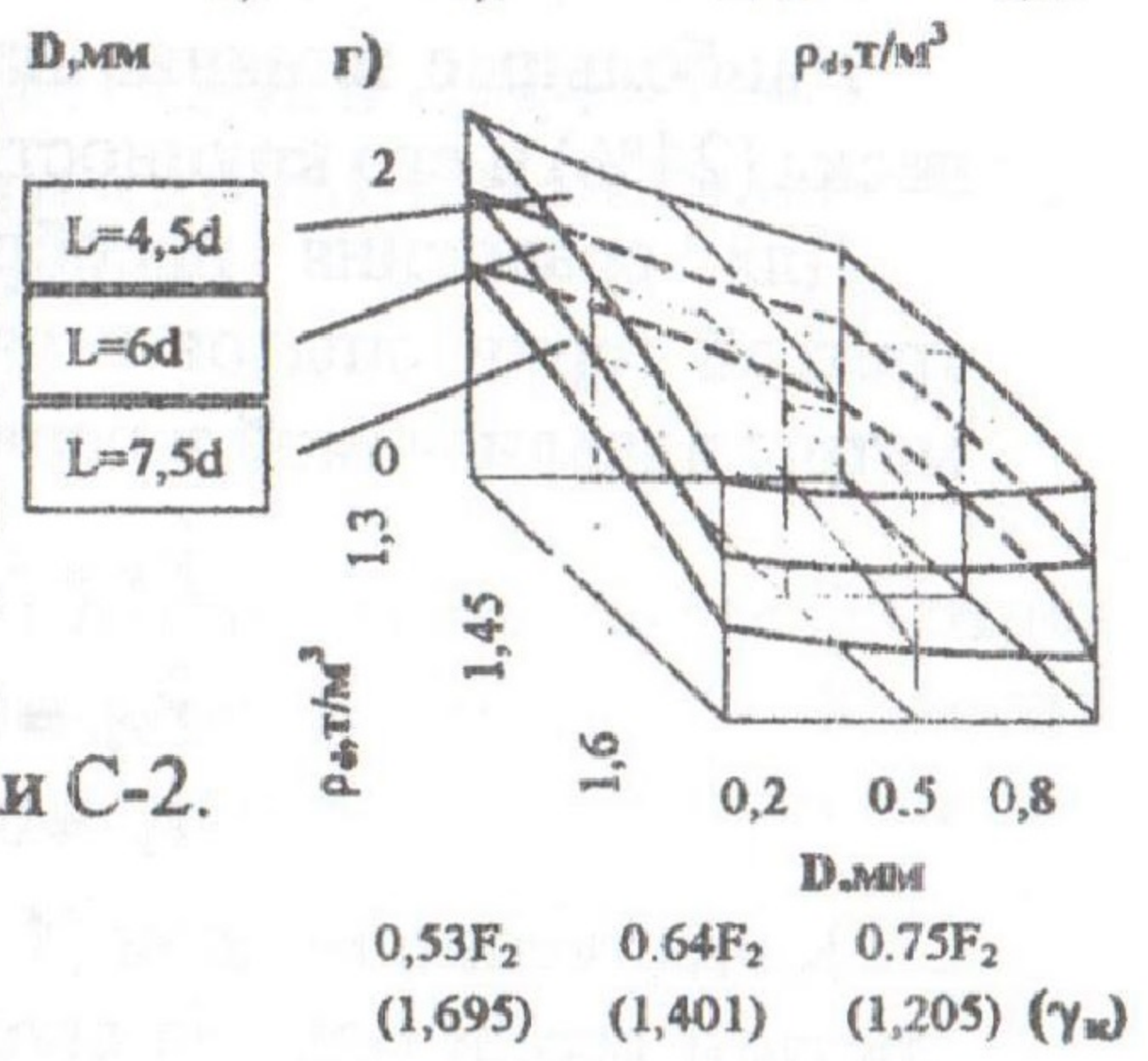


Рис.3 Зависимость дополнительной осадки сваи С-1 от уровня ее нагружения при вдавливании сваи С-2.

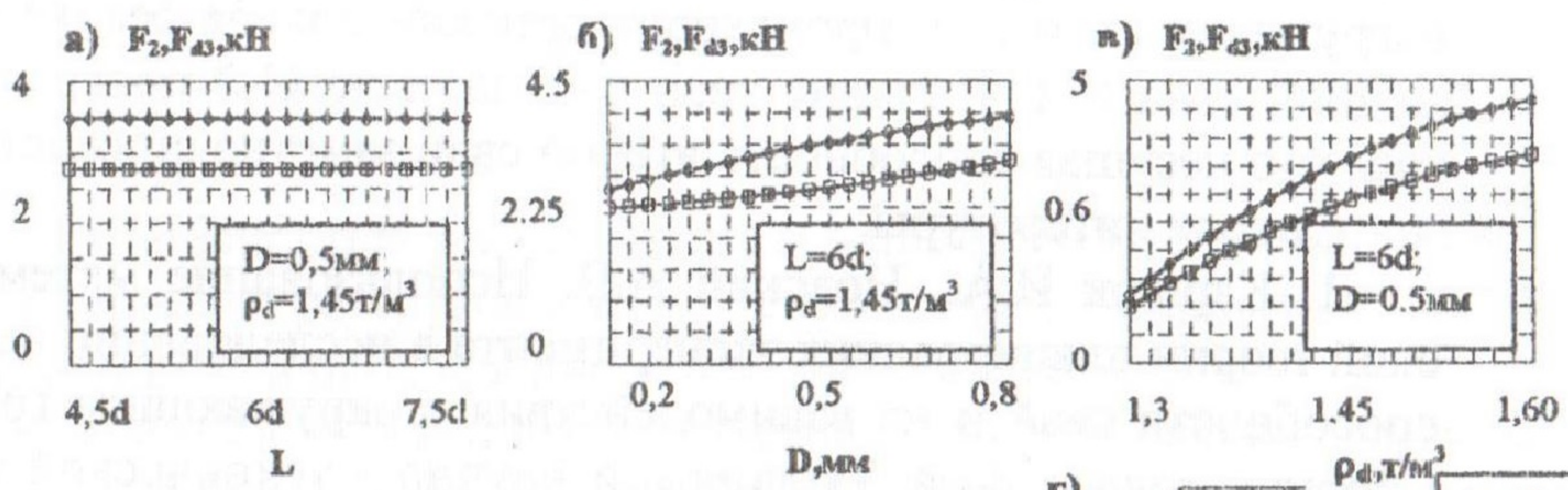
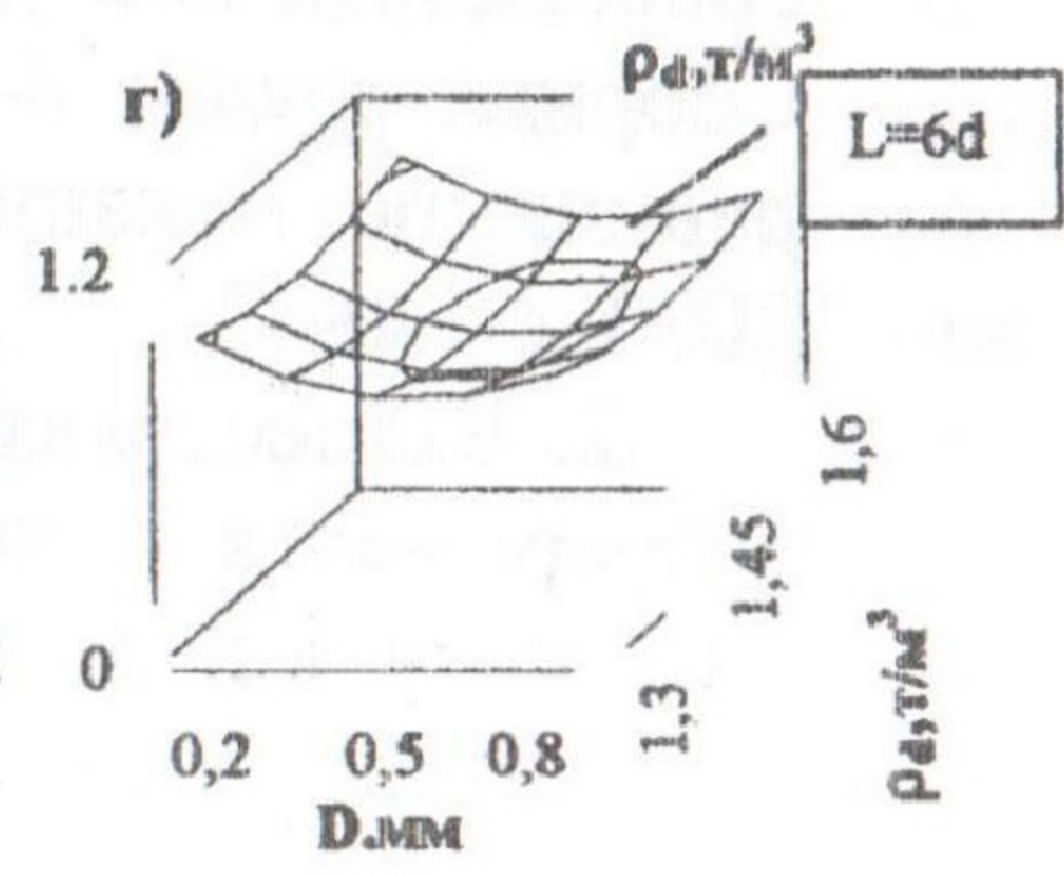


Рис.4 Влияние расстояния между осями моделей свай (а), крупности песка (б), его плотности (в) на усилие вдавливания  $F_2$  (—○) и несущую способность  $F_{d3}$  (—□) модели сваи С-2; исследуемых факторов на величину коэффициента  $K_4$  (г).





Интерес представляет коэффициент, равный отношению несущей способности модели сваи С-2 к усилию ее вдавливания:  $K_4 = Fd_3/F_2$ , с помощью которого по известной величине усилия вдавливания можно будет судить о несущей способности этой сваи. Математическая модель этого коэффициента имеет вид:

$$\hat{Y}_{K_4} = 0.762 - 0.058X_2 - 0.090X_3 + 0.079X_1^2 + 0.124X_2^2 + 0.035X_1X_3 \quad (6)$$

Наибольшее влияние на  $K_4$  оказывает (см. рис.4г) плотность песка (24%) и его крупность (15%).

Для сравнения преобразуем через условные обозначения третьей серии опытов с учетом влажности песка  $W=3,5\%$  параметры вдавливаемой в первой серии одиночной сваи:

$$\begin{aligned} \hat{Y}_F &= 3.340 + 0.508X_2 + 1.595X_3 - 0.665X_3^2 \\ \hat{Y}_{F_{21}} &= 2.990 + 0.455X_2 + 1.155X_3 - 0.755X_3^2 \\ Y_{K_1} &= 0.903 - 0.115X_3 \end{aligned} \quad (7)$$

Качественно модели (4...6) и (7) похожи. Но есть и отличия. В третьей серии опытов среднее вдавливающее усилие по сравнению с первой серией увеличилось всего на 4%, средняя несущая способность сваи С-2 уменьшилась на 8%, а среднее значение коэффициента  $K_4$ , уменьшилось на 18,5%.

Таким образом, две самостоятельно работающие рядом сваи оказывают негативное влияние друг на друга. При вдавливании и нагружении сваи С-2 происходит дополнительная осадка нагруженной сваи С-1. Влияние сваи С-1 на сваю С-2 проявляется в том, что несущая способность второй сваи заметно снижается.

Список литературы.

1. Каршук И.А., Новский А.В. Использование математической теории планирования эксперимента в исследовании несущей способности свай и их взаимодействия с окружающим грунтом. Сборник трудов 4-ой Украинской научно - технической конференции по механике грунтов и фундаментостроению. - Киев, 2000. с.430-433.

2. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Финансы и статистика, 1981, с.118.

3. СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты. М. 1986 с.4.