

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая книга посвящена проблеме количественной оценки надежности системы сооружение – основание при динамических воздействиях в условиях неполноты исходной информации.

Необходимость количественной оценки надежности сооружений и оснований в середине прошлого века привела к переходу от детерминистических методов (дающих только качественную оценку) к вероятностным, которые в настоящее время получили широкое распространение. В нормативных документах для различных сооружений регламентируются предельные значения годовой вероятности отказа как случайной величины, причиной которого может стать нарушение работоспособности самого сооружения или основания. Таким образом, для обеспечения надежности объекта в целом при динамических воздействиях необходимо рассматривать систему сооружение – основание с учетом их взаимодействия.

На любом этапе существования сооружения (проектирования, строительства, эксплуатации, реконструкции, консервации) при оценке его надежности приходится сталкиваться с недостаточной информацией о параметрах расчетных моделей, в той или иной степени влияющих на результат. В современной математической литературе эта ситуация называется неполнотой исходной информации. Особую актуальность она приобретает для уникальных (не имеющих аналогов) гидротехнических сооружений, а также при учете редких экстремальных воздействий (например, сейсмических). Для системы сооружение – основание весьма существенным оказывается также большое различие в информационном обеспечении подсистем.

Использование вероятностных методов оценки надежности при недостаточной статистической информации становится некорректным и запрещено нормативными документами. Поэтому разработка методик количественной оценки надежности сооружения и системы сооружение – основание при сейсмических и динамических воздействиях в условиях неполной исходной информации является важной и актуальной проблемой.

Отсутствие достаточной статистической информации – основная причина, по которой возникла необходимость искать иные (не вероятностные) методы учета неопределенностей. Это направление стало интенсивно развиваться начиная с 60-х годов прошлого века. Был предложен ряд методов, большая часть которых оперирует не только объективной информацией (то есть результатами измерений и наблюдений), но также субъективной информацией в виде экспертных оценок. Важным этапом развития этого направления стала теория возможностей, предложенная американским математиком Л.Заде в 1978 г. Результатом ее применения является интервальная оценка надежности.

Теория возможностей в настоящее время достаточно широко применяется для анализа надежности сложных систем в самых различных областях (экономика, экспериментальная физика, авиа - и ракетостроение). Предложено большое количество различных комбинированных подходов (например, вероятностно-возможностный), способствующих сужению интервала оценки за счет наиболее полного использования имеющихся данных. Эти методы уже использовались для обоснования надежности элементов строительных конструкций: балок, плит, сварных соединений и т.п.

Предлагаемая книга – первая попытка применения этих методов для оценки надежности систем сооружение – основание при динамических (сейсмических) воздействиях.

Книга состоит из тринадцати глав.

В первой главе представлены основные расчетные модели сооружений и оснований, вероятностные модели сейсмических воздействий, а также методы оценки надежности объектов и их элементов.

Вторая глава посвящена проблеме оценки надежности при неполной исходной информации. Особое внимание уделено комбинированным методам оценки как на уровне подсистем, так и системы в целом.

В третьей главе рассмотрен ряд одномерных задач взаимодействия сооружения с основанием, обладающим различными свойствами: упругое однородное, слоистое, неоднородное, вязкоупругое. Используются простейшие расчетные схемы сооружения и основания, допускающие несложные аналитические решения. Эти решения используются для иллюстрации применения различных подходов (детерминированного, вероятностного, возможностного, комбинированного) к оценке надежности сооружения и основания как элементов единой системы.

В четвертой главе изложены вопросы надежности оснований (скальных и нескальных) при сейсмических воздействиях. Решения, полученные с использованием теории возможностей и комбинированным методом, основаны на известных результатах, полученных другими авторами, использовавшими для анализа теорию вероятностей. Решена обратная задача, позволяющая по заданной надежности основания определять его расчетные параметры. Приведены вероятностный и возможностный варианты решения прямой и обратной задач инженерной сейсмологии.

В пятой главе дан ряд задач о взаимодействии сооружения с упругой полуплоскостью в вероятностной постановке и с использованием теории возможностей. Проведен анализ зависимости демпфирующего влияния основания на колебания сооружения от разброса характеристик грунтов. Решена задача о взаимовлиянии сооружений, расположенных на общем основании. Рассмотрены вопросы учета оттока энергии в основание в задачах динамики массивных сооружений.

В шестой главе уделено внимание совместному учету взаимодействия с основанием и нелинейной деформативности сооружения – двух факторов, влияющих на величины сейсмических нагрузок и отличающихся существенной неопределенностью.

Седьмая глава посвящена учету случайных и неопределенных факторов в задачах сейсмостойкости сооружений, взаимодей-

ствующих с основанием и водной средой. На основе известных детерминистических решений С.Г. Шульмана получены вероятностные и интервальные оценки гидродинамического давления на плотину (плоская задача) и круглоцилиндрическую оболочку (осесимметричная задача) при гармонических и нестационарных колебаниях.

В восьмой главе рассмотрены вопросы надежности крепления плит водобоя. Эта задача характерна наличием многих случайных и неопределенных факторов: параметров гидродинамической нагрузки на поверхность плиты, свойств основания, критериев прочности крепления, взаимовлияния соседних плит и т.д. Приводены методики и примеры вероятностного, возможностного и комбинированного решений задачи надежности крепления одиночной плиты и системы плит.

В девятой главе изложена задача вероятностной и возможностной оценок несущей способности скальных оснований. Даны примеры оценки устойчивости руслового здания ГЭС и плотины на скальном основании с учетом сейсмического воздействия.

В десятую главу включен пример расчета надежности многоэтажного промышленного здания из сборного железобетона при сейсмическом воздействии в рамках квазистатической теории сейсмостойкости. На начальном этапе определена надежность элементов сооружения: плит, колонн, ригелей, основания. На следующем этапе они рассмотрены как элементы надежностной системы, что позволяет получить оценку надежности здания (системы в целом) при землетрясениях различной интенсивности.

В одиннадцатой главе приведена методика вероятностной, возможностной и комбинированной оценок надежности бетонной плотины на скальном основании, а также системы сооружение – основание в рамках динамической теории сейсмостойкости. Рассмотрен пример анализа надежности сооружения при одновременном учете нелинейного характера поведения материалов плотины и основания и неопределенности исходных данных. Предложена методика оценки сейсмостойкости, базирующаяся на вероятностной оценке надежности, в которой в качестве критерия использу-

ется нормативное значение годовой вероятности отказа. Построение зависимостей исследуемых величин от варьируемых параметров проводилось на основе большой серии расчетов системы сооружение – основание на комплекс статических и сейсмическую нагрузок по конечноэлементной программе.

В двенадцатой главе рассмотрены задачи динамики многофазных грунтовых сред. Представлены основные уравнения двухфазных и квазиоднофазных линейно-упругих моделей грунта; даны решения одномерной задачи динамики для пористой полуплоскости, задачи о распространении упругих волн в водонасыщенных грунтах с учетом случайных факторов. Оценка надежности водонасыщенных оснований по критериям разжижения выполнена как вероятностным методом, так и с помощью теории возможностей.

Тринадцатая глава посвящена вопросам параметрической идентификации динамических характеристик системы сооружение – основание. Приведена методика решения задачи идентификации, а также примеры идентификации параметров колебаний одномассовой системы, балки на упругом основании, а также параметров динамических моделей двухфазных грунтовых сред на основе МКЭ.

Дальнейшее развитие рассматриваемой тематики может быть связано с рядом вопросов, связанных с рассматриваемой тематикой. К ним, в частности, относятся: проведение экспериментальных исследований (на физических моделях и натуральных объектах), различные имитационные (в том числе – регрессионные) модели систем, особенности нелинейных динамических моделей (детерминированный хаос и т.п.), нейронечеткое моделирование, методы экспертных оценок (и их комбинирование с различными моделями неопределенности), информационное обеспечение исследований, методы оценки риска и принятия решений, роль человеческого фактора и т.п.

В разработке отдельных разделов книги принимали участие И.У. Альберт (п. 6.5), Е.А. Андрианова (пп. 5.3 – 5.7), Т.В. Гавриленко (гл. 8), Н.Д. Давиденко (пп. 13.2, 13.3), М.В. Караковский (п. 11.9), А.Г. Мишель (гл. 12), А.Е. Скворцова (пп. 11.1 – 11.2), П.К. Шубин (п. 13.4), А.М. Юделевич (гл. 13).

Глава 10 написана *Д.В. Антуфьевой и Г.С. Шульманом*.

Авторы выражают глубокую благодарность генеральному директору АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» *Е.Н. Беллендиру* за помощь в издании книги и ценные советы по ее составу.

Авторы признательны сотрудникам редакционно-издательского подразделения *Т.С. Артюхиной, Н.Н.Седовой, Т.М. Бовичевой* за большую работу, проделанную при подготовке книги к печати.