

УДК 699,85:624,04
ББК 38,53:22,251

Кумпяк, О.Г. Прочность и деформативность железобетонных конструкций на податливых опорах при кратковременном динамическом нагружении [Текст] : монография / О.Г. Кумпяк, З.Р. Галяутдинов, Д.Н. Кокорин. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2016. – 272 с.
ISBN 978-5-93057-728-0

В монографии приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по созданию современных методов расчета железобетонных конструкций на кратковременные динамические воздействия. Излагаются физические основы поведения бетона, арматуры и железобетона при высоких скоростях деформирования. Формулируются физическая модель и метод динамического расчета, учитывающие особенности поведения бетона, арматуры и железобетона на разных стадиях динамического сопротивления конструкций. Приводятся результаты численных и экспериментальных исследований железобетонных балок и опертых по контуру плит на податливых опорах при кратковременном динамическом нагружении.

Монография предназначена для научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских и проектных организаций.

УДК 699,85:624,04
ББК 38,53:22,251

Рецензенты:

Г.П. Тонких, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (Федеральный центр науки и высоких технологий), г. Москва;

Н.Н. Трёкин, д.т.н., профессор, начальник отдела конструктивных систем ОАО «ЦНИИПромзданий», г. Москва.

ISBN 978-5-93057-728-0

© Томский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2016
© Кумпяк О.Г., Галяутдинов З.Р.,
Кокорин Д.Н., 2016

ВВЕДЕНИЕ

Взрывные нагрузки являются одним из видов особых воздействий аварийного характера и возникают вследствие взрыва конденсированных взрывчатых веществ либо взрывного горения газо-пароили пылевоздушных горючих смесей (ГПВС). Данным воздействиям могут быть подвержены не только специальные (защитные сооружения гражданской обороны) и промышленные сооружения (объекты химической, нефтяной, газовой и других отраслей промышленности, связанных с горючими жидкостями и газами), но и гражданские здания и сооружения с большим скоплением людей, подверженные взрывным воздействиям вследствие террористических актов [2]. Такие воздействия приводят не только к разрушению конструкций зданий и сооружений, но и к гибели людей.

Поскольку данный вид воздействий относится к однократным аварийным, а вероятность его возникновения мала, следовательно, не всегда целесообразно предъявлять к конструкциям зданий и сооружений требования по ограничению деформаций. Основное требование в данном случае заключается в предотвращении обрушения здания или его конструкций с учетом возможных значительных остаточных деформаций. Для решения поставленной задачи необходимо иметь методы расчета, позволяющие определять напряженно-деформированное состояние конструкций на всех этапах их работы вплоть до разрушения.

Значительный вклад в развитие теории динамического сопротивления железобетонных конструкций внесен И.К. Белобровым, В.И. Жарницким, А.В. Забегаевым, В.А. Котляревским, О.Г. Кумпяком, В.И. Колчуновым, Д.Г. Копаницей, Г.И. Поповым, Н.Н. Поповым, В.С. Плевковым, Б.С. Расторгуевым, Г.В. Рыковым, А.Е. Саргсяном, А.Г. Тамразяном, И.Н. Тихоновым, Г.П. Тонких, Н.Н. Трекиным и другими учеными. В наибольшей степени получили развитие аналитические методы расчета широкого класса железобетонных конструкций [31, 32, 77, 78, 80, 81, 86, 88, 91, 101, 123]. В расчетах рассмотрено деформирование конструкций в упругой и пластической стадиях. Данные методы расчета разработаны для отдельных конструкций зданий и сооружений (балки, плиты, оболочки и др.) и не учитывают пространственной работы сооружения. Динамический характер де-

Прочность и деформативность железобетонных конструкций

формирования бетона и арматуры учитывается осредненными коэффициентами динамического упрочнения материалов.

В настоящее время широко применяются численные методы расчета, позволяющие определять напряженно-деформированное состояние не только отдельных конструкций, но и пространственных систем зданий и сооружений. Используемые физические модели динамического деформирования железобетона учитывают изменения физико-механических характеристик материалов, а также особенности деформирования железобетона в процессе динамического нагружения.

Расчет отдельных конструкций без учета совместной работы всех элементов здания, включая основание, приводит к искажению картины напряженно-деформированного состояния, что подтверждается результатами исследований, представленными в работах [9, 33, 88, 100, 121, 122, 124]. В работе [33] А.В. Забегаевым изучено влияние податливости грунтов основания на работу плит и балок покрытий и показано, что в большинстве случаев податливость грунтов основания оказывает положительное влияние на работу конструкций, что выражается в снижении прогибов плит и балок. Эффект усиливается с увеличением податливости грунта и частоты собственных колебаний конструкции покрытия, и с уменьшением времени действия нагрузки. Вместе с тем, показано, что при высокой жесткости грунтов и относительно большой продолжительности действия нагрузки возможно увеличение прогибов конструкций на податливых опорах, по сравнению с конструкциями на жестких опорах. Аналогичные результаты получены в работе [124]. По результатам расчета плит перекрытий с учетом деформаций опорных ригелей установлено, что податливость ригелей приводит к снижению перемещений плит. При этом эффективность податливых опор увеличивается с уменьшением времени действия нагрузки и достигает максимума при действии мгновенного импульса. При постепенном нарастании кратковременной динамической нагрузки эффект снижается. При достаточно высокой жесткости ригелей эффект может отсутствовать. В работе [9] также показано, что податливость опорных устройств приводит к снижению перемещений оболочки по отношению к ее перемещениям на несмещаемых опорах.

Таким образом, можно отметить, что деформации опор оказывают неоднозначное влияние на работу конструкций и могут приво-

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Физические основы расчета железобетонных конструкций на действие кратковременных динамических нагрузок	7
1.1. Виды кратковременных динамических нагрузок.....	7
1.2. Физико-механические характеристики арматуры при интенсивном динамическом нагружении	11
1.3. Физико-механические характеристики бетона при интенсивном динамическом нагружении	27
1.4. Деформирование бетона и арматуры в трещине. Силы зацепления по берегам трещины и нагельный эффект в арматуре	46
1.5. Критерий прочности бетона при плоском напряженном состоянии	63
1.6. Динамическое деформирование полос бетона между трещинами	73
1.6.1. Прочность полос бетона между трещинами.....	73
1.6.2. Экспериментальные исследования прочности и деформативности полос бетона между трещинами при статическом и кратковременном динамическом нагружении	80
1.6.3. Результаты экспериментальных исследований при статическом и кратковременном динамическом нагружении	87
2. Расчет железобетонных балок и плит при кратковременном динамическом нагружении	104
2.1. Физические уравнения плоского напряженного состояния железобетона	104
2.1.1. Напряжения и деформации при плоском напряженном состоянии	105
2.1.2. Соотношения между напряжениями в бетоне и деформациями элемента.....	110
2.1.3. Соотношения между напряжениями в арматуре и деформациями элемента	117
2.1.4. Общие физические соотношения для железобетона при плоском напряженном состоянии	120
	269

2.1.5. Учет локальной разгрузки.....	124
2.2. Физические соотношения расчета железобетонных плит.....	127
2.2.1. Многослойная модель деформирования.....	127
2.2.2. Обобщенные физические соотношения.....	132
2.3. Динамический расчет железобетонных балок и плит методом конечного элемента.....	134
2.3.1. Матрица жесткости прямоугольного конечного элемента.....	135
2.3.2. Матрица масс.....	142
2.3.3. Методы численного решения динамической задачи. Интегрирование уравнения движения методом Newmark- β	143
3. Экспериментальные исследования железобетонных балок по наклонным сечениям на податливых опорах при кратковременном динамическом нагружении.....	149
3.1. Экспериментальные исследования податливых опор при статическом и кратковременном динамическом нагружении.....	149
3.1.1. Цель и задачи исследований податливых опор.....	149
3.1.2. Программа исследований. Методика статических и динамических испытаний.....	149
3.1.3. Результаты экспериментальных исследований податливых опор.....	153
3.2. Экспериментальные исследования железобетонных балок при статическом и кратковременном динамическом нагружении.....	158
3.2.1. Цель и задачи экспериментальных исследований.....	158
3.2.2. Программа исследований. Опытные образцы и их конструирование.....	159
3.2.3. Методика статических и динамических испытаний.....	165
3.2.4. Результаты экспериментальных исследований железобетонных балок при статическом нагружении.....	169
3.2.5. Результаты экспериментальных исследований железобетонных балок на жестких опорах при кратковременном динамическом нагружении.....	173
3.2.6. Особенности динамического сопротивления балок на упругих податливых опорах.....	177

3.2.7. Прочность и деформативность балок на упругопластических податливых опорах при кратковременном динамическом нагружении	180
3.2.8. Напряженно-деформированное состояние наклонных сечений балок на упругопластических с отвердением податливых опорах при кратковременном динамическом нагружении.....	187
3.2.9. Выводы по главе.....	194
4. Исследование опертых по контуру железобетонных плит при кратковременном динамическом нагружении	196
4.1. Методика проведения экспериментальных исследований	196
4.2. Сопротивление железобетонных плит на жестких опорах при кратковременном динамическом нагружении	203
4.3. Сопротивление железобетонных плит на податливых опорах при кратковременном динамическом нагружении.....	210
4.4. Анализ деформирования железобетонных плит на податливых опорах при кратковременном динамическом нагружении	222
Заключение.....	247
Библиографический список	250