

ПРИМЕНЕНИЕ СВАЙНО-ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В ПРОМЫШЛЕННОМ И ГРАЖДАНСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ, ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ

З. С. КОСТЫГОВ

*Научный руководитель – С. А. Тумаков (канд. техн. наук, доцент)
Ярославский государственный технический университет,
Российская Федерация*

Одной из главных задач современного строительства является обеспечение надёжности оснований и фундаментов при всё возрастающих нагрузках и усложняющихся инженерно-геологических условиях. С развитием высотного и промышленного строительства усиливается интерес к конструкциям, способным сочетать жёсткость плитных фундаментов и несущую способность свайных систем.

Такое решение реализуется в форме свайно-плитных фундаментов (СПФ) – комбинированных систем, где нагрузки от здания воспринимаются совместно плитой и сваями. Подобная схема позволяет более рационально использовать прочность грунтов, уменьшать осадки и деформации, повышать устойчивость сооружений.

В настоящее время СПФ применяются как в гражданском, так и в промышленном строительстве: от высотных жилых комплексов до цехов тяжёлого машиностроения, где предъявляются повышенные требования к прочности и жёсткости основания [1].

История свайных оснований насчитывает несколько тысячелетий – первые свайные постройки обнаружены при археологических раскопках поселений на водоёмах Европы и Азии. Однако как научно обоснованная строительная технология сваи стали применяться лишь в XIX веке, когда развитие техники позволило механизировать процесс их погружения. В 1828 году русский инженер А. Н. Маслов создал механический копёр, что стало отправной точкой для развития современной свайной техники [1].

В первой половине XX века сформировались теоретические основы расчёта свайных фундаментов. Большой вклад внесли российские инженеры К. И. Добровольский [2] и Г. С. Тер-Ованесов [3], разработавшие методы определения несущей способности и деформаций свай. В этот период свайные фундаменты получили широкое распространение в промышленном и транспортном строительстве.

Постепенно выявилось, что при строительстве массивных зданий, особенно на слабых и сжимаемых грунтах, традиционные свайные ростверки не всегда обеспечивают равномерное распределение нагрузок и ограниче-

ние осадок. Возникла необходимость в новой конструкции, способной объединить преимущества плитных и свайных систем. Так появились свайно-плитные фундаменты, которые рассматривались как частный случай комбинированных оснований, где часть нагрузки передаётся грунту через плиту, а часть – через сваи. В советской инженерной практике идея активно развивалась в 1960-е и 1980-е годы. В это время появились первые экспериментальные модели и натурные испытания [4].

Дополнительное внимание к механизму совместной работы свай и плиты уделяется и в зарубежных исследованиях. Так, в статье [5] авторы подчёркивают, что эффективность СПФ определяется не только несущей способностью свай, но и способностью плиты перераспределять значительную часть нагрузки на верхние слои грунта. Согласно статье, современная практика проектирования рассматривает свайно-плитные системы как наиболее рациональный вариант для слабых глинистых и неоднородных оснований.

Исследования И. Т. Мирсаяпова и Д. А. Артемьева [6] в Казанском государственном архитектурно-строительном университете показали, что плита активно участвует в восприятии нагрузок, формируя совместную жёсткую систему, а не выполняет лишь роль ростерка. Эти данные подтвердили эффективность комбинированных оснований, позволив уменьшить количество свай без потери надёжности.

К началу XXI века развитие компьютерных технологий дало возможность выполнять расчёты таких фундаментов методами конечных элементов [7]. Однако при этом основной инженерный смысл конструкции – рациональное взаимодействие плиты, свай и грунта – остался неизменным с момента её возникновения.

Широкое распространение свайно-плитные фундаменты получили благодаря их универсальности. Они применяются в условиях слабых, водонасыщенных, неоднородных и насыпных грунтов, где традиционные плитные или свайные системы не обеспечивают требуемой устойчивости.

По данным Фисенко [1], СПФ эффективно используются при строительстве: высотных жилых зданий и деловых центров, промышленных предприятий, транспортных и мостовых сооружений, зданий в стеснённых городских условиях, а также объектов на насыпных грунтах и территориях с высоким уровнем грунтовых вод.

Практика применения свайно-плитных оснований подтверждается примерами крупнейших мировых сооружений. Так, при строительстве Лахта-Центра в Санкт-Петербурге – самого высокого здания Европы – использовалась система комбинированного свайно-плитного фундамента, обеспечившая равномерное распределение нагрузок на сложные водонасыщенные грунты. Аналогичные решения применялись и при возведении башен комплекса Петронас в Куала-Лумпуре, где свайно-плитная конструкция позволила эффективно работать в условиях слабых тропических грунтов с высо-

ким уровнем подземных вод. Эти примеры (рисунок 1) демонстрируют высокую надёжность и универсальность СПФ при реализации уникальных высотных проектов.

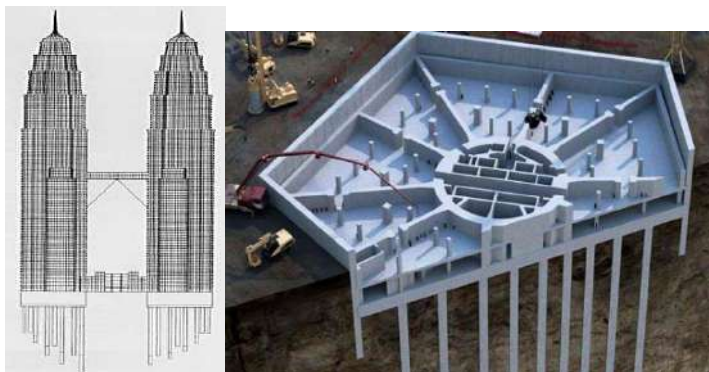


Рисунок 1 – Модель фундамента Лахта-Центра в Санкт-Петербурге и схема башен комплекса Петронас в Куала-Лумпуре

Мирсаяпов отмечал, что при правильном сочетании жёсткости плиты и шага свай количество свай можно уменьшить на 20–30 % по сравнению с традиционным свайным фундаментом [6]. Это делает СПФ особенно привлекательными при реконструкции существующих зданий, когда необходимо усилить основание без его полного демонтажа.

В промышленном строительстве свайно-плитные фундаменты успешно применяются при возведении цехов, складов и установке тяжёлого технологического оборудования. Так, в своей работе Тумаков С. А и Голубь Г. Н. [8] описывают конструкцию железобетонных полов промышленного цеха, опирающихся на армированное свайными элементами грунтовое основание, что обеспечивает высокую несущую способность и устойчивость при вибрационных и эксплуатационных нагрузках.

Особое значение СПФ приобретают при строительстве в сложных геотехнических условиях: в районах вечной мерзлоты, при наличии просадочных или торфяных грунтов, в сейсмоопасных зонах. Комбинированная система «плита – сваи – грунт» обеспечивает равномерное распределение усилий, снижает риск неравномерных осадок и продлевает срок службы сооружений за счёт жёсткости плиты, объединяющей сваи.

История свайно-плитных фундаментов – это пример постепенного развития инженерной мысли: от древних свайных конструкций до современных комбинированных оснований. Сегодня СПФ представляют собой один из наиболее рациональных типов фундаментов, объединяющий преимущества свайных и плитных схем.

Их применение особенно эффективно в условиях слабых и неоднородных грунтов, при строительстве высотных и промышленных зданий, а также в проектах реконструкции. Развитие теории и накопленный опыт эксплуатации подтверждают, что свайно-плитные фундаменты обеспечивают оптимальное соотношение надёжности, долговечности и экономичности.

В рамках исследования осуществляется численное моделирование и расчёт пространственной модели здания (рисунок 2), запроектированного на свайно-плитном основании, что позволяет оценить эффективность совместной работы плиты и свай в конкретных инженерно-геологических условиях.

Сваи в расчётной модели заданы как пространственные стержни, опирающиеся острием на упругую связь.

Упругая связь под острием сваи моделирована конечным элементом КЭ-51. Реактивный отпор грунта на сваю назначается в виде связей конечной жесткости. В результате получается модель на упругом полупространстве.

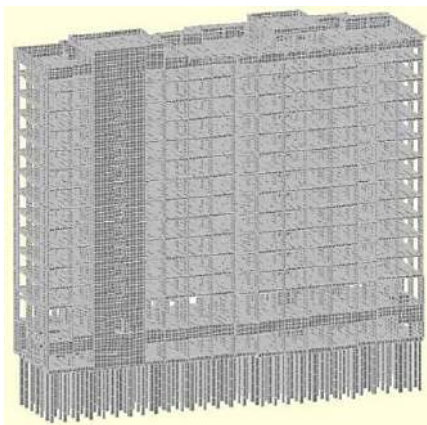


Рисунок 2 – Модель здания на свайно-плитном основании

Список литературы

- 1 **Фисенко, Р. С.** Виды свайных фундаментов и технологии их устройства. Применение плитно-свайных фундаментов при строительстве в сложных геотехнических условиях / Р. С. Фисенко // Синергия Наук. – 2017. – № 18. – С. 711–730. – EDN ZXQRJJ.
- 2 **Добровольский, К. И.** Испытание свай и грунтов пробной нагрузкой в связи с расчетом низких свайных ростверков / К. И. Добровольский ; Закавказский ин-т инж. путей сообщения им. В. И. Ленина. – Тифлис : [б. и.], 1935. – 196 с. : ил.
- 3 **Тер-Ованесов, Г. С.** Совместная работа ростверка, свай и грунта в висячих свайных фундаментах : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г. С. Тер-Ованесов ; М-во высш. образования СССР, Моск. инж.-строит. ин-т им. В. В. Куйбышева. – М., 1956. – 10 с.
- 4 **Катценбах, Р.** Основные принципы проектирования и мониторинга высотных зданий Франкфурта-на-Майне. Случаи из практики / Р. Катценбах, А. Шмитт, Х. Рамм // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2005. – № 9. – С. 80–99.
- 5 **Бартоломей, А. А.** Прогноз осадок свайных фундаментов / А. А. Бартоломей, И. М. Омельчак, Б. С. Юшков ; под ред. А. А. Бартоломея. – М. : Стройиздат, 1994. – 381 с. : ил. – ISBN 5-274-01174-8.

6 **Мирсаяпов, И. Т.** Экспериментально-теоретические исследования моделей свайно-плитных фундаментов / И. Т. Мирсаяпов, Д. А. Артемьев // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2008. – № 2 (10). – С. 68–74. – EDN KBEJMN.

7 **Агеев, А. С.** Моделирование и расчет комбинированных свайно-плитных фундаментов в SCAD / А. С. Агеев, С. А. Тумаков // Сборник материалов 75-й Всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. – Ярославль : Ярославский государственный технический университет, 2022. – С. 444–448. – EDN EKNRDN.

8 **Тумаков, С. А.** Оценка несущей способности железобетонной плиты пола цеха на армированном грунтовом основании / С. А. Тумаков, Г. Н. Голубь // Умные композиты в строительстве. – 2023. – Т. 4, № 4. – С. 8–19. – EDN FCYASA.

УДК 69.04

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ФЕРМ НА ОСНОВЕ ДЕКОМПОЗИЦИИ ИХ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

М. В. ЛАТУН

*Научный руководитель – А. А. Васильев (канд. техн. наук, доцент)
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

При создании решетчатых конструкций металлических ферм одним из способов выполнения узлов является сварка. Сегодня это достаточно перспективное направление в различных областях техники. В результате популярности сварочные технологии стремительно развиваются и совершенствуются. Однако при проектировании и создании решетчатых конструкций зачастую происходит игнорирование общих принципов конструирования [1]. Например, при сборке элементов фермы имеет место несоблюдение принципа устранения сложного напряженного состояния, которое обычно обусловлено внецентренным приложением эксплуатационной нагрузки. Всё это приводит к возникновению изгиба в элементах (стойках, раскосах) ферм. Для устранения сложного напряженного состояния авторами рекомендуется анализировать работу сварного узла под нагрузкой с последующей декомпозицией [2].

Не стоит пренебрегать влиянием различного рода дефектов на качество сварных соединений. К примеру, такой дефект, как непровар, приводит к концентрации напряжений. Однако, несмотря на известный факт, исследований по влиянию размеров выпуклости сварного шва на уровень напряжений, не было. При этом имеются сведения о том, что выпуклость может компенсировать частично или полностью уменьшение рабочего сечения, вызванное наличием и размерами выпуклости сварного шва [3].