УДК 698

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА УСТОЙЧИВОСТЬ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

♦♦♦♦♦

ANALYSIS OF THE IMPACT OF DYNAMIC LOADS ON THE STABILITY OF PILE FOUNDATIONS UNDER CHANGING GEOLOGICAL CONDITIONS

Дизенко Светлана Ивановна
кандидат технических наук,
доцент кафедры,
Кубанский государственный технологический университет
diz-bog@mail.ru

Ливенцова Анастасия Вячеславновна
студентка,
Кубанский государственный технологический университет
liventsova999@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена изучению влияния динамических нагрузок на устойчивость свайных фундаментов в контексте изменяющихся геологических условий. Эта тема становится все более актуальной в связи с острой необходимостью обеспечения надежности и безопасности строительных объектов, подвергающихся воздействию различных динамических факторов, среди которых – сейсмические колебания, вибрации от строительной техники и изменения внешних нагрузок. В работе рассматриваются основные механизмы взаимодействия свай с грунтом, а также методы анализа, позволяющие оценивать изменения устойчивости и деформационных характеристик фундаментов под воздействием изменяющихся геологических условий. В заключение, подчеркивается необходимость внедрения метода анализа мод и модель предельных состояний в практику проектирования, что способствует повышению эффективности, безопасности и долговечности инженерных сооружений.

Ключевые слова: динамические нагрузки, свайные фундаменты, устойчивость, изменяющиеся геологические условия, взаимодействие грунта и фундамента, деформация, сейсмические колебания, вибрации, модель предельных состояний, метод анализа мод.

Dizenko Svetlana Ivanovna
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department,
Kuban State Technological University
diz-bog@mail.ru

Liventsova Anastasia Vyacheslavovna
Student,
Kuban State University of Technology
liventsova999@gmail.com

Annotation. The article is devoted to the study of the influence of dynamic loads on the stability of pile foundations in the context of changing geological conditions. This topic is becoming increasingly relevant due to the urgent need to ensure the reliability and safety of construction facilities exposed to various dynamic factors, including seismic vibrations, vibrations from construction equipment and changes in external loads. The paper considers the main mechanisms of interaction of piles with the ground, as well as analysis methods that allow assessing changes in the stability and deformation characteristics of foundations under the influence of changing geological conditions. In conclusion, the need to introduce the mode analysis method and the limit state model into design practice is emphasized, which contributes to improving efficiency, safety, and efficiency.

Keywords: dynamic loads, pile foundations, stability, changing geological conditions, interaction of soil and foundation, deformation, seismic vibrations, vibrations, limit state model, mode analysis method.

Свайные конструкции необходимы для зданий и сооружений, размещённых в сейсмо- и геодинамически опасных зонах. Динамические нагрузки (сейсмические, ударные и вибрационные колебания) могут серьезно повлиять на устойчивость и даже привести к разрушению таких конструкций, вызывая более сложные и непредсказуемые деформации [1]. В условиях постоянного изменения геологических условий (например, из-за усадки грунтов, карстовых явлений, изменения влажности, и тд.) задача обеспечения устойчивости свайных фундаментов становится еще более трудозатратной для инженера.

Существует несколько типов динамических нагрузок, которые могут воздействовать на свайные фундаменты:

– **Сейсмические нагрузки** – вызываются колебаниями земной коры во время землетрясений. Эти нагрузки могут быть как горизонтальными, так и вертикальными;

– **Ударные нагрузки** – возникают при воздействии резких и кратковременных сил, таких как падение тяжелых предметов или действия машинистов при бурении;

– **Вибрационные нагрузки** – исходят от работы тяжелого оборудования, таких как экскаваторы, краны или здания с интенсивным движением (например, на железнодорожных или автомобильных мостах).

Данные нагрузки провоцируют движения и деформации в грунте, которые могут выступить причиной нестабильности. Но следует отметить, что, учитывая жесткость свай как конструктивного элемента, они также могут передать динамические воздействия на глубокие слои грунта, и тем самым затронуть поведение всей системы.

Взаимодействие свай и грунта является важнейшим аспектом при анализе поведения фундамента под динамическими воздействиями [2]. Наиболее важными параметрами, влияющими на это взаимодействие, являются:

– Упругие и пластические характеристики грунта, которые определяют сопротивление деформациям при сжатии и растяжении;

– Глубина залегания свай, которая влияет на то, какие слои грунта участвуют в процессе колебаний;

– Тип свай, которые могут быть забивными, буронабивными, винтовыми и т.д.

Каждый тип имеет свои особенности взаимодействия с грунтом.

Изменяющиеся геологические условия (например, процессы оседания грунтов или повышение водонасыщенности) могут значительно изменять параметры грунта, что требует адаптации проектных решений для обеспечения долгосрочной стабильности конструкции [3].

На этапе эксплуатации грунтов основания наблюдается их оседание и уплотнение, что оказывает влияние на жесткость верхних слоев грунта и, как следствие, на его сопротивляемость нагрузкам. Это может привести к изменениям в распределении нагрузок и повышению вероятности перегрузки некоторых частей свай. Например, на слабых и водонасыщенных грунтах оседание может быть значительным, что приводит к перераспределению нагрузок и может вызвать локальные разрушения или деформации.

Карстовые процессы, такие как растворение известняков, могут привести к образованию каналов и пустот в грунте. Это изменение геологических условий может существенно снизить несущую способность грунта в определенных местах, что, в свою очередь, приведет к нестабильности фундамента [3]. Для таких случаев необходимы специальные методы укрепления грунта и контроля за изменениями в его структуре.

Влагосостояние является чрезвычайно важным элементом обеспечения стабильности грунта. Влага может вымывать из межкапиллярного объема грунта пористые частицы, что ведет к понижению плотности и прочности материала. В таких случаях необходимо учитывать влияние колебаний уровня грунтовых вод на поведение свайных фундаментов [4].

Динамические нагрузки на свайные фундаменты могут быть представлены как функции времени [5]. Например, если рассмотреть колебания, возникающие от сейсмических событий, можно использовать гармоническую функцию:

$$P(t) = P_0 \sin(\omega t + \phi),$$

где P_0 – амплитуда нагрузки, ω – угловая частота, ϕ – фаза.

Для анализа устойчивости свай под воздействием таких динамических нагрузок необходимо применять методы динамического анализа, среди которых выделяются метод конечных элементов и метод анализа мод.

При оценке стабильности свайного фундамента под динамическими нагрузками учитываются как статические, так и динамические компоненты [6]. Параметры устойчивости можно оценить с помощью модели предельных состояний:

$$Mn = M + \Delta M,$$

где Mn – общий момент, M – статический момент, ΔM – динамическое изменение момента.

Анализ прочности свай следует проводить с учётом критических моментов, которые могут возникнуть из-за колебаний. Участие грунта в системе также играет ключевую роль.

Примерная схема анализа может включать следующие этапы:

1. Генерация сетки элементов для анализа взаимодействия фундамента и грунта.
2. Определение свойств материалов для фундамента и различных типов грунтов.
3. Применение динамических нагрузок и расчет реакции системы на воздействие сейсмических волн или ударных нагрузок.
4. Оценка деформаций и перемещений фундамента в ответ на нагрузки.

При использовании метода анализа мод в проектировании фундаментов, основное внимание уделяется определению собственных частот колебаний и мод деформации конструкции. Метод позволяет провести гармонический анализ, выявляя, какие моды (или формы) колебаний будут доминировать при различных частотах внешних воздействий [7].

В процессе анализа колебаний конструкции, как правило, используется уравнение:

$$[M]\ddot{x} + [C]\dot{x} + [K]x = F,$$

где M – матрица масс системы, C – матрица демпфирования, K – матрица жесткости, F – вектор внешних сил, а x – вектор отклонений структуры.

Решая эту задачу, можно получить собственные частоты системы и соответствующие им моды колебаний.

Анализ мод позволяет выявить, например, такие ключевые аспекты, как:

1. **Резонансные частоты**: определение частот, при которых система может вступать в резонанс с внешними воздействиями. Это критически важно, особенно для зданий и сооружений, расположенных в сейсмоактивных районах.
2. **Поведение конструкции под динамическими нагрузками**: метод помогает предсказать, как конструкции будут реагировать на временные и динамические нагрузки, что позволяет более точно рассчитывать необходимые параметры фундамента для обеспечения его надежности.
3. **Оптимизация проектирования**: использование анализа мод позволяет инженерам оптимизировать конструкции, выбирая наиболее подходящие материалы и формы, что снижает затраты и повышает эксплуатационные характеристики.

Использование метода конечных элементов позволяет смоделировать взаимодействие сваи и грунта, принимая во внимание различные свойства грунтов оснований [7]. Это даёт возможность проследить изменения устойчивости свайного фундамента при изменении геологических параметров.

Анализ воздействия динамической нагрузки на несущую способность свайных фундаментов требует аналитического, тщательного подхода. На его основе учитываются грунтовые характеристики и внешние соотношения нагрузки. Понимание того, как эти факторы влияют на устойчивость, позволяет инженерам и конструкторам более надёжно проектировать фундаменты, способные выдерживать динамические нагрузки, а также адаптироваться к изменениям в геологических условиях. В современных условиях необходимо применять передовые методы анализа, такие как метод конечных элементов и метод мод, чтобы гарантировать надёжность и долговечность свайных фундаментов.

Литература

1. Петрова Г.Н. Влияние сейсмических колебаний на устойчивость свайных фундаментов / Г.Н. Петрова, Е.Б. Симонов // Вестник строительного университета. – 2022. – № 45(1). – С. 45–58.
2. Соловьёв А.П. Динамика и устойчивость свайных фундаментов / А.П. Соловьёв, В.М. Шапошников. – М. : Издательский дом «Строительство», 2020.
3. Барановский М.В. Динамическое поведение фундамента в изменяющихся геологических условиях: проблемы и решения // Научные изыскания в строительстве. – 2023. – № 39(2). – С. 99–115.
4. Халилов Р.З. Геология и геотехника: влияние геологических условий на устойчивость фундаментов. – Издательство «Наука», 2019.

5. Лебедев И.Н. Анализ динамических нагрузок на строительные конструкции в условиях изменяющегося грунта. Журнал геомеханики. – 2019. – № 34(3). – С. 185–197.
6. Иванов Р.В. Методы оценки устойчивости свайных фундаментов при динамических нагрузках / Р.В. Иванов, А.Ю. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2018. – № 14(4). – С. 67–74.
7. Коваленко С.А. Моделирование взаимодействия свай с грунтом при динамических воздействиях / С.А. Коваленко, Д.И. Яковлев // Строительная механика и расчет конструкций. – 2021. – № 12(2). – С. 112–125.

References

1. Petrova G.N. The influence of seismic vibrations on the stability of pile foundations / G.N. Petrova, E.B. Simonov // Bulletin of the University of Civil Engineering. – 2022. – № 45(1). – P. 45–58.
2. Soloviev A.P. Dynamics and stability of pile foundations / A.P. Soloviev, V.M. Shaposhnikov. – M. : Publishing house «Construction», 2020.
3. Baranovsky M.V. Dynamic behavior of the foundation in changing geological conditions: problems and solutions // Scientific research in construction. – 2023. – № 39(2). – P. 99–115.
4. Khalilov R.Z. Geology and geotechnics: the influence of geological conditions on the stability of foundations. –Nauka Publishing House, 2019.
5. Lebedev I.N. Analysis of dynamic loads on building structures in changing soil conditions. Journal of Geomechanics. – 2019. – № 34(3). – P. 185–197.
6. Ivanov R.V. Methods for assessing the stability of pile foundations under dynamic loads / R.V. Ivanov, A.Yu. Smirnov // News of higher educational institutions. Construction. – 2018. – № 14(4). – P. 67–74.
7. Kovalenko S.A. Modeling the interaction of piles with soil under dynamic effects / S.A. Kovalenko, D.I. Yakovlev // Structural mechanics and calculation of structures. – 2021. – № 12(2). – P. 112–125.