

УДК 624.04.

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ МОДЕЛЕЙ ВДАВЛИВАЕМЫХ И ЗАБИВНЫХ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ СВАЙ В ПЕСЧАНЫХ ГРУНТАХ

*Карпюк И. А. (Одесса)*

Установлены зависимости усилия вдавливания, несущей способности, энергии погружения, удельной несущей способности вдавленных и забивных моделей свай от крупности песка, его плотности и влажности.

Лабораторные исследования проводились по методике, изложенной в работах [1,2] по полному трехфакторному, близкому по свойствам к D- оптимальному, трехуровневому плану типа  $B_3$ .

В первой серии опытов изучали особенности работы вдавливаемых свай в песчаных грунтах крупностью 0,2...0,8мм (фактор  $X_1$ ), плотностью в сухом состоянии  $\gamma_d=1,3...1,6\text{т/м}^3$  ( $X_2$ ) и влажностью  $w=0...7\%$  ( $X_3$ ). Бытовое давление величиной 0,03мПа было искусственно создано путем укладки сверху металлической пластины с пригрузом. Погружение моделей свай осуществляли с помощью специальных винтового вдавливающего и забивного приспособлений. Усилие вдавливания измеряли ди-

манометром. Вес ударной части приспособления и высоту его падения определяли опытным путем с таким расчетом, чтобы количество ударов составляло  $100 \pm 5$ . Зону активного уплотнения грунта определяли с помощью горизонтальных фиксаторов, заложенных по оси сваи до начала ее испытания. В качестве несущей способности принимали значение вдавливающей статической нагрузки на ступени, предшествующей срыву модели сваи. Каждую строку плана [1] дублировали двумя опытами.

В результате обработки опытных данных первой серии, исключения незначимых и перерасчета оставшихся коэффициентов уравнений регрессии получены адекватные математические модели усилия вдавливания ( $F$ ) и несущей способности ( $F_{dl}$ ), обладающие достаточной информационной полезностью:

$$\hat{Y}_F = 3,340 + 0,508X_1 + 1,595X_2 - 0,644X_3 - 0,665X_2^2 - 0,175X_1X_3 - 0,408X_2X_3 \quad (1)$$

$$\hat{Y}_{F_{dl}} = 2,990 + 0,455X_1 + 1,155X_2 - 0,550X_3 - 0,755X_2^2 - 0,137X_1X_3 - 0,287X_2X_3 \quad (2)$$

Анализ этих моделей показывает, что все три фактора существенно влияют на выходной параметр. Различия составляют только количественные показатели (см. рис. 1). Так, усилие вдавливания и несущая способность увеличиваются по отношению к среднему значению (коэффициенту  $b_0$ ), соответственно:

- в увеличении плотности песка  $\rho_d$  от 1,30 до 1,60 т/м<sup>3</sup> на 96 и 77%;
- в уменьшении его влажности  $w$  от 7,0% до 0 на 39 и 37%;
- в увеличении крупности песка  $d$  от 0,2 до 0,8 мм на 30 и 30%.

Наличие отрицательного знака при квадратичном эффекте  $X_2$  в обеих моделях свидетельствует о том, что при дальнейшем увеличении (за пределами варьирования) плотности песка не произойдет значительного увеличения выходного параметра.

Существенно взаимодействуют между собой факторы  $X_1$  и  $X_3$ ,  $X_2$  и  $X_3$ . Усилие вдавливания и несущая способность вдавливаемых моделей сваи увеличивается при одновременном уменьшении влажности песка и увеличении его плотности, а также крупности.

Выразим отношение значений несущей способности модели сваи к усилию ее вдавливания, найденных с помощью зависимостей (1), (2),

через коэффициент  $K_1 = \frac{\hat{F}_{d1}}{\hat{F}}$ . После обработки полученных данных

получаем следующее выражение:

$$\hat{Y}_K = 0,903 - 0,115X_2 \quad (3)$$

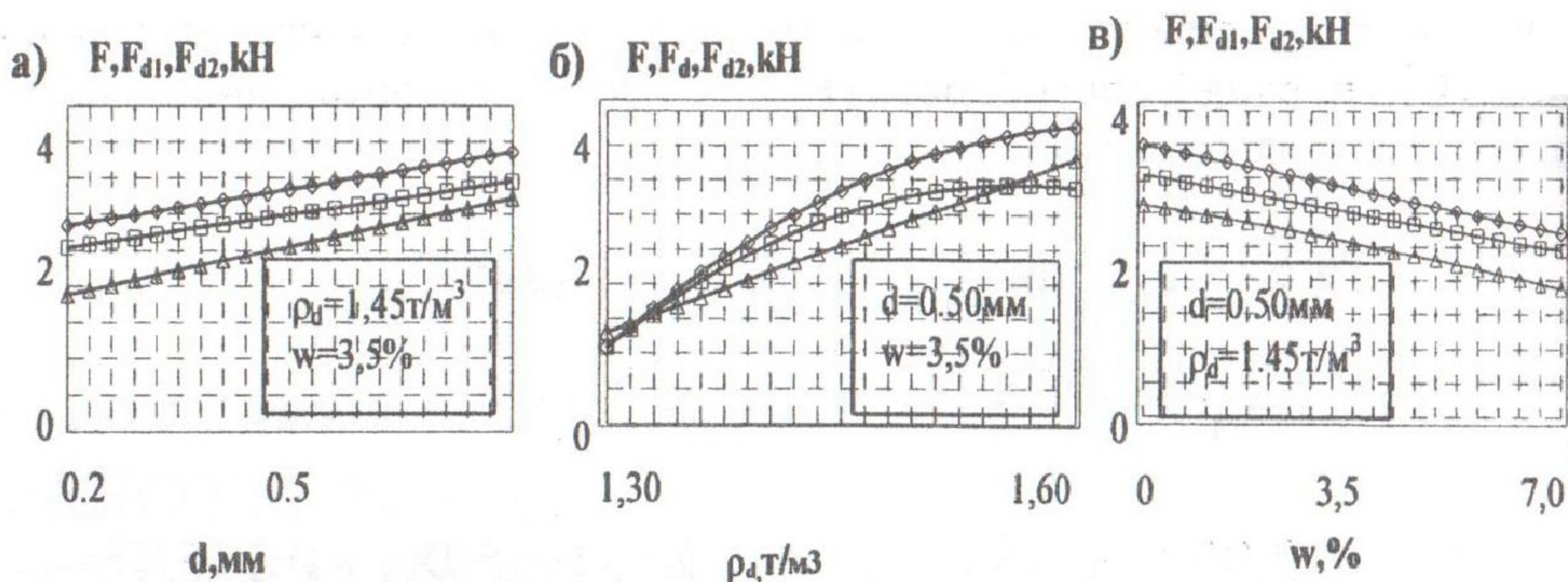


Рис.1. Зависимости усилия вдавливания  $F$  ( $\diamond$ ), несущей способности вдавленных  $F_{d1}$  ( $\square$ ) и забивных  $F_{d2}$  ( $\triangle$ ) моделей свай от крупности песка (а), его плотности (б) и влажности (в).

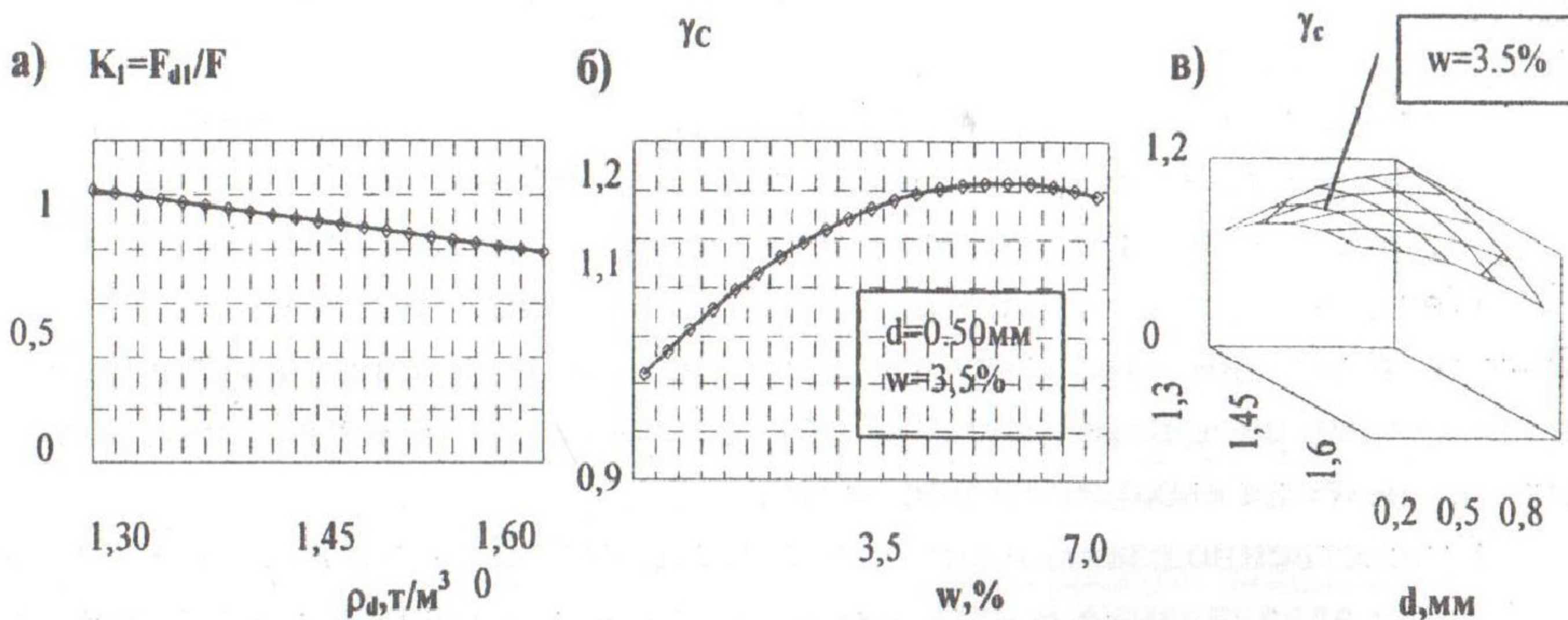


Рис.2. Влияние плотности песка на величину  $K_1$  (а), его влажности на  $\gamma_c$  (б), трех исследуемых факторов на  $\gamma_c$  (в).

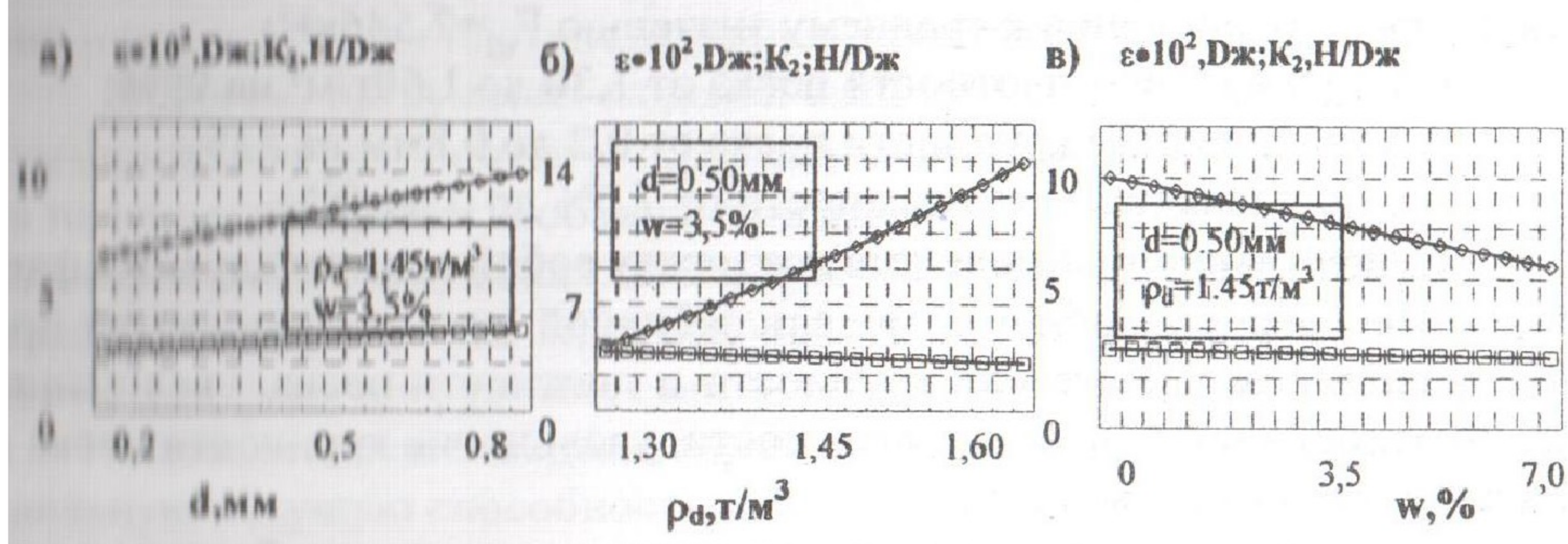
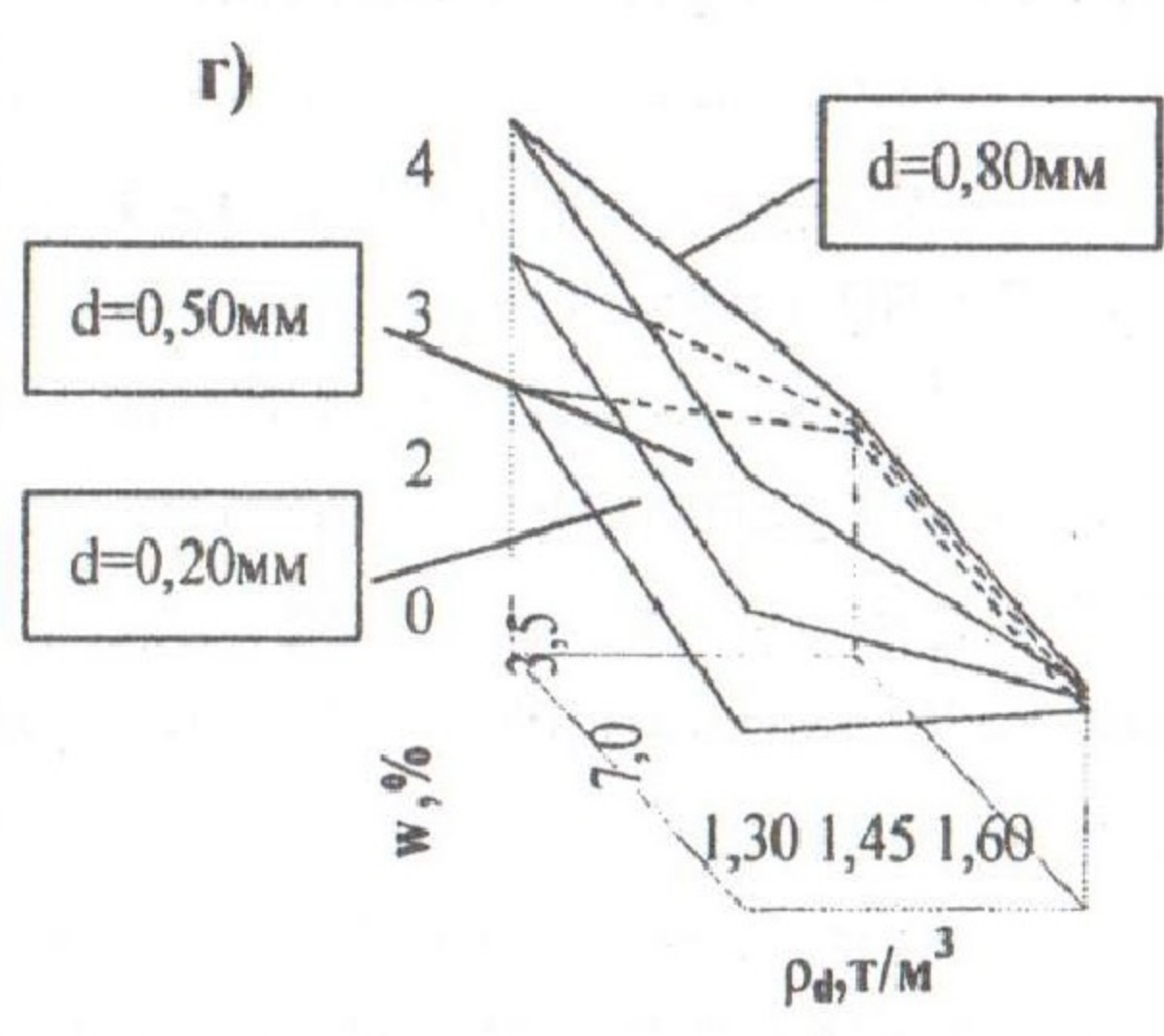


Рис.3. Зависимость энергии погружения  $\epsilon$  ( $\diamond$ ) и удельной несущей способности  $K_2$  ( $\square$ ) забивных моделей свай от

крупности песка (а), его плотности (б) и влажности (в); совместного влияния исследуемых факторов на величину  $K_2$  (г).



Анализ модели (3) показывает, что на величину коэффициента  $K_1$  влияет только плотность песка, причем линейно (см. рис. 2, а). Значение коэффициента  $K_1$  колеблется в пределах 0,79...1,02. С увеличением плотности песка от 1,30т/м<sup>3</sup> до 1,6т/м<sup>3</sup>  $K_1$  уменьшается на 25% по отношению к среднему значению  $K_1=0,903$ . Тот факт, что значение коэффициента  $K_1$  меньше, либо равно 1 с физической точки зрения объясняется тем, что в песчаных грунтах структурные связи не восстанавливаются и несущая способность свай не может превышать усилия вдавливания. Зависимость (3) позволяет прогнозировать величину несущей способности свай по величине вдавливающего усилия в песчаных грунтах различной плотности, крупности и влажности.

Обработка опытных данных второй серии по принятой методике позволила получить математическую модель несущей способности модели забивной сваи:

$$\hat{Y}_{Fd2} = 2,546 + 0,669X_1 + 1,254X_2 - 0,614X_3 - 0,058X_3^2 + 0,363X_1X_2 - 0,053X_1X_3 - 0,285X_2X_3 \quad (4)$$

По-прежнему, наибольшее влияние на несущую способность забивной модели сваи (см. рис. 1) оказывает плотность песка, затем его круп-

ность и влажность. Несущая способность забивной модели сваи увеличивается по отношению к среднему значению  $F_{d2} = 2,546 \text{ кН}$ :

- с увеличением плотности песка от 1,30 до 1,60 т/м<sup>3</sup> на 99%;
- с увеличением крупности песка от 0,2 до 0,8 мм на 53%;
- с уменьшением его влажности от 7,0% до 0 на 48%.

Существенно взаимодействуют между собой все исследуемые факторы. Несущая способность модели забивной сваи увеличивается при одновременном увеличении крупности и плотности песка, увеличении его плотности и уменьшении влажности, увеличение крупности песка и уменьшение его влажности.

Сравнивая модели (2) и (4) видно, что качественно они близки между собой. Но есть и отличия:

- модель (4), практически, линейная;

- фактор  $X_1$  (крупность песка) переместился с третьего на второе место по величине влияния, а  $X_3$  (влажность) - со второго на третье;

Действующие Нормы [3] рекомендуют использовать при расчете несущей способности погруженных вдавливанием свай в песчаные грунты средней плотности, крупные, средней крупности и мелкие коэффициенты условий работы грунта под нижним концом  $g_{cR} = 1,1$ , по боковой поверхности  $g_{cf} = 1,0$ .

Для практического использования полученных данных о несущей способности погруженных различными способами моделей свай введем понятие обобщенного коэффициента условий работы ( $g_c$ ), равного отношению несущей способности вдавливаемых свай ( $F_{d1}$ ) к несущей способности забивных свай ( $F_{d2}$ ). Математическая модель этого коэффициента имеет вид:

$$\hat{Y}_{g_c} = 1,181 + 0,092X_3 - 0,089X_1^2 - 0,099X_2^2 - 0,079X_3^2 - 0,189X_1X_2 \quad (5)$$

В отличие от нормативных, опытные значения коэффициента  $g_c$  изменяется в пределах 0,7...1,3. Существенно, причем не линейно, влияет на величину  $g_c$  влажность песка (см. рис. 2, б). Косвенно, через сочетания оказывает влияние на величину  $g_c$  крупность и плотность песка.

Наибольших значений коэффициент  $g_c$  достигает при максимальной влажности песка, минимальной его крупности и максимальной плотности, либо при максимальной влажности, крупности и минимальной его плотности. При средних значениях плотности, влажности и крупности песка обобщенный коэффициент условий работы  $g_c = 1,181$ . Наимень-

ших значений коэффициент  $g_c$  достигает при одновременном уменьшении или увеличении плотности и крупности песка.

Энергию погружения моделей свай забивкой  $e$  определяли путем суммирования результатов умножения массы ударной части на высоту ее падения, ускорение свободного падения и количество ударов на каждой ступени ее погружения. Удельную несущую способность забивной модели сваи  $K_2$  выразим через отношение фактической несущей способности и энергии погружения сваи забивкой:  $K_2 = F_{d2}/e$ .

Математические модели, характеризующие энергию погружения и удельную несущую способность забивных моделей свай, имеют вид:

$$\hat{Y}_e = 823 + 169X_1 + 511X_2 - 175X_3 + 52X_2^2 + 170X_1X_2 - 111X_2X_3 \quad (6)$$

$$\hat{Y}_{K_2} = 3.020 + 0.392X_1 - 0.343X_2 - 0.170X_3 - 0.331X_1X_2 + 0.089X_2X_3 \quad (7)$$

Влияние исследуемых факторов на выходные параметры  $e$  и  $K_2$  отражено на рис.3.

Парадоксальный, на первый взгляд, вывод (знак “-” перед фактором  $X_2$  в модели (7) о том, что удельная несущая способность забивной сваи увеличивается с уменьшением плотности песка объясняется тем, что при увеличении его плотности рост значения энергии погружения значительно опережает рост несущей способности сваи (см. рис 3.б и 1.б). При забивке вода относительно быстро отжимается от ствола сваи и он (грунт) создает вокруг нее плотную рубашку с большими напряжениями. После “отдыха” происходит частичная потеря сопротивления грунта из-за релаксации напряжений, связанной с частичным разуплотнением ранее переуплотненной грунтовой рубашки, возвращением ранее отжатой воды.

Таким образом, проведение исследования позволяют не только качественно определить влияние крупности, плотности и влажности песка на усилие вдавливания, энергию погружения забивкой моделей свай, их несущую способность при действии статической вдавливающей нагрузки, но и прогнозировать несущую способность по усилию вдавливания (коэффициент  $K_1$ ), несущую способность вдавленных свай по отношению к несущей способности забивных (обобщенный коэффициент условной работы  $g_c$ ), несущую способность забивных свай через энергию их погружения (коэффициент  $K_1$ ).

## Литература.

1. Карпюк 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.9.