

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РАСХОДОВ НА УСИЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ КАРКАСА ЗДАНИЯ**

*Д. И. Каширский, П. Н. Садчиков*

*Астраханский государственный  
архитектурно-строительный университет*

Оценка оптимального уровня надежности строительных конструкций на сегодняшний день в подавляющем большинстве проектных решений основана на применении метода вероятностной оптимизации, сформулированного А.Р. Ржаницыным [1]. В российской практике данная концепция получила развитие благодаря трудам Я. М. Айзенберга [2], А. П. Булычева [3], А. Я. Дривинга [4], С. В. Медведева [5], А. И. Неймана [6], А. П. Пшеничкина [7], В. Д. Райзера [8], Н. Н. Складнева [9].

Вероятностное описание процесса эксплуатации строительных конструкций сводится к определению изменений в значениях их расчетных параметров в течение всего предполагаемого срока службы. При этом требуемая степень надежности конструктивных элементов должна достигаться при экономически оправданном расходе материальных ресурсов.

Одним из показателей надежности является вероятность безотказной работы каркаса здания в течение заданного срока службы. Для отдельных его элементов имеется возможность возникновения разных вариантов отказа, для каждого из которых соответствует свой объем ущерба. Величина потерь по совокупности всех отказов может быть определена как в виде материально-денежного эквивалента, так и социального эффекта, обусловленного степенью опасности для жизни людей.

Классифицируя отказы по определенности значения величины потерь на четкие и нечеткие, первым из них в пространстве допустимых состояний конструкции поставим в соответствие область, имеющую четкую границу. Пересечение этой границы сопровождается полным значением величины потерь. Область, соответствующая нечеткому отказу в пространстве допустимых состояний конструкции, не имеет четкой границы, а потому переход сопровождается постепенно возрастающими потерями. В случае оценки надежности строительного объекта к четкому отказу следует отнести потерю несущей способности статически определимой конструкции, а к нечеткому – развитие пластических деформаций и накопление повреждений в изгибаемом элементе.

Таким образом, для удовлетворения требуемой степени надежности здания, с одной стороны возникает необходимость принятия конструктивных 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 [9], 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;  $C_0$  – ожидаемое значение величин 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 определяющих ее параметров 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 сейсмоустойчивости объекта. С данных позиций величина сейсмического риска может быть представлена в виде произведения суммы потерь ценностей в результате разрушений на вероятность появления этих разрушений [10].

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 [2]

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

где  $L_I$  – среднегодовое число землетрясений, вызванных возмущениями 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 авторами статьи отдано предпочтение реализации модели [11], построенной на принципе «сбалансированного риска» [6]. 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 авторами 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 [12]:

- 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 сейсмостойкости несущих конструкций каркаса при неизменной расчетной величине сейсмической нагрузки.

Добавочная стоимость на антисейсмические мероприятия при строительстве и реконструкции промышленного здания попадает в зависимость от шкалы соответствующих нагрузок [6] и составляет для сейсмичности в 7 баллов – 4 %, 8 баллов – 8 %, 9 баллов – 11 %.

Эти данные являются в значительной степени приближенными, так как практически на всех этапах расчета авторам приходилось вводить усреднения и допущения, связанные с конструктивными особенностями объектов.

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, и являющихся преимущественно следствием человеческих ошибок при проектиро-

вании, изготовлении и возведении конструкций. Эти дефекты не представляют прямой угрозы до тех пор, пока сохраняются нормальные условия эксплуатации. При землетрясении степень повреждений и обрушений здания находится в прямой зависимости от потенциала заложенных в него критических дефектов [13, 14]. Опыт сильных землетрясений последних лет показывает, что минимальные повреждения получают те здания, в которых количество критических 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 критерий оптимальной надежности освобождается от ограничений на стоимость, и оптимизация производится по принципу максимальной надежности

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

Оптимальные значения показателей надежности должны быть допустимыми и обоснованными исходя из экономических и социальных соображений. Их поиск представляет собой выбор наилучшего решения в пределах существующих возможностей общества.

Целесообразный уровень надежности конструкций должен устанавливаться 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. Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций. М. : Стройиздат, 1978. 240 с.
2. Айзенберг Я. М., Килимник Л. Ш. О критериях предельных состояний и диаграммах «восстанавливающая сила – перемещение» при расчетах на сейсмические воздействия // Сейсмостойкость зданий и инженерных сооружений. М. : Стройиздат, 1972. С. 46–60.
3. Булычев А. П. Вероятностно-экономический метод определения эквивалентных нагрузок на несущие элементы зданий // Строительная механика и расчет сооружений. 1982. № 1. С. 6–9.
4. Дривинг А. Я. Рекомендации по применению экономико-статистических методов при расчетах сооружений с чисто экономической ответственностью. М. : ЦНИИСК, 1972. 61 с.
5. Медведев С. В. К вопросу об экономической целесообразности антисейсмического усиления зданий // Вопросы инженерной сейсмологии. Изв. АН СССР. 1962. № 7.
6. 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.

7. Пшеничкин А. П. Гарагаш Б. А. Вероятностный расчет зданий массовой застройки на неоднородно деформируемых основаниях // Надежность и долговечность строительных конструкций. Волгоград, 1974. 182 с.
8. Райзер В. Д. Теория надежности в строительном проектировании : монография. М. : АСВ, 1998. 304 с.
9. Складнев Н. Н. Оптимальное проектирование конструкций и экономия материальных ресурсов // Строительная механика и расчет сооружений. 1982. № 6. (Приложение к журналу). С. 17–22.
10. Болотин В. В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. М. : Стройиздат, 1982. 350 с.
11. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Прогнозирование надежности здания при исследовании динамики его напряженно-деформированного состояния // Вестник МГСУ. 2015. № 10. С. 20–31.
12. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Прогнозируемый эффект от принятия конструктивных решений по обеспечению надежности промышленного объекта // Вестник МГСУ. 2015. № 11. С. 68–79.
13. 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.
14. 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.

АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ИНКЛЮЗИВНОЙ МОДЕЛИ,  
МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ФОРМИРОВАНИЯ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ КОМПЕТЕНЦИИ В ИНДИВИДУАЛЬНОЙ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ СТУДЕНТА

*В. С. Мкртчян<sup>1</sup>, И. И. Потапова<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Университет управления, информационных наук и технологий  
(г. Сидней, Австралия)*

*<sup>2</sup> Астраханский государственный  
архитектурно-строительный университет*

Главная проблема современной инклюзивной педагогики, которую Россия еще не достигла в своем правильном развитии, - это отсутствие развития теоретической и методологической базы интегрированного и инклюзивного образования. В связи с этим в настоящее время преподавание науки в России направлено на систематизацию и обобщение уже сложившейся методологии для включения позиций, выявления проблемных областей и предложения новых решений.

В современных условиях инклюзивное образование в России является перспективной формой образования для всех, поскольку процесс инклюзивного образования требует адекватной организации учебной деятельности, соответствующей образовательным потребностям каждого человека. Это значительно расширяет возможности социализации лиц с осо-