

УДК 624.1:692:519.8

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ЗАДАННОЙ ВЕРОЯТНОСТИ ИХ НЕРАЗРУШЕНИЯ

д.т.н., проф. Чемодуров В.Т., к.т.н., доц. Литвинова Э.В., Попов А.Г.
*Национальная академия природоохранного и курортного строительства,
г. Симферополь*

В настоящее время одним из главных путей повышения качества и эффективности исследований сложных строительных конструкций, возможности их максимальной автоматизации и снижения затрачиваемых ресурсов является подход, основанный на методологической концепции системного анализа как одной из основных особенностей современной науки и техники [9]. Это позволяет выделить одинаковые для всех типов конструкций процедуры и этапы работ, максимально исключающие субъективность и направленные на оптимальное решение поставленных проблем.

Системный анализ процессов проектирования строительных объектов во многих случаях может стать базой для эффективного использования информационного пространства, окружающего строительный объект от момента возникновения идеи о необходимости его возведения до момента его утилизации (разрушения) [1, 10].

Системный анализ и теория надежности представляют собой тот математический аппарат, который, кроме прочего, накладывает на проект ряд ограничений исходя из требований к обеспечению безопасной эксплуатации здания или сооружения в течение некоторого расчетного периода. Однако неко-торые особенности проектных и конструктивных решений, кажущиеся «безобидными» с точки зрения их реализации и удовлетворяющие требованиям теории надежности, могут играть значительную роль в условиях развития реальной чрезвычайной ситуации и, к сожалению, не всегда позитивную. Такие особенности можно выявить, лишь моделируя развитие различных чрезвычайных ситуаций на конкретном проектируемом объекте [1, 10].

Во многих отраслях производства широко используются методы проек-тирования объектов, базирующихся на методах системного анализа, позво-ляющих получить существенные выгоды, как в эффективности функциониро-вания, так и в себестоимости продукции.

В связи с этим, несомненно, актуальным является анализ строительных конструкций с использованием стохастических моделей их нагружения. Такой подход позволяет оптимизировать параметры элементов строительных конст-рукций и их конфигурацию для любой заданной вероятности их безопасного функционирования.

Целью исследования является применение методики оптимального про-ектирования элементов строительных конструкций, их конфигурации путем использования стохастического метода оптимизации параметров с учетом случайного характера внешних нагрузок, характеристик используемых мате-риалов, ошибок производства и других случайных факторов, влияющих на надежность

создаваемой конструкции на примере оптимизации параметров многослойной пластины.

Системный подход позволяет строить процесс исследований напряженно-деформированного состояния сложных конструкций и сооружений в виде пошаговых процедур, наиболее эффективно ведущих к достижению поставленной перед исследователем цели [1, 2–5, 8]:

- разработка математической модели прочности и жесткости элементов свайной конструкции при действии на нее детерминированной внешней на-грузки;

- 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 пакета программ нелинейного и стохастического програм-мирования.

Рассмотрим последовательность оптимизации выделенного класса задач проектирования с использованием их стохастических моделей [2–8].

На первом этапе осуществляется поиск оптимального решения на детерминированной модели.

Второй этап – статистический анализ функциональных ограничений в окрестности оптимального решения, полученного на первом этапе, и построение области допустимых решений задачи по вероятности.

На третьем этапе осуществляется поиск оптимального решения задачи для новой системы функциональных ограничений.

Для расчета определенных типов сооружений могут использоваться программы, в зависимости от степени специализации которых накладываются ограничения на возможность выбора расчетной схемы. Принципы [9]:

I – расчетная схема сооружения должна назначаться в соответствии со схемой деформирования или разрушения сооружения, подтвержденных строительной практикой;

II – поскольку расчетная схема – аналог механической модели сооруже-ния, в нее вводятся упрощающие гипотезы, позволяющие выделить опреде-ляющие факторы, влияющие на работу конструкции (рассчитываемая конст-рукция находится в менее благоприятных по сравнению с действительностью условиях, кроме того, учитывается требование экономической целесообразно-сти проектируемой конструкции);

III – для расчета некоторых конструктивных элементов или их систем целесообразно иметь несколько расчетных схем, каждая из которых имеет область применения (расчетные схемы отличаются степенью подробности аппроксимации, свойствами расчетных элементов и др.; критерием для выбора той или иной модели служит оценка результата, удовлетворяющего условиям поставленной задачи).

Пример системного подхода к проектированию многослойной пластины. Данная методика апробирована при расчете параметров

трехслойной пластины (панели). Благодаря целесообразному выбору и составу отдельных слоев могут быть созданы панели с заданными статическими и конструктив-ными свойствами.

Многослойная панель, используемая в качестве несущего элемента, как правило, состоит из трех слоев: двух внешних и одного внутреннего. Для дос-тижения общей несущей способности этой многослойной конструкции слои соединены между собой для образования монолитной системы различного вида армирования.

В работе рассматривается трехслойная панель, внешние слои которой выполнены из бетона, а средний слой – из армированного полимерного материала (рис. 1).



Рис. 1

Рис. 1. Схема трехслойной пластины-панели

Представляется, что расчет многослойной панели можно упростить, если реальную панель заменить однослойной с приведенной жесткостью. Таким образом, общую задачу расчета многослойной панели-пластины разобьем на два этапа. Вначале получим уравнения прогиба пластины как однородного ортотропного тела, используя законы классической теории упругости. На вто-ром этапе построим модель трехслойной пластины с приведенной жесткостью.

Рассмотрим задачу прогиба сплошной пластины с жестким креплением ее граней. Схема крепления пластины показана на рис. 2.

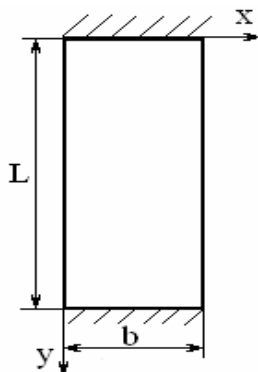


Рис. 1. Схема крепления пластины

Рис. 2. Схема крепления пластины

При исследовании вопроса об изгибе полосы-пластины воспользуемся решением М. Леви [2–8]. Далее рассмотрим возможность представления ре-альной многослойной пластины, показанной на рис. 1, в виде однослойной со специально подобранными параметрами, соответствующими параметрам ори-гинала.

Проверку будем осуществлять по условию устойчивости. Получим

$$\Delta = 2 \cdot \Delta L \cdot \cos 45^\circ = 1,4 \cdot \Delta L$$

$$N = T \frac{h}{L}$$

где ΔL – деформация растяжения (сжатия) армирующего металличе-ского стержня, у которого модуль упругости E_s и площадь сечения A_s ; T – сдвиговое усилие; L – длина арматуры; h – высота армированного по-лимерного слоя. Половина стержней работает на растяжение, половина на сжатие – на устойчивость (рис. 3).

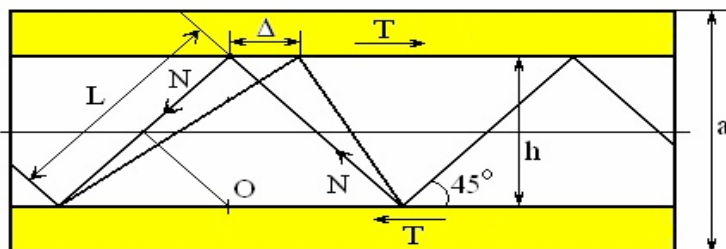


Рис. 4. Определение сдвиговых деформаций

Рис. 3. Сдвиговые деформации пластины

После составления математической модели расчета прочностных показате-лей, перейдем к ее исследованию при детерминированных переменных. В качестве метода исследования выберем метод случайного поиска параметров [2–8], который предполагает намеренное введение элемента случайности в алгоритм поиска.

При статистическом анализе задачи в точке оптимума за случайные ве-личины принимаем геометрические и механические характеристики пластины, а также внешнюю нагрузку.

Определив новые границы задачи в зависимости от выбранной вероятно-сти разрушения пластины, повторяем поиск оптимума.

Поставленная задача решена по условиям наихудшей комбинации значе-ний параметров конструкции и условий ее функционирования, а также по предлагаемой методике, ориентированной на высокую вероятность неразу-шения изделия.

Выводы

1. Представленный вероятностный подход к оптимизации проектных задач рассматриваемого класса кроме сокращения вычислительных затрат (связанных с использованием методов стохастического программирования), позволяет выявить значительный эффект в улучшении выбранного критерия эффективности проектируемых конструкций по сравнению с детерминированными методами расчета по совокупности неблагоприятных комбинаций отклонений параметров и характеристик систем от их номинальных значений.

2. Сравнительный анализ результатов расчета параметров трехслойной пластины показывает, что резерв в выигрыше целевой функции (массы конструкции), рассчитанной по данной методике дает выигрыш в 36%.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Волков А.А. Информационная поддержка процессов оперативного влияния на динамику чрезвычайных ситуаций в строительных объектах // Большой Российский каталог. Строительство. – М.: Каталоги и справочники, 2000. – С. 38–40.

2. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд. СПбГТУ, 1997. – 510 с.

3. Лямец В.И. Системный анализ / В.И. Лямец, А.Д. Тевяшев. – Харьков: ХТУРЭ, 1998. – 252 с.

4. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. – 154 с.

5. Петров В.П. Общая теория систем / [В.П. Петров, И.С. Сидоров, К.А. Козлов]. – СПб.: Научная мысль, 2005. – 480 с.

6. Чемодуров В.Т. Моделирование систем / В.Т. Чемодуров. – Л.: ВМА, 1983. – 184 с.

7. Чемодуров В.Т. Поиск оптимума в задачах с ограничениями по вероятности / В.Т. Чемодуров. – Л.: ВМА, 1981. – 173 с.

8. Чемодуров В.Т. Прикладные методы статистического оценивания / В.Т. Чемодуров. – Л.: ВМА, 1981. – 205 с.

9. Методические рекомендации по исследованию строительных конструкций с применением математического и физического моделирования, 1987. – К: НИИСК. – 68 с.

10. Смита. Проектирование. Строительство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nebook.net>.