

## Определение несущей способности одиночной сваи путем моделирования испытаний в программном комплексе Plaxis 2D

*Д.А. Толмачев, А.Г. Рамазанов*

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

**Аннотация:** Определение несущей способности сваи, расположенной в просадочных грунтах. В данной работе проводится моделирование испытаний в программном комплексе Plaxis 2D, а также определяется несущая способность в соответствии с п. 9.9 СП 24.13330.2021 Свайные фундаменты. По результатам проведенной работы было выявлено несовершенство актуального нормативно-правового документа в области проведения натуральных испытаний свай.

**Ключевые слова:** просадочные грунты, несущая способность сваи, испытания свай, численное моделирование, Plaxis.

Просадочные грунты – грунты, отличительная особенность которых заключается в том, что при их полном замачивании, либо при достижении определенного процента влажности, происходит значительное ухудшение их физико-механических характеристики и повышается деформативность. Дополнительные деформации, связанные с этим феноменом, называются просадкой. Просадочные деформации могут проявляться как от дополнительных нагрузок, так и от собственного веса грунта [1].

Одним из способов снижения влияния просадочных свойств грунтов основания на проектируемое здание или сооружение является прорезка просадочной толщи свайным фундаментом. На сегодняшний день требования к определению несущей способности одиночных свай, расположенных в просадочных грунтах, определяются в соответствии с п. 9 СП 24.13330.2021 «Свайные фундаменты».

При проектировании свайного фундамента необходимо предусмотреть заглубление нижнего конца свай в подстилающий непросадочный грунт. Глубина заглубления определяется по расчету, исходя из максимально допустимых осадок для данного типа сооружения [2].

Для определения несущей способности сваи формируется расчетная схема в осесимметричной постановке. Исходные данные для определения несущей способности одиночной сваи: мощность просадочного слоя 25 метров, свая длиной 30 метров, диаметром 1 метр, заглубление конца сваи в подстилающий непросадочный грунт 5 метров.

Натурные испытания одиночных свай представлены на рис. 1.



Рис. 1 Схема испытаний одиночной сваи в просадочном грунте.

1 – обсадная труба, 2 – уровень подземны вод

Несущая способность одиночной сваи определяется в соответствии с результатами испытаний, а также в соответствии с п.9.9 СП 24.13330.2021. Изополя вертикальных перемещений и графики испытаний, проведенных в программном комплексе Plaxis [3,4], соответствующих испытаниям на рис. 1, представлены на рис. 2.

Так как определение силы негативного трения  $P_n$  с точки зрения работы сваи идентично работе сваи на выдергивание с целью более полного анализа необходимо также определить несущую способности одиночной сваи на выдергивание  $F_d$  [5].

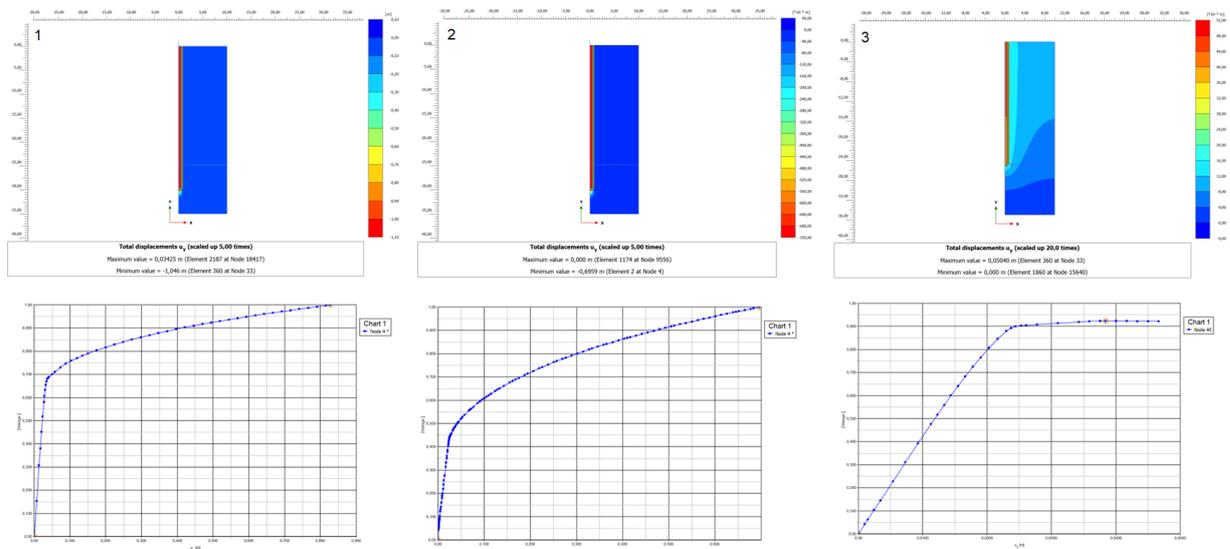


Рис. 2 Изополя вертикальных перемещений одиночной сваи и графики испытаний. 1 – Несущая способности  $F_d^L$ , 2 – Несущая способности  $F_d$ , 3 – Негативное трение  $P_n$

Результаты испытаний, представленных на рис. 1, а также определение значений несущей способности и значения сил негативного трения аналитическими методами сведены в таблицу 1.

Таблица №1

Результаты определения несущей способности одиночной сваи

	Расчет по методике СП, кН	Расчет с применением модели Мора-Кулона (Mohr-Coulomb), кН	Разница результатов по сравнению с методикой СП
Определение несущей способности сваи $F_d^L$	6398,2	6471,54*** 4257,84** 6311,4*	<b>98,9%***</b> <b>150,3%**</b> <b>101,4%*</b>
Определение несущей способности сваи $F_d$	3699,2	2492,9*** 1904,1** 2200,5*	<b>148,4%***</b> <b>194,3%**</b> <b>168,1%*</b>
Определение значения сил негативного трения $P_n$	5002,6	4637,0*** 1999,55** 4426,0*	<b>107,9%***</b> <b>250,2%**</b> <b>113,0%*</b>
Определение несущей способности сваи на выдергивание $F_d^`$	2159,2	4637,0*** 1999,55** 4426,0*	<b>46,6%***</b> <b>108,0%**</b> <b>48,8%*</b>

Примечание к таблице №1:

\*\*\* – несущая способность при ограничении перемещений сваи в 40 мм, в соответствии с ГОСТ 5686-94 Грунты. Методы полевых испытаний сваями;

\*\* – несущая способность при ограничении перемещений сваи в 20 мм для вдавливающей нагрузки и 10 мм для выдергивающей, в соответствии с ГОСТ 5686-2020 Грунты. Методы полевых испытаний сваями;

\* – несущая способность при ограничении упругой работы грунта, окружающего ствол сваи.

Проведя анализ результатов, представленных в таблице №1 можно сделать следующие выводы:

Реализация коэффициента перехода  $\xi$  от предельной величины суммарной осадки здания или сооружения к перемещению одиночной сваи от статического воздействия показывает хорошую сходимость при принятии его равным 0,2, что соответствует осадке зданий или сооружения равной 20 см и перемещению сваи в 40 мм [6].

Более точным подтверждением является работа окружающего грунта в зоне упругих деформаций [7, 8]. Ограничение перемещений по данному принципу дало хорошую сходимость с аналитическим методом определения несущей способности и значения несущей способности по данному критерию довольно схожи с ограничением перемещений в 40 мм.

Определение несущей способности сваи на выдергивание и определение воздействия сил негативного трения дают значения, которые существенно отличаются друг от друга [9]. Разница итоговых значений определяется спецификой применяемой методики. Практический метод для несущей способности на выдергивание и определение значения силы негативного трения по Мору-Кулону [10].

Каждый из методов дает более рискованную, либо консервативную оценку несущей способности. Выбор подхода должен быть отражен в техническом задании, и согласован с проектировщиком.

### Литература

1. Крутов В. И. Основания и фундаменты на просадочных грунтах. Киев: Будівельник, 1982. 224 с.
2. Крутов В. И., Ковалев А. С., Ковалев В. А. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах. Москва: Ассоциация строительных вузов, 2013. 543 с.
3. The Soft-Soil and Soft-Soil Creep Model // URL: [blog.virtuosity.com/the-soft-soil-and-soft-soil-creep-model](http://blog.virtuosity.com/the-soft-soil-and-soft-soil-creep-model).
4. Dickin E. A., Laman M Uplift response of strip anchors in cohesionless soil // Advances in engineering software. 2007. №8-9. pp. 618-625.
5. Крутов В. И. Расчет фундаментов на просадочных грунтах. Москва: Стройиздат, 1972. 176 с.
6. Бахолдин Б. В., Илькевич Л.Я., , Коновалов П. А., и др. Руководство по проектированию свайных фундаментов. Москва: Стройиздат, 1980. 153 с.
7. Белодедов Г. П., Приходченко О. Е. Армирование оснований сложенных просадочными грунтами II типа элементами повышенной жесткости переменной длины // Инженерный вестник Дона. 2012. №4-2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1366](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1366).
8. Гупаленко В.А., Руденко А.А. Исследование работы буронабивных свай и уплотненных массивов при просадках окружающих их грунтов от собственного веса. Основания, фундаменты и механика грунтов, 1976. №2. С. 17-19.

9. Акопян В. Ф., Кондрик И. В., Самсонов О. В. Моделирование отрицательных сил трения при реализации просадочных свойств грунта // Инженерный вестник Дона. 2018. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4656.

10. Абелев М.Ю., Абелева А.М., Аверин И.В., Чунюк Д.Ю., Алмазов А.А. Особенности строительства на лессовых просадочных при замачивании грунтах. Москва: Издательство АСВ, 2023. 144 с.

### References

1. Krutov V. I. Osnovaniya i fundamenty na prosadochnykh gruntakh [Bases and foundations on subsiding soils]. Kiyev: Budivel'nik, 1982. 224 p.

2. Krutov V. I., Kovalev A. S., Kovalev V. A. Proyektirovaniye i ustroystvo osnovaniy i fundamentov na prosadochnykh gruntakh [Design and installation of bases and foundations on subsidence soils]. Moskva: Assotsiatsiya stroitel'nykh vuzov, 2013. 543 p.

3. The Soft-Soil and Soft-Soil Creep Model. VIRTUOSITY URL: [blog.virtuosity.com/the-soft-soil-and-soft-soil-creep-model](http://blog.virtuosity.com/the-soft-soil-and-soft-soil-creep-model).

4. Dickin E. A., Laman M. Advances in engineering software. 2007. №8-9. P. 618-625.

5. Krutov V. I. Raschet fundamentov na prosadochnykh gruntakh [Calculation of foundations on subsidence soils]. Moskva: Stroyizdat, 1972. 176 p.

6. Bakholdin B. V., Il'kevich L.YA., Konovalov P. A., i dr. Rukovodstvo po proyektirovaniyu svaynykh fundamentov [Pile Foundation Design Guide]. Moskva: Stroyizdat, 1980. 153 p.

7. Belodedov G. P., Prikhodchenko O. E. Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. №4-2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1366](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1366).

8. Gupalenko V.A., Rudenko A.A. Osnovaniya, fundamenty i mekhanika funtov, 1976. №2. pp. 17-19.



9. Akopyan V. F., Kondrik I. V., Samsonov O. V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4656](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4656).

10. Abelev M.YU., Abeleva A.M., Averin I.V., Chunyuk D.YU., Almazov A.A. Osobennosti stroitel'stva na lessovykh prosadochnykh pri zamachivanii gruntakh [Features of construction on loess subsidence soils during soaking]. Moskva: Izdatel'stvo ASV, 2023. 144 p.