

МЕТОДЫ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ТЕОРИИ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ

На современном этапе научных исследований в области сейсмостойкого строительства на смену традиционным методам проектирования приходят новые, которые характеризуются целенаправленностью деятельности и активным участием проектировщика в принятии решений и оценке последствий его практической реализации в проектировании и строительстве здания или сооружения [5, 6].

§ 1. В качестве методологической основы целенаправленного проектирования сейсмостойких зданий и сооружений принят системно-структурный подход к анализу и синтезу систем [10], который широко применяется в теории планирования и управления, технической кибернетике, радиотехнике, теории электрических цепей и других областях науки и техники [9, 21, 24, 26]. Системно-структурный подход объединяет два аспекта исследований сложных систем—системный и структурный, т. е. акцентирует внимание на анализе свойств объекта как единого целого и выявлении многообразия его взаимосвязей и структуры [24]. Это позволяет при рассмотрении сейсмостойких зданий и сооружений логически объединить три этапа научных исследований и опытно-конструкторских разработок: а) анализ предельных состояний проектируемых объектов; б) синтез конструктивных решений на основе оптимальных распределений параметров прочности, деформативности и энергоемкости и в) методы проектирования зданий с заданными параметрами предельных состояний, которые, по существу, и являются конкретно-предметной реализацией методов целенаправленного проектирования систем. На рис. 1 изображена принципиальная схема рассматриваемого подхода, на которой выделены три указанных этапа (блока), а также показаны (стрелками) взаимосвязи этих бло-

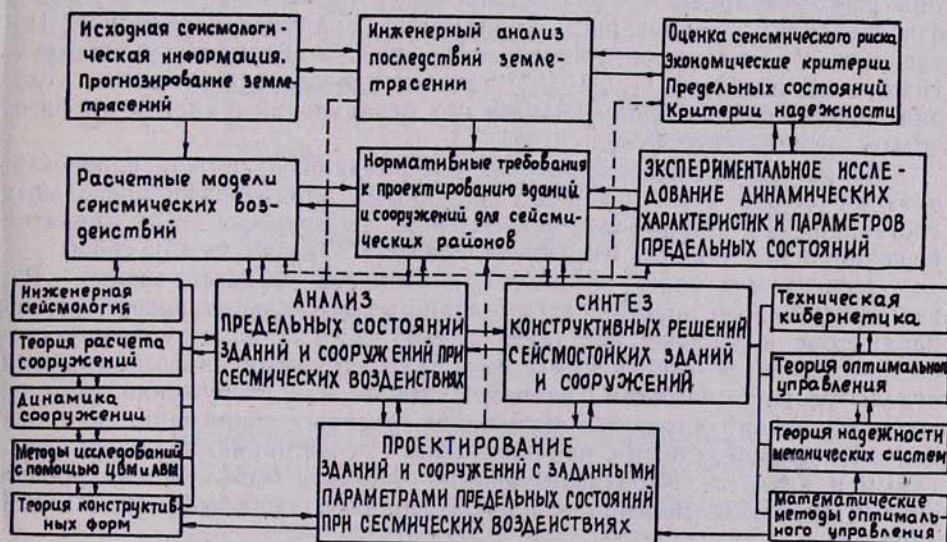


Рис. 1. Принципиальная схема, системно-структурного подхода к анализу предельных состояний и синтезу конструктивных решений сейсмостойких зданий и сооружений

ков со смежными дисциплинами и другими проблемами теории сейсмостойкости. Следует подчеркнуть что все три этапа, хотя и предусматривают определенную последовательность работ, как правило, должны выполняться параллельно, с корректировкой исходных данных и расчетных моделей по мере накопления опыта и результатов исследований.

В рамках общей теории систем расчетные (физические и математические) модели сооружений рассматриваются как многоуровневые иерархии моделей, что позволяет эффективно решать как вопросы анализа предельных состояний, так и поэтапной оптимизации конструктивных решений.

Применение системно-структурного подхода к проектированию зданий и сооружений для сейсмических районов позволяет решить одну из актуальных задач теории сейсмостойкости—разработать практические методы расчета и конструирования сооружений с учетом, с одной стороны, исходной сейсмологической информации о параметрах интенсивности, спектрального состава, повторяемости и продолжительности сейсмических воздействий и, с другой стороны—данных о фактических резервах несущей, деформационной и энергетической способности сооружений в целом и их отдельных элементов, а также процессов неупругого, нестационарного и пространственного деформирования зданий и сооружений как динамических систем, оценки их физических и расчетных предельных состояний и надежности конструктивных решений при реальных сейсмических воздействиях [2, 5, 6, 8, 20, 27, 30, 31]. При этом выбор и обоснование расчетных моделей сейсмических воздействий неразрывно связаны с установлением критериев и параметров предельных состояний сооружений [5, 27].

Связь между экономическими критериями затрат на антисейсмические усиления зданий и сооружений и параметрами их предельных состояний необходимо определить на основании технико-экономических исследований и оценки результатов анализа последствий землетрясений [2], а также решения проблемы сейсмического (инженерного) риска. Они позволяют установить для разных классов и типов сооружений регламентируемые (ограничиваемые) величины абсолютных и относительных перемещений, деформаций и других параметров. Последующие расчеты, в том числе задача поиска оптимальных конструктивных систем [3, 4, 11, 29, 30], должны проводиться исходя из условия непревышения наложенных на них ограничений с учетом их физической реализуемости.

На рис. 2—4 рассмотрены три блока-анализа, синтеза и проектирования зданий и сооружений с заданными параметрами предельных состояний. Они также иллюстрируют последовательные этапы принятия решений и взаимосвязь отдельных проблем и задач между собой.

Остановимся более подробно на вопросах проектирования. Результаты анализа предельных состояний и оптимальных распределений параметров позволяют поставить задачу синтеза конструктивных решений зданий и сооружений с наперед заданными свойствами, если отдельные конструктивные элементы здания или сооружения (ригели, колонны, связи) элементы заполнения, узловые сопряжения и т. п.) наделить определенными прочностными, деформационными, энергетическими и другими характеристиками. Можно выделить три уровня оптимизационных моделей в общей иерархии моделей [9, 23, 25] (рис. 5).

Приведенная последовательность моделей конкретизирована применительно к вопросам проектирования каркасных зданий достаточно регулярной структуры с рамной, рамно-связевой и пространственно-

связевой схемами, но может быть обобщена также для зданий с иными конструктивными решениями.

Задачи оптимизации первого уровня решаются на стадии предварительного подбора сечений или их корректировки. Размеры и компоновка ригелей, колонн, связей и т. п. могут назначаться с учетом оптимальных параметров, определяемых исходя из минимальных затрат на восприятие силовых воздействий, а также конструктивных, технологических и других ограничений.

Модели второго уровня включают в себя результаты оптимизации первого уровня и позволяют найти оптимальные соотношения параметров прочности, жесткости, деформативности или энергоемкости составляющих элементов. В качестве критериев оптимизации могут быть приняты условия обеспечения требуемой степени несущей способности, жесткости, а также в ряде случаев приспособляемости и надежности поэтажных (ярусных) конструкций. На этом этапе целесооб-

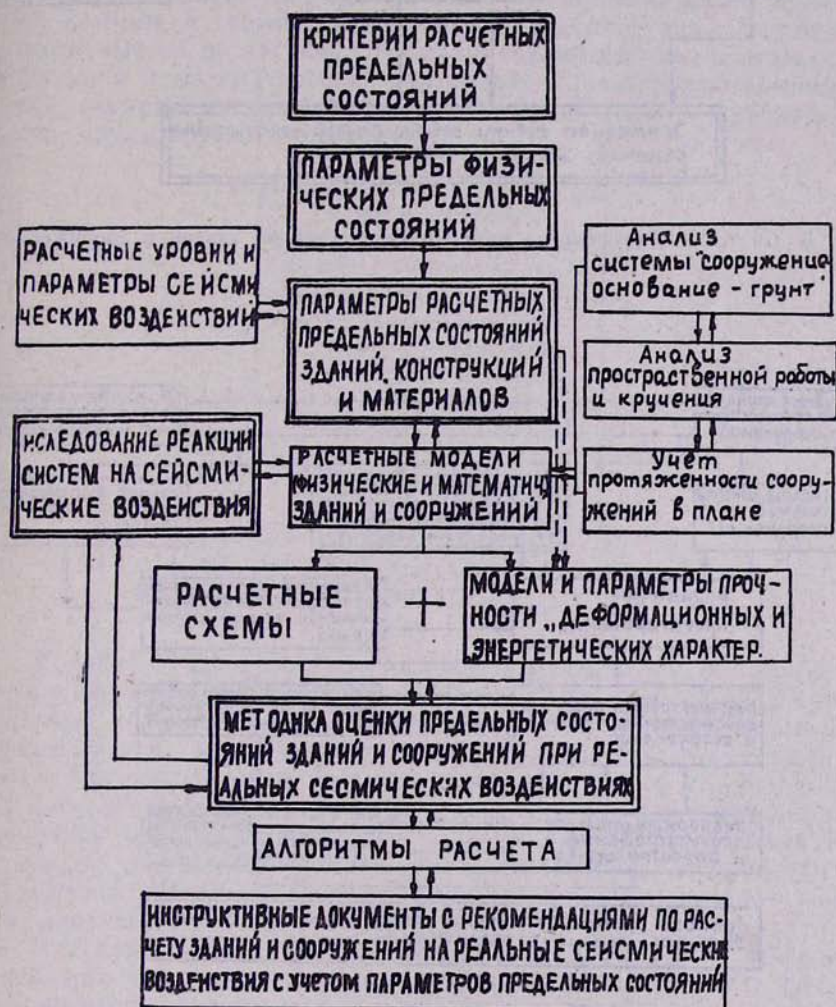


Рис. 2. Анализ предельных состояний зданий и сооружений при сейсмических воздействиях

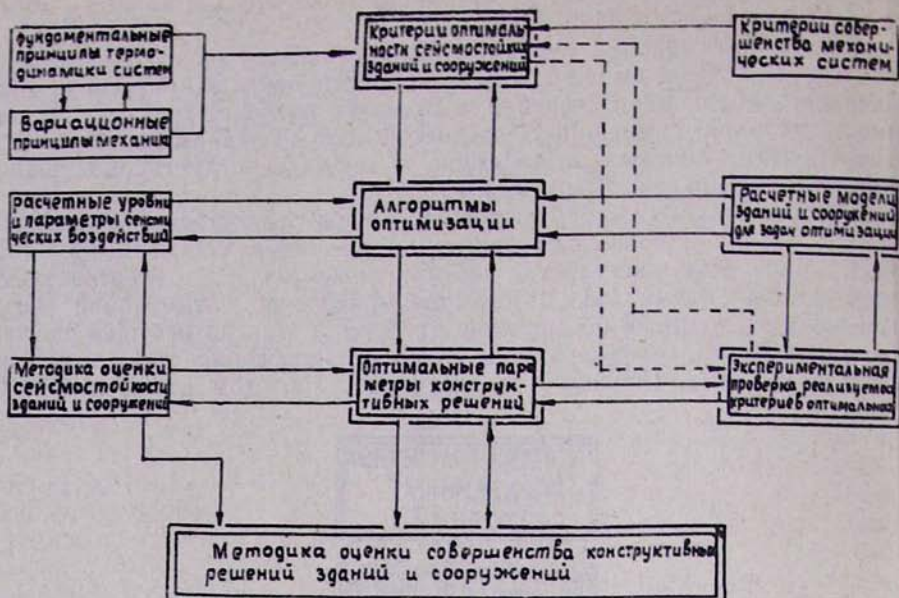


Рис. 3. Синтез конструктивных решений сейсмостойких зданий и сооружений

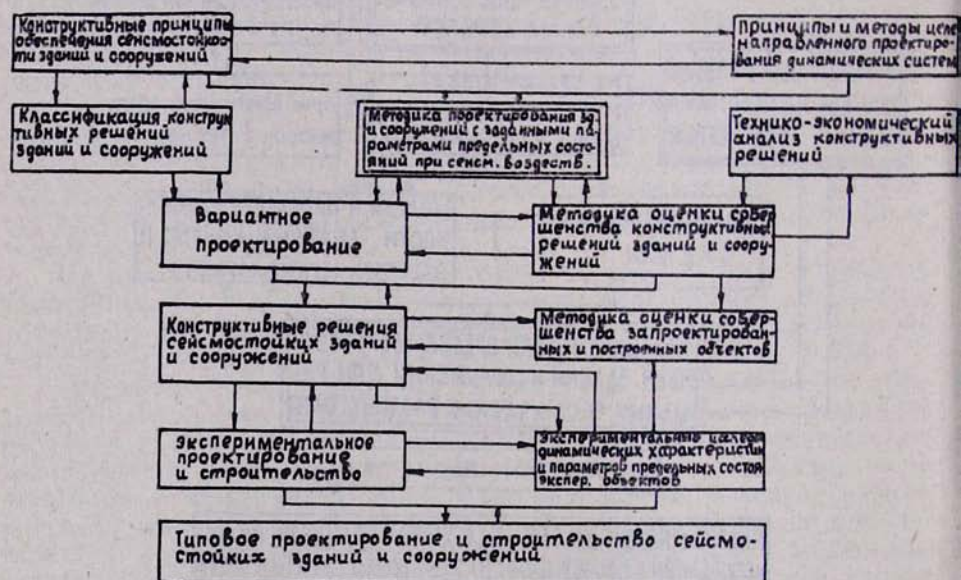


Рис. 4. Проектирование зданий и сооружений с заданными параметрами предельных состояний при сейсмических воздействиях

разно использование частных критериев совершенства (локальных удельных действий) [7, 13].

Наконец, задачи третьего уровня, обобщая результаты двух предыдущих этапов исследований, позволяют отыскать оптимальные распределения прочностных, деформационных, энергетических и других параметров предельных состояний сооружений, а также оптимальные (между собой и по отношению к преобладающей частоте сейсмических воздействий) соотношения парциальных частот отдельных поэтажных конструкций. В качестве критериев оптимальности рекомендуются [13] минимаксные оценки уровня энергетических затрат на восприятие сейсмических нагрузок, генерируемых сооружением при землетрясении. С точностью до параметра они характеризуют стоймостьные, весовые или приведенные затраты, которые чаще всего используются в строительной практике при оценке технико-экономической эффективности зданий и сооружений.

Задачи третьего уровня сводятся к оптимизации цепей пересечений [17], которые в терминологии методов диакоптики (исследования сложных систем по частям) отражают взаимодействие поэтажных конструкций и в математической постановке характеризуются системами дифференциальных (или интегро-дифференциальных) уравнений движения анализируемых моделей.

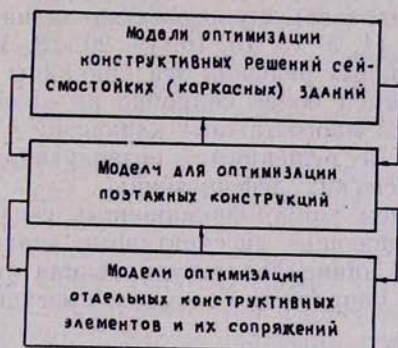


Рис. 5. Последовательность оптимизационных моделей

В работе [13] приведены некоторые результаты исследований по оптимальному проектированию многоэтажных каркасных зданий при реальных сейсмических воздействиях. Решены, в частности, вариационная задача в постановке Больца и задача экстремального управления с использованием минимаксного подхода К. А. Лурье [18]. В первом, случае получены оптимальные распределения параметров максимальной несущей способности. Для различных распределений масс по высоте сооружения установлены инвариантные (по отношению к параметрам внешнего воздействия) оптимальные значения параметров прочности.

Как отмечалось И. М. Рабиновичем [22], поиск инвариантных соотношений для некоторых конструктивных схем позволяет при решении оптимизационных задач избежать интегрирования многомерных систем нелинейных дифференциальных уравнений или уравнений с переменными во времени коэффициентами и получить результаты, полезные для практических расчетов. Необходимой составной частью подобных исследований является оценка чувствительности параметров

выхода систем к возмущениям внешних воздействий и параметров характеризующих их внутреннюю структуру (см., например, [25, 32]).

В работе [13] рассмотрена задача экстремального управления процессом упруго-пластического деформирования многомассовой системы при сейсмических воздействиях. Получены рекуррентные интегральные соотношения между параметрами предельных восстанавливающих сил для отдельных уровней (этажей) при произвольных распределениях масс по высоте сооружений. Для упругих систем указанные соотношения преобразуются к отношениям жесткостных характеристик или соотношениям между парциальными частотами поэтажных конструкций, а также преобладающей частотой (преобладающими частотами) внешнего воздействия.

Заключительный этап системно-структурного подхода (рис. 4) предполагает конструктивное воплощение полученных результатов при разработке проектных решений зданий и сооружений для сейсмических районов, а также оценку совершенства конструктивных решений [11] и областей их рационального применения [14] в районах различной сейсмичности (для зданий и сооружений с разной степенью расчетной сейсмичности).

§ 2. В [11] приведены результаты систематизации новых конструктивных принципов целенаправленного проектирования, которые уже нашли применение в практике проектирования и экспериментального (а в ряде случаев типового) строительства зданий и сооружений в сейсмических районах [1, 5, 10, 15, 16, 19, 20, 28, 30, 31]. В большинстве новых конструктивных решений эти принципы используются комплексно. Остановимся более подробно на принципах целенаправленного проектирования многоэтажных каркасов:

- а) конструктивными решениями, позволяющими локализовать зоны развития пластических деформаций;
- б) с использованием упруго-фрикционных соединений на высокопрочных болтах, повышающих диссипативные характеристики зданий;
- в) с применением принципов регулирования усилий и, в частности, предварительного напряжения элементов несущих и ограждающих конструкций.

Указанные принципы, как и модели оптимизационных задач, могут быть использованы в рамках многоуровневой иерархии методов целенаправленного проектирования зданий и сооружений с заданными параметрами предельных состояний при сейсмических воздействиях (рис. 6).

§ 3. Наиболее полно из трех рассмотренных принципов разработаны вопросы локализации зон пластического деформирования [11, 15, 16, 28]. В [15] указанная цель достигается утонением полок в заданных зонах ригелей, т. е. устройством с помощью фрез участков уменьшенной толщины, или устройством вставок полок, теряющих устойчивость при определенном уровне сейсмических нагрузок и легко заменяемых. Необходимым условием использования принципа локализации пластических деформаций является соблюдение мероприятий, снижающих уровень концентрации напряжений. Указанный конструктивный принцип удачно сочетается с решением узловых сопряжений каркасных зданий пространственного типа. Результаты проведенных расчетных и экспериментальных исследований показали, что при этом удастся избежать монтажной сварки отпавочных элементов вблизи зон максимальных изгибающих моментов, отказаться от материалоемкого и трудоемкого устройства рамных узлов на накладках (фасонках) и тем самым повысить индустриальность и технико-экономические показатели каркасных сооружений. В случае необходимости (в

в рамно-связевых системах) эти приемы позволяют решить узловые сопряжения не жесткими, а упруго-податливыми, с требуемой степенью жесткости соединения элементов.

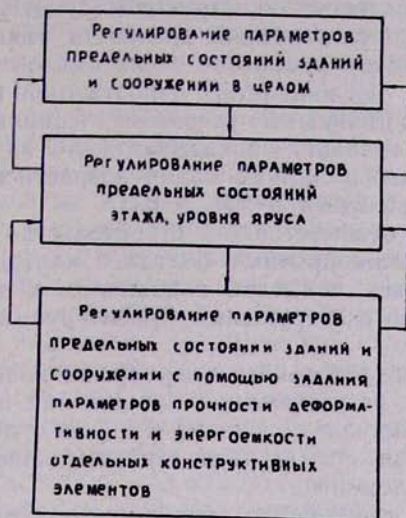


Рис. 6. Схема целенаправленного проектирования зданий с заданными параметрами предельных состояний

§ 4. В статье [12] рассмотрены конструктивные и расчетные особенности проектирования зданий и сооружений с упруго-фрикционными соединениями на высокопрочных болтах. Изменение динамической схемы сооружения достигается с помощью упруго-фрикционного стыка, который до определенного уровня усилий (изгибающего момента) работает как жесткое соединение. При превышении этого уровня происходит контролируемый сдвиг в болтовом стыке накладок, причем допустимая (регламентируемая) величина сдвига определяется размером отверстий для постановки болтов.

Помимо надежной работы упруго-фрикционные соединения на высокопрочных болтах обладают рядом несомненных преимуществ с точки зрения обеспечения сейсмостойкости сооружений (практическим отсутствием петель гистерезиса в материале, повышенной способностью к поглощению энергии за счет сил трения и возможностью нетрудоемкого восстановления соединений после подвижки при интенсивных землетрясениях). С их помощью удачно могут быть использованы различные конструктивные предложения об устройстве узловых сопряжений пространственного типа с переносом монтажных стыков из зоны узлов, о создании комбинированных систем со стальными колоннами и железобетонными ригелями-вставками и т. п. Наконец, упруго-фрикционные соединения можно применять в связях каркасных зданий, несущих конструкциях бункеров, эстакад и т. п. Как показали последние исследования*, высокопрочные болты можно использовать не только

* См. Б. М. Вейнблат, Н. Н. Стрелецкий и др. Повышение эффективности высокопрочных болтов. «Транспортное строительство», 1973, № 9. В. М. Горпинченко, И. И. Вишневецкий и др. Исследование выносливости соединений с несущими высокопрочными болтами. «Промышленное строительство», 1976, № 10.

как элементы фрикционных соединений, но и с «несущими» болтами, работающими в предельном состоянии на сдвиг. При этом несущая способность соединения превышает усилия, вызывающие сдвиг, в 2,5—3 раза. Экспериментальными исследованиями в Отделении прочности и новых форм металлических конструкций ЦНИИСК им. Кучеренко подтверждена высокая усталостная прочность таких соединений на несущих болтах в широком диапазоне числа циклов нагружений.

Оценка энергии, поглощаемой одноэтажной (ярусной) рамой с четырьмя упруго-фрикционными узловыми сопряжениями за один симметричный цикл колебаний, показывает, что за счет сил трения эквивалентное затухание в системе может возрасти в 5—30 раз, а сейсмические нагрузки снизиться в 2,5—5 раз.

Использование в сейсмостойком строительстве упруго-фрикционных соединений на высокопрочных болтах с контролируемой величиной подвижки позволяет повысить надежность и технико-экономические показатели зданий и сооружений, проектируемых для сейсмоопасных районов.

§ 5. Методы предварительного напряжения конструкций как один из способов активного регулирования напряжений и усилий в последние годы получили широкое признание и с успехом используются при проектировании и строительстве разнообразных конструкций и отдельных конструктивных элементов*.

Предварительное напряжение может быть эффективно использовано для повышения надежности сейсмостойких зданий и сооружений и регулирования параметров их предельных состояний. Вопросам исследований разнообразных предварительно напряженных конструкций, представляющий интерес для сейсмостойкого строительства, посвящены работы Е. И. Беленя, Г. С. Веденикова, М. И. Колякова и М. И. Медведева, М. Г. Корф, Н. П. Мельникова, Г. Д. Попова, С. В. Полякова и В. С. Рудого, Р. Ройка, В. И. Трофимова и др. В настоящее время уже используется предварительное напряжение кирпичной кладки и объемных блоков вертикальными элементами, что позволяет повысить жесткость и параметры затухания сооружений. Интересное решение многоэтажных зданий с предварительными мембранными элементами разработано в ЧССР.

В Отделении сейсмостойкости сооружений ЦНИИСК им. Кучеренко проведен анализ эффективности применения предварительного напряжения при проектировании многоэтажных зданий со стальным каркасом в отдельных элементах и узловых сопряжениях, для отдельных этажей (ярусов) и для сооружений в целом [10].

В первом случае за счет применения прядей и пучков высокопрочной проволоки с тарированными упорами и анкерными устройствами, которые выключаются из работы (срезаются) при определенном уровне усилий удается повысить область упругой работы несущих конструкций. Увеличение жесткости стальных каркасов является в этом случае весьма целесообразным в связи с их пониженной способностью к поглощению энергии внешнего воздействия. Аналогичные приемы регулирования усилий с использованием предварительно напряженных элементов легко распространяются на конструкции отдельных или нескольких смежных этажей (ярусов, уровней). При этом с помощью тросов регулируются усилия в колоннах, что позволяет также добиться снижения эффекта кручения зданий в плане. После среза упоров при землетрясении ремонт (постановка новых упоров или

* См. Труды III Международной конференции по предварительно напряженным металлическим конструкциям. Л., 1971.

замена болтов) осуществляется весьма просто. Между тросами и материалом несущих конструкций можно установить прокладки с повышенными диссипативными свойствами. Внешнее обрамление тросов легко осуществить с помощью съемных алюминиевых или легкобетонных витражей (полос, нащельников, декоративных элементов и т. п.). Возможны также другие конструктивные приемы предварительного напряжения стальных каркасов, в том числе для зданий повышенной этажности.

§ 6. Особенность методов целенаправленного проектирования зданий и сооружений с заданными параметрами предельных состояний является формулировка и оценка критериев надежности работы конструкций. Общепринятые методы расчета конструкций по предельным состояниям исходят из необходимости обеспечить сохранность сооружений, их безотказную работу (способность к дальнейшей эксплуатации вообще или нормальной эксплуатации). При расчете на сейсмические воздействия целесообразно при заданном уровне внешних нагрузок обеспечить изменение динамической связности системы в требуемом направлении. Это изменение является необходимым условием для сохранения безотказной работы сооружений в целом и позволяет предотвратить серьезные повреждения или разрушения конструкций.

Для конструкций зданий и сооружений, проектируемых по методике предельных состояний для строительства в сейсмических районах, функция надежности $p(t)$ как вероятность пребывания элемента $v(t)$ в допустимой области Ω пространства качества V на отрезке времени $[0, t]^*$

$$p(t) = p\{v(\tau) \in \Omega; \tau \in [0, t]\}. \quad (1)$$

При оценке параметрической надежности функция надежности

$$p_0 = 1 - p\{(v - v_{зд}) \geq 0; v \in \Omega; v_{зд} \in \Omega\}, \quad (2)$$

где $v_{зд} = \sup_{\Omega}$ значение параметров v на границе области Ω .

При проектировании зданий и сооружений с заданными параметрами предельных состояний $v_{зд}$ при интенсивных сейсмических воздействиях надежность дальнейшего функционирования систем определяется вероятностью требуемой степени потери динамической связности и, следовательно, изменения расчетной схемы сооружения. Переходя к параметрам сооружения v , изменения которых характеризует указанное физическое и расчетное состояние системы, получим вероятность выхода параметров v за границу области Ω

$$Q_{изм} = p\{(v - v_{зд}^*) > 0; v \in \Omega \in \Omega_k\}. \quad (3)$$

Вероятность $Q_{изм}$ должна быть больше заданного значения Q_0 . Здесь Ω_k — граница области конечных состояний v_k системы, причем множество $v_{зд}^*$ является подмножеством v_k .

В случае оценки надежности системы в конечном состоянии (с измененными динамическими характеристиками) функция надежности

$$p_0^k = 1 - p\{(v - v_k) \geq 0 \cap (v - v_{зд}^*) > 0\}. \quad (4)$$

Таким образом, принцип проектирования зданий и сооружений с заданными параметрами предельных состояний заключается в обеспечении выхода параметров системы за границу области Ω и не превы-

* См. В. В. Болотин. К статистической интерпретации норм расчета строительных конструкций. «Строительная механика и расчет сооружений», № 1, 1977.

шая границ области Ω_k . Величины Q_0 до получения более обоснованных данных (о последствиях наступления отказов при интенсивных сейсмических воздействиях) рекомендуется принимать равными 0,9—0,95, которые в обычных условиях соответствуют коэффициентам конечной надежности малоответственных ограждающих элементов статически неопределимых конструкций.

Нормативные коэффициенты надежности p_0^k следует принимать достаточно высокими $p_0^k = 0,99—0,999$ как для ответственных конструкций.

Требование сравнительно низкой обеспеченности выхода системы за пределы области Ω обусловлено тем, что при $v < v_{зд}^*$ конструкция находится, как правило, в пределах упругой стадии работы и ее состояние характеризуется пригодностью к дальнейшей эксплуатации, что соответствует другому предельному состоянию зданий и сооружений по сейсмостойкости.

Таким образом, краткий анализ методов целенаправленного проектирования свидетельствует о необходимости комплексного подхода к задачам анализа, синтеза и проектирования зданий и сооружений для сейсмических районов.

Внедрение этих методов в практику сейсмостойкого строительства позволит повысить качество проектирования и возведения объектов строительства, их технико-экономические показатели и надежность при восприятии интенсивных сейсмических воздействий, что будет способствовать решению одного из основных направлений обеспечения научно-технического прогресса при строительстве зданий и сооружений в сейсмических районах.

ЦНИИСК им. Кучеренко
Госстроя СССР

ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенберг Я. М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. Стройиздат, М., 1976.
2. Айзенберг Я. М., Климиник Л. Ш. О критериях оптимального проектирования и параметрах предельных состояний при расчетах на сейсмические воздействия. «Строительная механика и расчет сооружений», 1970, № 6.
3. Виноградов А. И. Проблема оптимального проектирования в строительной механике. «Вища школа», Харьков, 1973.
4. Геммерлинг А. В. Расчет стержневых систем. Стройиздат, М., 1974.
5. Гольденблат И. И., Николаенко Н. А., Поляков С. В. Современные проблемы науки о сейсмостойком строительстве. В сб.: «Совершенствование методов расчета и конструирования зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах». М., 1976.
6. Гольденблат И. И., Поляков С. В., Айзенберг Я. М. Теория сейсмостойкости—наука и инженерное дело. «Строительная механика и расчет сооружений», 1973, № 2.
7. Горский Б. Е. Динамическое совершенствование механических систем. Киев, 1973.
8. Дарбинян С. С., Назаров А. Г. К расчету сооружений на сейсмические воздействия. «Бюллетень по инженерной сейсмологии», № 6, Изд. АН АрмССР, 1970.
9. Дирентор С., Рораер Р. Введение в теорию систем. М., «Мир», 1974.
10. Климиник Л. Ш. Системно-структурный подход к разработке новых конструктивных решений сейсмостойких каркасных зданий. Реферативный сборник «Сейсмостойкое строительство», вып. 4, ЦНИИС, М., 1974.

11. Килимник Л. Ш. О проектировании сейсмостойких зданий и сооружений с заданными параметрами предельных состояний. «Строительная механика и расчет сооружений», № 2, 1975.
12. Килимник Л. Ш. Вопросы проектирования каркасных зданий для сейсмических районов с упруго-фрикционными соединениями на высокопрочных болтах. Реферативная информация «Сейсмостойкое строительство», серия XIV, вып. 5, ЦИНИС, М., 1977.
13. Килимник Л. Ш. Методы оптимального проектирования в теории сейсмостойкости сооружений. «Строительная механика и расчет сооружений», 1977, (находится в печати).
14. Килимник Л. Ш. Вопросы совершенствования и оценки конструктивных решений сейсмостойких зданий на основе оптимальных распределений параметров. В сб. ЦНИИСК им. Кучеренко: «Совершенствование методов расчета и конструирования зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах. Материалы конференции», М., 1976.
15. Килимник Л. Ш., Кулыгин Ю. С. Об учете параметров нелинейной работы и диссипативных характеристик стальных и железобетонных каркасных зданий при сейсмических воздействиях. Тезисы докладов второй республиканской конференции «Проектирование и строительство сейсмостойких зданий в Молдавской ССР». Кишинев, 1972.
16. Корчинский И. Л., Бородин Л. А., Дузинкевич М. С. Расчет металлических каркасов на сейсмические воздействия с учетом образования пластических шарниров. «Промышленное строительство», 1974, № 2.
17. Крон Г. Исследование сложных систем по частям—диакоптика. М., «Наука», 1973.
18. Лурье К. А. Об одном классе минимаксных задач с дифференциальными связями. ПММ, т. 31, вып. 2, 1967.
19. Мельников Н. П., Брауде З. И. Опыт проектирования стальных каркасов высоких зданий. «Конструкции высотных зданий (из опыта проектирования и возведения)», Госстройиздат, 1952.
20. Поляков С. В. Сейсмостойкие конструкции зданий. М., «Высшая школа», 1969.
21. Поспелов Г. С., Ириков В. А. Программно-целевое планирование и управление, М., «Советское радио», 1976.
22. Рабинович И. М. Инварианты статически неопределимых систем и некоторые их применения. Сб.: «Исследования по теории сооружений», М., Госстройиздат, 1963.
23. Растрини Л. А. Системы экстремального управления. М., «Наука», 1974.
24. Садовский В. Н. Основания общей теории систем. М., «Наука», 1974.
25. Томович Р., Вукобратович М. Общая теория чувствительности. М., «Советское радио», 1972.
26. Тюттин В. С. Отражение, системы, кибернетика, М., «Наука», 1972.
27. Bertero V. V., Herrera R. A., Mahin S. A. Establishment of design earthquakes motions—evaluation of present methods.—Proc. of the Int. Symposium on Structural Engineering, University of St. Louis, Missouri—Rolla, Aug. 1976.
28. Desque R. O. Directional moment connections—a proposed design method for unbraced steel frames.—«Engineering Journal», 1975, vol. 12, № 1.
29. Cheng F. J., Botkin M. E. Nonlinear optimum design of dynamic damped frames.—Journal of Structural Division. Proc. of ASCE, vol. 102, ST3, March, 1976.
30. Kamil H., Bertero V. V. A methodology for efficient and reliable design of high-rise structures under dynamic loads.—Proc. of 5 ECEE Symposium Sept. 22—25, 1975, Istanbul—Turkey, vol. 2, paper 162.
31. Muto K. et al. Structural characteristics of current high-rise practice. Papers of the Annual Meeting, Arch. Inst. of Japan, Nov. 1971.
32. Ray B. Sensitivity analysis for hysteretic dynamic systems: application to earthquake engineering. Report NEERC 74—5, April 1974. California.