НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГОССТРОЯ СССР

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ И КОНСТРУИРОВАНИЮ СКЛАДЧАТЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНОВ

КИЕВ — 1975

gost.e-ecolog.ru

Научно-исследовательский институт строительных конструкций
Госстроя СССР

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по расчету и конструированию складчатых покрытий для сейсмических районов

Одобрены Научно-Техническим Советом
НИИСК Госстроя СССР. Протокол № 12
от 9/УП 1975 г.

Киев - 1975

УДК 624.074.4:699.841

Даны рекомендации по конструированию сборно-монолитных пространственных складчатых покрытий промзданий с учетом сейсмических воздействий.

Предназначены для работников проектных и научно-исследовательских организаций.

Выполнены в лаборатории динамических и сейсмических исследований канд.техн.наук Немчиновым Ю.И., инж.Толбатовым Ю.А. и лаборатории одноэтажных зданий НИИСК Госстроя СССР /зав.лабораторией канд.техн.наук Либерман А.Д./ канд.техн.наук Стаковиченко Е.И.

(C) Научно-исследовательский институт строительных конструкций Госстроя СССР, 1975.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Настоящие рекомендации предусматривают определение расчетной сейсмической нагрузки на складчатые покрытия типа коротких цилиндрических оболочек, их расчет и конструирование в условиях сейсмических воздействий. Рассматриваются покрытия, разработанные НИИСК Госстроя СССР совместно с Киевским Промстройпроектом, состоящие из ребристых плит и ферм-диафрагм, соединение которых между собой осуществляется путем замоноличивания швов между плитами и над диафрагмами, превращающем покрытие в пространственную систему. Применение коротких цилиндрических оболочек взамен типовых сборных конструкций позволяет снизить приведенную толщину бетона на 0,8–I,0 см, стали на 5–6 кг и уменьшить стоимость покрытия свыше I руб. на I $м^2$ производственной площади.

I.2. Сила землетрясения в районе или пункте строительства оценивается сейсмичностью в баллах по шкале ГОСТ 6249–52 и принимается по картам сейсмического районирования территории СССР или по списку основных населенных пунктов СССР, расположенных в сейсмических районах. Допускается уточнять сейсмичность площадки строительства на основании общих инженерно-геологических и гидрогеологических данных согласно табл. I СНиП II-А.I2.69.

I.3. Расчет и конструирование покрытий после определения расчетных значений сейсмических сил производится на особое сочетание нагрузок в соответствии со СНиП II-А.I2-69 "Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования".

I.4. Пространственные покрытия, проектируемые с учетом настоящих рекомендаций, должны удовлетворять требованиям СНиП II-А.I2-69, а также требованиям, предъявляемым существующими нормативными документами к одноэтажным промзданиям,

возводимым в обычных условиях строительства.

1.5. Расчет и конструирование складчатых покрытий рекомендуется производить в следующей последовательности:

определить сейсмичность предполагаемого участка строительства и расчетную сейсмичность проектируемого здания;

выбрать динамическую расчетную схему отдельных несущих элементов покрытия /либо всего покрытия в целом/, соответствующую вертикальным и горизонтальным колебаниям;

определить частоты и формы собственных колебаний несущих конструкций покрытий в соответствии с принятой расчетной схемой;

вычислить расчетные значения сейсмических сил в отдельных узловых точках рассматриваемой расчетной схемы;

произвести определение расчетных усилий с учетом особого сочетания нагрузок;

произвести расчет прочности элементов покрытия и покрытия в целом, а также стыковых соединений.

2. ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКТИВНЫМ СХЕМАМ ЗДАНИЙ, ПЕРЕКРЫВАЕМЫХ СКЛАДЧАТЫМИ ПОКРЫТИЯМИ. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

2.1. При выборе конструктивной схемы промышленного здания, перекрываемого складчатыми покрытиями типа коротких цилиндрических оболочек, следует предусмотреть обеспечение равномерного распределения в плане масс и жесткостей несущих элементов здания; поэтому при компановке элементов каркаса, связей, стен и перегородок необходимо стремиться к симметричному решению указанных элементов относительно главных осей здания.

2.2. Здание следует проектировать одноэтажным прямоугольной формы в плане с параллельными пролетами без перепада смежных высот. При сложном очертании здания в плане или различии конструктивных схем смежных отсеков здания должны разделяться антисейсмическими швами на отдельные отсеки простой формы. При выполнении антисейсмических швов и

других конструктивных мероприятий необходимо пользоваться руководством [4].

2.3. При проектировании покрытия и всего производственного здания следует стремиться к максимально возможному снижению веса несущих и ограждающих конструкций путем применения новых эффективных строительных материалов.

2.4. При проектировании несущих конструкций покрытия и узлов сопряжения между ними необходимо учитывать развитие пластических деформаций в элементах конструкций.

2.5. Применение предварительно напряженных элементов покрытия должно быть обосновано конструктивными требованиями к соотношению между разрушающим моментом и моментом, вызывающим образование трещин в бетоне и соответствующим армированием, рекомендованным СНиП II-А.12-69.

2.6. При проектировании сборно-монолитного покрытия особое внимание следует уделить конструкции сопряжения плит между собой, обеспечив развитие в узловых сопряжениях упруго-пластических деформаций, устройство шпонок, работающих на срез, и выпусков арматуры для связи укладываемого бетона с бетоном сборных конструкций.

2.7. Здания должны быть запроектированы так, чтобы горизонтальные сейсмические силы передавались и воспринимались элементами каркаса /колоннами, связями, диафрагмами и пр./. При выборе расчетной динамической схемы в этом случае покрытие можно считать как недеформируемый диск, передающий свою массу и массу фонарных надстроек на отдельные колонны в поперечном и продольном направлениях.

2.8. При проектировании покрытия следует учитывать, что сейсмические нагрузки могут иметь любое направление в пространстве. Действие сейсмической нагрузки в вертикальном и горизонтальном направлениях учитывают раздельно /нагрузку можно разложить на отдельные составляющие и расчет вести от каждой составляющей в отдельности/.

2.9. Для сейсмических районов выбор типа здания /с фонарем или без фонаря/ должен производиться на общих основаниях. При прочих равных условиях следует отдавать предпочтение

бесфонарным зданиям. В зданиях с фонарями рамы фонарей рекомендуется выполнять стальными. Фонарь по длине здания /отсека/ должен не доходить до торцов здания и антисейсмических швов на один пролет плит для создания замкнутого диска покрытия. Устойчивость рам фонарей должна обеспечиваться постановкой в двух крайних ячейках каждого температурного блока вертикальных связей в середине пролета фонаря и связей в плоскости верхнего пояса рамы фонаря, а также крупнопанельными плитами покрытия и бортовыми плитами, которые привариваются к рамам фонаря.

3. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РЕШЕНИЮ УЗЛОВ И СТЫКОВ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЙ СЕРИИ КП-145/73 ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

3.1. Горизонтальная сейсмическая нагрузка, действующая на диск покрытия в поперечном направлении здания /отсека/, передается на фермы-диафрагмы посредством конструкции сборно-монолитного комплексного сечения, в которой шпы по верхнему поясу ферм и пазы в торцовых ребрах плит устроены для передачи этой нагрузки /рис.I/. Диафрагмы передают сейсмическую нагрузку на поперечные ряды колонн. Нагрузка, действующая на диск покрытия в продольном направлении здания /отсека/, передается на продольные ряды колонн диском покрытия, который образуется путем замоноличивания швов между плитами конструктивным бетоном М 200, пазами на боковых поверхностях продольных ребер плит на длине 3 м от их торцов, арматурными каркасами, расположенными в швах между плитами над диафрагмами, комплексным сечением верхнего пояса диафрагмы /см.рис.I/. Кроме перечисленного, в уширенных швах между бортовыми элементами и примыкающими к ним плитами расположены по всей длине швов арматурные каркасы /см.рис.I /. У температурных швов и торцов здания, а также у антисейсмических швов крепление плит к диафрагмам производится с помощью устройства паза шириной 200 мм в полке по всей ширине плиты / с сохранением арматурной сетки полки / и

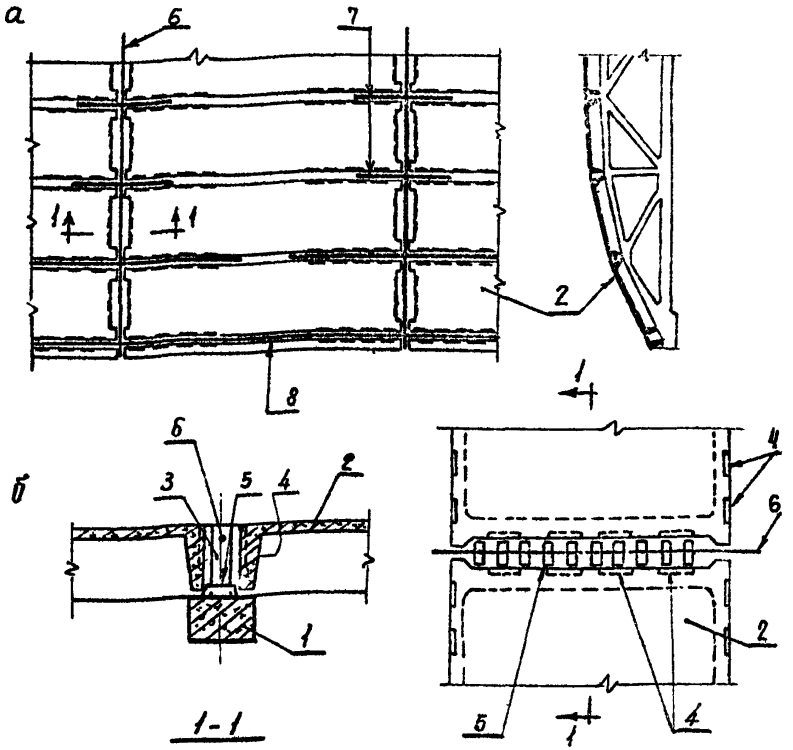


Рис.1 Диск покрытия /а/ и комплексное сечение диафрагмы / б /:
1 – верхний пояс диафрагмы; 2 – плита покрытия; 3 – бетон замоноличивания; 4 – пазы в торцевых ребрах плит; 5 – шпы на верхнем поясе диафрагм; 6 – арматурный стержень комплексного сечения; 7 – опорный арматурный каркас; 8 – арматурный каркас в шве между бортовыми элементами и плитой.

бетонирования его в установленной щитовой опалубке. Продольные ребра плит, примыкающих к фонарю, и плит покрытия фонаря, примыкающих к фонарной панели, соединяются приваркой стальных накладок к опорным закладным деталям /рис.2/.

3.2. В зданиях с пролетами 18 и 24 м при расчетной сейсмичности 7 баллов вертикальные связи между опорными участками ферм-диафрагм не устраиваются.

3.3. В зданиях с пролетами 18 и 24 м при расчетной сейсмичности 8 баллов в продольных рядах колонн должны быть предусмотрены вертикальные связи между опорными участками ферм-диафрагм и распорки по верху колонн. При этом нижние пояса связей и распорки крепятся к закладным деталям колонн /рис.3/. Количество вертикальных связей между опорными участками диафрагм определяется из условия расположения расчетных сварных швов крепления, ребер плит, примыкающих к продольным рядам колонн / см. п.2.21 [4] /.

3.4. В зданиях с пролетами 18 и 24 м при расчетной сейсмичности 9 баллов между фермами-диафрагмами на опорах должны быть установлены /не реже чем через шаг/ вертикальные стальные связи, чередующиеся с распорками. При этом нижние пояса связей и распорки должны крепиться к закладным элементам ферм. Стальные вертикальные связи и распорки должны быть рассчитаны по формуле п.2.23 [4] .

3.5. Соединение ферм-диафрагм с колоннами каркаса здания с расчетной сейсмичностью 7 и 8 баллов допускается принимать как для несейсмических районов с учетом дополнительных мероприятий, предусмотренных в пунктах 5.11-5.13 настоящих рекомендаций. В зданиях с расчетной сейсмичностью 9 баллов узел опирания ферм-диафрагмы на колонну следует выполнять путем соединения опорных листов колонны и диафрагмы с применением сварки по двум сторонам листов и монтажных болтов, располагаемых за гранями колонны для обеспечения возможности поворота верхнего сечения колонны /см.рис.2 /. При этом расчетные усилия передаются только на сварные швы. Узлы соединения диафрагм с колоннами должны быть рассчитаны на срез от усилий, возникающих в этих местах в соответствии с величина-

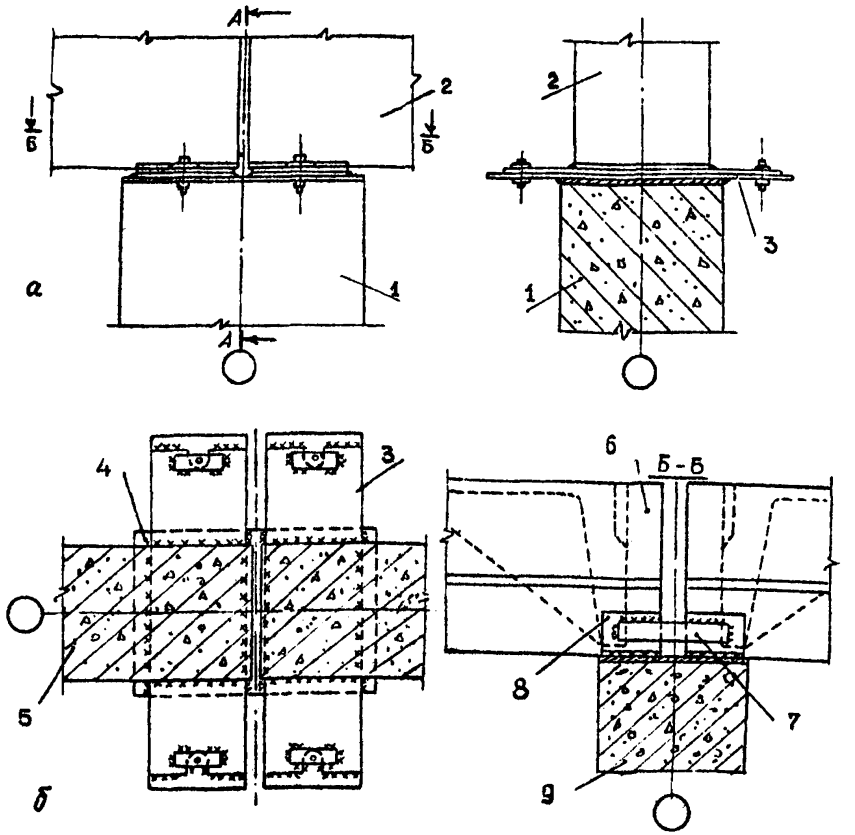


Рис. 2. Соединение стропильных ферм с колоннами (а) и опорных закладных деталей продольных ребер плит покрытия, примыкающих к фонарю, в зданиях с расчетной сейсмичностью 8-9 баллов (б):

I - колонна; 2 - стропильная ферма; 3 - опорная пластина; 4 - закладная деталь колонны; 5 - стропильная ферма; 6 - плита покрытия; 7 - стальная накладка; 8 - закладная деталь плиты; 9 - верхний пояс фермы.

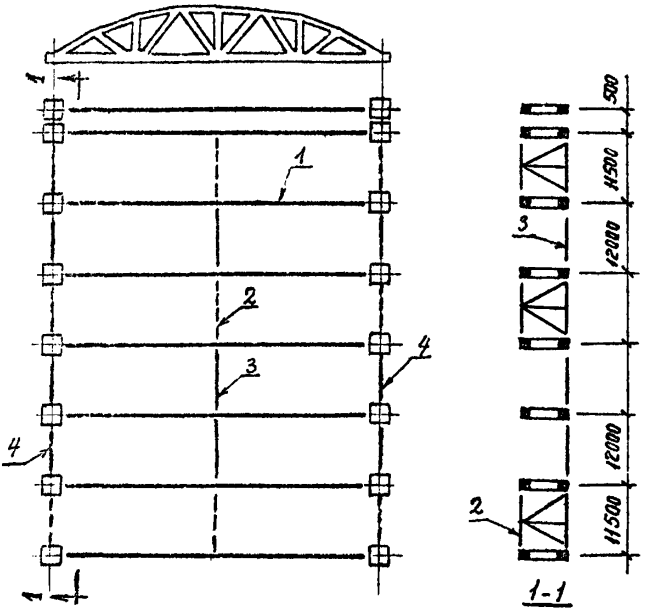


Рис.3. Схема расположения связей в покрытии при расчетной сейсмичности 8 баллов:

I - фермы-диафрагмы; 2 - вертикальные связевые фермы; 3, 4 - распорки.

ми горизонтальных сейсмических нагрузок, действующих на рассматриваемое соединение.

3.6. Нижний пояс ферм-диафрагм должен быть развязан стальными распорками и двумя вертикальными связями в пределах отсека здания. Вертикальные связи и распорки устанавливаются по середине пролета ферм.

3.7. На подфонарных участках покрытия в уровне верхнего пояса ферм для обеспечения устойчивости должны устанавливаться распорки по середине пролета. Конструкции фонаря должны

быть рассчитаны с учетом сейсмических нагрузок, действующих вдоль или поперек фонаря. На продольные нагрузки рассчитываются продольные вертикальные связи, на поперечные - рамы фонаря. Сейсмические нагрузки, действующие на фонарь, определяются по приведенной ниже методике.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ПОКРЫТИЕ

Динамические расчетные схемы одноэтажных промзданий

4.1. Динамические расчетные схемы одноэтажных зданий для определения частот и форм собственных колебаний и расчетных значений сейсмических сил устанавливаются исходя из раздельного воздействия вертикальных и горизонтальных сейсмических сил и упругой работы материала.

4.2. Динамическую расчетную схему сборно-монолитного покрытия при определении частот и форм собственных колебаний и вычисления вертикальных сейсмических нагрузок можно представить в виде короткой цилиндрической оболочки, подкрепленной ортогональными ребрами жесткости и шарнирно опертой по всему контуру. При этом допускается пренебрегать податливостью вертикальных диафрагм и бортовых элементов.

4.3. При определении горизонтальных сейсмических нагрузок на элементы покрытия и каркас промздания можно не учитывать деформативность плит покрытия в своей плоскости / в продольном и поперечном направлениях/, принимая расчетную схему здания в виде системы с одной степенью свободы, в которой масса покрытия сосредотачивается в уровне верха колонн.

4.4. Наличие программ расчета [2,3] и представление континуальной системы в виде совокупности дискретных элементов позволяют учитывать совместную работу ферм-диафрагм и пространственную деформативность плит покрытия. В этом случае масса покрытия сосредотачивается в местах пересечения дискретных ребер и определяется матрица единичных перемещений, а использование стандартных операций [5] позволяет решить проблему собственных значений, зная которые определяют сейсмические нагрузки в точках членения здания на дискретные элементы

Сейсмические нагрузки

4.5. Расчетные величины сейсмических сил для зданий в какой-либо точке К расчетной схемы сооружения, соответствующих i -му тону свободных колебаний, определяются по формуле $S_{ik} = Q_k k_c \beta_i \eta_{ik}$, где Q_k - масса, сосредоточенная в точке к ; k_c - коэффициент расчетной сейсмичности здания / принимается по табл.2 СНиП П-А.12-69 /; η_{ik} -коэффициент, зависящий от вида i -ой формы собственных колебаний системы и от места расположения масс Q_k / рис.4 /; β_i - коэффициент динамичности, равный $\frac{1}{T_i}$; T_i -период i -ой формы свободных колебаний, сек.

4.6. Значения η_{ik} при дискретном расположении масс определяются по формуле

$$\eta_{ik} = \frac{X_i(x_k) \sum_1^n Q_j X_i(x_j)}{\sum_1^n Q_j X_i^2(x_j)},$$

где $X_i(x_k)$ и $X_i(x_j)$ - ординаты формы собственных колебаний рассматриваемой дискретной схемы в точке k и во всех j -х точках, отвечающих расположению масс.

4.7. При определении частот основного тона вертикальных колебаний покрытий, динамическая расчетная схема которых определена в соответствии с п.4.2 рекомендаций, рекомендуется пользоваться формулами приложения I.

4.8. При несимметричном расположении в плане здания масс и жесткостей относительно центральных осей симметрии оценка сейсмической нагрузки на каркас промздания должна производиться с учетом горизонтального крутящего момента.

4.9. Горизонтальная сейсмическая нагрузка на n-ую поперечную раму в уровне верха с учетом поворота в плане может определяться по формуле

$$S_n^* = S_n \pm \frac{B_n \ell_n}{K \varphi_n} S_k e_k$$

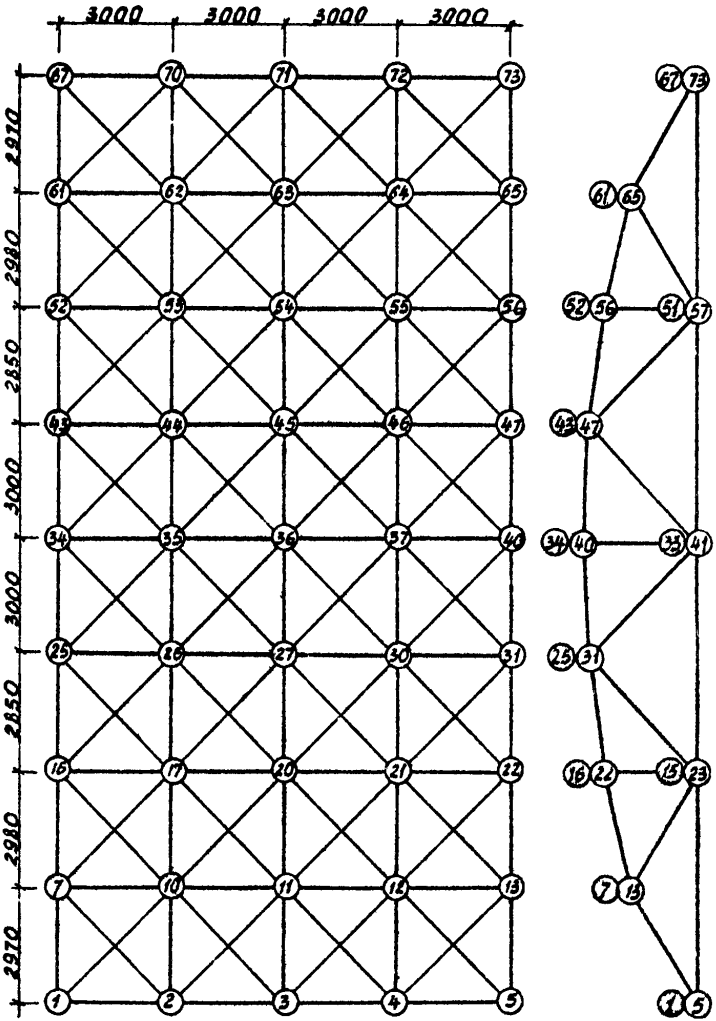


Рис. 4. Дискретная расчетная схема цилиндрической оболочки.

где S_n – сейсмическая нагрузка, определенная на n-ую диафрагму без учета кручения; B_n – горизонтальная жесткость n -го ряда колонн /или диафрагм/; ℓ_n – расстояние от центра жесткости до рассматриваемой рамы; $K_{\varphi n}$ – жесткость на кручение n -й диафрагмы /или рамы/; S_k – суммарная сейсмическая нагрузка, действующая на здание; e_k – расстояние между центром жесткости и центром массы.

5. РАСЧЕТ СКЛАДЧАТОГО ПОКРЫТИЯ

5.1. Расчет складчатого покрытия с учетом сейсмических воздействий производится по первому предельному состоянию /несущей способности/ на особое сочетание нагрузок. Кроме этого, конструкция покрытия должна удовлетворять расчетам на основное и дополнительное сочетания нагрузок в соответствии с требованиями СНиП П-А.II-62 "Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования". В особое сочетание входят расчетные величины постоянных, временных длительных и кратковременных воздействий, определяемых по СНиП П-А.II-62.

Классификация нагрузок и значения коэффициентов перегрузки принимаются в соответствии с главой СНиП П-А.II-62.

При расчете на сейсмические воздействия к величинам расчетных нагрузок вводятся коэффициенты сочетания для нагрузок: постоянных – 0,9; временных длительных – 0,8; кратковременных на перекрытия и снеговых нагрузок – 0,5.

Расчет прочности плит

5.2. В стадии изготовления плиты рассчитываются на основные и дополнительные сочетания нагрузок как разрезные на воздействие усилий предварительного напряжения, которые вводятся в расчет как внешняя внецентренно приложенная нагрузка / п.7.7 СНиП П-В.I-62*/ и от собственной массы с учетом коэффициента динамичности I,5 /при учете коэффициента динамичности, согласно нормам, коэффициент перегрузки к собственному весу не вводится/. По этой же стадии работы производится проверка плиты на усилия, возникающие в момент их подъема

за монтажные петли.

5.3. В стадии монтажа плиты рассчитываются на основные и дополнительные сочетания нагрузок по однопролетной схеме на воздействие собственной массы и снеговой нагрузки, учитываемой с коэффициентом условий работы 0,8, либо собственной массы и бетона замоноличивания с обычно принимаемыми коэффициентами перегрузки. По стадиям изготовления и монтажа производится расчет предварительно напряженной арматуры в продольных ребрах плиты и обычной арматуры – по верху продольных ребер у монтажных крюков и проверяется прочность продольных ребер при отпуске напряжения. При расчете плит по стадии монтажа принимать коэффициент снегового покрова $C \approx 1$, а величину предельного прогиба продольных ребер не более 1/200 пролета.

5.4. Расчет оптимального армирования полки и поперечных ребер плиты на эксплуатационную нагрузку /см.приложение 2/ производится по изгибающим моментам [7].

Расчет прочности складок покрытия

5.5. Расчет складчатого покрытия с учетом сейсмических воздействий рекомендуется производить на основе разработанного в НИИСК метода предельного равновесия. Согласно этому методу изгибающие моменты, действующие в продольных ребрах и угловых зонах складки, определяются на основе кинематического принципа. Для этого задаются возможными схемами разрушения с линиями излома, проходящими через точки или линии с искомыми изгибающими моментами с точностью, соответствующей количеству неизвестных параметров. При этом схема разрушения, дающая наибольшую величину изгибающего момента, является определяющей.

5.6. В основе принятых схем лежат три схемы разрушения из плоскости граней и одна – в плоскости одной из граней /кроме первых двух схем разрушения/. Благодаря различным краевым условиям складок в покрытии схемы разрушения из плоскости граней сочетаются со схемами разрушения в их плоскости, что создает разнообразие возможных схем разруше-

ния.

5.7. Изгибающие моменты в продольных ребрах оболочки получают из уравнений равенства работ внешних и внутренних сил на виртуальных перемещениях принятой в расчете схемы разрушения $V_p + V_q + V_s = T_1 + T_2$, где V_q, V_p – работа соответственно постоянных и кратковременных нагрузок; V_s – работа сейсмических нагрузок, определенных согласно п.4.5 настоящих рекомендаций; T_1, T_2 – работа внутренних усилий на виртуальных перемещениях из плоскости и в плоскости граней складки.

Примечание. При вычислении V_q и V_p на расчетные нагрузки вводятся коэффициенты сочетания согласно п.5.1 рекомендаций или СНиП П-А.12-69.

Расчет прочности фермы

5.8. Особенностями конструктивного решения ферм-диафрагм складчатых покрытий являются наличие бетонных шпонок на верхнем поясе, обеспечивающих совместную работу диафрагм с плитами и бетоном замоноличивания и уменьшение по сравнению с плоскостными конструкциями сечение верхнего пояса, определяемое из условий работы фермы в монтажной стадии.

5.9. В стадии монтажа расчет ферм производится на нагрузки от собственной массы ферм, плит покрытия и снега с учетом коэффициента 0,8 по пункту I.I3 СНиП П-В.I-62, а также веса фонарных рам и фонарных панелей при расчете диафрагм фонарных пролетов. В монтажной стадии работы, по которой производится проверка сечений собственно верхнего пояса ферм, сейсмические воздействия не учитываются.

5.I0. Нагрузки, действующие на ферму в эксплуатационной стадии, состоят из постоянной /включает собственную массу фермы, плит покрытия, утеплитель, стяжки и ковер, учитывается с коэффициентом сочетания 0,9 /, снеговой /коэффициент сочетания 0,5/ и сейсмической.

5.II. Сейсмические нагрузки при расчете ферм-диафрагм принимаются действующими вертикально и горизонтально в направлении поперечной оси здания.

5.I2. При определении сейсмических нагрузок S в нагрузку Q, вызывающую инерционную силу, включается только собственная масса покрытия и снега / с учетом коэффициентов перегрузки и коэффициентов сочетаний, принимаемых в соответствии с указаниями п.2.2 СНиП П-А.I2-69 /.

5.I3. Для определения поперечных сейсмических нагрузок в нагрузку Q, кроме собственной массы покрытия и снега, включается вес продольных стен, расположенных выше верха колонн, I/4 собственной массы колонны, подкрановых балок и участков стен, расположенных в пределах высоты колонны, а также I/4 собственной массы мостовых кранов.

5.I4. Статический расчет ферм-диафрагм производится по упругой стадии работы методом сил или деформаций как многократно статически неопределимой системы с учетом жесткости узлов с использованием ЭВМ.

6. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

I. Определить частоту собственных колебаний пологой цилиндрической оболочки покрытия, подкрепленной ребрами жесткости /континуально-дискретная модель/.

Рассмотрим пологую цилиндрическую оболочку, подкрепленную ортогональной сеткой эксцентричных ребер, разработанную институтом "Киевский Промстройпроект" совместно с НИИСК Госстроя СССР / рис.5/.

Размеры оболочки в плане I2x24 м; $h = 0{,}25$ м; $R = 2{,}6$ м; $E_c = E_ш = 3{,}I5 \cdot I0^6$ т/м^2; $\nu = 0{,}I5$; $F_c = 0{,}884 \cdot I0^{-I}$ м^2; $J_{yc} = 0{,}298 \cdot I0^{-2}$ м^4; $J_{кр.c} = 0{,}48 \cdot I0^{-3}$ м^4; $h_c = 0{,}I665$ м; $\beta = 7{,}6$; $G_c = G_ш = 0{,}I37 \cdot I0^7$ т/м^2; $F_ш = 0{,}656 \cdot I0^{-2}$ м^2; $J_{xш} = 0{,}804 \cdot I0^{-5}$ м^4; $J_{кр.ш} = 0{,}3I2 \cdot I0^{-5}$ м^4; $h_ш = 0{,}695 \cdot I0^{-I}$ м; $d = 7$; $\theta_o = 0{,}96$ рад. Шаг ребер вдоль оболочки – I,5, поперек – 3 м.

В таблицах I–4 представлены значения частот собственных колебаний оболочки, шарнирноопертой по всему контуру, определенных на ЭВМ БЭСМ-3м по программе, приведенной в приложении 3.

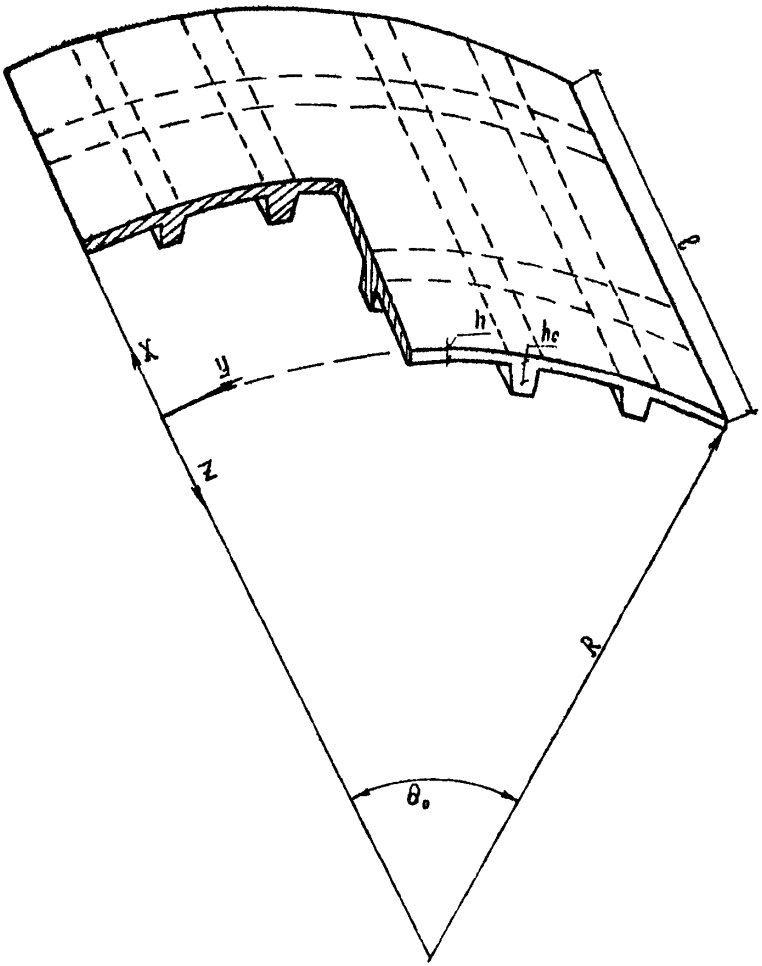


Рис.5. Дискретно-континуальная расчетная модель оболочки покрытия промздания.

В табл.I даны частоты вертикальных колебаний, определенные с учетом горизонтальных сил инерции, в табл.2 – частоты вертикальных колебаний, определенные без учета коэффициентов при ω^4 и ω^6, в табл.3 – частоты колебаний без учета эксцентриситета ребер жесткости $h_c = h_ш = 0$, в табл.4 – частоты колебаний без учета ребер жесткости.

Из таблиц видно, что основной тон колебаний шарнирно опертой оболочки характеризуется появлением трех полуволн в поперечном направлении и одной полуволны в продольном.

Частоту собственных колебаний можно рассчитывать по рекомендуемой приближенной формуле приложения I без учета коэффициентов при ω^4 и ω^6 [6]. Разница в результатах /см. таблицы I и 2/ не превышает I%, что свидетельствует о возможности использования приближенной формулы в практических расчетах. Вместе с тем, как видим, частота основного тона колебаний шарнирно опертой ребристой оболочки меньше, чем частота неподкрепленной оболочки, что объясняется влиянием более мощных продольных ребер /стрингеров/.

Формула для определения частоты собственных колебаний приложения I /для шарнирно опертой по всему контуру оболочки/ будет справедлива и для оболочки, жестко защемленной вдоль образующей. Коэффициенты см. в п.а приложения I.

Для примера расчета возьмем те же данные, что и для шарнирно опертой оболочки. Расчет реализован на ЭВМ БЭСМ–3м. В таблицах 5–7 представлены значения частот собственных колебаний оболочки, жестко защемленной по краям вдоль образующей и шарнирно опертой на торцах.

В табл.5 приведены частоты собственных колебаний, найденные по рекомендуемой формуле приложения I; в табл.6 – частоты собственных колебаний, вычисленные без учета эксцентриситета ребер, а в табл.7 даны частоты собственных колебаний, определенные без учета ребер жесткости.

Из таблиц I–7 видно, что частота колебаний жестко защемленной оболочки вдоль образующих выше частоты колебаний оболочки, шарнирно опертой по всему контуру.

Основной тон колебаний шарнирно опертой оболочки характе-

Таблица I

Число полуволн по оси	Частота, Гц							
y / x	I	2	3	4	5	6	7	8
I	I2,9	8,9	7,2	7,4	8,6	I0,0	I3,0	22,0
2	27,4	25,7	24,5	24,3	24,8	25,9	27,5	28,6

Таблица 2

Число полуволн по оси	Частота, Гц							
y / x	I	2	3	4	5	6	7	8
I	I2,9	8,9	7,3	7,4	8,7	I0,6	I3,0	22,0
2	27,0	25,5	24,4	24,2	24,7	25,8	27,5	28,5

Таблица 3

Число полуволн по оси	Частота, Гц							
y / x	I	2	3	4	5	6	7	8
I	I2,8	9,2	7,5	7,I	7,5	8,6	I0,0	I7,0
2	24,0	23,0	29,4	22,I	22,I	22,5	23,5	25,2

Таблица 4

Число полуволн по оси	Частота, Гц							
y / x	I	2	3	4	5	6	7	8
I	I7,0	II,0	7,3	6,0	6,5	8,3	I0,0	I3,0
2	20,0	I7,0	I4,8	I2,8	I2,0	I2,0	I4,0	I6,0

Таблица 5

Число полуволн по оси	Частота, Гц							
x \ y	I	2	3	4	5	6	7	8
I	I3,4	I5,6	I6,7	I9,4	22,5	25,5	34,5	47,5
2	27,8	22,0	22,2	I9,4	27,0	33,0	39,5	55,0

Таблица 6

Число полуволн по оси	Частота, Гц							
x \ y	I	2	3	4	5	6	7	8
I	I3,3	I5,5	I6,6	I8,7	20	22,3	28,0	35,5
2	26,7	I3,2	I9,9	I9,4	23,7	27,0	35,5	35,5

Таблица 7

Число полуволн по оси	Частота, Гц							
x \ y	I	2	3	4	5	6	7	8
I	I6,5	I7,5	I8,4	20,5	23,3	27,5	33,I	24,7
2	I3,5	I6,0	I8,0	I9,6	22,7	26,7	32,0	38,7

ризуется появлением трех полуволн в поперечном направлении и одной полуволны в продольном направлении. Для жестко защемленной оболочки по краям вдоль образующих основной тон характеризуется появлением одной полуволны в поперечном направлении и одной полуволны в продольном. Граничные условия влияют не только на величину частоты, но и на форму колебаний оболочки.

Жесткость оболочки, защемленной вдоль образующей и шарнирно опертой на торцах, при эксцентричном подкреплении ребрами больше, нежели жесткость оболочки с ребрами, нейтральные оси которых совпадают с ее срединной поверхностью.

Частота колебаний шарнирно опертой оболочки, подкрепленной ребрами, получена меньше, нежели частота неподкрепленной оболочки. Подкрепление оболочки не всегда влечет за собой повышение частоты.

2. Рассчитать ребристую оболочку по дискретной модели. Дискретная расчетная схема дает возможность рассчитывать оболочку совместно с опорным контуром.

Аппроксимация оболочки, подкрепленной ортогональной сеткой ребер жесткости, производится на основе стержневой модели размером 3х3 м с жесткими узлами и шарнирным примыканием диагоналей /рис.6/. Распределенная масса оболочки заменяется сосредоточенной в узлах стержневой решетки.

Задача о собственных колебаниях оболочки сводится к колебаниям многомассовой системы. Матрицу податливости получаем с помощью программы для ЭВМ БЭСМ-3 м [2], прикладывая поочередно в каждой точке системы единичные силы в соответствующем направлении. Матрица податливости в данном примере в соответствии с принятым расчленением на элементы получена размером 47х47 /ввиду громоздкости данная матрица здесь не приводится/.

Произведение матрицы податливости $\Delta = [\delta_{ij}]$, имеющей симметричную структуру, на диагональную матрицу масс $M = [m_i]$ дает матрицу, обратное значение собственных значений которой является квадратом круговой частоты свободных колебаний оболочки, а собственные векторы – формами колебаний, то

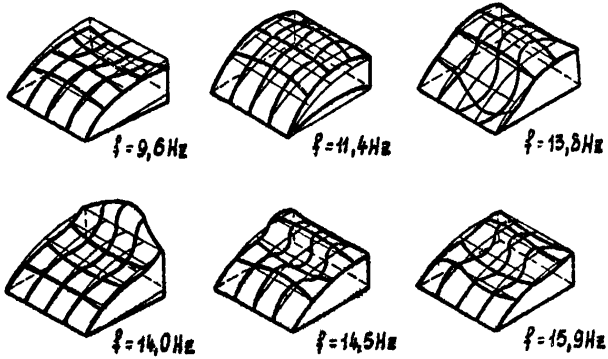


Рис.6. Формы и частота колебаний короткой цилиндрической оболочки, полученных по дискретной расчетной схеме.

есть задача сводится к уравнению $(\Delta M - \lambda E)X = 0$, где E – единичная матрица; λ – собственные значения матрицы, которые связаны с круговой частотой формулой $\lambda = 1/\omega^2$; X – собственные векторы матрицы ΔM ; $i, j = 1,2,\dots n$; n – число степеней свободы системы.

Матрица ΔM в общем случае несимметричная, хотя матрица податливости симметричная, а матрица M – диагональная. С помощью преобразования подобия уравнения приводятся к нахождению собственных значений и векторов симметричной матрицы. Собственные значения и векторы вычисляются степенным методом по стандартной программе [3]. Формы колебаний приведены на рис.6.

К определению частот основного тона вертикальных колебаний покрытий

Рекомендуемая формула:

$$\omega_{mn}^2 = \frac{B\left[a_{11}a_{22}a_{33} + 2a_{12}a_{13}a_{23} - (a_{11}a_{23}^2 + a_{22}a_{13}^2 + a_{33}a_{12}^2)\right]}{\rho_0 R\ell h_0\left[A_1(a_{22}a_{33} - a_{23}^2) + A_2(a_{11}a_{33} - a_{13}^2) + A_3(a_{11}a_{22} - a_{12}^2)\right]},$$

где ρ_0, ρ_c, ρ_m – плотности материалов соответственно обшивки, стрингеров и шпангоутов;

R – радиус кривизны оболочки;

ℓ – длина оболочки вдоль образующей;

x, y – координаты точки на срединной поверхности оболочки;

E, ν – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала обшивки;

F_c, J_{yc}, J_{kc} – площадь поперечного сечения продольного ребра /стрингера/, его момент инерции относительно оси, проходящей через центр тяжести сечения параллельно оси y, и момент инерции при кручении;

h_c – эксцентриситет стрингера;

$E_c\ G_c$ – модуль упругости и модуль сдвига материала стрингеров соответственно;

B – число стрингеров;

$F_m, J_{xm}, J_{km}, h_m, E_m, G_m, d$ – аналогичные характеристики для поперечных ребер /шпангоутов/;

x_j и y_i – координаты осей j -го стрингера и i -го шпангоута.

Выражения коэффициентов a_{ij} и A_j имеют вид:

а/ для оболочки, жестко защемленной вдоль образующей и шарнирно опертой на торцах:

$$a_{11} = \frac{3\ell d_m^2}{4R} + (1-\nu)\frac{d_n^2\ell}{2R} + \frac{d_m^2\ell\, C_{1c}}{2B\theta_0 R^2};$$

$$a_{22} = \frac{d_n^2 \ell}{R} - (1-\nu)\frac{d_m^2 \ell}{8R} + \frac{d_n C_{1w}}{B\theta_0 R}$$

$$a_{12} = \frac{d_m d_n \ell (1-3\nu)}{4R}; \qquad a_{13} = \frac{3 d_m \ell \nu}{4R} - \frac{d_m^3 \ell C_{2c}}{2B\theta_0 R^3};$$

$$a_{23} = \frac{d_n \ell}{2R} + \frac{d_n C_{1w}}{RB} - \frac{4 d_n^3 C_{2w}}{BR^2}; \qquad a_{33} = \frac{3\ell}{4R} + \frac{a^2 \ell}{R^3}\left(\frac{3}{4} d_m^4 -\right.$$

$$\left. - \ell d_m^2 d_n^2 + 4 d_n^4\right) + \frac{d_m^4 \ell C_{4c}}{2B\theta_0 R^4} + \frac{2 d_n^2 d_m^2 \ell C_{5c}}{B\theta_0 R^4} + \frac{3 C_{1w}}{2BR} - \frac{4 d_n^2 C_{2w}}{BR^2} +$$

$$+ \frac{8 d_n^4 C_{4w}}{BR^5} + \frac{2 d_m^2 d_n^2 C_{5w}}{BR^5}; \qquad A_1 = \frac{3}{4} + \frac{3 C_{3c}}{2h\rho\theta_0 R};$$

$$A_2 = \frac{1}{4} + \frac{C_{2w}}{2h\rho\ell}; \qquad A_3 = A_1 + 3A_2 - \frac{3}{4};$$

$$C_{1c} = \sum_{i=1}^{6} E_{ci} F_{ci}\left[1 - \cos\left(2 d_n y_i / R\right)\right]^2;$$

$$C_{1w} = \sum_{j=1}^{d} E_{wj} F_{wj} \sin^2\left(d_m x_j / R\right);$$

$$C_{2c} = \sum_{i=1}^{6} h_{ci} E_{ci} F_{ci}\left(1 - \cos 2 d_n \frac{y_i}{R}\right)^2;$$

$$C_{3c} = \sum_{i=1}^{6} F_{ci} \rho_{ci}\left(1 - \cos 2 d_n \frac{y_i}{R}\right)^2; \qquad C_{5c} = \sum_{i=1}^{6} G_{ci} J_{kp.i} \sin^2 2 d_n \frac{y_i}{R};$$

$$C_{4c} = \sum_{i=1}^{6} \left(J_{yc_i} + h_{c_i}^2 F_{ci}\right) E_c \left(1 - \cos 2 d_n \frac{y_i}{R}\right)^2;$$

$$C_{2\omega} = \sum_{j=1}^{d} h_{\omega j} F_{\omega j} E_{\omega j} \sin^2 d_m \frac{x_j}{R};$$

$$C_{3\omega} = \sum_{j=1}^{d} F_{\omega j} \rho_{\omega j} \sin^2 d_m \frac{x_j}{R}; \qquad C_{g\omega} = \sum_{j=1}^{d} G_{\omega j} J_{кр.\omega j} \cos^2 d_m \frac{x_j}{R};$$

$$C_{4\omega} = \sum_{j=1}^{d} E_{\omega j} \left(J_{к\omega j} + h_{\omega j}^2 F_{\omega j} \right) \sin^2 \frac{d_m x_j}{R};$$

б/ для оболочки, шарнирно опертой по контуру формы колебаний, аппроксимируются выражениями:

$$u = u(t) \cos d_m \frac{x}{R} \sin d_n \frac{y}{R};$$

$$v = v(t) \sin d_m \frac{x}{R} \cos d_n \frac{y}{R};$$

$$w = w(t) \sin d_m \frac{x}{R} \cdot \sin d_n \frac{y}{R},$$

где $d_m = m\pi R/\ell$; $d_n = n\pi/\theta_0$;

$$a_{11} = \frac{d_m^2 \ell}{4R} + (1-\nu)\frac{d_n^2 \ell}{8R} + \frac{d_m^2 \ell S_{1c}}{2B\theta_0 R^2}; \qquad a_{12} = d_m d_n \ell (1+\nu)/8R;$$

$$a_{22} = \frac{d_n^2 \ell}{4R} + (1-\nu)\frac{d_m^2 \ell}{8R} + \frac{d_n^2 S_{1\omega}}{2RB}; \qquad a_{13} = \frac{d_m \ell \nu}{4R} - \frac{d_m^3 \ell S_{2c}}{2B\theta_0 R^3};$$

$$a_{23} = \frac{d_n \ell}{4R} - \frac{d_n S_{1\omega}}{2RB} - \frac{d_n^3 S_{2\omega}}{2BR^2}; \qquad a_{33} = \frac{\ell}{4R} + \frac{\alpha^2 \ell (d_m^2 + d_n^2)^2}{4R^3} +$$

$$+ \frac{d_m^2 \ell (d_m^2 S_{4c} + d_n^2 S_{5c})}{2B\theta_0 R^4} + \frac{S_{1\omega}}{2BR} - \frac{d_n^2 S_{2\omega}}{BR^2} + \frac{d_n^2 (d_n^2 S_{4\omega} + d_m^2 S_{5\omega})}{2BR^3};$$

$$A_1 = \frac{1}{4} + \frac{S_{3c}}{2\theta_0 h R \rho}; \quad A_2 = \frac{1}{4} + \frac{S_{3\omega}}{2h\ell\rho}; \quad A_3 = A_1 + \frac{S_{3\omega}}{2h\ell\rho};$$

$A_i = \lambda_i h \ell R \rho / B$

$$S_{1c}=\sum_{i=1}^{b} E_{ci}F_{ci}\sin^2\frac{d_n y}{R};\qquad S_{1ш}=\sum_{j=1}^{d} E_{шj}F_{шj}\sin^2\frac{d_m x_j}{R};$$

$$S_{2c}=\sum_{i=1}^{b} h_{ci}E_{ci}F_{ci}\sin^2\frac{d_n y_i}{R};\qquad S_{2ш}=\sum_{j=1}^{d} h_{шj}F_{шj}E_{шj}\sin^2\frac{d_m x_i}{R};$$

$$S_{3c}=\sum_{i=1}^{b} F_{ci}\varrho_{ci}\sin^2 d_n\frac{y_i}{R};\qquad S_{3ш}=\sum_{j=1}^{d} F_{шj}\varrho_{шj}\sin^2 d_m\frac{x_i}{R};$$

$$S_{4c}=\sum_{i=1}^{b}(J_{yci}+h_c^2F_{ci})E_{ci}\sin^2 d_n\frac{y_i}{R};\qquad S_{4ш}=\sum_{j=1}^{d}E_{шj}(J_{xшj}+h_{шj}^2F_{шj})\sin^2\frac{d_m x_j}{R}$$

$$S_{5c}=\sum_{i=1}^{b} G_{ci}J_{кр.ci}\cos^2 d_n\frac{y_i}{R};\qquad S_{5ш}=\sum_{j=1}^{d} G_{шj}J_{кр.шj}\cos^2 d_m\frac{x_i}{R}$$

в/ коэффициенты формулы п.4.5 рекомендаций для определения сейсмической нагрузки шарнирно опертой ребристой оболочки имеют вид:

$$Q_k(x,y)=Q_o+\sum_{i=1}^{b}Q_i\,\delta(x-x_j)+\sum_{j=1}^{d}Q_j\,\delta(y-y_i);$$

$$\eta_{mn}(x,y)=\frac{1}{BA_3\theta_o}\left(\frac{2m_oR^2}{d_m d_n}+\frac{R}{d_m}\sum_{i=1}^{b}m_{ci}\sin d_n\frac{y_i}{R}+\frac{R}{d_n}\sum_{j=1}^{d}m_{шj}\sin\frac{d_m x_j}{R}\right)\times$$
$$\times\sin d_n\frac{y}{R}\cdot\sin d_m\frac{x}{R},$$

где $k_c=\frac{\ddot{w}}{g}$; δ – дельта-функция;

$\beta_{m,n}$ – коэффициент динамичности, определяемый по СНиП П-А.12-69;

г/ коэффициенты формулы п.4.5 рекомендаций сейсмической нагрузки для случая жесткого защемления вдоль образующих и шарнирного опирания на торцах имеют тот же вид, что и в пункте б, за исключением коэффициента формы колебаний $\eta_{m,n}$, который определяется по формуле

$$\eta_{mn}(x,y)=\frac{1}{A_3B\theta_o}\left[\frac{m_oR^2\theta_o}{d_m}(-1^m-1)+\frac{\theta_oR^2}{d_m}\sum_{i=1}^{b}m_{ci}(1-\cos 2d_n\frac{y_i}{R})(-1^m-1)+\right.$$
$$\left.+\theta_oR\ell\sum_{j=1}^{d}m_{шj}\sin d_m\frac{x_j}{R}\right](1-\cos 2d_n\frac{y}{R})\sin d_n\frac{x}{R}.$$

Приложение 2

К расчету оптимального армирования полки и поперечных ребер плиты на эксплуатационную нагрузку

Рекомендуемые формулы:

$$M_a = \frac{2qa^2(3-\gamma_к)k}{48(k+\gamma\psi)};$$

$$M_\beta = \psi M_a; \qquad M_p = \frac{qa^3}{24\gamma^2}(3-k^2\gamma).$$

Параметры $k = \frac{\gamma}{1-\frac{R_a\delta}{2R_{ap}\cdot h_o}}$; $\psi = k^2/(3-2\gamma k)$; $\gamma = a/\beta$,

где a, β - расчетные пролеты полки; R_a, R_{ap} - расчетные сопротивления на растяжение арматуры полки и поперечных ребер; δ - толщина полки; h_o - рабочая высота поперечного ребра; q - интенсивность расчетной нагрузки с учетом сейсмического воздействия; γ - коэффициент, учитывающий влияние распора.

Примечания: 1. При выводе рекомендуемых расчетных формул принято полное защемление полки в поперечных и продольных ребрах и шарнирное закрепление поперечных ребер по концам.
2. Продольные усилия сжатия в полке от изгиба плиты не учитываются в запас прочности.

Приложение 3

Программа определения частот собственных колебаний пологой ребристой оболочки покрытия, подкрепленной ортогональной сеткой эксцентричных ребер жесткости, шарнирноопертой по контуру

Для определения частоты данного типа оболочки необходимо проставить в ячейки исходных данных физические и геометрические характеристики оболочки данного типа.
Если вдоль оси X-ов / b / ребер, то в команде 4040 8 необходимо разделить на /b+1 /, а в командах 4047, 4057, 4063, 4070 вместо 0006 заслать /b -1/; вдоль оси Y-ов / d / ребер, то в команде 4115 надо 1 разделить на /d +1/, а в командах 4127, 4136 вместо 0006 заслать / d -1 /.

Числа (исходные данные)

0301		01	100			
2		01	200			
3		01	300			
4		01	400			
5		01	500			
6		01	600			
7		01	700			
0310		01	800			
1		01	314			π
2						R
3						ℓ
4						θ_0
5						ν
6						$\beta=\frac{Eh}{1-\nu^2}$
7						$F_{ст}$
0320						F_u
1						h_c
2						J_{yc}
3						G_0
4						J
5						h
6						J_x
7						G
0330						J
1						E
2						$a=\frac{2\cdot1,2}{78}$
3						δ
4						δ
5						δ
6		00	000			
7		01	100			
0340		01	600			$K-1$
1						K_1-1
2						$K+1$
3						K_1+1
4						

КА

4000		16	4001	7501	7610	перевод
1		52	0301	0042	0350	10→8
2		—	—	—	—	
3		—	0340	—	0502	π
4		—	0340	—	0503	π
5		05	0311	0312	0500	πR
6		04	0500	0313	0501	πR/ℓ
7		05	0501	0502	0504	mπR/ℓ
4010		04	0311	0314	0511	π/Q₀
1		05	0511	0503	0512	
2		56	—	4015		
3		—	—	—	0010	
4		—	—	—	0010	
5		05	0504	0504	0530	d_m^2
6		05	0313	0530	0531	ℓd_m^2
7		—			—	
4020		05	0304	0312	0532	4R
1		04	0531	0532	0533	$\ell d_m^2/4R$
2		02	0391	0315	0534	1-ν
3		05	0512	0512	0535	d_n^2
4		05	0534	0535	0536	$(1-\nu)d_n^2$
5		05	0536	0313	0537	$(1-\nu)d_n^2\ell$
6		05	0310	0312	0540	8R
7		04	0537	0540	0541	$(1-\nu)d_n^2\ell/8R$
4030		—				
		05	0316	0314	0542	$B\partial_0$
2		05	0312	0312	0543	R^2
3		05	0542	0543	0544	$B\partial_0 R^2$
4		05	0302	0544	0545	$2B\partial_0 R^2$
5		05	0331	0317	0546	EF_{cr}
6		05	0546	0531	0547	$EF_{cr}\ell d_m^2$
7		04	0547	0545	0550	$EF_{cr}\ell d_m^2/16R^2$
4040		—				
1		04	0314	0310	0551	$Q_0/8$
2		—				
3						

4044		52				
5	3	05	0551	0301	0551	y_i/R
6	5	05	0551	0512	0561	$d_n y_i/R$
7	1	12	0006	4045	0001	
4050		—	—	—		
1		52				
2	4		0561		0570	
3		16	4065	7501	7610	
4	1	—	0570	0601	1001	$\sin d_n y_i/R$
5	7	05	1001	1001	1011	$\sin^2 d_n y_i/R$
6	3	02	0301	1011	1021	$\cos^2 d_n y_i/R$
7	1	12	0006	4052	0001	
4060	—	—	0337		1030	
1		52	—		—	
2	4	01	1011	1030	1030	$\Sigma \sin^2 d_n y_i/R$
3	1	12	0006	4062	0001	
4					—	
5			0337		1032	
6		52			—	
7	4	01	1021	1032	1032	
4070	1	12	0006	4067	0001	
1		—			—	
2		06	0550	1030	1033	
3		01	0633	0541	1034	
4		01	1034	1033	1035	Q_{11}
5		—				
6		05	0512	0512	1036	d_n^2
7		05	1036	0313	1037	ℓd_n^2
4100		05	0364	0312	1040	4R
1		04	1037	1040	1041	$\ell d_n^2/4R$
2						
3		05	0534	0531	1042	$(1-\nu)\ell d_m^2$
4		05	0310	0312	1043	8R
5		04	1042	1043	1044	$(1-\nu)\ell d_m^2/8R$
6						
7		05	0331	0320	1045	$E_м F_м$

4110		05	1036	1045	1046	$E_m F_w d_n^2$	4154	05	0504	0313	1135	$d_m \ell$
11		05	0312	0316	1047	RB	5	05	0302	0312	1136	$2R$
12		05	0302	1047	1050	$2RB$	6	04	1135	1136	1137	$d_m \ell / 2R$
3		04	1046	1050	1051	$E_w F_w d_m^2 / 2RB$	7	05	1137	0534	1140	$\frac{(1-\delta) d_m \ell}{2R}$
4			—				4160	05	0530	0504	1141	d_m^3
5		04	0313	0310	1052	$\ell / 8$	1	05	1141	0313	1142	$d_m^3 \ell$
6		04	0504	0312	1053	dm / R	2	05	1142	0321	1143	$d_m^3 \ell h_c$
7		05	1052	1053	1054	$\ell d_m / 8R$	3	05	0331	0317	1144	EF_c
4120		52					4	05	1143	1144	1145	$d_m^3 \ell h_c EF_c$
1	3	05	1054	0301	1061	$d_m x_i / R$	5	05	0544	0312	1146	$B\theta_0 R^3$
2	4	–	1061	–	1070		6	04	1145	1146	1147	$d_m^3 \ell h_c EF_c / B\theta_0 R^3 = d$
3		16	4124	7501	7610		7	05	1147	1030	1150	$\alpha \cdot \Sigma \sin^2 d_n y_i / R$
4	1	00	1070	0601	1071	$\sin d_m \frac{x_i}{R}$	4170	02	1137	1140	1151	
5	7	05	1071	1071	1101	$\sin^2 d_w x_i / R$	1	02	1151	1150	1152	
6	3	02	0301	1101	1111	$\cos^2 d_m x_i / R$	2		–			
7	1	12	0006	4121	0001		3	05	0512	0313	1153	$d_n \ell$
4130			—				4	04	1153	1136	1154	$d_n \ell / 2R$
1	–	–	0337	–	1120		5	05	0512	1045	1155	$d_n E_w F_w$
2			0337		1121		6	04	1155	1047	1156	$d_n E_w F_w / RB = d_1$
3		52					7	05	1156	1120	1157	$d_1 \cdot \Sigma \sin^2 d_m x_i / R$
4	2	01	1120	1101	1120	$\Sigma \sin^2 d_m \frac{x_i}{R}$	4200	–				
5	2	01	1121	1111	1121	$\Sigma \cos^2 d_m \frac{x_i}{R}$	1	05	0512	1036	1160	d_n^3
6	1	12	0006	4134	0001		2	05	1045	1160	1161	$d_n^3 E_w F_w$
7		–					3	05	0325	1161	1162	$h_w d_n^3 E_m F$
4140		05	1051	1120	1122	$E_w F_w d_n$	4	05	1047	0312	1163	BR^2
1		01	1041	1044	1123		5	04	1162	1163	1164	$\frac{h_w d_n^3 E_m F_w}{BR^2} = d_2$
2		01	1123	1122	1124		6	05	1164	1120	1165	$d_2 \cdot \Sigma \sin^2 d_m \frac{x_i}{R}$
3			—				7	01	1154	1157	1166	
4		05	0504	0512	1125	$d_m d_n$	4210	02	1166	1165	1167	
5		05	1125	0313	1126	$d_m d_n \ell$	1		–			
6		05	0302	0312	1127	$2R$	2	05	0304	0312	1170	$4R$
7		04	1126	1127	1130	$\frac{d_m d_n \ell}{2R}$	3	04	0313	1170	1171	$\ell / 4R$
4150		04	0534	0302	1131	$(1-\delta)/2$	4	05	0530	0530	1172	d_m^4
1		05	1130	1131	1132	$\frac{d_m d_n \ell (1-\delta)}{4R}$	5	01	0530	0535	1173	$(d_m^2 + d_n^2)$
2		02	1130	1132	1133		6	05	1173	1173	1174	$(d_m^2 + d_n^2)^2$
3		–					7	05	0332	0313	1175	$a^2 \ell$

4220	05	1170	0543	1176	$4R^3$	4264	05	0302	1235	1264	$2BR^3$	
1	04	1175	1176	1177	$d^2\ell/4R^3$	5	04	1234	1264	1236	$E_w(J_{xcw}+h_c^2R)d_m^4/BR^3$	
2	05	1174	1177	1200		6	05	1236	1120	1237	$**\Sigma S\cdot v^2 d$	x_i/R
3	05	1172	0313	1201	$d_m^4\ell$	7	—					
4	05	0545	0543	1202	$2B\theta_0R^4$	4270	05	0327	0330	1240	$G_w J_{kw}$	
5	05	0321	0321	1203	h_c^2	1	04	1212	1264	1241	$d_m^2d_n^2/2BR^3$	
6	05	1203	0317	1204	$h_c^2F_c$	2	05	1240	1241	1242		
7	01	0322	1204	1205	$J_{yc}+h_c^2F_c$	3	05	1242	1121	1243		
30	05	1205	0331	1206	$E(J_{yc}+h_c^2F_c)$	4		—				
0	04	1201	1202	1207	$d_m^4\ell/2B\theta_0R^4$	5	01	1171	1200	1244		
2	05	1207	1206	1210		6	01	1244	1211	1245		
3	05	1210	1030	1211		7	01	1245	1217	1246		
4		—				4300	01	1246	1221	1247		
5	05	0530	0535	1212	$d_m^2d_n^2$	1	02	1247	1226	1250		
6	05	1212	0313	1213	$d_m^2d_n^2\ell$	2	01	1250	1237	1251		
7	05	0323	0324	1214	$G_c J_{kpc}$	3	01	1251	1243	1252		
40	05	1213	1214	1215	$\ell d_m^2d_n^2G_cJ_{kp}$	4		—				
1	04	1215	1202	1216	$d_n^2d_m^2\ell G_w J$	5	04	0301	0304	1253	$1/4$	
2	05	1216	1032	1217	$*\cdot\Sigma\cos^2 d_n$	6	05	0317	0335	1254	$F_{cr}J_{cr}$	
3		—				7	05	0302	0334	1255	$2h$	
4	04	1045	1050	1220	$E_w F_w/2RB$	4310	05	1255	0333	1256	$2h^3$	
5	05	1220	1120	1221	$*\Sigma\sin^2 d\ y_i/R$	1	05	0312	0314	1257	$R\theta_0$	
6		—				2	05	1256	1257	1260	$2h^3R\theta_0$	
7	05	0535	0325	1222	$d_n^2h_w$	3	04	1254	1260	1261	$F_{ci}J_{ci}/2h^3R\theta_0$	
50	05	1045	1222	1223	$d_n^2h_wE_wF_w$	4	05	1261	1030	1262	$*\Sigma\sin^2 d_n\ y_i/R$	
1	05	1047	0312	1224	R^2B	5	01	1253	1262	1263		
2	04	1223	1224	1225	$d_n^2h_wE_wF_w$	6		—				
3	05	1225	1120	1226	$*\Sigma\sin^2 d_n$	7	05	1256	0313	1265	$2hJ\ell$	
4		—				4320	05	0320	0336	1266	F_wJ_w	
5	05	0325	0325	1227	h_w^2	1	04	1266	1265	1267	$F_{cm}J/2hJ\ell$	
6	05	1227	0320	1230	$h_w^2F_w$	2	05	1267	1120	1270	$**\Sigma\sin^2 d_n\ x_i/R$	
7	01	0320	1230	1231	$J_{xw}+h_w^2F_w$	3	01	1253	1270	1271		
4160	05	1231	033	1232	$E_w(J_x+h_w^2F_w$	4	01	1253	1262	1272		
1	05	0535	0535	1233	d_n^4	5	01	1272	1270	1273		
2	05	1132	1233	1234	$E_w(J_x+n^2F)d_n^4$	6	—					
3	05	1224	0312	1235	BR^3	4327	05	0312	0312	1274	$R\ell$	

4330		05	0334	0333	1275	h_5	4			0340		0503			
1		05	1274	1275	1276	$R\ell h\,S$	5		01	0502	0340	0502			
2		04	1276	0316	1277	$RCh\ell/B$	6		13	0506	7721	0506	Сч		
3		05	1263	1277	1300		7		15	0506	4014				
4		05	1271	1277	1301		4440		76		4007				
5		05	1273	1277	1302		1		77						
6		04	1035	1300	1350		2								
7		04	1133	0302	1303		3								
4340		04	1152	0302	1304										
1		04	1303	1300	1351										
2		04	1224	1301	1354										
3		04	1167	0302	1305										
4		04	1305	1302	1357										
5		04	1304	1302	1356										
6		04	1252	1302	1360										
7		04	1304	1300	1352										
4350		04	1305	1301	1355										
1		04	1303	1301	1353										
2															
3		16	4354	7501	7610										
4		52	1350	0717	2001	λ_1^2									
5		52	0003		6000										
6			—												
7		05	0302	0311	1310	$2\bar{\Pi}$									
4360		52													
1	5	44	2001		1311	$\sqrt{\lambda}$									
2	5	04	1311	1310	1321	f_{eu}									
3	1	12	0002	4361	0001										
4		16	4365	7501	7610	печать									
5		52	1321	0626	1323										
6			—												
7		01	0503	0340	0503										
4370		13	0505	7721	0505	Сч									
1		15	0505	4013											
2		76		4011											
3															

Л И Т Е Р А Т У Р А

I. Строительные нормы и правила. СНиП II-А.I2-69. "Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования". М., Госстройиздат, I962.

2. Городецкий А.С., Здоренко В.С. Инструкция по использованию программы расчета пространственных стержневых систем. Киев, I966.

3. Резников Л.М. Вычисление собственных значений и векторов матриц, преобразуемых к симметричному виду. В сб. "Алгоритмы и программы для исследования на ЭВМ "Минск-22" случайных колебаний дискретных систем", К., I972.

4. Руководство по проектированию производственных зданий с каркасом из железобетонных конструкций для сейсмических районов, М., Стройиздат, I972.

5. Фаддеев Д.К., Фаддеева В.И. Вычислительные методы линейной алгебры. М., Физматгиз, I963.

6. Немчинов Ю.И., Толбатов Ю.А. Свободные колебания пологих цилиндрических оболочек, подкрепленных ребрами жесткости, "Строительная механика и расчет сооружений", I975, № 3.

7. Стаковиченко Е.И., Янкелевич М.А. Оптимизация армирования ребристых железобетонных плит. "Строительная механика и расчет сооружений", I974, № 3.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

I. Общие положения 3
2. Требования к конструктивным схемам зданий, перекрываемых складчатыми покрытиями. Основные принципы проектирования 4
3. Предложения по решению узлов и стыков конструкций покрытий серии КП-145/73 для применения в сейсмических районах 6
4. Определение расчетной сейсмической нагрузки на покрытие II
5. Расчет складчатого покрытия I4
6. Примеры расчета I7
Приложения 24
Литература 34

Научно-исследовательский институт
строительных конструкций Госстроя СССР

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по расчету и конструированию складчатых покрытий для сейсмических районов

Редактор А.И.Капитоненко
Технические редакторы Л.П.Фурманская, Е.М.Бродовская
Корректор Е.М.Бродовская

БФ 23955. Подписано к печати I/X. 1975 г. Формат бум. 60x84 1/16. Печ.л.2,25. Зак. 184 Тираж 295.

gost.e-ecolog.ru

НИИСК Госстроя СССР. Ротапринт. Киев, И.Клименко, 5/2