

### Список литературы

1. Зарипова В. М., Луцев А. П., Петрова И. Ю. Научить инновационному мышлению – задача университета // Инновации. 2012. № 11 (169). С. 62–69.
2. Аксютин И. В. Формирование творческой деятельности учащихся при изучении систематического курса геометрии в основной школе : автореф. дис. ... канд. пед. наук. Астрахань, 2008. 21 с.
3. Загрекова Л. В., Николина В. В. Теория и технология обучения. М. : Высшая школа, 2014. 157 с.
4. Федеральный государственный образовательный стандарт среднего профессионального образования по специальности 08.02.01 «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений» : приказ Министерства образования Российской Федерации от 11.08.2014 г № 965. URL: <http://www.ppk.sstu.ru/sites/default/files/opspo/08.02.01.pdf>
5. Котельникова Л. А., Великжанина Т. Б. Комплекс методического обеспечения самостоятельной работы студентов. Уфа : Уфимский филиал ГОУ ВПО «МГУ им. М.А. Шолохова», 2013. 47 с.
6. Аксютин И. В. Работа с отдельными источниками информации как одно из средств формирования у учеников готовности к самообразованию // Синергетические идеи в образовании : сборник научных трудов Первой Всероссийской научно-практической конференции «Образование. Синергетика и новое мировидение». Астрахань, 13–15 апреля. 2006 г. Астрахань, 2006. С. 201.

УДК 51.74: 624.046

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*П. Н. Садчиков*

*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (Россия)*

Исследованы методы оптимального проектирования каркасных зданий при поиске минимума экономических затрат, направленных на обеспечение достаточных резервов прочности несущих конструкций. Проведен анализ математических моделей оценки сейсмоустойчивости объекта, позволяющих реализовать указанные методы в зависимости от выбора определяющего критерия. Сделаны выводы о недостаточной разработанности математических моделей, определяющих экономическую эффективность введения конструктивных мер. Предложена постановка и методы реализации задачи, граничные условия которой обеспечивают равенство расходов на усиление поврежденных конструкций и расходов для их предотвращения.

**Ключевые слова:** *надежность, вероятность отказа, строительные конструкции, сейсмостойкость, математическая модель, оптимизация, целевая функция.*

This paper presents optimum design methods for frame buildings with focus on minimization of economic costs. The methods discussed are intended to provide sufficient reserves for load-bearing structures reliability. The analyzed mathematical models assessing seismic resistance of a building structure enable to implement optimum design methods according to the selected criterion. The authors come to conclusion that the available mathematical models assessing economic efficiency of constructional measures need further development. The fo-

cus is on setting and implementation of the problem whose limiting condition provides equality between expenditures for reinforcing damaged structures and damage prevention costs.

**Keywords:** *reliability, probability of failure, building structures, seismic resistance, mathematical model, optimization, objective function*

Решение проблемы обеспечения требуемой степени надежности при проектировании конструктивных элементов здания носит двоякий характер. С одной стороны, возникает необходимость принятия технических решений по дополнительному усилению конструкций его каркаса. С другой стороны, руководствуясь принципом максимальной экономичности, задача сводится к минимизации средних затрат, выраженных в виде суммы денежных средств на возведение конструкций и средних потерь по всем годам, соотнося их со сроками введения объекта в эксплуатацию.

Если все ущербы, полученные вследствие отказов, рассматривать в стоимостном выражении [1], то задача оптимизации расчетных параметров конструкций сводится к поиску минимума целевой функции

$$C = C_0 + \sum_{i=1}^m U_i P_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $C$  – суммарные ожидаемые расходы на возведение сооружения и возмещение ущерба от возможных повреждений и разрушений;  $C_0$  – величина единовременных затрат на возведение конструкции;  $m$  – число различных видов отказов;  $U_i$  – ущерб, вызванный  $i$ -ым отказом;  $P_i$  – вероятность отдельного  $i$ -ого отказа.

Решение данной задачи оптимального проектирования может быть ориентировано на реализацию метода предельных состояний, направленного на поиск минимума экономических затрат при обеспечении достаточных резервов прочности несущих конструкций. В этом случае постановку задачи (1) можно рассмотреть и несколько в ином виде. Обозначим область допустимых значений вектора конструктивных параметров здания  $\vec{a}$ , характеризующего форму и размеры элементов, тип и структуру соединений, через  $A$ . Тогда, приняв в качестве целевой функции стоимость конструкции  $C(\vec{a})$ , задача нахождения вектора, определяющего ее технические параметры, формулируется как:

$$\begin{cases} C(\vec{a}) \rightarrow \min_{\vec{a}} \\ P(\vec{a}) \geq P^* \\ \vec{a} \in A \end{cases}, \quad (2)$$

где  $P^*$  – минимально допускаемое значение показателя надежности исходя из практики эксплуатации конкретного типа строительных объектов,  $P(\vec{a})$  – степень надежности элементов и соединений каркаса здания, формализованных в виде компонент вектора  $\vec{a}$ , по рассматриваемому показателю.

В последнее время получили развитие методы исследования, направленные на оптимизацию экономических затрат при обеспечении требуемой сейсмостойчивости объекта. С данных позиций величина сейсмического риска может быть представлена в виде произведения суммы потерь ценностей в результате разрушений на вероятность появления этих разрушений [2].

Для реализации указанных методов может быть использована одна из нескольких математических моделей. Так, к примеру, модель интенсивной фазы землетрясения позволяет оценить по заданным инженерно-экономическим параметрам среднее значение предотвращенных убытков за  $n$ -й год за счет антисейсмических мер:

$$G_{RN} = \sum_{I=I_{\min}}^{I_{\max}} L_I D_{IB}(n), \quad (3)$$

где  $L_I$  – среднегодовое число землетрясений, вызванных силой возмущения интенсивностью  $I$ ;  $D_{IB}(n)$  – предотвращенный ущерб при землетрясении интенсивностью  $I$  баллов для объектов с расчетной сейсмичностью  $B$ ;  $I_{\min}$ ,  $I_{\max}$  – минимальная и максимальная интенсивность землетрясения в баллах.

Рассчитывая предотвращенные за  $N$  лет убытки при усилениях конструкций объекта и чистую экономию строительства, оптимизируются затраты на антисейсмические мероприятия посредством поиска минимума целевой функции.

Другая модель основана на сравнении двух величин: максимальных затрат, на которые способно и готово общество для сохранения человеческой жизни и фактически граничной (маргинальной) стоимости сохраненной жизни. Маргинальная стоимость  $\mu(c)$  при этом представляется в виде отношения приращения  $\Delta R$  общих затрат, связанных с сейсмической опасностью к приращению  $\Delta L$  количества сохраненных жизней людей:

$$\mu(c) = \frac{\Delta R}{\Delta L}. \quad (4)$$

Данную модель целесообразно использовать для выравнивания риска в различных регионах, для чего величина  $\mu(c)$  фиксируется на определенном уровне. Условие равенства маргинальной стоимости для всех регионов является условием минимума человеческих жертв.

Однако при исследовании надежности промышленных зданий с учетом возможных землетрясений на территориях застройки автором статьи отдано предпочтение реализации модели, построенной на принципе «сбалансированного риска» [3]. Она объединяет в единый комплекс сейсмологические, экономические, технические и социологические показатели, влияющие на принятие оптимального решения по объемам экономических затрат, исходя из величины неизбежного риска, которому подвергаются конструкции объекта. На основе статистического анализа последствий землетрясений данная математическая модель позволяет оценить ожидаемый ущерб в сопоставлении с первоначальными затратами на сейсмозащиту.

При вероятностной постановке для сейсмостойких зданий принят критерий оптимальности экономических затрат, связанных с возведением объекта и возможными его повреждениями в течение нормативного срока эксплуатации при изменении жесткостных свойств материалов:

$$C = C_0 + P_{RS} C_B \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $C_0$  – стоимость возведения здания;  $P_{RS}$  – вероятность повреждения здания;  $C_B$  – затраты, связанные с этими повреждениями.

Оценка степени риска проведена с учетом срока службы здания, категории его сейсмостойкости, а также расходов на устранение повреждений, которые могут возникнуть в элементах здания при сейсмических воздействиях.

Таким образом, экономический анализ в сейсмостойком строительстве требует количественной оценки трех существенных факторов:

- дополнительных капиталовложений на сейсмостойкие сооружения,
- величины прямых и косвенных финансовых потерь от полученных повреждений конструкций при возможных землетрясениях,
- риска потери жизни людей в денежном эквиваленте.

Для повышения надежности автором статьи предлагается внедрение в практику строительства и реконструкции объектов производственного назначения целого ряда конструктивных мер. Они призваны усилить сейсмостойкость и улучшить эксплуатационные качества здания и кранового оборудования. В качестве таковых конструктивных мер предлагается [4]:

- установка поперечных торцовых диафрагм жесткости;
- увеличение жесткости надкрановой части колонны;
- устройство в температурном шве связующих стержней, располагаемых в уровнях покрытия и подкрановых балок.

Их реализация позволяет добиться значительного снижения деформаций каркаса объекта в горизонтальном поперечном направлении. При введении указанной системы конструктивных мер прогнозируется:

- 1) уменьшение смещений в уровнях тормозных балок и покрытия;
- 2) снижение изгибающих моментов в подкрановой части колонн;
- 3) расширение диапазонов времени между обследованиями в случае отсутствия в данном периоде сейсмической активности;
- 4) увеличение срока достижения объектом предельно допустимого состояния;
- 5) значительное повышение сейсмостойчивости несущих конструкций каркаса при неизменной расчетной величине сейсмической нагрузки.

Проведенный анализ методов оптимизации экономических затрат при обеспечении требуемой сейсмостойчивости объекта позволяет сделать вывод об отсутствии в настоящее время единой методики. Постановка задачи оптимального проектирования в рамках настоящего исследования

сведена к поиску условий, обеспечивающих равенство расходов на усиление поврежденных конструкций и расходов для предотвращения этих повреждений.

Фактическая сейсмостойкость зданий и сооружений определяется их ресурсом безопасности, связанным с наличием определенного числа неликвидированных в процессе строительства критических дефектов, снижающих прочность, устойчивость и долговечность конструкций. При землетрясении степень повреждений и обрушений здания находится в прямой зависимости от потенциала заложенных в него критических дефектов [5–7]. Опыт сильных землетрясений последних лет показывает, что минимальные повреждения получают те здания, в которых количество таких дефектов невелико. Поэтому для зданий, возводимых в сейсмически опасных районах, первостепенное значение имеет организация контроля качества проектной продукции, материалов и конструкций, строительных и монтажных работ.

Если высокая надежность системы может быть обеспечена чисто техническими мероприятиями, не приводящими к высоким затратам, то управляющий критерий освобождается от ограничений на стоимость

$$P(\bar{a}|\bar{a} \in A) \rightarrow \max . \quad (6)$$

Таким образом, в соответствии с изложенной методикой оптимальные значения показателей надежности устанавливаются на основании:

- анализа работы конструкций до и после их усиления;
- последствий от реальных и моделируемых землетрясений;
- эффективности использования материальных ресурсов для наилучшего удовлетворения экономических потребностей и требований безопасности.

#### Список литературы

1. Складнев Н. Н. Оптимальное проектирование конструкций и экономия материальных ресурсов // Строительная механика и расчет сооружений. 1982. № 6. (Приложение к журналу). С. 17–22.
2. Болотин В. В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. М. : Стройиздат, 1982. 350 с.
3. Айзенберг Я. М., Нейман А. И. Экономическая оценка оптимальности сейсмостойких конструкций и принцип сбалансированного риска // Строительная механика и расчет сооружений. 1973. № 4. С. 24–32.
4. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Прогнозируемый эффект от принятия конструктивных решений по обеспечению надежности промышленного объекта // Вестник МГСУ. 2015. № 11. С. 68–79.
5. Zolina T. V., Sadchikov P. N. Revisiting the Reliability Assessment of frame constructions of Industrial Building. Applied Mechanics and Materials. 2015. Vols. 752–753. P. 1218–1223.
6. Zolina T. V., Sadchikov P. N. Vector field modeling of seismic soil movement in building footing. Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering Proceedings of the international Conference on Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering,

Incheon, South Korea, May 29–31, 2015 / Edited by Mosbeh Kaloop. CRC Press, 2016. P. 115–118.

7. Zolina T. V., Sadchikov P. N. Evaluation of software realization algorithms of industrial building operation life. Advances in Energy, Environment and Materials Science Proceedings of the International Conference on Energy, Environment and Materials Science (EEMS 2015), Guangzhou, P. R. China, August 25–26, 2015 / Edited by Yeping Wang and Jianhua Zhao. CRC Press, 2016. P. 777–780.

УДК 007.52-047.58(063)

## МОДЕЛЬ ДВУЗВЕННОГО ПЛОСКОГО МАНИПУЛЯТОРА

*Ю. А. Лежнина*

*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (Россия)*

В данной работе рассмотрена задача получения математической модели динамического многосвязного объекта. Наиболее ярким примером многосвязных систем, в которых влияние взаимосвязей достаточно сильно, являются манипуляторы промышленных роботов. Отметим, что математическое описание динамики манипуляторов сильно нелинейно, и для многих алгоритмов не допускается его использования без линеаризации. Полученная модель позволяет исследовать различные алгоритмы управления.

*Ключевые слова:* многосвязный объект, математическая модель, манипулятор, приводы.

In this paper we consider the problem of obtaining a mathematical model of dynamic multivariable object. The most striking example of multiply connected systems, in which the effect of the relationship is strong enough, are the manipulators of industrial robots. It should be noted that the mathematical description of the dynamics of manipulators strongly nonlinear, and many algorithms are not allowed to use it without linearization. The resulting model allows us to explore different control algorithms.

*Keywords:* multiply the object, a mathematical model, the manipulator, drives.

В настоящее время происходит один из самых интенсивных процессов развития средств и методов построения автоматизированных систем управления технологическими процессами и производствами. Пересматриваются практически все аспекты таких систем управления: структура и состав технических средств, распределение функций между различными техническими средствами, алгоритмы реализации отдельных функций, роль математических моделей в процессе управления, формы и содержание взаимодействия людей и техники. Наличие большого числа связанных между собой подсистем, которые влияют друг на друга, усложняет традиционные проблемы управления, и на передний план выдвигается требование децентрализации. Использование децентрализованных алгоритмов отвечает самой природе больших взаимосвязанных систем, так как она предполагает распределенность компонент системы в пространстве, а децентрализованная структура управления позволяет получить более качественные