

6
A55

На правах рукописи

ГОССТРОЙ СССР

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ИМ. В. А. КУЧЕРЕНКО
(ЦНИИСК им. КУЧЕРЕНКО)

Инженер КОВАЛЬ Юрий Андреевич

КОЛЕБАНИЯ ПЛОСКИХ РАМ С ЗАПОЛНЕНИЕМ В СТАДИИ
ОБРАЗОВАНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ
ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Специальность 01.02.03 – Сопротивление материалов
и строительная механика

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 1973 г.

ГОССТРОЙ СССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ им. В. А. КУЧЕРЕНКО
(ЦНИИСК им. КУЧЕРЕНКО)

Инженер КОВАЛЬ Юрий Андреевич

КОЛЕБАНИЯ ПЛОСКИХ РАМ С ЗАПОЛНЕНИЕМ В СТАДИИ
ОБРАЗОВАНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ
ВОЗДЕЙСТВИЯХ

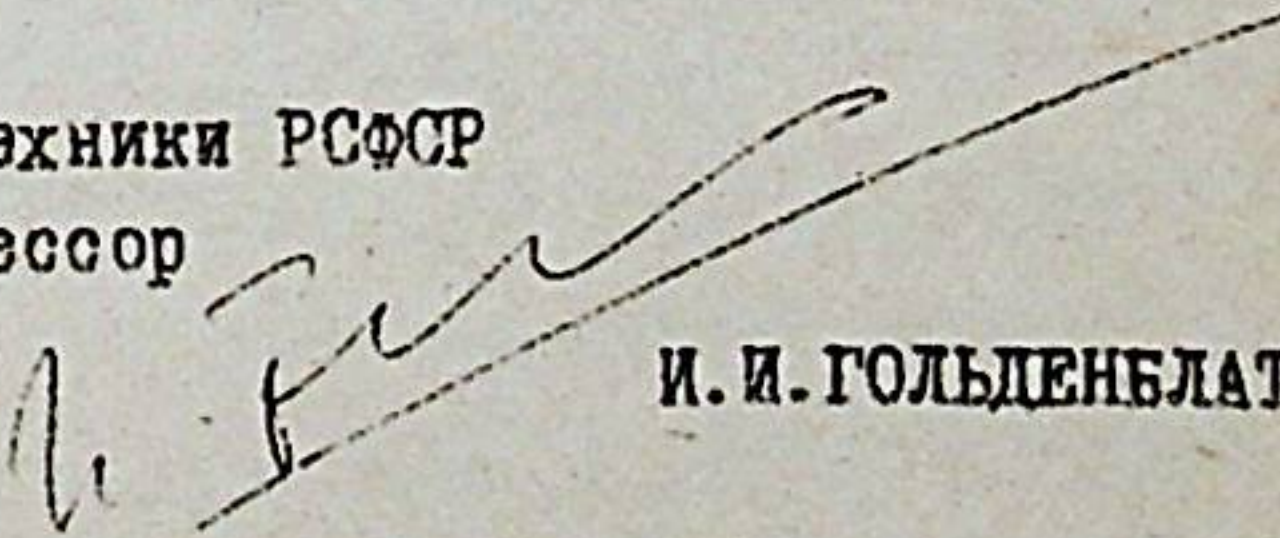
Специальность 01.02.03 - Сопротивление материалов
и строительная механика

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ

Заслуженный деятель науки и техники РСФСР
доктор технических наук, профессор


И. И. ГОЛЬДЕНБЛАТ

Москва - 1973 г.



620.1c
ASS
Работа выполнена в Ордена Трудового Красного Знамени Центральном научно-исследовательском институте строительных конструкций им. В. А. Кучеренко Госстроя СССР.

Научный руководитель: доктор техн. наук, профессор
ГОЛЬДЕНБЛАТ И. В.

Официальные оппоненты: д. т. н., проф. ИВАНИН В. Я.
к. т. н. КИССУЖ В. Н.

Ведущее предприятие: ЦНИИЭП жилища

Автореферат разослан " " _____ 1973 г.

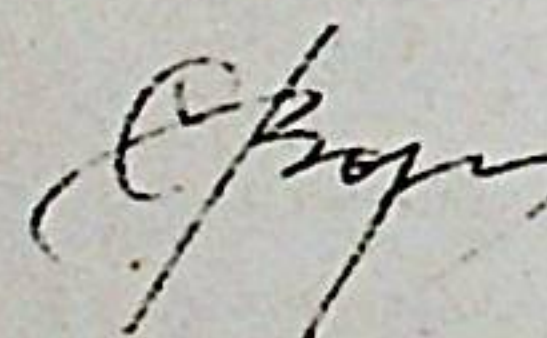
Защита диссертации состоится " " _____ 1973 г.

в _____ час. на заседании Ученого совета ЦНИИСК им. Кучеренко по адресу: Москва, В-389, 2-я институтская ул., 6.

Просьба отзывы присылать в двух экземплярах.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь совета
канд. техн. наук

 С. А. Воробьева.



Сейсмологические исследования последних лет свидетельствуют, что величины, характеризующие интенсивность сейсмического воздействия, превышают величины, учитываемые при проектировании.

Результатом этого является появление повреждений в наиболее нагруженных элементах сооружений, а его механические характеристики (жесткость, параметры диссипации) изменяются. Анализ последовательных сильных землетрясений, теоретические и экспериментальные исследования показывают, что это позволяет многим сооружениям избежать полного разрушения при сейсмических воздействиях.

Необходимость объективного отражения действительного поведения сооружений при динамических нагрузках большей интенсивности и условия обеспечения оптимальных конструктивных решений выдвигает задачу разработки методов расчета, основанных на активном направленном регулировании их параметров путем учета уже на стадии проектирования частных повреждений, а также за счет эффективных конструктивных мероприятий.

Целью настоящей работы является исследование некоторых конструктивных мероприятий, основанных на учете резервов их сопротивляемости при высоком уровне динамического воздействия в стадии обрезаемых повреждений с последующим выбором оптимальных вариантов.

Основной характеристикой сооружений массового строительства, представляемых, как правило, дискретной динамической расчетной моделью, является диаграмма зависимости между относительными смещениями смежных масс и восстанавливающими силами (реакциями системы). С диаграммами деформирования связаны определяемые в расчетах параметры колебаний — частоты и формы, смещения, скорости и ускорения, а также силовые факторы — изгибающие моменты, перерезывающие силы и продольные усилия в элементах несущих конструкций.

В таком случае задача выбора оптимального конструктивного решения при проектировании сооружений для сейсмических районов может быть заменена нахождением диаграмм деформирования, при которых для определенного вида внешнего воздействия удовлетворяются все наложенные на систему ограничения.

Однако практическая реализация конструкций, отвечающих найденным параметрам диаграмм деформирования, может потребовать организации сложных механических систем, превышающих по стоимости нормируемые затраты на антисейсмические мероприятия.

Поэтому для исследования принята конструкция, не требующая при изготовлении технологических отступлений от существующих решений — рама с жесткими узлами и заполнением, не примыкающим плотно к ее элементам, а имеющим расчетные зазоры. Такая система обладает малой начальной горизонтальной жесткостью, вследствие чего будет слабо реагировать (раскачиваться) от короткопериодных сильных колебаний основания, характерных для начальной фазы землетрясений. Если же амплитуды колебаний сооружения превышают величину зазора, дальнейшее развитие смещений ограничивается вступающим в работу заполнением.

Такие системы логично назвать системами с ограничением амплитуды, а заполнение — ограничителем смещений или просто ограничителем.

Естественно, что контактная зона как вертикальных элементов рамы, так и заполнения должна быть соответствующим образом усилена для избежания появления значительных повреждений при ударе.

Основное требование, предъявляемое к ограничителям — большая величина восстанавливающей силы даже при значительных повреждениях, которые могут иметь место при сейсмических воздействиях.

В качестве ограничителей в работе приняты сплошные железобетонные панели. Если напряженное и деформированное состояние основ-

ной несущей конструкции — рамы — при суммарном воздействии постоянных вертикальных и квазистатических инерционных горизонтальных сил можно считать достаточно хорошо исследованным, то для ограничителей с учетом возникающих в них повреждений этот вопрос представляется недостаточно разработанным. Поэтому основная часть диссертации направлена на определение зависимостей "горизонтальное смещение — восстанавливающая сила" панелей заполнения вплоть до их разрушения.

Для объективной оценки резервов сопротивляемости ограничителей при появлении в них повреждений требуется:

1) наличие метода расчета, позволяющего достаточно просто находить деформации и напряжения (следовательно, и восстанавливающие силы) в плоских сплошных конструкциях при изменяющихся в процессе нагружения граничных условиях;

2) наличие хорошо обоснованных критериев прочности для определения характера возможных повреждений в условиях обобщенного плоского напряженного состояния;

3) чтобы используемый метод расчета мог быть применен для расчета пластин, имеющих зоны с повреждениями.

В первой главе дается обзор основополагающих исследований согласно перечисленным пунктам. Кроме этого, подобран материал по способам представления сейсмического воздействия на здания и сооружения и методам динамического расчета конструкций с изменяющимися в процессе колебания параметрами.

В силу большого количества научных исследований по всем этим вопросам в обзоре приводятся лишь те опубликованные данные, которые имеют непосредственное отношение к реферируемой работе.

Критерия прочности применительно к рассматриваемому типу ограничителей должны отвечать ряду требований, определяемых спецификой материалов, из которых они изготовлены. Для наиболее распро-

отраженных в практике массового строительства материалов (бетон, железобетон, каменная кладка) основными требованиями являются:

учет резко различных значений пределов прочности при одноосном сжатии и растяжении, а для анизотропного материала (железобетон, каменная кладка при больших коэффициентах армирования) — зависимости этих величин от интенсивности армирования, а также пределов прочности на сдвиг от направления касательных напряжений;

желательно, чтобы имелась возможность учета в явном виде изменения параметров прочности при больших скоростях роста напряжений.

Таким требованиям для малоармированных материалов отвечают критерии Гриффитса, Бейбла и Сайнса, Баландина П.П., Миролубова И.Н., Ягна Ю.И., Гениева Г.А. и Киссюка В.И., обобщенный критерий Гольденבלата И.И. и Копнова В.А. для изотропных материалов и некоторые другие.

При большой интенсивности армирования часторасположенной арматурой малого диаметра для определения уровня нагружения, превышение которого ведет к образованию повреждений, может быть применен критерий И.И. Гольденבלата и В.А. Копнова, полученный из самых общих расчетных предпосылок для анизотропных материалов и имеющий солидное экспериментальное подтверждение в СССР и за рубежом для жестких армированных пластиков.

При реализации повреждений в виде одиночных разрывов сплошности панель может рассматриваться как составленная из отдельных элементов, соединенных определенного вида связями (арматурной решеткой).

Дальнейшее нагружение ведет к появлению часторасположенных трещин. Границы зон с такого рода повреждениями находятся использованном в расчете критериев прочности. Зоны с частыми трещинами некоторыми исследователями трактуются как включения из анизотроп-

ного нелинейно-упругого сплошного материала, характеристики которого зависят от количества и направления трещин, а также от содержания арматуры и напряжений в ней. В этом направлении наиболее известными являются расчетные модели, предложенные Гвоздевым А.А. и Карпенко Н.И., Гениевым Г.А. и Тюпиным Г.А.

Задачу расчета панелей с частыми трещинами в определенных зонах можно, таким образом, свести к расчету дискретно неоднородных тел. Для изотропных материалов такая задача исследовалась В.Н. Гримайло. Им получено, что изменение упругих характеристик влечет появление уравновешенной системы сил, действующих по границе контакта областей неоднородностей, а также некоторых объемных усилий.

В диссертации методика Гримайло В.Н. использовалась для получения разрешающих уравнений в пластинах из анизотропного материала.

Применение этого метода позволяет довольно просто определять напряжения и деформации, если внешний контур пластины, также как и границы областей неоднородностей, представимы гладкими непрерывными функциями координат. Если же последнее не выполняется, то численная реализация на ЭВМ приводит к необходимости составления весьма громоздкого алгоритма.

Развитие ЭВМ позволяет применить для расчета конструкций со сложным контуром и имеющих неправильные очертания границ неоднородностей хорошо разработанные методы строительной механики. Нужно только аппроксимировать континуальную систему совокупностью отдельных элементов так, чтобы она могла рассматриваться как конструкция. Такая идеализация была введена Мак Генри, Хренниковым и А.Р. Ржанициним, затем развита в работах Турнера, М.Дж. Клафа Р.У., Г.К. Мартина, Топпа Л.Дж., Масленникова А.М., Александрова А.В., Шапошникова и многих других. В литературе этот метод носит название метода дискретного или конечного элемента.

Важным его преимуществом является то, что просто и наглядно выполняется расчет пластин переменной толщины, имеющих вырезы и усиления, составленных из различных материалов, при любых нагрузках и связях, расположенных как по контуру, так и внутри него.

Относительная простота и широкие возможности метода конечного элемента позволили применить его для исследования работы заполнения.

В области экспериментальных исследований панелей заполнения и рам с заполнением при действии нагрузок типа сейсмических наиболее известны работы Полякова С.В., Коноводченко В.И., Айзенберга Я.М., Кулиева Р.А., Сарджаева М. и многих других, основанных на разработанной ими методике испытаний.

Расчет конструкций, в которых при динамических нагружениях большой интенсивности возможно появление повреждений, предполагает наличие зависимости параметров сооружений от количества повреждений (так называемые нестационарные системы).

Впервые в СССР задача динамического расчета сооружений за пределом упругости была поставлена А.А.Гвоздевым. Им доказана целесообразность учета резерва несущей способности за счет пластических деформаций при импульсных нагружениях. В работах А.Р.Ржаницына на основе гипотезы жестко-пластического тела решен ряд задач по динамическому изгибу балок и пластин.

В настоящее время расчетом сооружений ^{за пределом упругости} на динамические воздействия уделяется большое внимание в СССР и за рубежом. Этому вопросу посвящены работы Быховского В.А., Гольденבלата И.И., Дарбиняна С.С., Карцивадзе Г.И., Николаенко Н.А., Корчинского И.Л., Полякова С.В., Чачавы Т.Н., Хачияна Э.Е., Тяна А.С., Кабулова В.К., Хаузнера Д., Табанаси Р., Исизаки Х., Хатакеяма Н., Блюма Д., Кобора Т., Минаи К. и многие другие.

Системы с выходящими связями (известные также под назва-

нием систем с деградирующей жесткостью) изучались Т.Хисада, К.Накагава, Я.М.Айзенбергом, С.В.Ульяновым и другими. Ими проведены многочисленные экспериментальные исследования, обосновывающие эффективность конструктивных решений такого рода для сейсмических районов; получены расчетные формулы и разработана методика оценки надежности.

В работах В.С.Павлыка, П.М.Гресселя показана целесообразность применения сооружений с повышенными диссипативными свойствами за счет сухого трения в специально предусмотренных нежестких соединениях. Дана теоретическая оценка эффективности таких конструкций и предложения по их практической реализации.

Движение основания при землетрясениях носит хаотический характер, не укладывающийся в какие-либо четкие формы математической зависимости, поэтому логично рассматривать колебания грунта как случайный процесс, подчиненный лишь статистическим закономерностям.

Различные подходы к проблеме случайных сейсмических колебаний предложены М.Ф.Барштейном, В.В.Болотнянм, И.И.Гольденבלатом, Н.А.Николаенко, А.М.Жаровым, Б.А.Кириковым, Я.М.Айзенбергом, С.В.Ульяновым, Гудманом, Томсоном, Байкрофтом, Ньюмарком и многими другими.

Однако отсутствие достаточной статистической информации приводит к тому, что наряду с представлением сейсмического воздействия в виде случайных процессов применяются и детерминированные описания колебаний основания.

В этом направлении широкую известность получили исследования М.А.Био, Дж.Л.Альфорда, И.Л.Корчинского, Р.Р.Маргала, А.Г.Назарова, Г.В.Хаузнера и многие другие.

С развитием ЭВМ стало возможным использовать в расчетах инструментальные записи сильных землетрясений. Задание внешнего воздействия реальной акселерограммой становится настолько распространенным, что не представляется возможным перечислить все работы, в

которых это использовано. Записи ускорений при сильных землетрясениях применены в качестве воздействия и в данной работе.

Во второй главе дается обоснование применения различных критериев к определению характера повреждений панелей - ограничителей при действии нагрузок большой интенсивности. На основании сравнения теоретических величин нагрузок, предшествующих образованию трещин в армированных и неармированных бетонных конструкциях с известными экспериментальными данными представляется логичным использование двух феноменологических критериев - критерия Гензеля Г.А. и Киссюка В.Н. для малоармированных конструкций и критерия Гольденבלата И.И. и Копнова В.А. для панелей с относительно высоким содержанием арматуры.

Разработанный в диссертации алгоритм определения повреждений предполагает использование любого феноменологического критерия, поэтому с накоплением информации о поведении железобетона в момент трещинообразования он может быть без особых затруднений скорректирован заменой описанных критериев другими, дающими лучшее совпадение с экспериментальными данными.

Предполагается, что в области прочного сопротивления каждому напряженному состоянию в пространстве главных напряжений соответствует гиперповерхность, коаксиальная и подобная предельной. С ростом напряжений эта гиперповерхность равномерно расширяется и сливается с предельной. Та зона конструкций, где это происходит, предполагается зоной образования трещин; исследование прилегающей области позволяет определить начальное направление трещины.

Качественный анализ экспериментальных исследований и результатов обследования последствий землетрясений позволяет заключить, что трещины сохраняют свое начальное направление вплоть до полного пересечения поля панели, если на пути их следования не встречаются включения из более прочных материалов.

Найденное положение трещин на панели определяет разбивку заполнения на конечные элементы для определения восстанавливающей силы при дальнейшем нагружении.

Известно, что при многократных нагружениях большой интенсивности прочность многих строительных материалов увеличивается. Этот факт экспериментально подтверждается работами Баженова Ю.М., Белоброва И.К. и Щербины В.И., Ватштейна Д., Хатано Т. и Тсуцсуми Х., Корчинского И.Л. и Беченовой Г.В., Котляревского В.А., Суворовой Ю.В., Попова Н.Н. и Расторгуева Б.С. и многими другими.

Упрочнение материалов при многократных динамических нагружениях в диссертации трактуется как запаздывание предельного состояния на малый промежуток времени при напряжениях, превышающих статический предел прочности, что находится в соответствии с имеющимися экспериментальными данными. Если за этот отрезок времени напряжения прекращают рост, а затем убывают и становятся меньше статического предела прочности, то повреждения в конструкции не реализуются.

Различие параметров упрочнения для стали и бетона приводит к тому, что при неодинаковой интенсивности армирования в разных направлениях скоростное нагружение приводит к изменению характеристик анизотропии железобетона, что должно учитывать в расчетах на действие кратковременных нагрузок большой интенсивности. Насыщение арматурой панелей заполнения из тяжелого бетона в тех пределах, которые применимы в практике массового строительства, мало влияет на величины пределов прочности и упругие характеристики.

В конце главы приводятся зависимости между горизонтальными смещениями и восстанавливающими силами некоторых типов железобетонных панелей до образования в них трещин при различных скоростях нагружения.

Третья глава посвящена методике построения диаграмм деформирования панелей заполнения после образования в них трещин. Определена граница интенсивности одноосного и двуосного армирования, с превышением которой повреждения будут носить характер часторасположенных трещин (полей трещин); меньшему содержанию арматуры соответствуют повреждения типа одиночных разрывов сплошности. И в том и в другом случае для определения восстанавливающей силы при различных величинах горизонтальных смещений одинаково эффективен метод конечного элемента.

Получены матрицы жесткости прямоугольного и треугольного конечного элемента для нелинейного материала с общими свойствами анизотропии.

Для линеаризации системы нелинейных алгебраических уравнений, к которым сводится расчет панели-ограничителя, в работе использован метод многоступенчатого нагружения. При этом исходная система уравнений заменяется рекуррентной последовательностью линейных систем, коэффициенты которых на каждом последующем этапе расчета зависят от напряжений, найденных на предыдущем.

Приложение внешней нагрузки внутри контура в методе конечного элемента не приводит к осложнениям. Это дает возможность просто учитывать работу арматуры в полости трещины; напряжения в арматуре, суммируемые по площади граней элементов, могут быть представлены взаимно-уравновешенными внутриконтурными силами.

Таким образом, арматура в полости трещин будет представлять собой определенный вид связей, реакции которой зависят от ширины раскрытия трещины.

В реферируемой работе зависимость между реакциями этих связей и шириной раскрытия трещины определена на основе имеющихся экспериментальных данных по сцеплению арматуры с бетоном.

Если же интенсивность армирования такова, что образующиеся в процессе нагружения повреждения представляют собой поля трещин, то материал в зонах с повреждениями представляется сплошным нелинейно-упругим анизотропным телом согласно модели, предложенной Г.А.Гензельным и Г.А.Тюпиним. При этом учитывается зависимость упругих характеристик бетона от величины действующих в нем напряжений.

Далее задача построения диаграмм деформирования панелей заполнения сводится к определению напряжений в них и суммированию напряжений по произвольному горизонтальному сечению. Этим находят основные (или скелетные) ветви диаграмм.

Линии разгрузки принимаются прямыми, углы наклона которых соответствуют условному секущему модулю в момент образования трещины.

Линии последующего нагружения при знакопеременных воздействиях для конструкций, материал которых остается сплошным, принимаются такими же, как и при первом нагружении. В рассматриваемой конструкции материал теряет сплошность, что влечет уменьшение начальной жесткости; вследствие этого изменяются и линии последующего нагружения.

Это обстоятельство учитывается алгоритмом динамического расчета, где в каждом цикле движения системы учитываются максимальные амплитуды смещений в предыдущих циклах.

Построенные таким образом диаграммы деформирования при знакопеременных нагрузках носят ярко выраженный гистерезисный характер, и при численном интегрировании уравнений движения отдельно по линиям нагружения и разгрузки учитываются диссипативные свойства конструкций. Это позволяет не включать в уравнения движения параметров затухания колебаний, по способам учета которых пока не существует единого мнения.

В четвертой главе исследуются некоторые вопросы колебаний систем с ограничением амплитуды. Суммарные диаграммы деформирования рам с заполнением являются такими функциями, аналитическое описание которых затруднительно. Поэтому они представлены кусочно-линейными зависимостями, а решение строится в виде последовательных линейных преобразований внешнего воздействия, в реакцию системы, что требует большой вычислительной работы с привлечением ЭЦМ.

Учет упрочнения материала при скоростных нагружениях требует определения полей напряжений, деформаций и их скоростей в панелях заполнения в каждый момент времени. Скорость счета ЭВМ среднего класса (5-30 тыс. операций/сек) не позволяет пока решать задачу в такой постановке, поэтому, согласно нормативных указаний, упрочнение учитывалось умножением ординат диаграмм деформирования на коэффициент 1,2.

Приводится расчет системы с одной степенью свободы, когда внешнее воздействие задано реальными акселерограммами. Акселерограммы землетрясений в *Veinon* (Калифорния) и *Olympia* (Вашингтон) принимались по цифрованным данным Калифорнийского технологического института. Влияние податливости основания учитывалось введением в расчет коэффициентов податливости при сдвиге (K_y) и повороте (K_φ).

Построенные фазовые портреты движения такой системы, когда начальное отклонение соответствует появлению повреждений в заполнении, показывают, что процесс появления трещин сопровождается резким приращением скорости движения. В силу этого представляется логичным в качестве минимального армирования панелей заполнения рекомендовать $\mu = 0,25\%$, при котором участок падения жесткости несколько сглаживается.

Приводится алгоритм расчета систем, которые можно представить

динамической расчетной моделью с одной степенью свободы.

Обследования последствий сильных землетрясений показывают, что многоэтажные каркасные сооружения и без установки панелей - ограничителей обладают достаточными резервами сопротивляемости при сейсмических воздействиях. В силу этого детального анализа колебаний систем со многими степенями не проводилось, а основное внимание уделено расчету жестких сооружений с гибкой нижней частью, повышенная деформативность которой вызывает вполне обоснованные опасения мастеров исследователей. Для таких сооружений установка ограничителей является, по-видимому, необходимой мерой для предотвращения развития недопустимо больших отклонений, при которых возможно разрушение от потери устойчивости гибкого этажа под действием вертикальной нагрузки.

В результате численного анализа выявлена следующая закономерность: с уменьшением жесткости основания для обеспечения ограничения амплитуд колебаний следует уменьшать величину зазора между заполнением и вертикальными элементами рамы.

Следовательно, для ограничения больших смещений в сооружениях на податливых грунтах необходимо увеличение их начальной жесткости.

Выбор оптимального варианта заполнения предполагает наличие таких панелей-ограничителей, установкой которых удастся удовлетворить всем наложенным на систему ограничениям при минимальном армировании. Варьируемым параметром является величина зазора между заполнением и вертикальными элементами рамы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие вычислительной техники делает возможным переход от традиционных методов проектирования сейсмостойких сооружений, основанных, как правило, на проверочном расчете абрисов заданных

проектов, к непосредственному нахождению оптимальных вариантов в зависимости от характеристик податливости основания и ожидаемых параметров землетрясений.

В работе предложен и исследован тип конструкций, не требующих технологических отступлений от существующих решений - рама с заполнением, которое выполняет роль ограничителя перекосов и вступает в работу не с начала колебаний, а при определенном уровне амплитуд. При этом сохраняется малая начальная горизонтальная жесткость сооружения, что существенно снижает инерционные сейсмические силы во вступительной фазе землетрясения, характерной, как правило, высокочастотными колебаниями основания.

При построении диаграмм деформирования панелей заполнения и в динамическом расчете нелинейные зависимости аппроксимированы кусочно-линейными, что дает возможность на каждом участке рассматривать систему как линейную.

Основные результаты работы сводятся к следующему:

1. Разработан и реализован алгоритм расчета ограничителей амплитуд колебаний - сплошных железобетонных панелей - с учетом образующихся в процессе нагружения трещин. При этом учитывается зависимость упругих характеристик материала от уровня действующих напряжений и количества полученных повреждений.

2. Местонахождение и направление трещин в железобетоне определялось на основе применения критериев прочности Г.А.Генлева и В.Н.Киссюка, а при большой интенсивности армирования ($\mu > 1\%$) - обобщенным критерием И.И.Гольденבלата и В.А.Копнова. Сравнение результатов расчета с известными экспериментальными данными показало, что в области действия напряжений разного знака усилия, при которых происходит образование трещин в железобетоне, совпадают с найденными по этим критериям с достаточной для практических рас-

четов точностью.

3. Упрочнение железобетона при скоростном нагружении трактуется как запаздывание предельного состояния на малый промежуток времени, в течение которого материал не разрушается при напряжениях, превышающих статический предел прочности, что находится в согласии с имеющимися экспериментальными данными. Показано, что в материале, интенсивность армирования которого в разных направлениях различна, скоростное нагружение изменяет компоненты тензора анизотропии.

4. Получены диаграммы деформирования сплошных панелей-ограничителей при перекосе в своей плоскости на различных этапах работы вплоть до момента уменьшения восстанавливающей силы из-за больших повреждений. В отличие от обычных методов расчета нелинейных упруго-пластических конструкций, учитывается изменение линий последующего нагружения при знакопеременной нагрузке.

5. Разработан и реализован алгоритм, позволяющий находить параметры панелей заполнения, при установке которых в соответствии с расчетом выполняется ряд наложенных на систему ограничений (основным из них является ограничение амплитуды колебаний сооружения). В качестве критерия оптимальности принято минимальное армирование панели при постоянном объеме бетона. Варьируемым параметром является величина зазора между стойками рамы и заполнением.

6. В качестве воздействия, при котором исследовалось движение системы, использованы записи ускорений грунта при землетрясениях по цифровым данным Калифорнийского технологического института. Получено, что при воздействии, заданном одной и той же акселерограммой, в сооружениях на податливых грунтах ($C_2 = 1000-3000 \text{ т/м}^3$) промежутка между стойками рамы и заполнением либо вообще не требуется, либо его величина очень мала, тогда как для зданий на жестких грунтах расчетный зазор составляет от 1/5 до 4/5 предельно-



го перекося рамы. Иначе говоря, для выполнения основного условия - ограничения амплитуды колебаний - при строительстве в районах с podatlivymi основаниями более приемлимы сооружения с большой начальной горизонтальной жесткостью, а на плотных грунтах с коэффициентами упругого равномерного сжатия $C_2 \geq 5000 \text{ т/м}^3$ - гибкие с начальным периодом колебаний 0,5 сек и выше.

7. Ограничители перекосов могут быть рекомендованы в качестве аварийного резерва сопротивляемости для жестких сооружений с гибкой нижней частью, повышенная деформативность которых вызывает вполне обоснованные опасения многих исследователей. При этом сооружение не теряет своего основного достоинства - малой начальной жесткости; установка ограничителей не связана с серьезными материальными и техническими затруднениями; они могут найти применение для усиления существующих и ремонта поврежденных при землетрясениях зданий такого типа.

Конструктивное исполнение ограничителей может отличаться от предложенного в диссертации - они могут быть и сквозными, если будет выполнено основное предъявляемое к ним требование - большая величина восстанавливающей силы при высоком уровне повреждений.

Содержание работы опубликовано в работах:

1. КОВАЛЬ Ю.А., НУСОВА И.В. Распространение трещин в сплошных бетонных диафрагмах при сильных колебаниях основания. Труды Фрунзенского политехнического института. Сб. "Строительство и архитектура", вып. 59. 1972.
2. КОВАЛЬ Ю.А. Оптимизация диаграмм деформирования дискретных систем при сейсмических воздействиях. Труды ЦНИИСК им. Кучеренко. Сб. "Облегченные прогрессивные строительные конструкции", вып. 25, 1972.



Л-59978 подписано в печати 2/IV-73г.

формат 60x84¹/16 = 2,4 п.л.

Заказ № 260

Тираж 120 экз.

Отп. г. Фрунзе, Киргизгипрострой