

Анализ и корректировка свайного поля по результатам полевых испытаний

Е.С. Кашина¹, В.В. Габова¹, М.В. Быкодеров²

¹Волгоградский государственный технический университет

²Автономное учреждение Ямало-Ненецкого автономного округа «Управление государственной экспертизы проектной документации»

Аннотация: В процессе разработки схемы свайного поля проводится теоретический расчет несущей способности и допустимой нагрузки на сваи, исходя из которого принимается решение о количестве свай и их расстановке. При этом, результаты теоретических расчетов, в ряде случаев, являются заниженными при сопоставлении с фактическими значениями, и применение теоретического расчета может привести к увеличению затрат на строительство. В статье рассматривается вопрос изменения количества и расстановки свай в свайном поле после получения фактических результатов полевых испытаний. Выполнено технико-экономическое сравнение и сделан вывод по эффективности принятого решения для трех запроектированных домов.

Ключевые слова: свая, несущая способность, допустимая нагрузка, свайное поле, технико-экономическое сравнение.

Использование свайных фундаментов остается актуальной тематикой в настоящее время. При разработке проектной и рабочей документации проектировщики выполняют расчет несущей способности сваи [1, 2] по полученным ранее результатам инженерно-геологических изысканий (далее ИГИ) строительной площадки. Важным этапом возведения здания или сооружения на свайном фундаменте является определение фактической несущей способности сваи. Некоторые организации не заинтересованы в оптимизации и переработке схем свайных полей с учетом фактических значений, полученных в результате испытаний, из-за отсутствия времени на внесение изменений, квалифицированных сотрудников, которые смогут правильно прочесть, обработать отчеты и внести корректные изменения. Стоит отметить, что рассмотрение вариационного проектирования описано как обязательное мероприятие при проектировании свайного фундамента в нормах СП 24.13330.2021 «Свайные фундаменты»:

— п.4.1, свайные фундаменты должны проектироваться на основе и с учетом технико-экономического сравнения возможных вариантов проектных решений;

— Приложение А. Методика оценки конструктивной и экономической эффективности технических решений фундаментных конструкций.

Убедиться в необходимости проведения данных мероприятий возможно на примере технико-экономического сравнения и сделанного вывода по эффективности принятого решения для трех запроектированных домов.

При выполнении ИГИ был рассмотрен участок будущей жилой застройки, в состав которой входит три дома на свайном фундаменте, физико-механические свойства грунта представлены в таблице 1 [3], по ним была определена несущая способность свай на этапе проекта для каждого дома. Также установлено, что геологическая ситуация по всей территории застройки примерно одинаковая (рис.1).

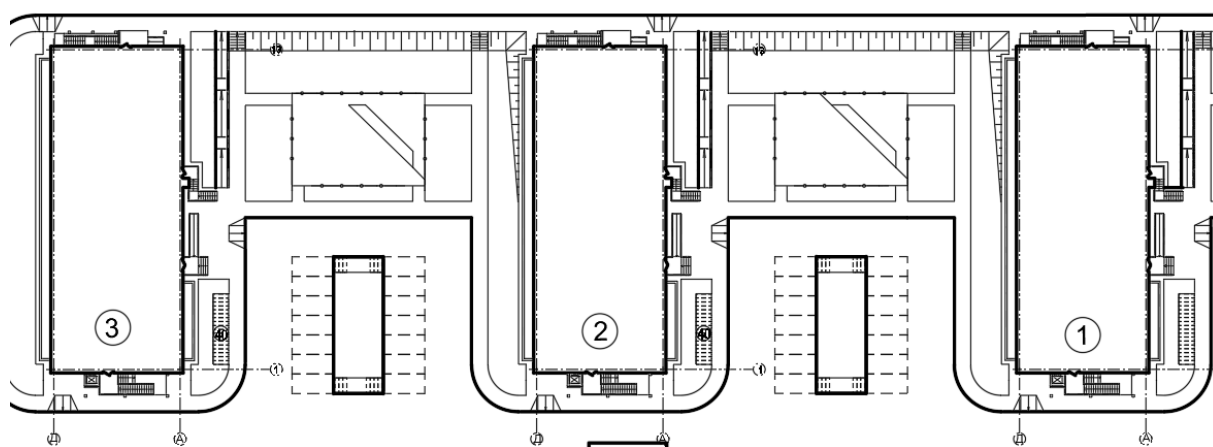


Рис.1. – Фрагмент генерального плана

Первый инженерно-геологический элемент (далее ИГЭ) является насыпным грунтом и не может являться естественным основанием. ИГЭ-2 – суглинки с просадочностью II типа. ИГЭ-3 – песчано-алевритовые породы, на которые будут опираться сваи.

Таблица № 1

Физико-механические свойства ИГЭ

№ ИГЭ	W, доли ед.	ρ , г/см ³	ρ_d , г/см ³	ρ_{ss} , г/см ³	e, доли ед.	S _г , доли ед.	W _L (%)	W _P (%)	I _p (%)	П водонасыщ.
1	0.16	1.91	1.65	2.71	0.656	0.68	27	17	10	0.68
2	0.10	1.75	1.59	2.71	0.706	0.38	25	17	8	1.12
3	0.25	1.91	1.55	2.72	0.762	0.88	38	25	13	0.28

По теоретическому расчету принято решение по количеству (152 шт.) и конструктиву свай. Сваи в зданиях запроектированы следующим образом: буронабивная свая (Ø620) с уширением (Ø1300), длина 23 м, шаг 2,3 x 2,3 м. Однако на практике чаще всего при проведении испытаний свай – несущая способность может показать завышенный результат, в некоторых случаях на 15-30% от расчетной несущей способности. При получении такого результата, перед проектировщиками возникает вопрос о перерасчете свайного поля по результатам испытаний [4-6], который гарантированно приведет к снижению технико-экономических показателей.

Рассмотрим проектное решение для первого дома на свайном фундаменте, которое запроектировано в расчетном комплексе и также просчитано по формулам СП 24 [7]. По результатам расчета была получена допустимая нагрузка на сваю – 276,1 т, несущая способность – 386,5 т. При выполнении статических испытаний свай была получена несущая способность грунтового основания, которая составила по формуле 7.20 СП 24 – 456 т (1).

$$F_d = \gamma_c \frac{F_{u,n}}{\gamma_g} = 1 \cdot \frac{456}{1} = 456 \text{ т}, \quad (1)$$

где $F_{u,n} = 456$ т – несущая способность грунтового основания по результатам натуральных испытаний;

$\gamma_c = \gamma_g = 1$ – коэффициент условий работы сваи; в случае вдавливающих или горизонтальных нагрузок; коэффициент надежности по грунту по пункту 7.3.4 СП 24.

Тогда максимально допустимая нагрузка на сваю (пункт 7.1.11 СП 24) – 380 т (2).

$$N = \frac{F_d}{\gamma_{c,g}} = \frac{456}{1,2} = 380 \text{ т.} \quad (2)$$

где $\gamma_{c,g} = 1,2$ – если несущая способность сваи определена по результатам полевых испытаний.

Разница между фактическим и теоретическим значением несущей способности составила:

$$\frac{456 - 386,54}{456} \cdot 100\% = 15,2\% \quad (3)$$

Данный процент расхождения допускает изменение свайного поля по перерасчету количества свай. На рис. 2 представлена зависимость осадки от действующей нагрузки при полевых испытаниях.

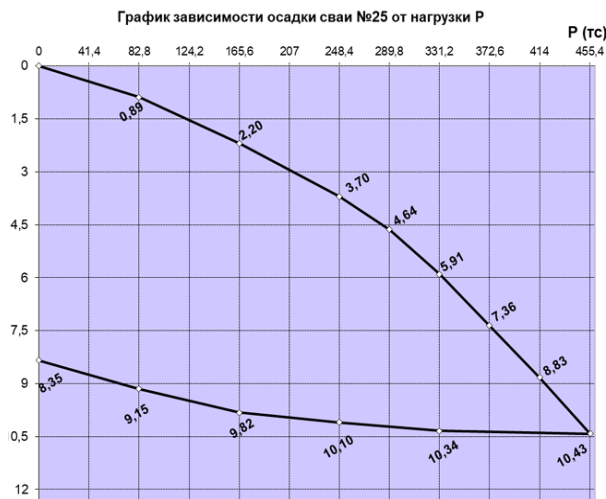


Рис. 2. – График зависимости осадки сваи от нагрузки при статических испытаниях 1 дома

Нагрузка от здания по оси z составляет 35200 т, тогда на каждую сваю (в старом варианте) приходится по 231,5 т. Для нового варианта составим

уравнение для определения минимального количества свай при максимальной несущей способности:

$$n = \frac{P_z}{F_d} = \frac{35200}{456} \approx 77 \text{ шт.} \quad (4)$$

С запасом и для более адекватной расстановки свай получаем 122 шт., тогда на каждую сваю приходится по 288,5 т. Разница между теоретическим принятым свайным полем и по результатам натурных испытаний составила 34 сваи. Шаг свай принимается 2,3 x 2,3 м, и несколько локальных зон с шагом 3,45 x 2,3 м. По новому количеству свай можем рассчитать, на сколько процентов увеличилось использование несущей способности:

$$\frac{288,5 - 231,5}{288,5} \cdot 100\% = 19,7\% . \quad (5)$$

Так как остальные здания располагаются близко, можно предположить, что статические испытания последующих свайных полей также покажут завышенные результаты. В связи с этим предлагается пересчитать 2 дома с учетом полученных результатов, но принимать окончательное решение по расположению и количеству свай можно только после проведения испытаний. На рис. 3 и 4 представлено расположение свай с действующим усилием R_z в сваях:

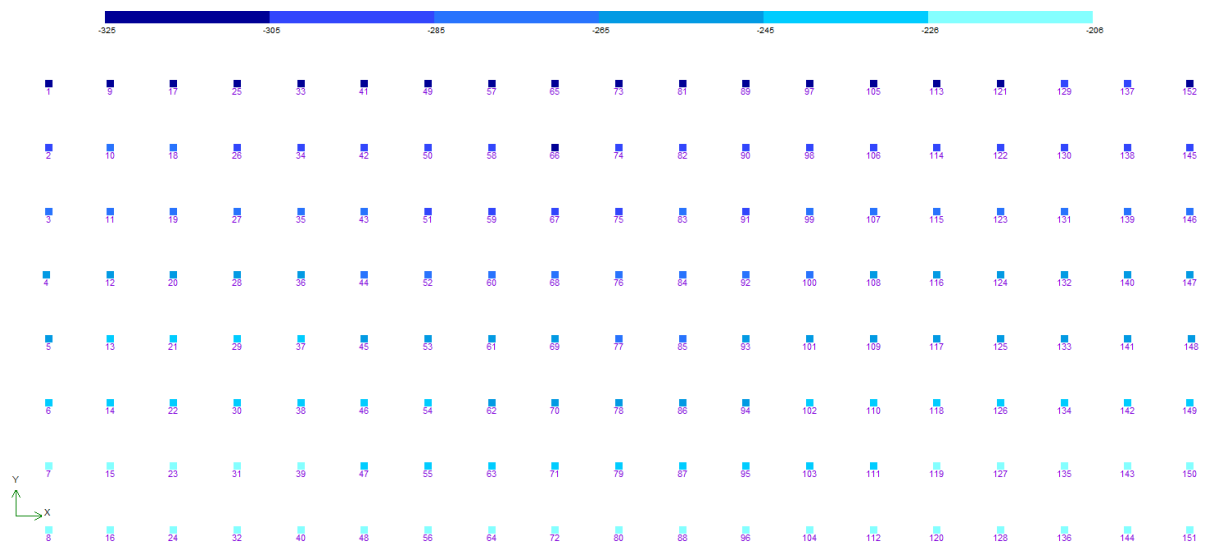


Рис. 3. – Старое свайное поле и результаты расчета R_z в сваях, т

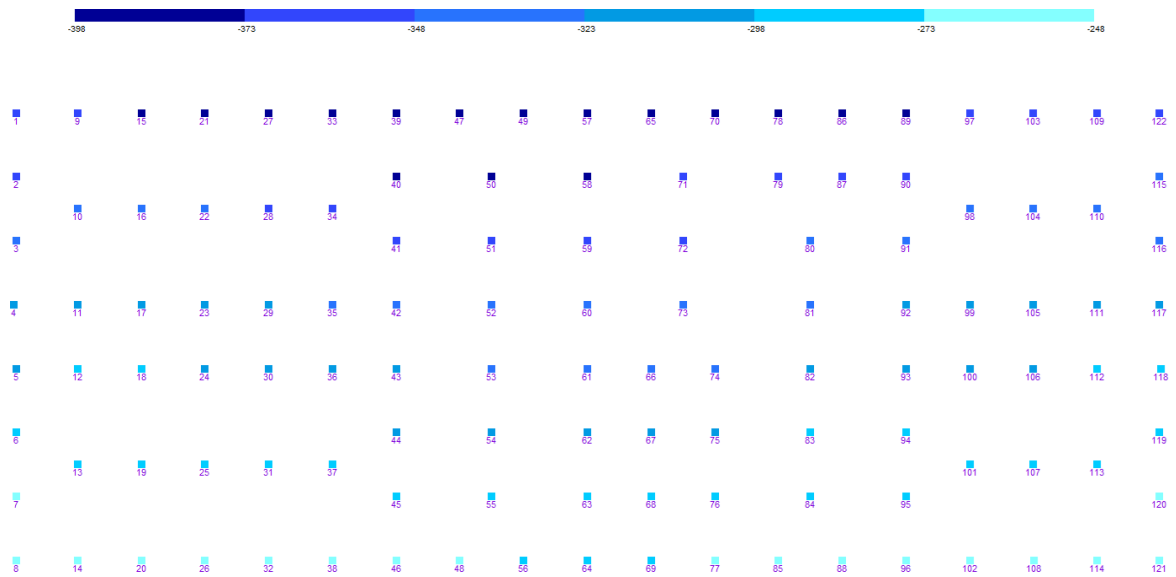


Рис. 4. – Новое свайное поле и результаты расчета R_z в сваях, т

Так как в самое неблагоприятное сочетание нагрузок входит ветровая нагрузка, крайние сваи могут быть перегружены до 20% (п.7.1.11, примечание 3 СП 24).

Выполнение сравнения [8-10] разных вариантов проектирования гарантирует выбор самого оптимального и экономически-выгодного решения (таблица 2). Объем сваи $7,62 \text{ м}^3$. Стоимость 1 куба бетона составляет 3700 р.

Таблица № 2

Технико-экономическое сравнение для трех домов

	Старая расстановка свай	Новая расстановка свай	Разница
Количество свай, шт.	$152 \cdot 3 = 456$	$122 \cdot 3 = 365$	91
Стоимость бетона, р.	$3,7 \cdot 7,62 \cdot 456 =$ 12 856 464	$3,7 \cdot 7,62 \cdot 365 =$ 10 290 810	2 565 654
Стоимость основной арматуры сваи $\varnothing 25$, р.	20 шт. * 2900 р. = 58 000; $58\ 000 \cdot 456 =$ 26 448 000	20 шт. * 2900 р. = 58 000; $58\ 000 \cdot 365 =$ 21 170 000	5 278 000
		Итого:	7 843 654 р.

Вывод

В работе выполнено технико-экономическое сравнение двух вариантов свайных полей: до и после получения результатов натурных испытаний. Учет статических испытаний при проектировании свайного поля важный этап при разработке документации. Вовремя использованные результаты испытаний в рассмотренном примере могут использоваться как аргументы для:

- изменения количества свай в поле;
- снижения стоимости строительства;
- экономии материалов для возведения здания;
- сохранения требуемой надежности конструкции;
- уменьшения времени строительства;
- увеличения использования несущей способности сваи на 19,7%.

Таким образом, методика расчета свайного поля на основе натурных испытаний представляет собой оптимальное инженерное решение, которое сочетает в себе экономию и повышение эффективности строительства.

Литература

1. Кургузов К.В., Фоменко И.К., Сироткина О. Н. Оценка несущей способности свай. Методы расчета и проблематика // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 10. – С. 7-25. – DOI: 10.18799/24131830/2019/10/2294.
2. Толмачев Д.А., Рамазанов А.Г. Определение несущей способности одиночной сваи путем моделирования испытаний в программном комплексе Plaxis 2D // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 7. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2023/8578
3. Кашина Е.С., Габова В.В., Быкодеров М.В. Анализ проектирования железобетонных косоуров на металлических сваях по насыпи жилой

- застройки на просадочном грунте // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 2. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2025/9847
4. Poulos H. G., Davis E. H. Pile Foundation Analysis and Design, 1980, John Wiley & Sons, New York.
5. Скибин Г.М., Дереховский В.М. Эффективность использования несущей способности свай при формировании свайного поля плитно-свайного фундамента 21-этажного жилого дома // Construction and Geotechnics. – 2023. – Т. 14, №3. – С. 24-36. DOI: 10.15593/2224-9826/2023.3.03
6. Liu H., Chen F., Yang C., Zhou Z. Research on Bearing Characteristics of Uplift Pile Under Different Depths of Rock Embedment, Architecture Technology. (2024) 55, no. 3, 274–277.
7. Пшеничкина В.А., Дроздов В.В., Строк С.И. Сходимость аналитического расчёта сваи на горизонтальную статистическую нагрузку с расчётом по методу конечных // Потенциал интеллектуально одарённой молодёжи – развитию науки и образования: матер. VI междунар. науч. форума молодых учёных, студентов и школьников (25-28 апреля 2017 г.) / под общ. ред. Д.П. Ануфриева; Астраханский гос. архит.-строит. ун-т [и др.]. - Астрахань, 2017. - С. 450-454.
8. Шилин Н.В., Полити В.В. Техничко-экономическое сравнение вариантов проектирования фундаментов на примере высотного строительства // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 6. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7693
9. Пивнев А.В., Туров А.И. Выбор вариантов фундамента многоэтажного жилого дома в г. Благовещенске // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 116-18. – С. 109-114. – DOI 10.18411/trnio-12-2024-823.
10. Сорочан Е.А. Основания, фундаменты и подземные сооружения. – М.: Стройиздат, 1985. – 479 с.
-

References

1. Kurguzov K.V., Fomenko I.K., Sirotkina O. N. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov. 2019. T. 330, № 10. Pp. 7-25. DOI: 10.18799/24131830/2019/10/2294
2. Tolmachev D.A., Ramazanov A.G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023. № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2023/8578
3. Kashina E.S., Gabova V.V., Bykoderov M.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2025. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2025/9847
4. Poulos H. G., Davis E. H. Pile Foundation Analysis and Design, 1980, John Wiley & Sons, New York.
5. Skibin G.M., Derekhovskij V.M. Construction and Geotechnics, 2023. T. 14, №3. Pp. 24-36. DOI: 10.15593/2224-9826/2023.3.03
6. Liu H., Chen F., Yang C., Zhou Z. Architecture Technology. (2024) 55, no. 3, 274–277.
7. Pshenichkina V.A., Drozdov V.V., Strok S.I. Potencial intellektual'no odaryonnoj molodyozhi – razvitiyu nauki i obrazovaniya : mater. VI mezhdunar. nauch. foruma molodyh uchyonyh, studentov i shkol'nikov (25-28 aprelya 2017 g.). pod obshch. red. D.P. Anufrieva; Astrahanskij gos. arhit.-stroit. un-t [i dr.]. Astrahan', 2017. Pp. 450-454.
8. Shilin N.V., Politi V.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7693
9. Pivnev, A. V., Turov A.I. Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2024. № 116-18. Pp. 109-114. DOI 10.18411/trnio-12-2024-823.
10. Sorochan E.A. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya. [Grounds, foundations and underground structures]. M.: Strojizdat, 1985. 479 p.

Дата поступления: 12.03.2025

Дата публикации: 25.04.2025