

ВВЕДЕНИЕ

Свайные фундаменты получили широкое распространение при возведении объектов гражданского, промышленного, транспортного строительства. Основные достоинства свайных фундаментов заключаются в возможности обеспечения их высокой несущей способности (в том числе при возведении на слабых грунтах оснований), позволяющей возводить сооружения повышенной этажности при значительных нагрузках на фундамент за счет собственного веса сооружения, так и различных природных и техногенных нагрузках. Свайные фундаменты в ряде случаев отличаются более высокими экономическими показателями по сравнению с фундаментами обычного типа (например, ленточными, фундаментами глубокого заложения, в виде сплошной плиты). Конструкции свай и свайных фундаментов отличаются значительным разнообразием, что позволяет выбирать наиболее приемлемый вариант с учетом конструктивных особенностей возводимого сооружения, его конфигурации, характеристик грунтов основания, используемого типа оборудования [41, 42, 61, 73, 74, 110, 139, 140, 141].

В настоящее время проектирование свайных фундаментов для использования на объектах гражданского и промышленного строительства осуществляется по отечественным и зарубежным нормативам, разработанным на основании многочисленных экспериментальных и расчетно-теоретических исследований, опыте проектирования и эксплуатации значительного числа уже построенных объектов [101, 139, 141].

Для сооружений, возводимых в районах с высокой сейсмичностью, разработаны конструкции свайных фундаментов, обеспечивающие значительное снижение инерционных сейсмических нагрузок на сооружение [2, 3].

Снижение интенсивности сейсмических воздействий и повышение сейсмостойкости возводимых сооружений достигается за счет особого способа соединения свай с ростверком возводимого сооружения.

Особое направление в использовании свайных фундаментов заключается в применении для сооружения нефте-газодобывающих платформ на морском шельфе, при этом ареал их распространения включает территории с суровыми природными условиями – низкими отрицательными температурами воздуха, штормами, интенсивными ветровыми нагрузками, воздействием льда в период вскрытия и движения ледового покрова [28, 29, 33–38].

Проектирование и возведение таких сооружений потребовали проведения масштабных исследований расчетно-теоретического и экспериментального характера, поскольку такие объекты отличаются значительно более высокими уровнями статических и динамических нагрузок и воздействий, особой технологией возведения и требованиями по обеспечению прочности и ограничению деформаций свай и устойчивости свайного фундамента в условиях различных динамических нагрузок, включая ледовые, волновые, ветровые, сейсмические и др. Для таких сооружений отечественная нормативная база ограничена ведомственными нормами [28, 29] и стандартами США и Норвегии [141, 148]. При этом следует отметить, что в ряде положений в указанных документах имеются определенные разногласия по ряду рекомендаций и выводов. В большинстве случаев эти разногласия сводятся к вопросам оценки методов учета характеристик грунта основания и моделей взаимодействия опорных элементов с окружающим грунтом.

Независимо от конструкций свайного фундамента следует отметить, что при проведении расчетов по оценке несущей способности свайных фундаментов, их деформативности и устойчивости к внешним воздействиям, всегда имеет место отличие проектных параметров моделей системы *свайный фундамент – грунтовое основание*, интенсивности статических и динамических нагрузок, механизма взаимодействия свай с окружающим грунтом от фактических (наблюдаемых) значений. Учет таких отличий в большинстве случаев осуществляется системой эмпирических коэффициентов, методика расчета является детерминированной

(условно именуемой полувероятностной), а полученные результаты могут определяться со значительными погрешностями, причем как в сторону завышения (излишне оптимистичная оценка), так и в сторону занижения (консервативная оценка). Итоговые результаты детерминированного решения формируются в виде альтернативных неравенств, указывающих либо на превышение расчетных параметров соответствующих предельно допустимых значений, либо на их непревышение, то есть, результаты таких решений имеют *качественный* характер, не имеют количественного выражения и не позволяют сопоставлять различные варианты конструкций.

В настоящее время учет таких отличий осуществляется методами, основанными на представлении параметров расчетных моделей системы свайный фундамент – грунтовое основание либо в виде системы случайных величин и функций (различные вероятностные методы), либо как величины, значения которых являются неопределенными или не обладающими достаточной полнотой исходной информации (методы, основанные на теориях возможности), нечетких множеств, комбинированные, интервальные и др. [4, 9, 16, 17, 20, 21, 30, 31, 44, 48, 54, 62, 67, 81, 107, 120, 121]. Следует подчеркнуть, что использование этих методов позволяет получать *количественную оценку надежности* рассматриваемой системы, которая является важнейшим фактором при выборе того или иного варианта конструкции свайного фундамента и оборудования для забивки и извлечения свай и шпунта.

Другим преимуществом использования указанных методов является возможность использования *системного подхода*, под которым подразумевается оценка надежности отдельных элементов системы с последующим объединением результатов на основании структурно-логической теории надежности.

В предлагаемой книге рассмотрен ряд вопросов, связанных с использованием свайных фундаментов и промышленном и гражданском строительстве, количественной оценкой их надежности, включая классификацию свай и свайных фундаментов, технологию их возведения, средства погружения в грунты основания. Ряд рассмотренных задач иллюстрирует примеры использования методов оценки надежности свайных фундаментов в условиях неполной или неопределенной исходной информации.

В дальнейшем изложении в большинстве примеров, иллюстрирующих различные аспекты применения разработанных методик оценки надежности, будут рассматриваться наиболее простые конструкции свай – забивные бетонные сваи квадратного сечения с напрягаемой или ненапрягаемой арматурой (тип С). Использование свай этого типа упрощает расчеты, сохраняя в то же время основные особенности применения разработанных методик.

Для свайных фундаментов, состоящих из большого числа свай, рассмотрена методика оценки эксплуатационной надежности – то есть своего рода корректировка с учетом частичного или полного разрушения части свай при условии сохранения работоспособности фундамента и сооружения. Такая корректировка может осуществляться на основе дискретных цепей Маркова [75]; в качестве примера далее будет рассмотрена задача оценки эксплуатационной надежности в условиях выхода из строя части свай при серии последовательных сейсмических воздействий. Корректировка эксплуатационной надежности может также осуществляться также за счет поступления уточненных данных относительно параметров системы основание – свайный фундамент – сооружение. Основой методики корректировки в этом случае является теорема Байеса, а результат оценки надежности является апостериорным, и учитывающим уточненные исходные данные [24, 25].

Книга состоит из Введения, 10 глав, Заключения и списка литературы. В первой главе приведены краткие сведения о конструкциях свайных фундаментов свай и ростверков, области их применения, в том числе фундаментов для нефтегазодобывающих платформ, устанавливаемых на морском шельфе, сейсмостойкие конструкции фундаментов, а также свайные фундаменты особых конструкций.

Во второй главе рассмотрены основные типы оборудования для погружения свай, приведены характеристики копров, дизель-молотов и вибропогружателей различного типа.

В третьей главе содержится обзор расчетных моделей, используемых в исследованиях процесса забивки свай, включая статические, импульсные и вибрационные способы воздействия на погружаемую сваю.

В четвертой главе изложены наиболее известные аналитические методы оценки надежности объектов различного назначения, в том числе свай и свайных фундаментов. Однако воспользоваться одним из вышеперечисленных методов возможно не всегда – главным образом, по причине отсутствия необходимого объема исходных данных.

В пятой главе рассмотрены характеристики элементов системы *сооружение – свайный фундамент – грунтовое основание* с учетом изменения этих характеристик во времени в период эксплуатации. Там же рассмотрены методики оценки надежности свай и свайных фундаментов с использованием параметрической и структурно-логической теорий надежности, методов Ржаницина и Чебышева. Изложены основные положения методов оценки надежности с использованием теорий нечетких множеств, теории возможностей и комбинированного – вероятностно-возможностного метода.

В шестой главе приведены решения задачи оценки надежности на простых моделях с использованием теории возможности и комбинированного вероятностно-возможностного метода.

В седьмой главе приведены решения по оценке эффективности процесса погружения свай с использованием методов теории вероятности и комбинированного метода.

В восьмой главе рассмотрен ряд задач оценки надежности реакторного отделения АЭС при экстремальных воздействиях – торнадо, урагана, падения самолета, взрыва в здании реакторного отделения.

В девятой главе рассмотрена задача оценки надежности жесткого сооружения на свайном фундаменте при одиночном сейсмическом воздействии. Выполнены проверки прочности сваи по нормальным наклонным сечениям, несущей способности висячей сваи, устойчивости основания.

В десятой главе приведено решение задачи по оценке эксплуатационной надежности элементов системы поступления дополнительной информации о характеристиках системы. Такая информация может быть получена, например, при сейсмическом воздействии, старения и трещинообразования в бетоне, воздействия

агрессивных сред и т.п. Решение осуществляется с использованием теоремы Байеса.

Кроме того, рассмотрена методика оценки надежности свайного фундамента в случае повторных сейсмических воздействий. Используется аппарат дискретных цепей Маркова, что позволяет осуществлять текущий контроль состояния сооружения по мере выхода из строя отдельных элементов – в данном случае свай.

Приведена методика оценки надежности свайного фундамента при проектировании, эксплуатации и испытаниях сооружения с использованием теоремы Байеса.