

УДК 624.15

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УПРУГОЙ СРЕДЕ МЕТОДАМИ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

*Д.т.н., проф. Чемодуров В.Т., Вдовиченко В.В.*

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства, г. Симферополь*

**Постановка проблемы.** Железобетонные фундаменты являются особо ответственными элементами строительных сооружений по сравнению с другими конструкциями, потому что, они должны обеспечить надежное опирание при отсутствии недопустимых осадок и кренов всего сооружения, должны обладать необходимой прочностью при нагрузках, они недоступны для наблюдения за их состоянием, так как скрыты под грунтом в процессе их эксплуатации.

Методы расчета фундаментов постоянно совершенствуются. Также совершенствуются и их конструкции. В основе методов расчета конструкций фундаментов лежат экспериментальные данные, которые позволяют получать более адекватные данные для получения верных результатов.

С целью страховки от нежелательных последствий, при функционировании в реальных условиях проектируемых систем, в проектных организациях в настоящее время используют различные приемы. Например, введение в расчет детерминированным образом (при проверке функциональных ограничений) наиболее неблагоприятных комбинаций максимально возможных отклонений параметров и характеристик систем от их средних (номинальных) значений. Этот прием значительно увеличивает габариты конструкции и, как следствие, рост материальных затрат. Да и само определение неблагоприятных комбинаций нагрузок от их номинала требует дополнительного исследования системы. В связи с этим несомненно актуальным является анализ свайных конструкций с использованием стохастических моделей их нагружения, особенно при внешнем сейсмическом воздействии. Такой подход позволит оптимизировать параметры элементов свайных конструкций и их конфигурацию для любой заданной вероятности их безопасного функционирования.

Объект исследования – свайная конструкция (в частности свайный фундамент), контактирующая с упругой средой, подверженная различным видам нагружения, в том числе и сейсмическим.

Предмет исследования – комплексная методика оптимального проектирования свайных конструкций, основанная на методах системного анализа.

### **Связь с научными и практическими заданиями.**

В настоящее время основания сооружений проектируются на основе:

- а) результатов инженерно-геодезических, инженерно-геологических и инженерно-гидрометеорологических изысканий для строительства;
- б) данных, характеризующих назначение, конструктивные и технологические особенности сооружения, нагрузки, действующие на фундаменты, и условия его эксплуатации;
- в) технико-экономического сравнения возможных вариантов проектных решений (с оценкой по приведенным затратам) для принятия варианта,

обеспечивающего наиболее полное использование прочностных и деформационных характеристик грунтов и физико-механических свойств материалов фундаментов или других подземных конструкций.

Основания должны рассчитываться по двум группам предельных состояний: по первой - по несущей способности; по второй - по деформациям.

Все проектные работы производятся в строгом соответствии с нормативными и рекомендательными документами по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям. Причем все проектные работы выполняются для «наихудших» условий функционирования конструкции, то есть на сочетание предельно максимальных нагрузок, что, в принципе, является излишней «перестраховкой».

Рекомендации предназначены для всех организаций, независимо от формы их собственности и принадлежности, осуществляющих проектно-исследовательские и строительные работы по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям. Такой подход удобен как для строительных организаций, так и для контролирующих органов.

В то же время во многих отраслях производства широко используются методы проектирования объектов, базирующиеся на методах системного анализа, позволяющих получить существенные выгоды, как в эффективности функционирования, так и в себестоимости продукции.

**Целью исследования** является создание методики проектирования элементов свайных конструкций, их конфигурации путем разработки математических моделей функционирования в упругой среде с учетом случайного характера внешних нагрузок, их анализа методами стохастического программирования.

Основные этапы разработки методики комплексного проектирования:

- разработка математической модели прочности и жесткости элементов свайной конструкции при действии на нее детерминированной внешней нагрузки;
- разработка стохастической модели прочности и жесткости элементов свайной конструкции с учетом реальных разбросов (в пределах нормативных допусков) геометрических характеристик и физических свойств материалов элементов сооружения;
- разработка математической модели сейсмического воздействия на конструкцию со стороны грунта в процессе землетрясения с целью обеспечения ее сейсмостойкости;
- разработка пакета программ нелинейного и стохастического программирования.

Проблема обеспечения сейсмостойкости сооружений и конструкций является комплексной проблемой и недостаточно изученной. Она основывается на специальных знаниях в области инженерной сейсмологии, теории колебаний и динамики сооружений, строительной механики, прочности материалов и надежности сооружений, методов проектирования и других дисциплин, относящихся к отрасли строительства.

Наиболее сложной и мало изученной проблемой является разработка модели воздействия сейсмических волн на рассматриваемую конструкцию. В этом случае будут рассмотрены ряд динамических теорий, спектральная теория определения нагрузок, а также теория, основанная на законах случайных процессах.

### **Изложение основного материала исследования.**

Основной метод решения данной задачи – системный анализ, то есть совокупность методов, основанных на использовании ЭВМ и ориентированных на исследование сложных технических систем. В результате этих исследований должно возникать не просто новое знание. Результатом системных исследований является, как правило, выбор вполне определенной альтернативы – параметров конструкции. Таким образом, решается проблема принятия решений в условиях, когда выбор альтернативы требует анализа сложной информации различной физической природы.

Предполагается разработка математической модели функционирования данного объекта исследования и анализ ее методами нелинейного и стохастического программирования.

Наиболее важным и ответственным является учет нагрузок от сейсмического воздействия на конструкцию при землетрясении. С целью их учета при проектировании предполагается разработать математическую модель кинематических параметров движения сейсмических волн на основе теории случайных процессов, используя фактические записи, полученные при землетрясениях.

Основным научным результатом проводимых исследований является методика оптимального проектирования элементов свайных конструкций с точки зрения минимизации общей массы всего сооружения. Данная задача относится к классу задач проектирования, у которых оптимальное решение лежит на границе функциональных ограничений, определяющих прочность и жесткость сооружения. Если ориентироваться на самое неблагоприятное сочетание, как внешних нагрузок, так и ошибок в проектировании и производстве, то такой подход приведет к неоправданным материальным затратам.

В этом случае целесообразно решать задачу с использованием стохастических моделей функционирования конструкций. План решения такой задачи заключается в следующем.

На первом этапе решается детерминированная задача оптимизации параметров элементов конструкции на номинальные условия ее функционирования и без учета сейсмического воздействия.

На втором этапе решается стохастическая задача с учетом сейсмического воздействия с целью определения статистических характеристик функциональных ограничений. Полученный результат дает возможность определить новые функциональные ограничения задачи, если задана вероятность их не нарушения.

На третьем этапе вновь переходим к решению детерминированной задачи одним из методов нелинейного программирования и получаем окончательный вектор оптимизируемых параметров элементов конструкции для выбранной (назначенной) вероятности безотказного функционирования свайной конструкции.

Представляется, что предлагаемый подход к проектированию сложных систем будет способствовать существенную экономию материальных ресурсов при создании конкретных объектов.

**Выводы.** Главным в статье является развитие методов проектирования строительных конструкций. Разработанная технология поэтапного проектного анализа параметров элементов строительных (в частности, свайных конструкций) дает возможность подойти к выбору характеристик

исследуемой системы с точки зрения экономии материальных ресурсов. Дробный подход к отдельным этапам проектирования систем с использованием методов стохастического программирования планируется изложить в последующих публикациях.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ажермачев С.Г. Методическое пособие по спецкурсу сопротивление материалов «Балки на упругом основании» /С.Г. Ажермачев. – Симферополь, НАПКС, 22с.
2. Бугаевский Г. Н. Перспективы развития исследований в области сейсмостойкости сооружений / Г. Н. Бугаевский // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. — Симферополь : НАПКС, 2011. — Вып. 35. — С. 182—186..
3. Бугаевский Г. Н. Основы сейсмологии и динамической теории сейсмостойкости : [учебник] / Г. Н. Бугаевский. — Симферополь : ИТ "АРИАЛ", 2010. — 256 с
4. Бугаевский Г. Н. Динамическая паспортизация зданий и сооружений – основа повышения качества строительных объектов / Г. Н. Бугаевский, О. В. Волосович, А. Г. Бугаевский // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. — Симферополь : НАПКС, 2008. — Вып. 24—25. — С. 10—13.
5. Чемодуров В. Т. Применение пружинно-массовых схем сооружений для оценки их реакции на динамическую нагрузку / В. Т. Чемодуров, А. Г. Попов // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. — Симферополь : НАПКС, 2009. — Вып. 27. — С. 26—30.
6. Пат. На корисну модель №67198 Україна, МПК E04H 9/02 (2006.01) E04B 1/24 (2006.01). Каркас сейсмостійкого багатопверхового будинку /Г.А. Ажермачов, С.Г. Ажермачов, Е.М. Меннанов, А.З. Абдурахманов; заявник Національна академія природоохоронного та курортного будівництва. – № u201108107; заявл. 29.06.2011; опубл. 10.02.2012, Бюл. №3.
7. Чемодуров В. Т. Математическая модель сейсмического воздействия на конструкцию / В. Т. Чемодуров, В. В. Вдовиченко // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. (По материалам Междунар. науч.-практ. конф. "Геодинамика, сейсмическая опасность, сейсмостойкость сооружений"). — Симферополь : НАПКС, 2011. — Вып. 35. — С. 176—182.
8. Чемодуров В. Т. Колебание цилиндрической оболочки, заполненной жидкостью / В. Т. Чемодуров, А. Г. Попов // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. (По материалам Междунар. науч.-практ. конф. "Геодинамика, сейсмическая опасность, сейсмостойкость сооружений"). — Симферополь : НАПКС, 2011. — Вып. 35. — С. 205—210.
9. Чемодуров В. Т. Постановка задачи оптимизации параметров свайных фундаментов / В. Т. Чемодуров, И. М. Курбатова, В. В. Вдовиченко // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. (По материалам Междунар. науч.-практ. конф. "Геостойкое строительство", 27—28 окт. 2011 г.). — Симферополь : НАПКС, 2011. — Вып. 39. — С. 26—29.