ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ им. В. А. КУЧЕРЕНКО
ГОССТРОЯ СССР

ИНСТРУКЦИЯ ПО РАСЧЕТУ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

МОСКВА — 1970

gost.e-ecolog.ru

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ им. В. А. КУЧЕРЕНКО
ГОССТРОЯ СССР

ИНСТРУКЦИЯ ПО РАСЧЕТУ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
Москва — 1970

УДК 624.046

В настоящей Инструкции приведены указания по расчету и проектированию несущих конструкций промышленных зданий и сооружений, воспринимающих динамические воздействия эксплуатационного характера от машин и оборудования, установленных на перекрытиях или отдельных площадках.

Инструкция разработана в лаборатории динамики Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций им. В. А. Кучеренко д-ром техн. наук А. И. Цейтлиным. Примеры расчета составлены отделом конструкций с динамическими нагрузками ЦНИИ промзданий (канд. техн. наук И. С. Арнапольский и инж. Э. А. Неустроев). Таблицы балочных функций вычислены институтом Гипротис.

В работе над Инструкцией принимала участие инж. Н. И. Гусева.

Общее редактирование Инструкции выполнено руководителем лаборатории динамики ЦНИИСК д-ром техн. наук проф. Б. Г. Кореневым.

3-2-4
План III кв. 1969 г., № 13

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. В настоящей Инструкции приводятся указания по расчету и проектированию несущих конструкций промышленных зданий и сооружений, подвергающихся действию динамических нагрузок, вызванных:

а) нормальной работой, пуском, остановкой или аварией установленных в здании (сооружении) машин и оборудования с возвратно-поступательным, вращательным и тому подобным движением масс;

б) быстро прикладываемыми силами (при разрушении напряженных конструкций, обрыве канатов, включении и коротком замыкании электромашин и т. д.), свободно падающими или летящими телами;

в) колебаниями основания здания и сооружений вследствие распространения гармонических волн от фундаментов машин и установок, создающих динамические нагрузки;

г) пульсацией давления газа в трубопроводах, внезапным изменением давления газа или жидкости в испытательных камерах, реактивным действием газовой струи и т. д.

Примечание. В Инструкции не рассматриваются вопросы расчета строительных конструкций на действие ветра, морского волнения, подвижных нагрузок и сейсмических воздействий, вызванных землетрясениями и промышленными взрывами.

1.2. Наряду с общими указаниями по расчету несущих конструкций промышленных зданий и сооружений на действие различных динамических нагрузок в настоящей Инструкции и приложениях к ней приводятся подробные сведения, необходимые для расчета конструкций на периодические и гармонические нагрузки, вызываемые работой машин и оборудования.

Подробные данные по расчету перекрытий на импульсивные и ударные нагрузки эксплуатационного характера приводятся в «Инструкции по расчету перекрытий на импульсивные нагрузки» (Стройиздат, 1966). Методы, изложенные в указанной Инструкции, могут быть использованы также для расчета других конструкций на импульсивные и ударные нагрузки.

Подробные данные по расчету покрытий приводятся в «Инструкции по расчету покрытий промышленных зданий, воспринимающих динамические нагрузки» (Стройиздат, 1967).

Определение динамических нагрузок, возникающих при работе машин, установок и оборудования, при отсутствии достаточных сведений о них в паспортных данных производится в соответствии с «Инструкцией по определению динамических нагрузок от машин,

устанавливаемых на перекрытиях промышленных зданий» (Стройиздат, 1966) и «Инструкцией по расчету перекрытий на импульсивные нагрузки».

Сведения по динамическому расчету конструкций приводятся также в «Инструкции по устранению вредных воздействий вибрации рабочих мест на предприятиях железобетонных изделий» (СН 190-61) и в «Инструкции по мерам борьбы с вибрационными воздействиями технологического оборудования при проектировании зданий и сооружений промышленности нерудных строительных материалов» (Стройиздат, 1968).

1.3. Несущие конструкции зданий и сооружений, подвергающиеся действию динамических нагрузок, проектируются в соответствии с требованиями действующих строительных норм и правил проектирования соответствующих конструкций с учетом указаний настоящей Инструкции.

1.4. Исходные данные для проведения расчета несущих конструкций, подвергающихся действию динамических нагрузок, должны содержать:

а) планы и разрезы здания или сооружения;

б) схемы размещения оборудования с указанием веса и способа закрепления на несущей конструкции, а также все полезные нагрузки;

в) характеристики динамических нагрузок:

направление и характер приложения к конструкции динамических нагрузок (сосредоточенные силы, моменты, распределенная нагрузка);

сведения об изменении нагрузки во времени: для гармонической нагрузки — амплитуда и период; для периодической нагрузки — период и закон изменения нагрузки за период (или периоды, амплитуды и фазы составляющих гармоник); для однократной ударной или импульсивной нагрузки — закон изменения во времени; для периодических ударов и импульсов — период и закон изменения нагрузки за период; для нагрузок, возникающих при пуске и остановке машин, — скорость нарастания или убывания числа оборотов;

г) при отсутствии данных о динамических нагрузках, требуемых в п. «в», — сведения о машинах и установках, являющихся источниками колебаний, позволяющие определить эти нагрузки расчетным путем:

типы машин, их количество и способ крепления к несущим конструкциям;

характеристики двигателя (вид двигателя, мощность, общий вес и вес ротора, число оборотов);

число оборотов главного вала машины в минуту (или число ходов, ударов в минуту), а также скорость их нарастания при пуске и убывания при остановке машины;

кинематическая схема машины; размеры и масса движущихся частей, моменты инерции; величины эксцентриситетов вращающихся частей, радиусов эксцентриков, радиусов кривошипов или ходов возвратно-поступательно движущихся частей; массы и скорости ударяющихся частей в момент удара, геометрические формы контактных поверхностей;

д) среднее число пусков (включений) машины в сутки, средняя продолжительность работы машины между двумя последовательными пусками;

е) данные о гармонических колебаниях оснований зданий (период и амплитуда перемещений);

ж) сведения о пребывании людей на колеблющихся конструкциях с указанием среднего времени пребывания в процентах к рабочему времени;

и) технологические требования к уровню колебаний несущих конструкций, на которых размещаются чувствительные к колебаниям машины и приборы, а также характеристики машин, измерительных приборов и оборудования по чувствительности к колебаниям согласно табл. 12 настоящей Инструкции;

к) описание промышленной площадки, краткие сведения о грунтах и возможных источниках колебаний, расположенных в радиусе до 500 *м* от проектируемого здания или сооружения.

1.5. Динамический расчет несущих конструкций промышленных зданий и сооружений на действие нагрузок эксплуатационного характера, как правило, носит поверочный характер и преследует цель проверить допустимость перемещений и внутренних усилий конструкции, рассчитанной на статические нагрузки, при совместном действии статических и динамических нагрузок с точки зрения выполнения требований:

а) прочности, выносливости (а в некоторых случаях и деформативности) конструкций;

б) санитарно-гигиенических норм;

в) технологии производственных процессов.

Если расчетом установлен недопустимо высокий уровень колебаний конструкций, то необходимо провести специальные мероприятия (изменение расположения машин, применение виброизоляции, балансировка, уравновешивание и изменение числа оборотов машин и т. д.), позволяющие уменьшить колебания. Существенное увеличение поперечных сечений и армирования, а также изменение конструктивных схем элементов несущих конструкций в целях понижения уровня колебаний, связанное со значительными дополнительными затратами, допускается лишь в отдельных случаях и должно обосновываться технико-экономическим расчетом, подтверждающим экономическую целесообразность проведения мероприятий конструктивного характера.

1.6. Динамический расчет строительных конструкций, для которых динамические нагрузки являются основными, может влиять на выбор конструктивной схемы и размеров поперечных сечений и пролетов элементов, если указанные в п. 1.5 специальные мероприятия по уменьшению колебаний оказываются недостаточно эффективными, экономически нецелесообразными или технически невыполнимыми.

ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ

1.7. Машины, установки и оборудование, создающие значительные динамические нагрузки, рекомендуется располагать на полу первых этажей многоэтажных зданий или на отдельных фундаментах, не связанных с каркасом. При необходимости устанавливать машины и оборудование с динамическими нагрузками на перекрытиях желательно располагать их на возможно большем удалении от приборов I и II класса чувствительности к колебаниям (табл. 12), например помещать те и другие в противоположных крыльях здания и на различных этажах.

Устанавливаемые вне зданий на самостоятельных фундаментах

машины и установки (например, дизели, компрессоры, копры, молоты), являющиеся источниками колебаний, передающихся через грунт на близлежащие здания, рекомендуется располагать возможно дальше от жилых и общественных зданий, а также от промышленных зданий, в которых размещаются механизмы и приборы I и II класса чувствительности к колебаниям.

1.8. Возможны два вида связи машин и оборудования с несущими конструкциями:

а) жесткая связь, когда машина или элемент оборудования связаны с конструкцией специальными жесткими креплениями или опираются на конструкцию без креплений;

б) гибкая связь, когда между машиной или элементом оборудования и несущей конструкцией вводятся податливые вставки-виброизоляторы с целью уменьшения динамического воздействия на конструкцию (активная виброизоляция) или с целью изоляции машины или прибора от колеблющейся конструкции (пассивная виброизоляция).

Для каждого из указанных видов связи машин и оборудования с несущими конструкциями возможны два способа установки:

а) непосредственно на конструкцию или виброизоляторы;

б) на специальный постамент (бетонная или железобетонная подушка, металлическая рама и т. д.), опирающийся на конструкцию или виброизоляторы или являющийся частью конструкции.

Примечания: 1. Во избежание горизонтальных смещений свободно стоящих или виброизолированных машин рекомендуется устройство креплений или боковых упоров, препятствующих этим смещениям.

2. Размеры и вес постамента при установке на виброизоляторы определяются кроме обычных конструктивных требований динамическим расчетом для обеспечения надлежащего эффекта виброизоляции.

1.9. Машины и установки с большими динамическими нагрузками можно опирать (либо подвешивать) на специальные опорные конструкции, имеющие самостоятельные фундаменты и не связанные с каркасом здания. В отдельных случаях возможно также применение опорных конструкций, соединенных с колоннами каркаса, но не связанных с перекрытиями.

1.10. Конструкции зданий и сооружений, в которых устанавливаются машины и оборудование с динамическими нагрузками, рекомендуется выполнять из железобетона.

При наличии машин IV категории динамичности (табл. 7) желательно применять только монолитные и сборно-монолитные железобетонные конструкции.

1.11. Устройство перекрытий должно обеспечивать достаточную жесткость их в своей плоскости с тем, чтобы горизонтальные динамические нагрузки распределялись на все рамы каркаса или стены здания (отсека, если здание разрезано деформационными швами).

При проектировании сборных железобетонных перекрытий должны предусматриваться соответствующие конструктивные мероприятия, обеспечивающие связь плит друг с другом. Деревянные перекрытия в виде настилов по металлическим балкам под машины с динамическими нагрузками выше I категории применять не рекомендуется.

1.12. При необходимости жесткость каркаса здания или сооружения может быть повышена посредством введения специальных диафрагм, связанных с каркасом. Диафрагмы могут быть решены в ви-

Таблица 1

Сводная таблица для определения области применения арматурных сталей в железобетонных конструкциях, подвергающихся действию динамических нагрузок (знак «+» означает допускается, знак «—» — не допускается)

Вид и класс стали	Марка стали и диаметр в *мм*	Температурные условия эксплуатации конструкций			
		в отапливаемых зданиях	на открытом воздухе и в неотапливаемых зданиях при температуре в °С		
			до —30	от —30 до —40	ниже —40
1	2	3	4	5	6
Стержневая горячекатаная гладкая класса А-I	Ст.3сп (мартеновская и конверторная) Ø 6—40	+	+	—	—
	Ст.3пс (мартеновская и конверторная) Ø 6—40	+	+	—	—
	Ст.3кп (мартеновская и конверторная) Ø6—40	+	+	—	—
	ВМСт. 3сп Ø 6—40 / ВКСт. 3сп Ø 6—40	+	+	+	+
	ВМСт. 3пс Ø 6—40 / ВКСт. 3пс Ø 6—40	+	+	+	—
	ВМСт. 3кп Ø 6—40 / ВКСт. 3кп Ø 6—40	+	+	—	—
Обыкновенная арматурная проволока и сварные сетки из нее	Ø3—8	+	+	+	+
Стержневая горячекатаная периодического профиля класса А-II	Ст.5сп (мартеновская и конверторная) Ø 10—40	+	+	+*	—
	Ст.5пс (мартеновская) Ø 10—16	+	+	+*	—

Продолжение табл. 1

Вид и класс стали	Марка стали и диаметр в *мм*	Температурные условия эксплуатации конструкций			
		в отапливаемых зданиях	на открытом воздухе и в неотапливаемых зданиях при температуре в °С		
			до —30	от —30 до —40	ниже —40
1	2	3	4	5	6
	Ст.5пс (март.) ∅ 18—40 / Ст.5пс (конв.) ∅ 10—40	+	+*	—	—
	18Г2С ∅ 40—90	+	+	+	+
Стержневая, упрочненная вытяжкой, периодического профиля класса А-IIв	Ст.5сп (мартеновская и конверторная) ∅ 10—40	+	+*	—	—
	Ст.5пс (мартеновская и конверторная) ∅ 10—40	—	—	—	—
	18Г2С ∅ 40—90	+	+	—	—
Стержневая горячекатаная периодического профиля класса А-III	25Г2С ∅ 6—40	+	+	+	+*
	35ГС ∅ 6—40	+	+	+*	—
	18Г2С ∅ 6—9	+	+	+	+
Стержневая, упрочненная вытяжкой, периодического профиля класса А-IIIв	25Г2С ∅ 6—40	+	+	—	—
	35ГС ∅ 6—40	+	—	—	—
Стержневая горячекатаная периодического профиля класса А-IV	20ХГ2Ц ∅ 10—32	+	+	+	+
	20ХГСТ ∅ 10—18	+	+	—	—
	80С ∅ 10—18	+	—	—	—
Высокопрочная арматурная проволока гладкая	∅ 3—8	+	+	+	+

Продолжение табл. 1

Вид и класс стали	Марка стали и диаметр в *мм*	Температурные условия эксплуатации конструкций			
		в отапливаемых зданиях	на открытом воздухе и в неотапливаемых зданиях при температуре в °С		
			до —30	от—30 до—40	ниже —40
1	2	3	4	5	6
Высокопрочная арматурная проволока периодического профиля	Ø 3—8	+	+	+	+
Арматурные пряди, канаты (тросы)	—	+	+	+	+

* Арматурная сталь может применяться только в вязаных каркасах и сетках.

де железобетонных перегородок и рам, крестовых или портальных стальных связей. Жесткость здания в продольном направлении может быть увеличена путем образования продольных рам с жесткими узлами за счет жесткого соединения ригелей с колоннами.

Жесткость каркасно-панельных зданий может быть повышена путем соответствующей раскладки стеновых панелей.

1.13. В несущих конструкциях, подвергающихся действию динамических нагрузок, применение бетона проектной марки ниже 200 не рекомендуется.

1.14. В предварительно напряженных железобетонных конструкциях, подлежащих расчету на прочность с учетом выносливости, минимальная проектная марка бетона и кубиковая прочность бетона при его обжатии, принимаемые по табл. 1 СНиП II-В.1-62, должны быть увеличены на 20—25%.

1.15. В железобетонных конструкциях, подлежащих расчету на прочность с учетом выносливости, арматурная сталь принимается по табл. 1 в зависимости от температурных условий эксплуатации конструкций.

1.16. Для конструкций, не подлежащих расчету на прочность с учетом выносливости (см. п. 2.7), арматурная сталь принимается в соответствии с требованиями СНиП II-В.1-62, предъявляемыми к конструкциям, рассчитываемым на статические нагрузки.

1.17. Для машин, механизмов и приборов I и II класса чувствительности к колебаниям, устанавливаемых на перекрытиях, а также во всех других случаях, когда по условиям производства можно допустить лишь колебания с очень малыми амплитудами, рекомендует-

ся применять монолитные и сборно-монолитные железобетонные перекрытия.

1.18. Машины и приборы, чувствительные к горизонтальным колебаниям, желательно располагать на перекрытиях таким образом, чтобы разность смещений опор вследствие вертикальных колебаний была минимальной.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

1.19. Расчетные сопротивления материалов строительных конструкций, воспринимающих динамические нагрузки от машин, установок и оборудования, принимаются независимыми от скорости деформирования и равными расчетным сопротивлениям при статическом нагружении. Модуль упругости материалов при динамическом нагружении принимается равным статическому модулю упругости.

Примечания: 1. При расчете ограждающих и несущих конструкций на кратковременные однократные воздействия, не связанные с нормальной работой машин, установок и оборудования (например, при авариях), разрешается допускать развитие пластических деформаций и даже разрушение отдельных элементов конструкций, если это не вызывает нежелательных последствий. При этом следует учитывать увеличение пределов прочности и текучести при высоких скоростях деформирования.

2. При проведении динамических расчетов несущих конструкций в качестве модуля упругости E принимается:

для стальных конструкций — модуль продольной упругости;

для бетонных и железобетонных конструкций — модуль упругости бетона при сжатии;

для каменных и армокаменных конструкций — начальный модуль упругости кладки;

для деревянных конструкций $E=100\,000$ *кГ/см*^{2} независимо от породы древесины.

Для модуля сдвига кирпичной кладки и бетонных панелей ограждения допускается принимать приближенное значение $G=0{,}3\ E$, где E — начальный модуль упругости кирпичной кладки.

1.20. Способность материала конструкций поглощать энергию колебаний вследствие внутреннего трения, обусловливающая затухание свободных колебаний, характеризуется коэффициентом поглощения ψ, представляющим отношение энергии, необратимо поглощенной в конструкции за один полный цикл колебаний, к полной энергии упругих колебаний конструкции за тот же цикл. Коэффициент поглощения ψ равен удвоенному логарифмическому декременту затухания δ собственных колебаний конструкций. В расчетах используется коэффициент неупругого сопротивления γ:

$$\gamma = \frac{\psi}{2\pi} = \frac{\delta}{\pi}, \qquad (1)$$

значения которого для различных материалов (при изгибных колебаниях конструкций) приведены в табл. 2.

Дифференциацией коэффициента неупругого сопротивления по категориям динамических нагрузок (см. табл. 7 и 8) приближенно учи-

Таблица 2

Значения коэффициента γ

Материал	Коэффициент γ	
	при динамической нагрузке I и II категории	при динамической нагрузке III и IV категории
Железобетон ненапряженный	0,05	0,1
» предварительно напряженный	0,025	0,05
Прокатная сталь	0,01	0,025
Кирпичная кладка	0,04	0,08
Дерево	0,03	0,05

тывается зависимость поглощения энергии вследствие внутреннего трения от величины динамических напряжений в конструкциях.

1.21. В случае составной, многослойной и комбинированной конструкции, выполненной из различных материалов, суммарная жесткость которой $D = \sum_{n=1}^{m} D_n$, коэффициент γ определяется по формуле

$$\gamma = \frac{\sum_{n=1}^{m} \gamma_n D_n}{D}, \qquad (2)$$

где γ_n — коэффициент неупругого сопротивления n-го элемента или составной части конструкции;

D_n — жесткость n-го элемента или составной части;

m — число элементов или составных частей конструкции.

Жесткость составных частей для монолитного сечения определяется относительно нейтральной оси всего сечения, для немонолитного — относительно своей нейтральной оси.

1.22. Расчетные сопротивления материала конструкций, подвергающихся действию статических и эпизодических динамических нагрузок (см. п. 1.27), принимаются такими же, как и при расчете на постоянные статические нагрузки.

1.23. Расчетные сопротивления материала конструкций, подвергающихся одновременному действию статических и систематических динамических нагрузок (см. п. 1.27), вычисляются путем умножения расчетных сопротивлений для статических нагрузок на понижающий коэффициент, зависящий от отношения ρ наименьшего напряжения в рассчитываемом сечении элемента σ_{min} к наибольшему напряжению σ_{max} (каждое напряжение со своим знаком) и определяемый согласно СНиП (для стальных конструкций — СНиП II-В.3-62, п. 8.9; для железобетонных конструкций — СНиП II-В.1-62, пп.3.4 и п. 3.7). Отношение наименьшего напряжения к наибольшему можно определить по формуле

$$\rho = \frac{\sigma_{мин}}{\sigma_{макс}} = \frac{1 - s}{1 + s}. \qquad (3)$$

где $s \geqslant 0$ — есть отношение абсолютной величины наибольшего динамического напряжения (усилия) к абсолютной величине статического напряжения (усилия).

1.24. Жесткость несущих конструкций, воспринимающих динамические нагрузки эксплуатационного характера, определяется по формулам, используемым в статических расчетах при условии упругой работы материала.

Жесткость изгибаемых элементов железобетонных конструкций, применяемых в промышленных зданиях под машины и установки с динамическими нагрузками, при определении динамических перемещений и напряжений допускается определять по формуле

$$B = E_б J, \tag{4}$$

где $E_б$ — модуль упругости бетона;

J — момент инерции поперечного сечения элемента (для армированных конструкций без учета арматуры).

1.25. Жесткость изгибаемых элементов железобетонных конструкций особо ответственных зданий и сооружений при наличии соответствующих экспериментальных или опытных данных рекомендуется определять с учетом раскрытия трещин в растянутой зоне бетона.

ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

1.26. Динамическая нагрузка характеризуется видом (сила, момент); законом изменения во времени ее величины (гармоническая, периодическая, импульсивная, внезапно приложенная и т. д.) и положения (неподвижная, движущаяся с постоянной или переменной скоростью и др.); направлением (вертикальная, горизонтальная и др.); характером распределения по конструкции (сосредоточенная, распределенная по заданному закону).

1.27. Динамические нагрузки в зависимости от продолжительности вызываемых ими колебаний и периодичности действия делятся на эпизодические и систематические. К эпизодическим нагрузкам относятся одиночные импульсы и удары, кратковременные перегрузки в аварийных режимах, нагрузки, возникающие при пуске и остановке машин во время перехода через резонанс (при числе пусков в сутки менее 5) и т. д. К систематическим нагрузкам относятся периодические и непериодические нагрузки при регулярной работе машин и установок в рабочем режиме, а также многократные импульсы и удары, при действии которых необходимо учитывать усталостные эффекты.

1.28. Динамические нагрузки от данной машины полностью определены, если известны направление, линия действия и законы изменения во времени их главного вектора и главного момента.

Динамические нагрузки, развиваемые большинством машин непрерывного действия, изменяются по гармоническому закону и только в отдельных случаях являются некоторыми периодическими (негармоническими) функциями времени. Эти функции разлагаются в тригонометрические ряды, в которых для целей динамического расчета используются первые, а иногда и высшие гармоники. Динамические нагрузки вычисляются как геометрические суммы сил и моментов сил инерции движущихся частей, ускорения которых определяются кинематикой механизма машины.

Если машина имеет номинально уравновешенные, а фактически

неуравновешенные движущиеся части, то динамическая нагрузка зависит от величины эксцентриситетов вращающихся частей или от разности весов возвратно-поступательно движущихся частей, номинально уравновешивающих друг друга.

1.29. Различаются нормативные и расчетные динамические нагрузки, развиваемые машинами. Нормативные динамические нагрузки определяются согласно п. 1.30, а расчетные — согласно п. 1.31 настоящей Инструкции.

1.30. Нормативная динамическая нагрузка развивается машиной в ее нормальном состоянии, отвечающем техническим требованиям по эксплуатации машин.

Амплитуда динамической нагрузки, изменяющейся во времени по гармоническому закону, определяется по формуле

$$R = m e \omega^2, \tag{5}$$

где R — нормативная амплитуда динамической нагрузки;

$m = \frac{G}{g}$ — масса возвратно-поступательно движущихся или вращающихся частей машины (G — номинальный вес возвратно-поступательно движущихся или вращающихся частей машины; g — ускорение силы тяжести);

e — амплитуда перемещений центра масс, равная радиусу эксцентрика, половине хода в машинах с возвратно-поступательным движением массы, нормальному эксцентриситету вращающейся массы в ротационных машинах или нормальному приведенному эксцентриситету при сложном движении частей;

$\omega = \frac{N\pi}{30}$ — круговая частота вращения главного вала машины в *рад/сек* (N — число оборотов главного вала машины в 1 *мин*).

Для машин с конструктивно неуравновешенными движущимися частями величины G и e известны (например, в машинах с эксцентриковыми механизмами G равно сумме весов движущихся частей, а e — радиусу эксцентрика).

Для машин с номинально уравновешенными вращающимися частями (центрифуги, вентиляторы и т. п.) величина G представляет собой полный вес вращающихся частей (например, в центрифугах — вес барабана и вала вместе с заполнением), а величина e — эксцентриситет, равный расчетному смещению центра вращающихся масс от оси вращения.

Приведенный эксцентриситет для вычисления нормативной амплитуды динамической силы по формуле (5) принимается согласно указаниям разделов 4, 5, 6, 10 и 12 «Инструкции по определению динамических нагрузок от машин, устанавливаемых на перекрытиях промышленных зданий».

Возмущающая сила R от ротационных машин, амплитуда которой определяется по формуле (5), постоянна по величине и вращается с угловой скоростью ω в плоскости, перпендикулярной оси вращения и проходящей через центр тяжести вращающихся частей. Она может быть разложена по любым двум неподвижным взаимно перпендикулярным осям, расположенным в этой плоскости и имеющим начало координат на оси вращения, на составляющие $R \sin \omega t$ и $R \cos \omega t$.

При определении нормативных динамических нагрузок от машин

и установок импульсивного и ударного действия можно пользоваться указаниями «Инструкции по расчету перекрытий на импульсивные нагрузки».

1.31. Расчетная динамическая нагрузка вычисляется путем умножения нормативной динамической нагрузки на коэффициент перегрузки $k_д$, принимаемый по табл. 3.

Таблица 3

Значения коэффициента перегрузки $k_д$

Тип машины	Коэффициент перегрузки $k_д$
Машины с конструктивно-неуравновешенными движущимися частями	1,3
Машины с номинально уравновешенными, а фактически неуравновешенными движущимися частями .	4
Машины ударного и импульсивного действия . .	1

Коэффициент перегрузки введен в связи с тем, что фактическая динамическая нагрузка может превышать ее нормативное (среднее) значение (п. 1.30) вследствие возможных отклонений параметров машин от их нормальных значений (в особенности большие отклонения возможны в величине e для машин с вращающимися частями), что связано с изменением режима работы машины, увеличением зазоров в подшипниках при их длительной работе, износом деталей и т. д.

1.32. При сосредоточенном опирании машины на перекрытие считается, что динамические силы приложены в точках опирания согласно схемам табл. 4; при этом если отношение расстояния a между опорами машины по длине элемента перекрытия к его пролету l меньше 0,2, то сосредоточенные в местах опирания машины силы могут быть заменены силой и моментом, приложенными в точке, являющейся проекцией точки приложения инерционной силы R на плоскость перекрытия.

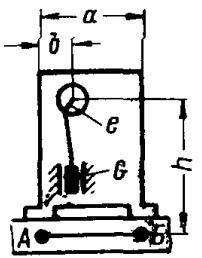
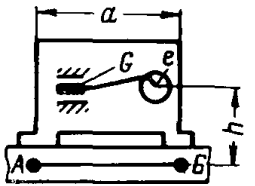
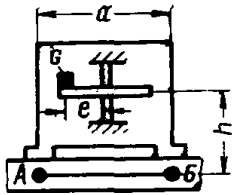
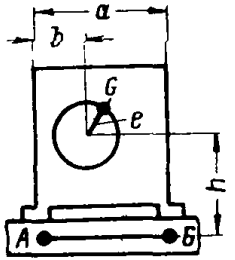
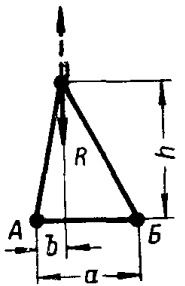
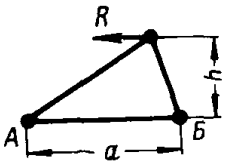
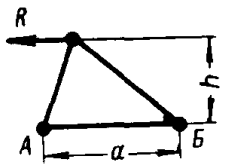
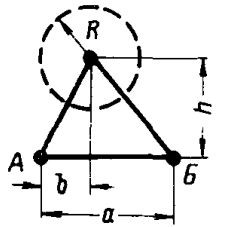
При сплошном опирании машины на перекрытие, а также при любом опирании машины на постамент динамические силы и моменты считаются приложенными к перекрытию сосредоточенно в одной точке, являющейся проекцией точки приложения инерционной силы R на плоскость перекрытия согласно табл. 4.

Для виброизолированных машин динамические силы принимаются приложенными к перекрытию по указанным схемам, при этом под опорами машин понимаются виброизоляторы. Амплитуда силы, передающейся через каждый виброизолятор на конструкцию, равна произведению амплитуды колебаний станины, определенной в месте расположения этой опоры, и жесткости виброизоляторов в соответствующем направлении.

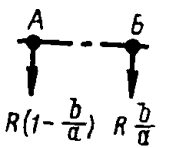
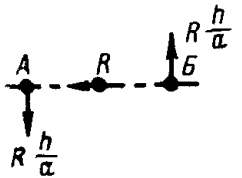
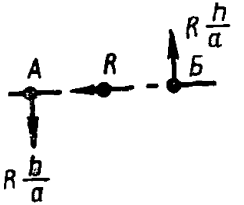
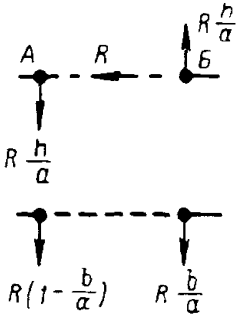
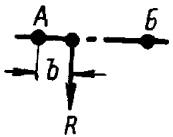
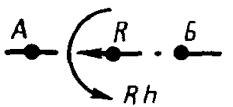
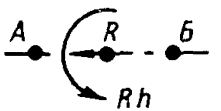
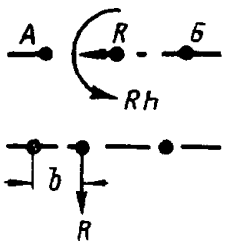
1.33. Если рабочее число оборотов главного вала машины может изменяться в некоторых пределах, то при вычислении амплитуд динамических нагрузок необходимо принимать максимальное число оборотов главного вала, а при установлении частоты изменения динамических нагрузок с целью проверки строительных конструкций на резонанс необходимо принимать полосу изменения частоты от минимального до максимального значения, соответствующих минимальному и максимальному значению числа оборотов главного вала.

Таблица 4

Схема действия на конструкцию инерционных сил машин

Наименование показателей	Тип машин			
Кинематическая схема машин				
Направление и точка приложения инерционной силы				

Продолжение табл. 4

Наименование показателей	Тип машин			
Схема действующих на конструкцию усилий при опирании машины в двух точках				
Схема действующих на конструкцию усилий при сплошном опирании машины или при $a \leqslant 0{,}2l$ (l — пролет)				

Примечание. *А—Б* — ось элемента конструкции.

1.34. Перегрузки, учитываемые вводом коэффициента $k_д$ (табл. 3), носят в подавляющем большинстве случаев длительный характер и поэтому должны учитываться при расчете на выносливость. Однако если перегрузка связана с экстренным режимом работы машины или установки (например, обрыв молотка в молотковых дробилках, промой осадка в некоторых типах центрифуг и т. п.), то она носит разовый характер и должна учитываться только при проверке прочности поддерживающих конструкций.

При одновременной работе нескольких машин, перегрузки которых связаны с экстренными режимами, расчетная нагрузка определяется следующим образом. Если m — общее число машин, то расчет ведется на нормативную нагрузку от $m—m_1$ машин и на расчетную нагрузку от m_1 машин, где $m_1=1$ при $m=1\div10$; $m_1=2$ при $m=11\div20$ и т. д. При этом коэффициент перегрузки вводится для тех машин, которые расположены невыгоднейшим образом или имеют наибольшие нормативные динамические нагрузки.

1.35. Машины и установки, создающие динамические нагрузки, делятся на три типа в зависимости от характера динамического воздействия (табл. 5) и на три группы в зависимости от характерной продолжительности динамической нагрузки, т. е. от периода при гармонических и периодических воздействиях и продолжительности импульса при импульсивных и ударных воздействиях (табл. 6).

Таблица 5

Тип машин и установок по характеру динамического воздействия

Тип	Характер динамического воздействия
1	Гармоническое воздействие
2	Периодическое »
3	Импульсивное и ударное воздействие

Таблица 6

Группы машин и установок по характерной продолжительности динамической нагрузки

Группа	Тип машин и установок		
	1, 2		3
	Частота нагрузки или преобладающей гармоники в *цикл/мин*	Характеристика частотности	Продолжительность импульса в *сек*
1	До 400	Низкочастотные	Более 0,1
2	От 400 до 2000	Среднечастотные	От 0,1 до 0,005
3	Более 2000	Высокочастотные	Менее 0,005

Примечания: 1. Под периодическим воздействием в табл. 5 понимаются «спокойные» периодические нагрузки. Относительно периодических импульсов и ударов см. «Инструкцию по расчету перекрытий на действие импульсивных нагрузок».

2. Под числом циклов в минуту понимается число оборотов, двойных ходов, ударов и т. п. в минуту.

1.36. Машины и установки, создающие динамические нагрузки, делятся на четыре категории по динамичности в зависимости от отношения вызываемых их работой расчетных динамических напряжений в конструкции к расчетному сопротивлению материала конструкции (табл. 7) в наиболее напряженном сечении.

Таблица 7

Категории машин по динамичности

Категория динамичности	Характеристика динамичности	Отношение абсолютной величины динамического напряжения к соответствующему расчетному сопротивлению материала конструкции
I	Малая	До 0,003
II	Средняя	» 0,03
III	Большая	» 0,3
IV	Очень большая	Свыше 0,3

Для предварительной оценки категории машин и установок, располагаемых в многоэтажных промышленных зданиях, можно использовать табл. 8. В табл. 8 даны приближенные нормативные значения динамических нагрузок от машин и установок различной категории динамичности, вызывающих вертикальные колебания конструкций здания. При расчете зданий на действие горизонтальных возмущающих нагрузок (т. е. при рассмотрении горизонтальных колебаний зданий), а также в других случаях, когда трудно установить категорию динамической нагрузки, в предварительных расчетах для определения значения коэффициента γ по табл. 2 следует принимать категорию нагрузки:

а) при определении динамических перемещений — I, II;

б) при определении динамических напряжений — III, IV.

Таблица 8

Ориентировочное деление машин, устанавливаемых в промышленных зданиях по категориям динамичности

Категория динамичности	Характеристика динамичности	Величина нормативной нагрузки	
		амплитуда инерционной силы (при гармонической нагрузке) в *кГ*	эквивалентный мгновенный импульс (при импульсивной нагрузке) в *кГ·сек*
I	Малая	До 10	До 1
II	Средняя	От 10 до 100	От 1 до 10
III	Большая	» 100 » 1000	» 10 » 100
IV	Очень большая	Более 1000	Более 100

Примечания: 1. Величина эквивалентного мгновенного импульса определяется для основного тона конструкции путем умножения нормативной величины импульса на коэффициент ε, определяемый по табл. 9 в зависимости от отношения продолжительности импульса τ к периоду основного тона T конструкции.

2. При периодической нагрузке в качестве величины нормативной нагрузки в табл. 8 принимается наибольшая из амплитуд гармоник

3. Если в одном или смежных пролетах перекрытия установлено несколько машин, то категория машин определяется для суммарной величины нормативной нагрузки по соответствующей графе табл. 8.

1.37. При определении суммарного воздействия нескольких машин или установок одного типа, создающих периодические нагрузки с одинаковой частотой или весьма близкими частотами, равнодействующая (суммарная амплитуда) всех нагрузок умножается на коэффициент синфазности λ, учитывающий сдвиг фаз между отдельными нагрузками. Коэффициент λ определяется по графику (рис. 1) для машин и установок с асинхронными двигателями и по графику (рис. 2) для машин и установок с синхронными двигателями.

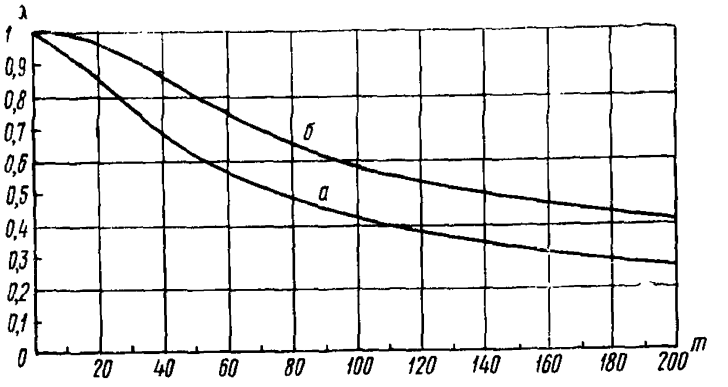


Рис. 1. График для определения коэффициента синфазности λ для машин и установок с асинхронными двигателями

а — если номинальная частота возмущающей нагрузки попадает в одну из резонансных зон; *б* — то же, не попадает ни в одну из резонансных зон; *m* — число машин

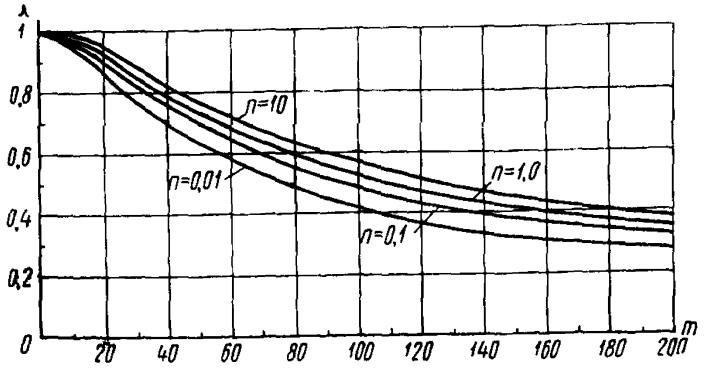
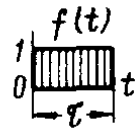
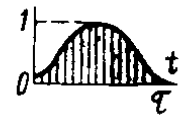


Рис. 2. График для определения коэффициента синфазности λ для машин и установок с синхронными двигателями

n — среднее число включений в сутки; *m* — число машин

Таблица 9

Значения коэффициента $\bar{\varepsilon}$

Форма импульса / τ/T						
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,01	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,05	0,996	0,999	0,999	0,999	0,999	0,998
0,10	0,983	0,990	0,990	0,991	0,994	0,993
0,15	0,963	0,974	0,974	0,979	0,981	0,985
0,20	0,936	0,958	0,958	0,963	0,968	0,974
0,25	0,900	0,933	0,933	0,943	0,950	0,960
0,30	0,858	0,905	0,905	0,917	0,930	0,943
0,35	0,810	0,872	0,872	0,890	0,902	0,923
0,40	0,757	0,835	0,835	0,858	0,875	0,901
0,45	0,697	0,797	0,800	0,823	0,844	0,876
0,50	0,637	0,755	0,761	0,785	0,811	0,849
0,60	0,530	0,664	0,692	0,705	0,739	0,788
0,70	0,455	0,569	0,631	0,625	0,667	0,724
0,80	0,398	0,477	0,579	0,552	0,559	0,661
0,90	0,354	0,416	0,533	0,489	0,537	0,599
1,00	0,318	0,369	0,494	0,433	0,480	0,543
1,20	0,265	0,301	0,429	0,344	0,383	0,444
1,40	0,227	0,253	0,379	0,277	0,306	0,365
1,60	0,199	0,219	0,340	0,227	0,244	0,301
1,80	0,177	0,192	0,307	0,192	0,208	0,252
2,00	0,159	0,172	0,280	0,167	0,184	0,212
2,50	0,127	0,135	0,230	0,125	0,144	0,152
3,00	0,106	0,112	0,195	0,104	0,117	0,119
3,50	0,091	0,095	0,169	0,083	0,099	0,099
4,00	0,080	0,083	0,149	0,071	0,086	0,085
5,00	0,064	0,066	0,121	0,056	0,068	0,066
6,00	0,053	0,054	0,102	0,045	0,056	0,055
7,00	0,045	0,046	0,088	0,038	0,048	0,046
8,00	0,040	0,041	0,077	0,033	0,041	0,040
9,00	0,035	0,036	0,069	0,029	0,037	0,035
10,00	0,032	0,032	0,062	0,026	0,033	0,032
15,00	0,021	0,021	0,042	0,017	0,021	0,021
20,00	0,016	0,016	0,031	0,013	0,016	0,016

1.38. Возмущающие нагрузки, передающиеся на поддерживающую конструкцию виброизолированной машиной, определяются при следующих режимах:

а) при рабочем режиме машины;

б) при прохождении через резонанс виброизолированной установки во время пуска или остановки машины.

1.39. При рабочем режиме виброизолированной машины возмущающая гармоническая нагрузка, действующая на поддерживающую конструкцию, определяется в общем случае как совокупность сил, передающихся через все виброизоляторы.

Составляющие амплитуды возмущающей силы P_i, передающейся через i-тый виброизолятор, определяются по формулам

$$\left.\begin{aligned} P_{xi} &= a_{xi} K_{xi}; \\ P_{yi} &= a_{yi} K_{yi}; \\ P_{zi} &= a_{zi} K_{zi}; \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

где a_{xi}, a_{yi}, a_{zi} — амплитуды вынужденных колебаний i-того виброизолятора в направлении осей x, y, z, определяемые согласно указаниям «Инструкции по проектированию и расчету виброизоляции машин с динамическими нагрузками и оборудования, чувствительного к вибрациям»;

K_{xi}, K_{yi}, K_{zi} — жесткость i-того виброизолятора в направлении осей x, y, z.

В случае периодической нагрузки P_i, a_{xi} и т. д. обозначают соответственно амплитуды возмущающей силы и амплитуды колебаний i-того виброизолятора по каждой из учитываемых гармоник.

1.40. Если расстояние между крайними виброизоляторами составляет менее $^1/_5$ пролета несущей конструкции, на которую опирается виброизолированная машина, то совокупность возмущающих сил, передающихся через виброизоляторы, приближенно заменяется сосредоточенной возмущающей силой P и возмущающим моментом M, приложенными в точке конструкции, соответствующей центру жесткости виброизоляторов. Составляющие в направлении осей координат сосредоточенной возмущающей силы P определяют по формулам

$$\left.\begin{aligned} P_x &= a_x K_x; \\ P_y &= a_y K_y; \\ P_z &= a_z K_z, \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

где a_x, a_y, a_z — амплитуды колебаний центра жесткости виброизолированной машины в направлении осей координат.

Составляющие возмущающего момента M относительно осей координат, проходящих через центр тяжести виброизоляторов, определяются по формулам

$$\left.\begin{aligned} M_x &= \varphi_{ox} K_{\varphi x}; \\ M_y &= \varphi_{oy} K_{\varphi y}; \\ M_z &= \varphi_{oz} K_{\varphi z}, \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

где φ_{ox}, φ_{oy}, φ_{oz} — амплитуды вращательных колебаний установки относительно координатных осей;

$K_{\varphi x}$, $K_{\varphi y}$, $K_{\varphi z}$ — угловые жесткости всех виброизоляторов относительно тех же осей — см. «Инструкцию по проектированию и расчету виброизоляции машин с динамическими нагрузками и оборудования, чувствительного к вибрациям».

Если при этом виброизолируемая установка возбуждает только вертикальные колебания, то амплитуду гармонической нагрузки (или отдельной гармоники в случае периодической нагрузки), передающейся на конструкцию, рекомендуется определять по формуле

$$P = \frac{R}{\alpha^2 - 1}, \tag{9}$$

где P — амплитуда гармонической силы (или отдельной гармоники), передающейся через виброизоляторы на поддерживающую конструкцию;

R — амплитуда гармонической силы (или отдельной гармоники), развиваемой машиной и действующей на виброизолируемую установку;

$\alpha = \frac{\omega}{p_y}$ — отношение круговой частоты вынужденных колебаний (возмущающей нагрузки) к круговой частоте собственных колебаний виброизолируемой установки.

Примечания: 1. Если основная гармоника периодической нагрузки, действующей на виброизолированную установку, является преобладающей, то высшие гармоники можно не учитывать, считая, что через виброизоляторы передается только гармоническая нагрузка с частотой и амплитудой основной гармоники.

2. Расчет конструкций, несущих машины и установки импульсивного действия, установленные на виброизоляторы, производится согласно указаниям «Инструкции по расчету перекрытий на импульсивные нагрузки».

1.41. При пуске или остановке виброизолированной машины, развивающей в рабочем режиме гармоническую нагрузку, во время прохождения через резонанс на поддерживающую конструкцию может передаваться увеличенная по сравнению с рабочим режимом нагрузка. Нагрузку при переходе через резонанс допускается принимать гармонической с амплитудой

$$P = \bar{\mu} R \frac{\bar{\omega}^2}{\omega^2} \tag{10}$$

и с круговой частотой

$$\bar{\omega} = p_y \left[1 \pm \frac{2{,}171}{(1 + 0{,}14\,\gamma_в\, q)^2\, q} \right], \quad q = \frac{p_y}{\sqrt{\varepsilon}}, \tag{11}$$

где R, ω — амплитуда и круговая частота нагрузки в рабочем режиме;

p_y — круговая частота собственных колебаний установки;

$\gamma_в$ — коэффициент неупругого сопротивления виброизоляторов;

ε — абсолютная величина постоянного углового ускорения в *рад/сек*^{2};

$\bar{\mu}$ — коэффициент передачи, определяемый по графикам (рис. 3) или формуле

$$\bar{\mu} = \sqrt{\left[\frac{f_1}{m_1} \mp \frac{1}{2\left(1 + \frac{\bar{\omega}}{p_v}\right)}\right]^2 + \left[\frac{f_2}{m_1}\right]^2}.$$

Здесь

$$m_1 = \sqrt{\frac{1}{q^2} + \gamma_в^2}.$$

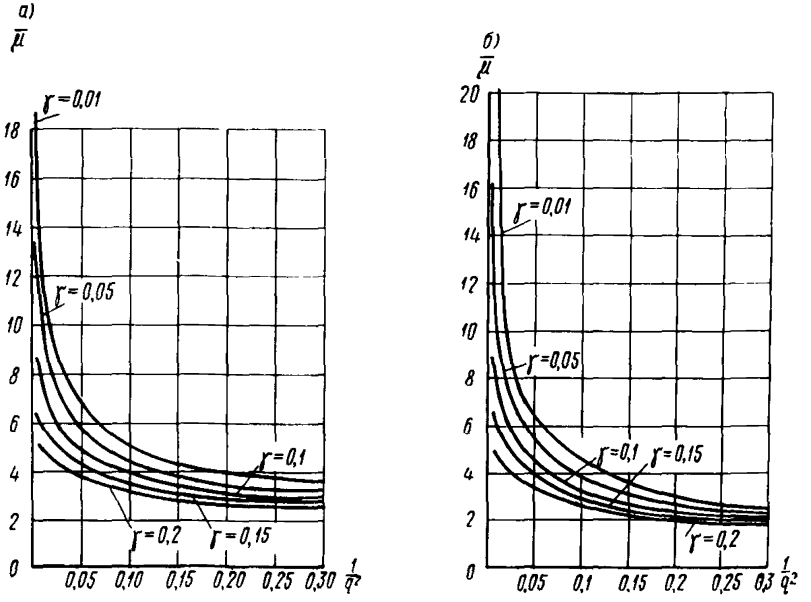


Рис. 3. График для определения коэффициента передачи $\bar{\mu}$ при переходе через резонанс

а — остановочный режим; *б* — пусковой режим

Параметры f_1 и f_2 определяются из графиков (рис. 4) в зависимости от величины $\gamma_в/m_1$.

В приведенных формулах знак плюс относится к пусковому режиму, а знак минус — к остановочному. Расчет производится на тот режим, при котором абсолютная величина углового ускорения, а следовательно, и скорость прохождения через резонанс меньше. При близких ускорениях в обоих режимах расчетным принимается остановочный режим.

Формула (11) справедлива для машин и установок, инерционные силы которых создаются в результате движения неуравновешенных масс и определяются по формуле (5) или аналогичным формулам. Если амплитуда динамической нагрузки R остается постоянной при пуске и остановке, то амплитуда передающейся при переходе через резонанс нагрузки вычисляется путем умножения R на коэффициент передачи $\bar{\mu}$, определяемый по приведенной выше формуле или из графиков на рис. 3, т. е. $P = \bar{\mu}R$.

Если виброизолированная машина или установка развивает периодическую нагрузку, то расчет при переходе через резонанс производится на преобладающую гармонику.

2. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Расчет конструкций должен обеспечить их несущую способность при совместном действии статической и динамической нагрузки и ограничить уровень колебаний конструкций такими пределами, которые исключают возможность вредного влияния колебаний на здоровье людей и технологический процесс.

2.2. Для конструкций, на которых не должны находиться люди и не устанавливается чувствительное к колебаниям оборудование, проверка прочности и статической устойчивости производится в соответствии с указаниям п. 2.3 и выносливости в соответствии с указаниями п. 2.4 настоящей Инструкции.

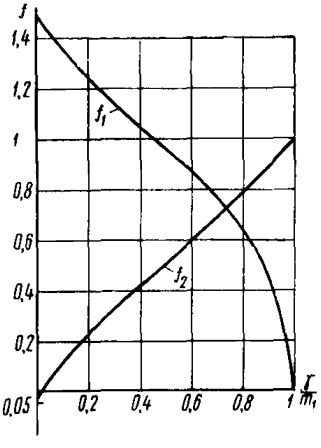


Рис. 4. Графики для определения коэффициентов f_1 и f_2

Для конструкций, на которых находятся люди или установлено чувствительное к колебаниям оборудование, должна производиться проверка уровня колебаний исходя из требований санитарно-гигиенических норм или технологии производственных процессов, а также проверка прочности с учетом выносливости.

Примечания: 1. Проверка гибких сжатых элементов на динамическую устойчивость настоящей Инструкцией не предусматривается (см. об этом в «Инструкции по расчету покрытий промышленных зданий, воспринимающих динамические нагрузки»).

2. Расчет на выносливость производится только при действии систематических динамических нагрузок (п. 1.27).

2.3. Расчет на прочность и устойчивость элементов конструкций, подверженных одновременному воздействию статических и динамических нагрузок, производится согласно указаниям СНиП, при этом воздействие динамических нагрузок учитывается следующим образом:

а) расчет изгибаемых элементов на прочность производится по формуле

$$M_{\text{с}}^{\text{р}} + M_{\text{д}}^{\text{р}} \leqslant M^{\text{р}}, \qquad (12)$$

где $M_{\text{с}}^{\text{р}}$ — изгибающий момент от расчетной статической нагрузки;

$M_{\text{д}}^{\text{р}}$ — то же, от динамической нагрузки (с тем же знаком, что и $M_{\text{с}}^{\text{р}}$);

$M^{\text{р}}$ — предельный изгибающий момент, воспринимаемый сечением и определяемый в предположении статического действия нагрузки согласно СНиП.

Примечание. Для изгибаемых элементов при проверке напряжений в направлении главных растягивающих усилий необходимо учитывать динамические нагрузки III и IV категории динамичности. При этом к поперечной силе от расчетных статических нагрузок прибавляется поперечная сила от расчетных динамических нагрузок;

б) при расчете сжато-изогнутых и сжатых элементов на прочность и статическую устойчивость к расчетным статическим нагрузкам прибавляются расчетные динамические нагрузки, определяемые согласно указаниям п. 1.31.

2.4. Расчет изгибаемых элементов на прочность с учетом выносливости производится по формуле

$$M_{\text{с}}^{\text{н}} + M_{\text{д}}^{\text{р}} \leqslant M_{\text{вын}}, \qquad (13)$$

где $M_{\text{с}}^{\text{н}}$ — изгибающий момент от нормативной статической нагрузки;

$M_{\text{д}}^{\text{р}}$ — изгибающий момент от расчетной динамической нагрузки (с тем же знаком, что и $M_{\text{с}}^{\text{н}}$);

$M_{\text{вын}}$ — предельный изгибающий момент при расчете на выносливость, определяемый по расчетному пределу выносливости согласно указаниям СНиП.

Примечания: 1. Для железобетонных изгибаемых элементов, а также для внецентренно сжатых и внецентренно растянутых элементов должна производиться проверка напряжений в направлении главных растягивающих усилий при действии нагрузок III и IV категории динамичности. При этом главные растягивающие напряжения от нормативной статической и нормативной динамической нагрузки в предварительно напряженных элементах не должны превышать расчетного предела выносливости материала, определяемого согласно указаниям СНиП, а в элементах с ненапрягаемой арматурой в случае, если главные растягивающие напряжения превышают расчетный предел выносливости, их равнодействующая по нейтральной оси должна быть полностью воспринята поперечной и отогнутой арматурой, напряжения в которой не должны превышать расчетного предела выносливости.

2. Условия (12)—(13) должны выполняться для напряжений и внутренних усилий обоих знаков.

2.5. При учете динамических нагрузок от машин III и IV категории динамичности изгибающий момент и поперечная сила, воспринимаемые наименее напряженными от статических нагрузок конструктивно армируемыми сечениями, должны составлять не менее 20% величины изгибающего момента и поперечной силы, воспринимаемых наиболее напряженным сечением данного пролета.

2.6. При прочном закреплении на поддерживающих конструкциях оборудования, обладающего значительной жесткостью, динамический расчет конструкций допускается производить с учетом жесткости указанного оборудования.

2.7. При проверке несущей способности конструкций можно не учитывать динамические нагрузки:

а) от машин и установок I категории динамичности;

б) от машин и установок II категории динамичности, устанавливаемых на виброизоляторы;

в) для изгибаемых элементов перекрытий, площадок и т. п. от машин и установок всех категорий динамичности, если наибольшее динамическое перемещение от расчетных нагрузок за вычетом перемещений опор не превышает 1/50 000 пролета элемента;

г) для колонн и стен здания, а также стоек площадок и этажерок от машин и установок всех категорий динамичности, если разность горизонтальных динамических перемещений от расчетных нагрузок нижнего и верхнего конца колонны (стены, стойки) в пределах этажа не превышает 1/50 000 высоты этажа;

д) для элементов перекрытий при гармонических нагрузках от машин II категории динамичности, относящихся к первой и третьей группе по частотности (табл. 6);

е) для колонн и стен зданий, а также стоек площадок и этажерок при горизонтальных гармонических нагрузках II категории динамичности, относящихся ко второй и третьей группе по частотности.

2.8. Наибольшие перемещения, скорости или ускорения конструкций от нормативной динамической нагрузки не должны превышать допускаемой величины, определяемой из условия нормальной работы людей, а также машин, станков, измерительных приборов и других чувствительных к вибрациям установок и аппаратов.

Допускаемые величины перемещений, скоростей и ускорений регламентируются действующими санитарно-гигиеническими нормами, а также технологическими требованиями.

Таблица 10*

Предельно допустимые гармонические колебания на рабочих местах в производственных помещениях

Частота n в *гц*	Амплитуда перемещений a_0 в *мм*	Амплитуда скорости v_0 в *мм/сек*	Амплитуда ускорения w_0 в *мм/сек²*
До 3	0,6—0,4	1,2—7,6	220—140
3—5	0,4—0,15	7,6—4,6	140—150
5—8	0,15—0,05	4,6—2,5	150—130
8—15	0,05—0,03	2,5—2,8	130—270
15—30	0,03—0,009	2,8—1,7	270—320
30—50	0,009—0,007	1,7—2,2	320—700
50—75	0,007—0,005	2,2—2,3	700—1120
75—100	0,005—0,003	2,3—1,9	1120—1200

* Таблица взята из СН 245—63.

Примечания: 1. Промежуточные значения амплитуд следует определять по линейной интерполяции. При продолжительности воздействия в течение 10—15% рабочего времени указанные в табл. 10 амплитуды допускается увеличивать, но не более чем в 3 раза.

2. В качестве средних значений допускаемых параметров можно принимать $w_0 = 150$ *мм/сек²* при $n < 10$ *гц* и $v_0 = 2{,}4$ *мм/сек* при $n \geqslant 10$ *гц*.

2.9. Допускаемые технологическими требованиями амплитуды ускорения или скорости устанавливаются технологами раздельно для вертикальных и горизонтальных колебаний.

Допускаемая амплитуда перемещений конструкции при гармонических колебаниях определяется по формулам:

$$\left.\begin{aligned} a_0 &= \frac{w_0}{(2\pi n)^2}\ ; \\ a_0 &= \frac{v_0}{2\pi n}\ , \end{aligned}\right\} \qquad (14)$$

где w_0 и v_0 — допускаемые амплитуды ускорения и скорости соответственно.

2.10. Классы чувствительности машин и приборов к гармоническим колебаниям основания и допускаемые амплитуды скорости и ускорения при амплитудах перемещений не более 1 *мм* приведены в табл. 11.

Таблица 11

Классы машин и приборов по чувствительности к гармоническим колебаниям основания

Класс машин и приборов	Характеристика машин и приборов по чувствительности к гармоническим колебаниям	Допускаемая амплитуда	
		ускорения w_0 в *мм/сек²* для частот 1—10 *гц*	скорости v_0 в *мм/сек* для частот 10—100 *гц*
I	Высокочувствительные	6,3	0,1
II	Среднечувствительные	63	1
III	Малочувствительные	250	4
IV	Нечувствительные	Более 250	Более 4

Примечания: 1. Класс чувствительности машин или приборов к гармоническим колебаниям устанавливается технологами. При отсутствии данных разрешается пользоваться ориентировочными указаниями табл. 12.

2. При негармонических колебаниях допускаемые значения основных параметров (максимальных перемещений, скоростей, ускорений) задаются технологами. При отсутствии данных можно пользоваться указаниями табл. 11, причем в этом случае регламентироваться будет наибольшее значение скорости колебаний основания, на котором устанавливаются машины и приборы, согласно последней графе табл. 11.

2.11. Амплитуды колебаний несущих конструкций (например, покрытий, площадок и пр.), на которых люди могут находиться лишь весьма непродолжительное время, не должны превышать уровень колебаний, вредных при длительном воздействии (см. табл. 13). Колебания несущих конструкций, на которых люди находиться не должны и не размещено чувствительное к вибрациям оборудование (например, покрытий), желательно ограничивать в тех случаях, когда колебания подвесного оборудования, осветительных приборов и т. п. могут оказывать отрицательное воздействие на работающих в здании людей.

Таблица 12

Ориентировочное деление машин и приборов на классы по чувствительности к колебаниям

Класс машин по чувствительности к колебаниям	Наименование машин и приборов
I	Особо точные делительные машины и автоматы. Установки для выверки оптических приборов и тарировки точных измерительных приборов. Микроскопы и мессмикроскопы. Интерферометры, оптиметры и другие точные оптические приборы. Механические контрольно измерительные приборы при допусках порядка нескольких микрон. Установки для динамической балансировки роторов и т. п.
II	Шлифовальные станки для шарикоподшипников. Зубо- и резьбошлифовальные станки. Координатно-расточные автоматы. Доводочные станки. Прецизионные фрезерные и токарные станки с допусками в несколько сотых миллиметра; автоматы для точки лезвий бритв и другие точные автоматы
III	Токарные, фрезерные, сверлильные, шлифовальные и другие металлообрабатывающие станки обычного класса точности. Прядильные машины. Ткацкие станки. Типографские машины. Швейные машины и т. п.
IV	Вентиляторы, центрифуги, электромоторы, штампы и прессы металлообрабатывающей и легкой промышленности. Долбежные станки. Сотрясатели. Вибростолы. Виброгрохоты. Рассевы и т. п.

2.12. Амплитуды колебаний конструкций, имеющих оштукатуренные поверхности, не должны превышать 1,2 *мм*.

2.13. Если колебания конструкции вызваны одновременным действием нескольких гармонических нагрузок с разными частотами, то проверка перемещений производится раздельно для тех частот, которые отличаются более чем вдвое. Если отношение частот различных колебаний меньше 2, то при гармоническом возбуждении в качестве амплитуды перемещений можно принимать суммарную амплитуду всех составляющих колебаний

$$z_0 = z_0^{(1)} + z_0^{(2)} + z_0^{(3)} + \ldots,$$

а средняя круговая частота $\omega_{ср}$ определяется по формулам

$$\omega_{ср} = \frac{z_0^{(1)}\omega_1 + z_0^{(2)}\omega_2 + \ldots}{z_0^{(1)} + z_0^{(2)} + \ldots} \quad \text{при} \quad \overline{\omega} \geqslant 20\pi; \qquad (15)$$

Таблица 13

Характеристика воздействия колебаний на людей в зависимости от скорости и ускорения гармонических перемещений

Характеристика воздействия колебаний на людей	Предельное ускорение колебаний w_0 в *мм/сек²*	Предельная скорость колебаний v_0 в *мм/сек*
	для частот от 1 до 10 *кол/сек*	для частот от 1 до 100 *кол/сек*
Не ощутимы	10	0,16
Слабо ощутимы	40	0,64
Хорошо ощутимы	125	2
Сильно ощутимы (мешают)	400	6,4
Вредны при длительном воздействии .	1000	16
Безусловно вредны	Более 1000	Более 16

$$\omega_{ср} = \sqrt{\frac{z_0^{(1)}\,\omega_1^2 + z_0^{(2)}\,\omega_2^2 + \ldots}{z_0^{(1)} + z_0^{(2)} + \ldots}} \quad \text{при} \quad \overline{\omega} < 20\,\pi\,, \qquad (16)$$

где $\overline{\omega} = \omega_n$ — круговая частота того колебания, для которого величина $z_0^{(n)}\omega_n$ (при $\omega_n \geqslant 20\pi$) или $z_0^{(n)}\,\omega_n^2$ (при $\omega_n < 20\pi$) имеет наибольшее значение.

При периодической нагрузке проверка перемещений производится как для гармонических колебаний, при этом в качестве амплитуды перемещений принимается наибольшее перемещение (см. п. 5.6), а частота определяется по формулам (15) или (16), где z_0^n и ω_n — амплитуды и круговые частоты составляющих гармоник.

При импульсивном возбуждении колебаний конструкций с разными собственными частотами p_1 и p_2 при частотах, отличающихся меньше чем вдвое, в качестве средней амплитуды перемещений можно принимать величину

$$z_0 = \frac{z_1 p_1 + z_2 p_2}{\overline{p}} \quad \text{при} \quad \overline{p} \geqslant 20\,\pi\,; \qquad (17)$$

$$z_0 = \frac{z_1 p_1^2 + z_2 p_2^2}{\overline{p^2}} \quad \text{при} \quad \overline{p} < 20\,\pi\,, \qquad (18)$$

где z_1 — наибольшее перемещение, соответствующее форме колебаний с круговой частотой p_1;

z_2 — то же, p_2;

$\overline{p}$ — круговая частота того колебания, для которого величина $z_n p_n$ (при $p_n \geqslant 20\pi$) или $z_n p_n^2$ (при $p_n < 20\pi$) имеет наибольшее значение, а в качестве круговой частоты принимается величина $\overline{p}$.

При отношении частот составляющих колебаний более чем 2 проверка перемещений проводится раздельно для каждого колебания.

2.14. При совместном действии гармонической и импульсивной нагрузок величина наибольшего перемещения определяется как сумма амплитуды гармонического колебания z_0' и наибольшего перемещения z_0'', вызванного импульсивной нагрузкой.

2.15. При пространственных колебаниях элементов конструкций, например при горизонтальных колебаниях в двух взаимно перпендикулярных направлениях или одновременных горизонтальных и вертикальных колебаниях), амплитуда перемещений определяется по формуле

$$z_0 = \sqrt{z_1^2 + z_2^2}; \tag{19}$$

$$z_0 = \sqrt{z_1^2 + z_2^2 + z_3^2}, \tag{20}$$

где z_1, z_2, z_3 — составляющие амплитуды перемещений в направлении ортогональных осей координат.

2.16. Проверка воздействия колебаний конструкций на людей и технологическое оборудование не производится:

а) для машин всех категорий динамичности, когда на конструкциях нет машин, станков и приборов I, II и III классов чувствительности к колебаниям и не требуется длительное присутствие людей;

б) для машин I категории динамичности, устанавливаемых на виброизоляторы;

в) для машин и установок II категории динамичности второй и третьей группы по частотности, создающих горизонтальные нагрузки.

Кроме того, проверка физиологического воздействия колебаний на людей не производится для машин и установок, создающих эпизодические нагрузки малой продолжительности (непродолжительные периодические нагрузки, одиночные импульсы или удары, нагрузки при переходных режимах и т п.).

2.17. Если частота гармонического воздействия ω больше частоты, соответствующей верхней границе первой частотной зоны конструкции (см. п. 4.5), то необходимо произвести дополнительный расчет на прочность при прохождении через резонанс конструкции во время пуска и остановки машин. Кроме того, в случае необходимости производится проверка динамических перемещений при переходе через резонанс по условию нормальной работы технологического оборудования, чувствительного к вибрациям.

Проверка воздействия колебаний на людей при переходе через резонанс не производится. Расчет на выносливость при переходе через резонанс производится только для машин, имеющих более 5 пусков и остановок в сутки. Расчет производится на тот режим, при котором скорость прохождения через резонанс меньше. При близких скоростях расчетным считается остановочный режим. В расчетах по приближенным расчетным схемам можно ограничиться высшей из собственных частот, для которых имеет место прохождение через резонанс.

Расчет конструкции при переходе через собственный резонанс по приближенным расчетным схемам допускается производить на гармоническое воздействие с круговой частотой p_r, где p_r — высшая из проходимых собственных частот, и амплитудой, равной

$$P = R \frac{p_r^2}{\omega^2} \overline{\mu}\, \gamma, \tag{21}$$

где R — амплитуда гармонической нагрузки в рабочем режиме;

ω — круговая частота вынужденных колебаний в рабочем режиме;

$\bar{\mu}$ — коэффициент передачи, определяемый по графикам (см. рис. 3) для круговой частоты p_r, или по формуле

$$\bar{\mu} = \sqrt{\left[\frac{f_1}{m_1} \mp \frac{1}{2\left(1 + \frac{\bar{\omega}}{p_r}\right)}\right]^2 + \left[\frac{f_2}{m_1}\right]^2},$$

где

$$q = \frac{p_r}{\sqrt{\varepsilon}};$$

$$m_1 = \sqrt{\frac{1}{q^2} + \gamma^2},$$

$$\bar{\omega} = p_r \left[1 \pm \frac{2{,}171}{(1 + 0{,}14\,\gamma\, q)^2\, q}\right];$$

γ — коэффициент неупругого сопротивления материала конструкции;

f_1 и f_2 — параметры, определяемые по графикам (см. рис. 4).

Здесь знак плюс относится к пусковому режиму, минус — к остановочному.

Если амплитуда R инерционной силы машины или установки не зависит от частоты вынужденных колебаний и не изменяется при пуске и остановке, то расчет конструкций при переходе через резонанс производится на гармоническую нагрузку с амплитудой $P = \bar{\mu} R \gamma$ и круговой частотой p_r.

Расчет конструкции, поддерживающей виброизолированную установку, при переходе через резонанс установки, т. е. при совпадении частоты вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний установки в переходном режиме, производится на гармоническую нагрузку, параметры которой определяются согласно п. 1.41.

2.18. Проверку прочности и выносливости конструкций, поддерживающих невиброизолированные машины и установки, при переходе через резонанс можно не производить:

а) если рабочий режим машины или установки является резонансным для поддерживающей конструкции, т. е. частота вынужденных колебаний в рабочем режиме попадает в одну из частотных зон конструкции;

б) если отношение $\frac{\sqrt{\varepsilon}}{p_r}$ превосходит 0,5.

2.19. Проверку прочности и выносливости конструкций, поддерживающих виброизолированные установки, при переходе через резонанс самой установки можно не производить, если удовлетворяется первое требование п. 2.18, а также если отношение $\frac{\sqrt{\varepsilon}}{p_y}$ превосходит 0,5.

2.20. Динамический расчет рекомендуется проводить в такой последовательности.

1. Определяются динамические нагрузки и классифицируются согласно указаниям главы 1 настоящей Инструкции.

2. Определяются частоты и формы собственных колебаний конструкций согласно указаниям главы 4.

3. Определяются амплитуды динамических перемещений согласно указаниям главы 5 и проверяется выполнение физиологических и технологических требований по ограничению колебаний.

4. Определяются амплитуды внутренних усилий в конструкциях (изгибающих моментов, поперечных сил) и производится расчет на прочность и выносливость согласно указаниям главы 2 Инструкции.

При проведении динамических расчетов на ЭВМ по программам, в которых используется другая последовательность расчета (например, опущено определение собственных частот и др.), алгоритм должен учитывать все особенности расчета, связанные с расширением частотных зон, определением категории динамической нагрузки и т. д.

3. РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ

3.1. Динамический расчет несущих конструкций промышленных зданий и сооружений проводится по приближенным или уточненным расчетным схемам. Приближенные расчетные схемы применяются для зданий и сооружений обычного назначения. Для ответственных сооружений, а также при жестких требованиях к уровню колебаний следует применять уточненные расчетные схемы.

При проведении расчета по приближенным расчетным схемам конструкции здания или сооружения расчленяются на отдельные элементы (балки, плиты, рамы и т. д.), и динамические нагрузки с одного элемента на другой передаются по законам статики или путем загружения динамическими реакциями, при этом влияние различных второстепенных факторов не учитывается, а вертикальные и горизонтальные колебания рассматриваются раздельно. Возможные приближенные расчетные схемы некоторых конструкций приведены в табл. 14 (для вертикальных колебаний) и табл. 15 (для горизонтальных колебаний).

При проведении расчета по уточненным расчетным схемам должны быть максимально учтены особенности работы конструкций (влияние пространственности, жесткости узлов, заполнения, перегородок стен, податливости опор и основания и т. д.). В расчетах, реализуемых на ЭВМ, рекомендуется использовать в основном уточненные расчетные схемы.

3.2. При расчетах зданий и сооружений, выполненных из сборных железобетонных конструкций, необходимо учитывать возможность изменения расчетной схемы конструкций, вызванную влиянием сухого трения. При малых колебаниях, когда силы сухого трения не преодолеваются, работа сборных конструкций приближается к работе монолитных. В связи с этим соединения сборных конструкций следует принимать жесткими:

а) при проверке перемещений, скоростей и ускорений конструкций с точки зрения удовлетворения санитарно-гигиенических норм и технологических требований, если допускаемые перемещения не превышают 0,1 *мм*;

б) при проверке прочности и выносливости конструкций, если наибольшие перемещения, вычисленные в результате предварительного расчета по схеме с жесткими соединениями, не превышают 0,1 *мм*.

Примечание. Если наибольшие перемещения превышают 0,1 *мм*, то расчет необходимо производить по двум различным схемам: с учетом жесткости соединений вследствие сухого трения и без него.

Таблица 14

Типовые расчетные схемы для динамического расчета перекрытий и покрытий

Конструкции	Элементы, для которых определяются частоты	Расчетные схемы	Возможная погрешность определения частот ε_0
1	2	3	4
1. Плиты и настилы по балкам железобетонным, стальным и деревянным	Главные и вспомогательные балки. Плиты с пролетом более 1,5 *м*	Однопролетные или неразрезные многопролетные балки; однопролетные или неразрезные балочные плиты (в зависимости от фактических условий)	0,25
2. Железобетонные ребристые перекрытия	Главные и вспомогательные балки. Плиты с пролетом более 2 *м*	Неразрезные многопролетные балки или рамы с несмещающимися. узлами. Неразрезные балочные плиты	0,3
3. Железобетонные крупнопанельные плиты по металлическим или железобетонным ригелям	Прогоны. Плиты	Неразрезные многопролетные балки или рамы с несмещающимися узлами. Неразрезные многопролетные плиты по перекрестным балкам. Однопролетные плиты.	0,35
4. Покрытия по металлическим фермам	Фермы	Система с конечным числом степеней свободы	0,15
5. Железобетонные покрытия по балкам и фермам	Плиты и балки	Многопролетные и однопролетные балки, однопролетные плиты	0,2

Примечания: 1. При уточнении расчетных схем в сравнении с указанными в табл. 14, а также при уточнении жесткостей элементов конструкций в сравнении с нормативными погрешность ε_0 можно снизить, но не ниже чем до 0,15 (для перекрытий) и 0,1 (для покрытий).

2. В расчет принимается фактическое число пролетов неразрезных балок, но не более 5.

3. Схему рамы с несмещающимися узлами рекомендуется принимать в случаях, когда обобщенная жесткость стойки на изгиб более чем вдвое превышает обобщенную жесткость ригеля. В остальных случаях ригели допускается рассчитывать как неразрезные балки.

4. Концы балок перекрытия, опирающиеся на стены, принимаются свободно лежащими на опорах.

5. Крупнопанельные плиты считаются неразрезными, если армирование стыка между ригелем и плитой обеспечивает монолитность соединений.

6. Передача динамической нагрузки с одного несущего элемента (*а*) на другой (*b*) путем загружения динамическими реакциями не допускается в тех случаях, когда частота возмущающей нагрузки совпадает с собственными частотами обоих элементов, а также если $k_b \leqslant 5\, k_a$, где k_a, k_b — динамическая жесткость элементов *а* и *b*, определяемая как величина гармонической нагрузки с частотой, равной частоте вынужденных колебаний, которую нужно приложить к элементу *а* или *b* соответственно, чтобы получить единичную амплитуду этого элемента при условии опирания его на жесткие опоры. В противном случае колебания обоих элементов должны быть рассмотрены совместно.

3.3. В расчетах на вертикальные колебания по указанным в табл. 14 схемам при определении жесткости элементов сборных железобетонных перекрытий и железобетонных перекрытий по металлическим балкам принимаются следующие моменты инерции поперечных сечений:

а) по схеме с жесткими соединениями вследствие сухого трения (см. п. 3.2) для железобетонных и металлических балок при уложенном по балкам сборном настиле и для железобетонных и металлических балок при уложенной по балкам монолитной железобетонной плите — момент инерции таврового сечения с шириной плиты, принимаемой равной расстоянию между осями балок, но не более половины пролета балки;

б) по схеме, не учитывающей сухое трение:

для железобетонных и металлических балок при уложенном по балкам сборном настиле — момент инерции поперечного сечения балки;

для железобетонных и металлических балок при уложенной по балкам монолитной железобетонной плите — сумма моментов инерции сечений балки и плиты, при этом расчетная ширина сечения плиты принимается равной расстоянию между осями балок, но не более половины пролета балок.

Для балок ребристого монолитного перекрытия принимается момент инерции монолитного таврового сечения с шириной полки, указанной выше в этом пункте; для балочных плит — момент инерции поперечного сечения плиток.

Примечания: 1. Если металлические балки перекрытия обетонированы железобетонной плитой поверху или понизу, то перекрытие рассматривается как ребристое монолитное.

2. Таким же образом определяются моменты инерции железобетонных покрытий и других конструкций, имеющих аналогичные расчетные схемы.

При расчете крупнопанельных плит, плит безбалочных перекрытий и т. д. определяется цилиндрическая жесткость плиты.

Если постамент под машину или установку монолитно связан с

перекрытием, он учитывается при определении жесткости соответствующего элемента перекрытия.

3.4. Расчетные схемы при определении частот собственных горизонтальных колебаний промышленных зданий следует выбирать по возможности простыми с учетом только тех факторов, которые существенно влияют на частоту. В частности, перекрытия зданий и площадок под машины при определении горизонтальной жесткости зданий и площадок в ряде случаев, указанных в п. 3.6, можно считать недеформируемыми. Жесткости и массы лестничных клеток и пристроек, связанных с каркасом или стенами здания, должны учитываться.

В табл. 15 приведены некоторые приближенные расчетные схемы зданий и площадок под машины.

Таблица 15

Типовые расчетные схемы для динамического расчета зданий при горизонтальных колебаниях

Тип зданий	Расчетные схемы	Возможная погрешность определения частот ε_0
1. Каркасные здания с нежестким стеновым заполнением (например, со сплошным остеклением окон) без внутренних несущих стен. Каркасные площадки под машины	Этажерка с неподвижным основанием и недеформируемыми перекрытиями, с которыми жестко связаны вертикальные стойки. Перекрытия могут поступательно перемещаться и поворачиваться в своей (горизонтальной) плоскости. При этом стойки считаются работающими на поперечный изгиб и кручение	0,25
2. Каркасные здания с жестким стеновым ограждением (например, с кирпичным заполнением) и внутренними стенами. Здания с несущими стенами и монолитными перекрытиями	Коробка на жестком или упруго-податливом основании с недеформируемыми перекрытиями, с которыми жестко связаны вертикальные стойки. Перекрытия могут поступательно перемещаться в своей (горизонтальной) плоскости. При этом стойки считаются работающими на поперечный изгиб, а наружные и внутренние стены — на сдвиг в своей плоскости	0,3
3. Каркасные здания с навесным панельным ограждением	См. п. 3.5	0,3

Примечания: 1. В расчет принимаются все этажи здания.

2. Опорные сечения стоек считаются заделанными по верхнему обрезу фундаментов.

3.5. При рассмотрении горизонтальных колебаний каркасных зданий с навесным панельным ограждением (см. табл. 15) необходимо учитывать влияние ограждения на жесткость здания.

Жесткость зданий, в которых не предусматривается притяжка панелей к колоннам каркаса, определяется как суммарная жесткость каркаса и образованного панельным ограждением упругого диска, работающего на сдвиг:

а) при проверке горизонтальных перемещений, скоростей и ускорений с точки зрения удовлетворения санитарно-гигиенических норм и технологических требований, если допускаемые перемещения не превышают 0,1 *мм*;

б) при проверке прочности и выносливости конструкций, если наибольшие горизонтальные перемещения перекрытий, вычисленные в результате предварительного расчета по указанной схеме, не превышают 0,1 *мм*.

В остальных случаях расчет зданий производится по двум схемам — с учетом только жесткости каркаса и с учетом жесткости каркаса и ограждения, причем во внимание принимается наиболее невыгодный случай.

Примечания: 1. Участки стен со сплошным панельным ограждением сверху донизу при притяжке панелей непосредственно к колоннам каркаса должны рассматриваться как упругие диски, жестко связанные с каркасом.

2. При сплошном ленточном остеклении жесткость ограждения можно не учитывать.

3.6. В качестве приближенной расчетной схемы каркасного здания при поступательных горизонтальных колебаниях может быть принята эквивалентная плоская рама, массы и жесткости элементов которой равны суммарным массам и суммарным жесткостям соответствующих элементов здания в направлении колебаний (поперечном или продольном).

Поскольку массы вертикальных элементов здания (колонн, стен, перегородок) обычно значительно меньше масс горизонтальных элементов (перекрытий и покрытий), то допускается сосредоточивать массы в уровне перекрытий и покрытия, распределяя массы вертикальных элементов поровну между верхним и нижним перекрытиями. При этом вертикальными перемещениями масс можно пренебрегать, так как они значительно меньше горизонтальных.

В качестве поперечной жесткости ригеля данного яруса эквивалентной рамы принимается поперечная жесткость всего перекрытия данного этажа, а в качестве поперечной жесткости стойки данного яруса эквивалентной рамы — сумма поперечных жесткостей стоек данного ряда того же яруса. Так, если рассматриваются поступательные колебания здания в направлении оси x, то жесткость ригеля определяется как жесткость поперечного сечения перекрытия вертикальной плоскостью, параллельной оси y, а жесткость стойки определяется суммой жесткостей всех стоек в ряду, параллельном оси y.

Если обобщенная жесткость ригеля эквивалентной рамы (поперечная жесткость, деленная на длину ригеля между смежными узлами) более чем в 3 раза превышает обобщенную жесткость стойки (поперечная жесткость стойки, деленная на ее высоту между смежными узлами), то ригель можно считать абсолютно жестким.

Частоты собственных колебаний площадок под машины можно определять по приближенным расчетным схемам.

Для зданий с несущими стенами также можно применять приближенные расчетные схемы (см. табл. 15), имея в виду, что потенциальная энергия поступательных колебаний определяется в основном сдвиговыми колебаниями стен, при которых перекрытия можно считать перемещающимися как жесткие диски.

Вращательные колебания каркасного здания рассматриваются только при отсутствии несущих стен. Поскольку суммарная жесткость всех стоек каркасного здания на поворот значительно меньше суммарной жесткости перекрытия на изгиб в своей плоскости, можно при рассмотрении вращательных колебаний промышленных зданий применять приближенные расчетные схемы по табл. 15, пренебрегая влиянием кручения стоек.

3.7. На горизонтальные колебания зданий с несущими стенами или жестким ограждением (типы 2 и 3, табл. 15) существенное влияние может оказывать упругость основания. Поэтому при динамических расчетах зданий на нежестких основаниях следует учитывать возможность вертикальных и горизонтальных смещений и поворотов здания на основании. Податливость оснований определяется согласно действующим нормативным документам по динамическому расчету оснований и фундаментов.

4. ЧАСТОТЫ И ФОРМЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

4.1. При использовании метода разложения по формам собственных колебаний определение частот и форм собственных колебаний является необходимым этапом динамического расчета. В расчетах конструкций на действие периодических нагрузок независимо от принятого метода рекомендуется определять частоты собственных колебаний с целью установления возможности резонанса, вычисления резонансных перемещений и усилий и разработки необходимых мероприятий для снижения уровня колебаний.

4.2. При определении масс элементов в расчетной схеме помимо собственной массы конструкций учитываются также массы машин, оборудования и материалов, жестко соединенных с несущими конструкциями. Характер распределения масс в расчетных схемах зависит от способа крепления машин и оборудования и от фактической схемы передачи на конструкцию постоянных статических нагрузок. Случайные и кратковременно действующие статические нагрузки (нагрузки при скоплении людей в производственных помещениях, нагрузки от оборудования и материалов при проведении ремонтных работ и т. п.) при определении масс не учитываются.

При различных вариантах загружения конструкций (например, при отсутствии или наличии снега на покрытии, при большом изменении нагрузок, предусмотренном технологией производства, и т. д.) должны быть рассмотрены два варианта загружения, при которых величины масс максимальны и минимальны.

При определении частот собственных колебаний принимаются нормативные значения постоянных нагрузок.

Массы виброизолированных машин и установок при определении частот собственных колебаний конструкций не учитываются.

4.3. При расчете на спокойные периодические нагрузки в общем

случае определяется следующее число частот и форм собственных вертикальных колебаний несущих конструкций:

для однопролетных балок . . .	2
» » плит	4
» неразрезных балок	$2N$ (N—число пролетов)
» » плит	$4N$
» ферм	5

При проведении расчетов по приближенным расчетным схемам допускается определять не более m собственных частот, где m — номер наименьшей собственной частоты, превышающей частоту вынужденных колебаний. Если первая частота собственных колебаний (частота основного тона) оказывается больше частоты вынужденных колебаний, то последующие частоты и формы не определяются.

Число определяемых частот и форм собственных вертикальных колебаний несущих конструкций при расчете на импульсивные и ударные нагрузки выбирается в соответствии с указаниями «Инструкции по расчету перекрытий на импульсивные нагрузки».

Примечания: 1. При проведении расчетов по уточненным схемам и на ЭВМ, а также в отдельных случаях для машин и установок 3-й группы (табл. 6) определяется большее число частот и форм собственных колебаний.

2. Рекомендации настоящего пункта позволяют ориентировочно определить число частот и форм собственных колебаний, учет которых дает возможность получить с достаточной точностью значения амплитуд перемещений и внутренних усилий конструкции. При использовании метода разложения по формам собственных колебаний окончательное число определяемых и учитываемых форм колебаний может корректироваться в процессе расчета в зависимости от густоты спектра частот, определяемых параметров колебаний, характера приложения нагрузки.

При более густом спектре определяется большее число частот и форм собственных колебаний. При вычислении амплитуд внутренних усилий требуется учитывать большее число форм собственных колебаний, чем при вычислении амплитуд перемещений, чтобы получить одинаковую точность. Решение вопроса о числе учитываемых форм собственных колебаний может быть принято на основе анализа сходимости рядов для соответствующих расчетных величин.

4. 4. Если расположенные на перекрытиях здания машины развивают динамические силы в двух взаимно перпендикулярных горизонтальных направлениях, то в общем случае при расчете на спокойные периодические нагрузки следует определить три первые частоты и формы собственных поступательных колебаний здания в направлении каждой из его осей (вдоль и поперек здания) и две первые частоты и формы вращательных колебаний здания.

4.5. При расчете несущих конструкций на действие периодических нагрузок точность расчета существенным образом зависит от точности исходных данных. Поскольку исходные данные (конструктивные схемы, нагрузки, жесткости элементов и стыков, массы) для строительных конструкций задаются со сравнительно небольшой точностью, возможная погрешность расчета вблизи резонанса может во много раз превысить обычные для инженерных расчетов пределы, особенно при малых значениях коэффициента неупругого сопротивления.

Поэтому при расчете на гармонические и периодические нагрузки обязательно должна учитываться возможная погрешность в определении собственных частот, а также возможность изменения собственных частот конструкций в процессе эксплуатации здания или сооружения. Эта погрешность учитывается вводом частотных зон, внутри которых находится расчетное значение собственной частоты. Границы частотных зон определяются по формулам

$$\left.\begin{aligned} p_r' &= (1-\varepsilon_0)\, p_r^0; \quad & p_r'' &= (1+\varepsilon_0)\, p_r^0; \\ n_r' &= (1-\varepsilon_0)\, n_r^0; \quad & n_r'' &= (1+\varepsilon_0)\, n_r^0, \end{aligned}\right\} \tag{22}$$

где p_r^0, n_r^0 — r-тая частота собственных колебаний элемента (круговая и в герцах), определенная в результате расчета;

p_r', n_r' — левая граница частотной зоны;

p_r'', n_r'' — правая граница частотной зоны;

ε_0 — погрешность в определении частот. Величина ε_0 для различных конструкций определяется по табл. 14 и 15.

4.6. При проведении расчета на гармонические нагрузки с помощью методов, не связанных с определением частот собственных колебаний, возможная погрешность в соотношении частот собственных и вынужденных колебаний учитывается путем изменения с достаточно малым шагом круговой частоты вынужденных колебаний в пределах от $(1-\varepsilon_0)\omega$ до $(1+\varepsilon_0)\omega$ или определением всех экстремумов перемещений и внутренних усилий при изменении частоты вынужденных колебаний в указанных пределах.

Если используемая программа позволяет получать частоты собственных колебаний, то расчет производится при частоте вынужденных колебаний, равной всем тем собственным частотам, которые попадают в интервал от $(1-\varepsilon_0)\omega$ до $(1+\varepsilon_0)\omega$.

4.7. Если частота гармонической нагрузки, создаваемой машиной или установкой, задается с указанием некоторого возможного отклонения ε' от ее среднего значения ω', т. е. $\omega=\omega'(1\pm\varepsilon')$, то за частоту вынужденных колебаний принимается среднее значение ω', а при определении границ частотных зон вместо погрешности ε_0 вводится погрешность $\varepsilon''=\varepsilon_0+\varepsilon'$.

4.8. При расчете на гармонические нагрузки предполагается, что частоты собственных колебаний конструкции могут иметь любое значение в пределах расширенных частотных зон, полученных с учетом возможной погрешности в определении частот.

Поэтому при гармонической нагрузке частоты собственных колебаний определяются следующим образом:

а) если частота вынужденных колебаний ω попадает в r-тую частотную зону (рис. 5,*а*), то

$$\left.\begin{aligned} p_s &= \omega \\ n_s &= n_0 \end{aligned}\right\} \quad \text{при } s=r; \tag{23}$$

$$\left.\begin{aligned} p_s &= p_s^0\,\frac{\omega}{p_r^0} \\ n_s &= n_s^0\,\frac{n_0}{n_r^0} \end{aligned}\right\} \quad \text{при } s\neq r, \tag{24}$$

т. е. собственная частота r-той частотной зоны принимается равной частоте вынужденных колебаний; остальные частоты принимаются пропорционально;

б) если частота вынужденных колебаний попадает в межрезонансную зону (рис. 5) и находится между частотами p''_n и p'_{n+1}, то $p_s = p'_s$, если ω находится ближе к p'_{n+1}, чем к p''_n; $p_s = p''$, если ω находится ближе к p''_n, чем к p'_{n+1}.

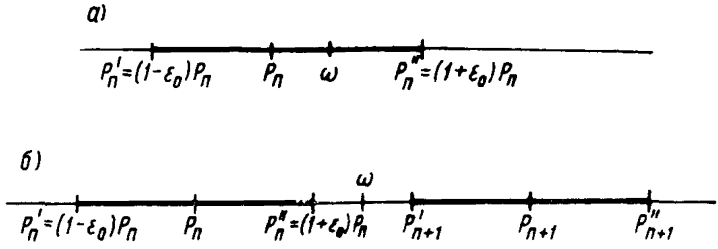


Рис. 5. Определение частот собственных колебаний

Таким образом, принимаются верхние или нижние значения частот в зависимости от того, к какому значению ближе расположена частота возмущающей нагрузки.

Примечание. В расчетах, проводимых на ЭВМ, или по уточненным расчетным схемам, а также при нагрузках IV категории динамичности проверяются оба расчетных случая пункта «б», т. е. когда все частоты имеют нижние или верхние возможные значения.

При периодической нагрузке частоты собственных колебаний также определяются по формулам (23)—(24), при этом в качестве $\omega(n_0)$ принимается частота преобладающей гармоники.

При расчете на переход через резонанс для частот собственных колебаний принимаются их наибольшие значения, соответствующие верхним границам частотных зон, т. е. $p_r = p''_r$, $n_r = n''_r$.

5. ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ

5.1. Динамические перемещения несущих конструкций определяются по нормативным значениям динамических нагрузок (п. 1.30). Динамические усилия (изгибающие и крутящие моменты, продольные и поперечные силы) определяются по расчетным значениям динамических нагрузок (п. 1.31).

5.2. При определении динамических перемещений и внутренних усилий в элементах перекрытий из внешней нагрузки учитываются только вертикальные силы и действующие в вертикальной плоскости моменты, а при определении динамических перемещений и внутренних усилий стоек и стен при горизонтальных колебаниях — только силы и моменты, действующие в горизонтальной плоскости.

5.3. При рассмотрении вертикальных колебаний определению подлежат наибольшие значения перемещения и изгибающего момента в

пролетах, а также изгибающего момента и поперечной силы на опорах.

Примечание. При определении перемещений элементов конструкций, опирающихся на другие податливые элементы, необходимо учитывать перемещения опор путем увеличения перемещений элемента на полусумму перемещений опор.

5.4. При определении наибольших перемещений и внутренних усилий конструкций рекомендуется использовать комплексную теорию неупругого сопротивления. Коэффициенты неупругого сопротивления материала конструкций определяются согласно указаниям п. 1.20.

5.5. При совместном действии нескольких гармонических нагрузок от разных машин амплитуды перемещений и внутренних усилий определяются как сумма амплитуд от воздействия каждой нагрузки в отдельности. При расчете конструкций на несколько одновременно действующих независимых машин с импульсивными или ударными нагрузками наибольшие значения перемещений и внутренних усилий одного знака, вызванных каждым импульсом (ударом), можно суммировать.

Если число машин или установок, создающих периодические нагрузки (в том числе импульсивного или ударного характера), превышает 10, а частоты преобладающих гармоник одинаковы или близки, то при определении наибольших перемещений и внутренних усилий от совместного действия машин следует учитывать фазовые соотношения в соответствии с указаниями п. 1.37.

5.6. Если при расчете конструкции на периодическое воздействие в разложении нагрузки в ряд Фурье сохраняются два или три члена ряда, то для определения наибольших перемещений и внутренних усилий следует находить экстремальные значения указанных параметров в результате суммирования колебаний по гармоникам. При этом следует определить синусоидальные и косинусоидальные составляющие перемещений и внутренних усилий, соответствующие каждой гармонике нагрузки, а затем, сложив эти составляющие как тригонометрические функции времени, найти их максимумы и минимумы.

В предварительных расчетах допускается определять наибольшие перемещения и внутренние усилия как сумму амплитуд отдельных гармоник.

5.7. При расчете на гармонические нагрузки конструкций, рассматриваемых как системы с конечным числом степеней свободы, с помощью методов, не основанных на разложениях по формам собственных колебаний, амплитуды изгибающих моментов и поперечных сил можно определять по формулам

$$M_0 = \sqrt{[M_0']^2 + [M_0'']^2}\ ; \qquad (25)$$

$$Q_0 = \sqrt{[Q_0']^2 + [Q_0'']^2}\ , \qquad (26)$$

где M_0' и Q_0' — изгибающие моменты и поперечные силы при статическом загружении конструкции системой сил

$$P_j' = P_j + z_{0j}'\, m_j\, \omega^2 \quad (j = 1,\ 2,\ \ldots,\ k); \qquad (27)$$

M_0'' и Q_0'' — изгибающие моменты и поперечные силы при статическом загружении конструкции системой сил

$$P''_j = z''_{0j}\, m_j\, \omega^2 \quad (j = 1,\ 2,\ \ldots,\ k)\,, \tag{28}$$

где m_j — масса в точке j;

ω — круговая частота вынужденных колебаний;

$z'_0 = \mathrm{Re}\, z_j$ — действительная часть комплексной амплитуды точки j;

$z''_{0j} = \mathrm{Jm}\, z_j$ — мнимая часть комплексной амплитуды точки j;

P_j — амплитуда нагрузки, приложенной в точке j.

В дорезонансной и межрезонансных зонах амплитуды изгибающих моментов и поперечных сил можно определять в результате статического расчета системы на действие сил

$$P^0_j = P_j + m_j\, \omega^2\, z_{0j}\,. \tag{29}$$

При этом необходимо учитывать фазу перемещения z_i, т. е. присваивать амплитуде перемещений z_{0j} соответствующий знак, получающийся при определении амплитуд перемещений без учета затухания.

5.8. Амплитуды упругих перемещений, изгибающих моментов и поперечных сил несущих конструкций при гармонических колебаниях фундаментов (или опор) определяются в результате расчета конструкций на действие гармонических сил с частотой ω и амплитудой:

$$P = A_0\, m\, \omega^2\,, \tag{30}$$

где A_0 — амплитуда перемещений фундаментов или опор;

m — масса конструкций (сосредоточенная или распределенная);

ω — частота вынужденных колебаний.

Полные перемещения конструкций определяются по формуле

$$z_0 = \sqrt{(A_0 + z')^2 + (z'')^2}\,.$$

Здесь z', z'' — составляющие упругих перемещений (z' — составляющая, которая находится в фазе с колебаниями основания).

Примечание. При расчете конструкций на гармонические смещения опор, вызванные распространением колебаний через грунт, коэффициент неупругого сопротивления γ принимается как для машин I категории динамичности.

5.9. Определение амплитуд перемещений и внутренних усилий конструкций при горизонтальных поступательных и вращательных колебаниях зданий, вызванных работой большого числа машин, производится с учетом указаний п. 1.37. При этом коэффициент синфазности λ определяется для полного числа машин в здании. Расчет производится на действие машин каждого этажа раздельно, а затем амплитуды перемещений и усилий складываются.

При проверке влияния колебаний, вызванных действием большого числа машин, на людей допускаемые амплитуды перемещений умножаются на дополнительный коэффициент $\frac{\sqrt{m}}{3}$, учитывающий возможность допускать более высокую вероятность совпадения фаз машин при деформационном расчете, чем при прочностном. Коэффициент $\frac{\sqrt{m}}{3}$ вводится при числе машин $m \geqslant 10$.

6. СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

6.1. В тех случаях, когда установленные расчетом колебания конструкций не удовлетворяют требованиям, обеспечивающим их несущую способность, или физиологическим и технологическим требованиям по ограничению уровня вибраций, рекомендуется применять указанные в настоящем пункте способы уменьшения колебаний несущих конструкций.

При выборе способа в каждом конкретном случае следует руководствоваться соображениями целесообразности, эффективности и экономичности его применения.

Ожидаемые результаты осуществления того или иного мероприятия должны проверяться повторным динамическим расчетом конструкций, т. е. определением амплитуд перемещений и внутренних усилий в измененных условиях.

Можно указать следующие основные методы уменьшения колебаний несущих конструкций, вызванных гармоническими нагрузками.

1. Изменение соотношения между частотой вынужденных колебаний и частотами собственных колебаний конструкции (отстройка) путем изменения жесткости, массы или схемы конструкции, а также путем изменения частоты вынужденных колебаний.

2. Изменение расположения и способа крепления машин и установок на несущих конструкциях, передача динамических нагрузок на отдельные фундаменты, колонны, разгрузочные балки и т. п.

3. Устройство эффективной виброизоляции.

4. Применение динамических и ударных гасителей колебаний, увеличение демпфирования колебаний, устройство жестких и нежестких ограничителей.

5. Уравновешивание и балансировка машин, создание эксплуатационных условий, препятствующих разбалансировке и образованию случайных дебалансов; применение специальных устройств, обеспечивающих работу нескольких машин попарно в противофазе.

6.2. Мероприятия по уменьшению колебаний несущих конструкций, воспринимающих импульсивные и ударные нагрузки от машин и оборудования, устанавливаемых на перекрытиях промышленных зданий, выполняются в соответствии с указаниями «Инструкции по расчету перекрытий на импульсивные нагрузки».

а) ИЗМЕНЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ, МАССЫ И СХЕМЫ КОНСТРУКЦИИ

6.3. Если частота вынужденных колебаний ω близка к нижней границе какой-либо частотной зоны, то колебания конструкции можно уменьшить, увеличив ее жесткость или уменьшив массу. Увеличения жесткости конструкции можно достичь путем уменьшения пролетов, увеличения поперечных сечений или изменения ее конструктивной схемы (введение жестких узлов, превращение разрезных конструкций в неразрезные и т. д.). Возможны также устройство под машину жесткого, но легкого постамента, постановка дополнительных связей, устройство специальных портальных рам и т. д.

6.4. Если частота вынужденных колебаний ω близка к верхней границе какой-либо частотной зоны, то колебания конструкции можно

уменьшить, увеличив ее массу или снизив жесткость. Снижение жесткости конструкции можно достичь путем увеличения пролета или уменьшения поперечного сечения, а также с помощью изменения конструктивной схемы конструкции.

Увеличение массы конструкции посредством устройства массивного постамента, не связанного жестко с конструкцией, или увеличения поперечного сечения за счет ввода дополнительных нежестких слоев, надбетонок и т. п. допускается лишь в необходимых случаях для машин и установок III и IV категории динамичности.

Уменьшение жесткости конструкций и увеличение их массы рекомендуется осуществлять лишь в тех случаях, когда динамические перемещения составляют существенную часть статического прогиба.

б) ИЗМЕНЕНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ И КРЕПЛЕНИЯ МАШИН И УСТАНОВОК

6.5. Вертикальные колебания конструкций можно уменьшить, если машины и установки, создающие вертикальные гармонические нагрузки, располагать вблизи опор или узловых точек резонирующих форм собственных колебаний, а машины и установки, создающие горизонтальные динамические нагрузки, в серединах пролетов конструкций или вблизи пучностей резонирующих форм колебаний.

6.6. Горизонтальные колебания зданий и сооружений можно уменьшить, если располагать машины и установки, создающие горизонтальные гармонические нагрузки, таким образом, чтобы динамические усилия действовали в направлении, для которого либо жесткость здания максимальна, либо частоты собственных колебаний больше отличаются от частоты возбуждения.

6.7. В целях борьбы с колебаниями несущих конструкций промышленных зданий и сооружений могут применяться различные конструктивные мероприятия, связанные с размещением машин и установок, создающих динамические нагрузки, на специальных опорных элементах, не соединенных с отдельными несущими конструкциями (например, перекрытиями) или со всем каркасом в целом. В качестве таких опорных элементов могут применяться разгрузочные балки, соединенные со стойками каркаса или главными балками перекрытия; отдельные фундаменты, не соединенные с фундаментом здания или сооружения; опорные рамы на самостоятельных фундаментах и т. п.

в) ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ МАШИН И УСТАНОВОК

6.8. Виброизоляция является одним из наиболее эффективных методов борьбы с колебаниями конструкций, возбуждаемых гармоническими нагрузками от машин и установок, размещенных в промышленных зданиях и сооружениях.

Виброизоляция применяется в целях уменьшения динамических нагрузок, передаваемых машиной или установкой на несущие конструкции (активная виброизоляция), и в целях защиты машин, приборов и оборудования, чувствительных к вибрациям, от колебаний несущих конструкций, на которых они находятся (пассивная виброизоляция).

Расчет и проектирование виброизоляции осуществляется в соответствии с указаниями «Инструкции по проектированию и расчету

виброизоляции машин с динамическими нагрузками и оборудования, чувствительного к вибрациям».

Применение виброизоляции без расчета не допускается, так как неправильный выбор параметров виброизоляции может существенно снизить ее эффективность и даже привести не к снижению, а к увеличению колебаний конструкций (при активной виброизоляции), а также машин и оборудования (при пассивной виброизоляции).

Виброизоляция применяется, как правило, для машин и установок 2-й и 3-й группы по частотности (табл. 6). При этом машины и установки IV категории по динамичности, размещаемые в промышленных зданиях, рекомендуется устанавливать на виброизоляторы независимо от результатов динамического расчета несущих конструкций.

г) ПРИМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ И УДАРНЫХ ГАСИТЕЛЕЙ

6.9. Динамические и ударные гасители колебаний можно применять в тех случаях, когда устройство виброизоляции или осуществление других мер уменьшения колебаний, перечисленных выше, не представляется возможным.

Динамические гасители применяются для уменьшения колебаний конструкций при стабильной частоте вынужденных колебаний. Особенно эффективно применение этих гасителей в резонансных режимах. Динамический гаситель колебаний представляет собой дополнительную колебательную систему, присоединяемую к конструкции в месте ее наибольшей динамической податливости (в пучностях форм вынужденных колебаний). Собственная частота динамического гасителя настраивается на частоту вынужденных колебаний конструкции. Простейшая схема динамического гасителя — сосредоточенная масса $m_г$, соединенная с конструкцией посредством упругого элемента, имеющего жесткость $k_г$. При этом масса и жесткость гасителя подбираются так, чтобы $\sqrt{\frac{k_г}{m_г}} = \omega$, где ω — частота возмущающей нагрузки.

Если динамический гаситель не настроен на частоту вынужденных колебаний или эта частота нестабильна, то эффект гашения колебаний может значительно снизиться. В этом случае возможно даже увеличение амплитуд колебаний конструкций.

Поэтому конструкция динамического гасителя должна иметь устройства, обеспечивающие настройку гасителя на частоту вынужденных колебаний, регулировку и надежное фиксирование частоты гасителя в процессе эксплуатации.

Ударный гаситель колебаний изготовляется в виде свободной или упруго соединенной с конструкцией массы, ударяющей по ней при колебаниях в определенном месте (бойке).

Расчет и проектирование динамических и ударных гасителей осуществляется научно-исследовательскими и конструкторскими организациями.

д) УРАВНОВЕШИВАНИЕ, БАЛАНСИРОВКА И ИЗМЕНЕНИЕ ЧАСТОТ ВОЗМУЩАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ

6.10. Колебания несущих конструкций, вызываемые работой некоторых машин и установок с возвратно-поступательным движением

или вращением масс с большим эксцентриситетом, можно значительно уменьшить, применяя простые способы уравновешивания инерционных сил, например спаривание кривошипношатунных механизмов (рис. 6,*а*) или уравновешивание вращающейся массы (рис. 6,*б*). Возможно также применение специальных устройств, поддерживающих работу машин и установок в противофазе.

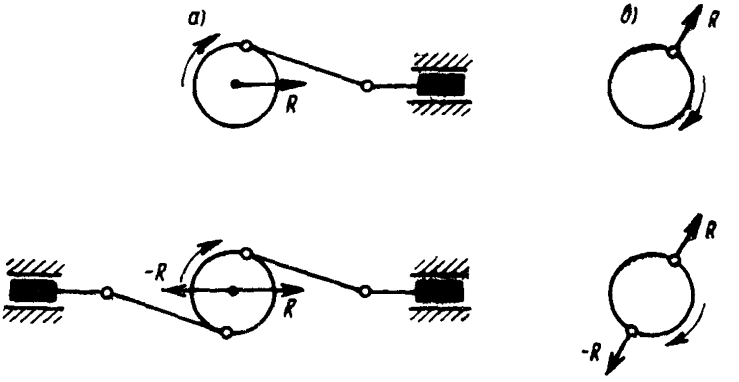


Рис. 6. Уравновешивание инерционных сил в машинах

6.11. Колебания несущих конструкций, вызываемые работой машин и установок с номинально уравновешенными вращающимися массами, можно значительно уменьшить с помощью статической и динамической балансировок в том случае, если таковые не производились или если машина разбалансировалась в процессе эксплуатации.

6.12. В тех случаях, когда имеется возможность изменять в некоторых пределах число оборотов (ходов) машины или установки, колебания конструкций можно существенно уменьшить:

а) понижением числа оборотов машины, если частота вынужденных колебаний ω близка к нижней границе одной из частотных зон конструкции;

б) повышением числа оборотов машины, если частота вынужденных колебаний ω близка к верхней границе одной из частотных зон конструкции.

6.13. Колебания несущих конструкций при пуске и остановке виброизолированных и невиброизолированных машин вследствие перехода через резонанс можно уменьшить посредством увеличения скорости нарастания или убывания числа оборотов.

Увеличение скорости убывания числа оборотов при остановке может быть достигнуто посредством механического или электрического торможения вращения вала машины.

Уменьшение колебаний несущих конструкций в режимах пуска и остановки виброизолированных машин может быть осуществлено также включением дополнительных диссипативных элементов при прохождении резонансной зоны, устройством ограничителей и т. п.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТ И ФОРМ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ КОНСТРУКЦИЙ

А. Конструкции, которые можно рассматривать как системы с конечным числом степеней свободы

1. Системы с одной степенью свободы

В качестве систем с одной степенью свободы могут рассматриваться такие конструкции, которые имеют либо только одну частоту собственных колебаний, либо несколько частот, среди которых имеется одна, во много раз меньшая, чем остальные. Эта расчетная схема применяется в тех случаях, когда конструкция несет большую сосредоточенную массу, по сравнению с которой остальная масса системы (собственная масса конструкции и масса других грузов) пренебрежимо мала. Например, как системы с одной степенью свободы можно рассчитывать балки, плиты и рамы с присоединенным сосредоточенным грузом, во много раз превышающим их собственный вес (рис. 7, *в, г, д, е, ж*); виброизолированные установки (рис. 7, *а, б*); массивные фундаменты, устанавливаемые на грунте, рассматриваемом как система пружин (рис. 7,*и*) и т. д. При этом предполагается, что конструкция может совершать колебания только какого-либо одного вида: поступательные (рис. 7,*е*) или вращательные (рис. 7,*а*).

Круговая частота (в *рад/сек*) собственных поступательных колебаний в направлении оси z системы с одной степенью свободы определяется по формуле

$$p = \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{\sqrt{m\,\delta_z}} \qquad (1.1)$$

или

$$p = \sqrt{\frac{g}{z_{ст}}}\,, \qquad (1.2)$$

где k — обобщенная жесткость конструкции в *кГ/м*, определяемая как сила, которую нужно статически приложить в точке, где находится сосредоточенная масса, чтобы получить единичное перемещение в направлении оси z;

δ_z — перемещение сосредоточенной массы в направлении оси z (в *м/кг*) от приложенной к ней единичной силы;

m — сосредоточенная масса в $кГ \cdot сек^2/м$;

$z_{ст}$ — прогиб конструкции в *м* от силы, равной mg и приложенной в точке, где находится сосредоточенная масса;

g — ускорение силы тяжести в *м/сек*.

Частоту собственных колебаний в герцах (число колебаний в 1 *сек*) можно определять по формуле

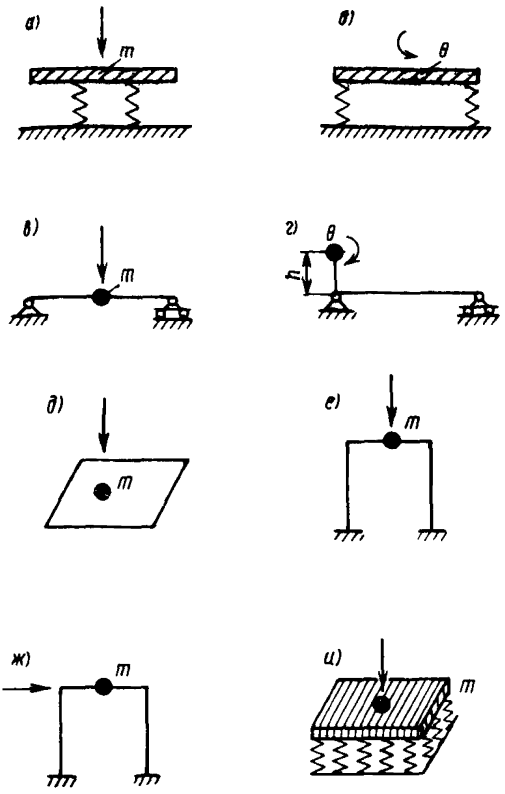


Рис. 7. Различные схемы систем с одной степенью свободы

$$n = \frac{p}{2\pi}. \tag{1.3}$$

Период собственных колебаний системы с одной степенью свободы

$$T = \frac{2\pi}{p} = \frac{1}{n}. \tag{1.4}$$

Круговая частота собственных вращательных колебаний системы с одной степенью свободы определяется по формуле

$$p = \sqrt{\frac{k_\theta}{\theta}} \tag{1.5}$$

или

$$p = \sqrt{\frac{1}{\theta\,\delta_\theta}}, \tag{1.6}$$

где k_θ — обобщенная жесткость конструкции (в *кГ·м/рад*) на поворот относительно центра вращения, определяемая как момент, который нужно статически приложить к конструкции, чтобы вызвать единичный угол поворота;

δ_θ — угол поворота в *рад/кГ·м* конструкции от приложенного к ней единичного момента;

θ — момент инерции массы относительно оси, проходящей через центр вращения перпендикулярно к плоскости колебаний, в *кГ·мсек*^{2}.

2. Системы с двумя степенями свободы

В качестве систем с двумя степенями свободы могут рассматриваться такие конструкции, которые имеют либо только две частоты собственных колебаний, либо несколько частот, среди которых две частоты во много раз меньше остальных.

Такая расчетная схема может применяться, например, при расчете легких балок, плит и рам с двумя присоединенными сосредоточенными массами, имеющими пренебрежимо малые моменты инерции относительно осей, проходящих через центры масс перпендикулярно плоскости колебаний (рис. 8, *а*, *б*, *в*), а также виброизолирован-

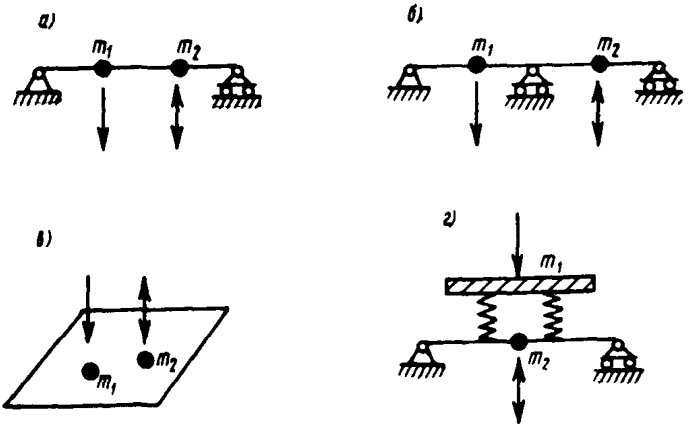


Рис. 8. Различные схемы систем с двумя степенями свободы

ные установки (рис. 8,*г*), жесткость пружин которых сравнима с жесткостью поддерживающей конструкции, а центр масс и центр жесткости лежат на одной вертикали (если рассматривать только поступательные колебания установки).

Круговые частоты собственных колебаний p_1 и p_2 для таких конструкций определяются по формулам

$$p_1 = \frac{1}{\sqrt{\zeta_1}}; \quad p_2 = \frac{1}{\sqrt{\zeta_2}}, \tag{1.7}$$

где ζ_1 и ζ_2 — корни частотного уравнения в форме метода сил;

$$\begin{vmatrix} m_1\delta_{11}-\zeta & m_2\delta_{12} \\ m_1\delta_{21} & m_2\delta_{22}-\zeta \end{vmatrix} = 0, \qquad (1.8)$$

причем $\zeta_1 > \zeta_2$.

Здесь обозначено:

m_1, m_2 — сосредоточенные массы в $кГ \cdot сек^2/м$;

$\delta_{ij}=\delta_{ji}$ — перемещение i-той массы от действия единичной силы, приложенной к j-той массе, в $м/кГ$.

Раскрытие определителя (1.8) приводит к квадратному уравнению

$$\zeta^2 - A_1\zeta + A_2 = 0, \qquad (1.9)$$

где

$$A_1 = m_1\delta_{11} + m_2\delta_{22}; \quad A_2 = m_1 m_2 (\delta_{11}\delta_{22} - \delta_{12}^2). \qquad (1.10)$$

Корни уравнения (1.9)

$$\left.\begin{aligned} \zeta_1 &= \frac{1}{2}\left(A_1 + \sqrt{A_1^2 - 4A_2}\right); \\ \zeta_2 &= \frac{1}{2}\left(A_1 - \sqrt{A_1^2 - 4A_2}\right). \end{aligned}\right\} \qquad (1.11)$$

Круговые частоты собственных колебаний системы с двумя степенями свободы можно также определять по формуле

$$p_1 = \sqrt{\xi_1}; \quad p_2 = \sqrt{\xi_2}, \qquad (1.12)$$

где ξ_1 и ξ_2 — корни частотного уравнения в форме метода перемещений;

$$\begin{vmatrix} k_{11}-m_1\xi & k_{12} \\ k_{21} & k_{22}-m_2\xi \end{vmatrix} = 0, \qquad (1.13)$$

причем $\xi_1 < \xi_2$. Здесь $k_{ij}=k_{ji}$ — реакция конструкции в точке, где находится i-тая масса, при единичном перемещении j-той массы и закреплении всех остальных масс (в $кГ/м$).

Раскрытие определителя (1.13) приводит к квадратному уравнению

$$\xi^2 - B_1\xi + B_2 = 0, \qquad (1.14)$$

где

$$B_1 = \frac{k_{11}}{m_1} + \frac{k_{22}}{m_2}; \quad B_2 = \frac{k_{11}k_{22} - k_{12}^2}{m_1 m_2}. \qquad (1.15)$$

Корни уравнения (1.14)

$$\left.\begin{aligned} \xi_1 &= \frac{1}{2}\left(B_1 - \sqrt{B_1^2 - 4B_2}\right); \\ \xi_2 &= \frac{1}{2}\left(B_1 + \sqrt{B_1^2 - 4B_2}\right). \end{aligned}\right\} \qquad (1.16)$$

Формы собственных колебаний системы с двумя степенями свободы определяются с точностью до постоянного множителя в результате подстановки значений ζ_1 и ζ_2 в одно из уравнений метода сил

$$\left.\begin{aligned} y_1 (m_1 \delta_{11} - \zeta) + y_2 m_2 \delta_{12} = 0 ; \\ y_1 m_1 \delta_{21} + y_2 (m_2 \delta_{22} - \zeta) = 0 . \end{aligned}\right\} \qquad (1.17)$$

При $\zeta = \zeta_1$ (первая форма)

$$\frac{y_{11}}{y_{12}} = - \frac{m_2 \delta_{12}}{m_1 \delta_{11} - \zeta_1} = - \frac{m_2 \delta_{22} - \zeta_1}{m_1 \delta_{21}} ;$$

При $\zeta = \zeta_2$ (вторая форма)

$$\frac{y_{21}}{y_{22}} = - \frac{m_2 \delta_{12}}{m_1 \delta_{11} - \zeta_2} = - \frac{m_2 \delta_{22} - \zeta_2}{m_1 \delta_{21}} .$$

Можно положить $y_{12} = 1$, $y_{22} = 1$, тогда

$$y_{11} = - \frac{m_2 \delta_{12}}{m_1 \delta_{11} - \zeta_1} ; \quad y_{21} = - \frac{m_2 \delta_{12}}{m_1 \delta_{11} - \zeta_2} .$$

Здесь y_{ij} обозначает перемещение массы j по форме номер i. Нормированные формы собственных колебаний φ_{ij} получают путем умножения значений y_{ij} на нормирующий множитель c_i, определяемый по формуле

$$\left.\begin{aligned} c_1 = \frac{1}{\sqrt{m_1 y_{11}^2 + m_2 y_{12}^2}} ; \\ c_2 = \frac{1}{\sqrt{m_1 y_{21}^2 + m_2 y_{22}^2}} . \end{aligned}\right\} \qquad (1.18)$$

Таким образом,

$$\left.\begin{aligned} \varphi_{11} = c_1 y_{11}; \quad \varphi_{12} = c_1 y_{12} ; \\ \varphi_{21} = c_2 y_{21}; \quad \varphi_{22} = c_2 y_{22} . \end{aligned}\right\} \qquad (1.19)$$

Здесь первый индекс обозначает номер формы, второй — номер массы.

Аналогичным образом можно получить формы собственных колебаний, если подставить значения ξ_1 и ξ_2 в одно из уравнений метода деформаций:

$$\left.\begin{aligned} (m_1 \xi - k_{11})\ y_1 - k_{12} y_2 = 0 ; \\ - k_{21} y_1 + (m_2 \xi - k_{22})\ y_2 = 0 . \end{aligned}\right\} \qquad (1.20)$$

При этом нормирование полученных форм собственных колебаний производится по формулам (1.18).

В случае вращательных колебаний частоты и формы собственных колебаний систем с двумя степенями свободы определяются по формулам настоящего пункта, при этом следует вместо масс m_i всюду писать моменты инерции масс Θ_i, взятые относительно оси, проходящей через центр вращения перпендикулярно плоскости колебаний (в $кГ \cdot м \cdot сек^2$). Кроме того, в этом случае δ_{ij} будет обозначать угол поворота (в $рад/кГ \cdot м$) конструкции в точке, где находится i-тая масса, от единичного момента, приложенного к j-той массе, а k_{ij} будет обозначать реактивный момент (в $кГ \cdot м/рад$) в точке, где находится i-тая масса, при единичном повороте j-той массы и закреплении всех остальных масс.

3. Системы с n степенями свободы

В качестве систем с n степенями свободы могут рассматриваться такие конструкции, которые имеют либо n частот собственных колебаний, либо большее количество частот, среди которых n частот во много раз меньше остальных.

Такая расчетная схема может приниматься, в частности, при расчете конструкций, несущих n масс, значительно превышающих массу самих конструкций и других грузов.

Круговые частоты собственных колебаний p_i для таких конструкций определяются по формулам

$$p_i = \frac{1}{\sqrt{\zeta_i}}, \tag{1.21}$$

где ζ_i — убывающие по величине корни частотного уравнения (в форме метода сил):

$$\begin{vmatrix} m_1\delta_{11}-\zeta & m_2\delta_{12} & \dots & m_n\delta_{1n} \\ m_1\delta_{21} & m_2\delta_{22}-\zeta & \dots & m_n\delta_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_1\delta_{n1} & m_2\delta_{n2} & \dots & m_n\delta_{nn}-\zeta \end{vmatrix} = 0. \tag{1.22}$$

Раскрытие определителя (1.22) приводит к уравнению n-й степени относительно ζ

$$\zeta^n - A_1\zeta^{n-1} + A_2\zeta^{n-2} + \dots + (-1)^n A_n = 0, \tag{1.23}$$

коэффициенты которого имеют вид

$$\left.\begin{aligned} A_1 &= \sum_{k=1}^{n} m_k\delta_{kk}; \\ A_2 &= \sum_{k=1}^{n-1}\sum_{r=k+1}^{n} m_k m_r \begin{vmatrix} \delta_{kk} & \delta_{kr} \\ \delta_{rk} & \delta_{rr} \end{vmatrix}; \\ A_3 &= \sum_{k=1}^{n-2}\sum_{r=k+1}^{n-1}\sum_{q=k+2}^{n} m_k m_r m_q \begin{vmatrix} \delta_{kk} & \delta_{kr} & \delta_{kq} \\ \delta_{rk} & \delta_{rr} & \delta_{rq} \\ \delta_{qk} & \delta_{qr} & \delta_{qq} \end{vmatrix}; \\ A_n &= m_1 m_2 \dots m_n \begin{vmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \dots & \delta_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{n1} & \delta_{n2} & \dots & \delta_{nn} \end{vmatrix}. \end{aligned}\right\} \tag{1.24}$$

Формы собственных колебаний системы с n степенями свободы определяются с точностью до постоянного множителя в результате подстановки значений ζ_i в какие-либо $n-1$ уравнений системы

$$\left.\begin{aligned} &y_1(m_1\delta_{11}-\zeta) + y_2 m_2\delta_{12} + \dots + y_n m_n\delta_{1n} = 0; \\ &y_1 m_1\delta_{21} + y_2(m_2\delta_{22}-\zeta) + \dots + y_n m_n\delta_{2n} = 0; \\ &\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ &y_1 m_1\delta_{n1} + y_2 m_2\delta_{n2} + \dots + y_n(m_n\delta_{nn}-\zeta) = 0, \end{aligned}\right\} \tag{1.25}$$

например в первые $n-1$ уравнений.

В результате будут определены при каждом ζ_i соотношения между перемещениями масс по i-той собственной форме:

$$\frac{y_{i2}}{y_{i1}} = Y_{i2}; \quad \frac{y_{i3}}{y_{i1}} = Y_{i3}; \ \ldots; \quad \frac{y_{in}}{y_{i1}} = Y_{in}.$$

Здесь первый индекс означает номер формы, второй — номер массы.

Для определения форм y_{ij} можно положить, например, $y_{i1} = 1$, а затем определить $y_{i2} = Y_{i2}$; $y_{i3} = Y_{i3}$ и т. д.

Нормированные формы собственных колебаний φ_{ij} получаются путем умножения полученных значений y_{ij} на нормирующий множитель c_i, определяемый по формуле

$$c_i = \frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n} m_j y_{ij}^2}}. \tag{1.26}$$

Круговые частоты собственных колебаний могут также определяться по формулам

$$p_i = \sqrt{\xi_i},$$

где ξ_i — возрастающие по величине корни частотного уравнения (в форме метода деформаций)

$$\begin{vmatrix} k_{11} - m_1\xi & k_{12} & k_{13} \ldots k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} - m_2\xi & k_{23} \ldots k_{2n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ k_{n1} & k_{n2} & k_{n3} \ldots k_{nn} - m_n\xi \end{vmatrix} = 0. \tag{1.27}$$

Формы собственных колебаний определяются в результате подстановки значений ξ_i в какие-либо n—1 уравнений системы

$$\left.\begin{array}{l} (k_{11} - m_1\xi)\, y_1 + k_{12} y_2 + \ldots + k_{1n} y_n = 0; \\ k_{21} y_1 + (k_{22} - m_2\xi)\, y_2 + \ldots + k_{2n} y_n = 0; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ k_{n1} y_1 + k_{n2} y_2 + \ldots + (k_{nn} - m_n\xi)\, y_n = 0 \end{array}\right\} \tag{1.28}$$

аналогично тому, как это имеет место при использовании метода сил.

В случае вращательных колебаний частоты и формы собственных колебаний систем с n степенями свободы могут определяться по формулам настоящего пункта, если вместо масс m_i всюду писать моменты инерции масс Θ_i, взятые относительно оси, проходящей через центр вращения перпендикулярно плоскости колебаний (в $кГ \cdot мсек^2$), а под δ_{ij} и k_{ij} понимать соответственно угол поворота конструкции (в $рад/кГ \cdot м$) в точке, где находится i-тая масса, от единичного момента, приложенного к j-той массе, и реактивный момент (в $кГ \cdot м/рад$) в точке, где находится j-тая масса, при единичном повороте j-той массы и закреплении всех остальных масс.

Для решения частотных уравнений и определения частот собственных колебаний можно применять различные аналитические методы и стандартные программы вычисления собственных чисел и собственных векторов матриц на ЭЦВМ.

В частности, удобным в приложениях является метод последова-

тельных приближений. Ниже приводится упрощенный вариант[1] метода последовательных приближений, дающий достаточно быструю сходимость для систем с негустым спектром частот. Этот способ можно использовать, например, при вычислении частот и форм собственных горизонтальных колебаний зданий.

Для определения первой частоты и формы собственных колебаний система (1.25) приводится к более удобному для указанного метода виду. Поскольку формы собственных колебаний определяются с точностью до постоянного множителя, то, полагая $y_n=1$ и вводя дополнительный индекс 1, указывающий на номер определяемой формы, получим

$$\left.\begin{aligned} y_{11} &= \frac{1}{\zeta_1}\,(m_1\,\delta_{11}\,y_{11}+m_2\,\delta_{12}\,y_{12}+\ldots+m_n\,\delta_{1n})\,;\\ y_{12} &= \frac{1}{\zeta_1}\,(m_1\,\delta_{21}\,y_{11}+m_2\,\delta_{22}\,y_{12}+\ldots+m_n\,\delta_{2n})\,;\\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\ \zeta_1 &= m_1\,\delta_{n1}\,y_{11}+m_2\,\delta_{n2}\,y_{12}+\ldots+m_n\,\delta_{nn}\,. \end{aligned}\right\} \qquad (1.29)$$

Теперь задаемся в качестве первого приближения следующими значениями y_{1k}:

$$y_{11}^{(1)}=y_{12}^{(1)}=\ldots=y_{1,\,n-1}^{(1)}=1. \qquad (1.30)$$

Подставляя эти значения в последнее уравнение системы (1.29), получаем некоторое число $\zeta_1=\zeta_1^{(1)}$ (первое приближение). Далее, подставляя значения $y_{1k}^{(1)}$ и найденное $\zeta_1^{(1)}$ в правые части первых $n-1$ уравнений системы (1.29), находим второе приближение $y_{11}^{(2)}$, $y_{12}^{(2)}$, ... $y_{1,\,n-1}^{(2)}$. Подстановка этих величин в правую часть последнего уравнения системы (1.29) позволяет получить второе приближение для ζ_1 т. е. $\zeta_1^{(2)}$. Дальнейшая подстановка $y_{1k}^{(2)}$ и $\zeta_1^{(2)}$ в первые $n-1$ уравнения системы (1.29) дает третье приближение $y_{11}^{(3)}$, $y_{12}^{(3)}$,...., $y_{1,\,n-1}^{(3)}$ и т. д. Продолжая этот процесс до тех пор, пока значения $\zeta_1^{(m)}$, $y_{11}^{(m)}$, $y_{12}^{(m)}$,... в очередной итерации не будут достаточно близки к значениям $\zeta_1^{(m-1)}$, $y_{11}^{(m-1)}$ ...., $y_{1,\,n-1}^{(m-1)}$, полученным в предыдущей итерации, найдем приближенные значения первой частоты и формы собственных колебаний.

Для определения второй частоты и формы собственных колебаний используем условие ортогональности первой и второй форм:

$$\sum_{j=1}^{n} m_j\,y_{1j}\,y_{2j}=0\,, \qquad (1.31)$$

из которого находим

$$y_{2n}=-\frac{1}{m_n\,y_{1n}}\sum_{j=1}^{n-1} m_j\,y_{1j}\,y_{2j}\,. \qquad (1.32)$$

[1] Арнапольский И. С. Определение частот и форм собственных колебаний систем с дискретными массами. «Строительная механика и расчет сооружений», 1966, № 3.

Подставим это выражение в правые части первых $n-1$ уравнений системы (1.25), которые запишем опять в удобном для указанного метода виде, полагая при этом $y_{2,\,n-1}=1$:

$$
\left.
\begin{aligned}
y_{21} &= \frac{1}{\zeta_2}\left[m_1\left(\delta_{11}-\frac{y_{11}}{y_{1n}}\,\delta_{1n}\right)y_{21}+m_2\left(\delta_{12}-\frac{y_{12}}{y_{1n}}\,\delta_{1n}\right)\times\right.\\
&\left.\times\, y_{22}+\ldots+m_{n-1}\left(\delta_{1,\,n-1}-\frac{y_{1,\,n-1}}{y_{1n}}\,\delta_{1n}\right)\right];\\
y_{22} &= \frac{1}{\zeta_2}\left[m_1\left(\delta_{21}-\frac{y_{11}}{y_{1n}}\,\delta_{2n}\right)y_{21}+m_2\left(\delta_{22}-\frac{y_{12}}{y_{1n}}\,\delta_{2n}\right)\times\right.\\
&\left.\times\, y_{22}+\ldots+m_{n-1}\left(\delta_{2,\,n-1}-\frac{y_{1,\,n-1}}{y_{1n}}\,\delta_{2n}\right)\right];\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
\zeta_2 &= m_1\left[\left(\delta_{n-1,\,1}-\frac{y_{11}}{y_{1n}}\,\delta_{n-1,\,n}\right)y_{21}+m_2\times\right.\\
&\times\left(\delta_{n-1,\,2}-\frac{y_{12}}{y_{1n}}\,\delta_{n-1,\,n}\right)y_{22}+\ldots+m_{n-1}\times\\
&\left.\times\left(\delta_{n-1,\,n-1}-\frac{y_{1,\,n-1}}{y_{1n}}\,\delta_{n-1,\,1}\right)\right].
\end{aligned}
\right\}\qquad(1.33)
$$

Полученная система также решается методом итераций, описанным при определении первой частоты и формы. В результате получаем значения второй частоты ζ_2 и величины $y_{21}, y_{22}, \ldots, y_{2,\,n-1}$, определяющие вторую форму. Величину y_{2n} находим из выражения (1.32).

Для определения третьей частоты и формы собственных колебаний составляются два условия, аналогичных (1.31):

$$\sum_{j=1}^{n} m_j y_{1j} y_{3j}=0;$$

$$\sum_{j=1}^{n} m_j y_{2j} y_{3j}=0,$$

т. е. условие ортогональности третьей формы с первой и со второй. Используя эти два условия, из системы (1.25) способом, описанным при определении второй частоты и формы, можно исключить два неизвестных $y_{3,\,n-1}$ и y_{3n}. В результате получим систему из $n-2$ уравнений. Полагая в полученной системе $y_{3,\,n-2}=1$, находим из нее (также методом итераций) величину ζ_3 и определяющие третью форму значения $y_{31}, y_{32}, \ldots, y_{3,\,n-3}$. Величины $y_{3,\,n-1}$ и $y_{3,\,n}$ определятся из выражений, аналогичных (1.32).

Таким же образом описанный итерационный способ определения частот и форм собственных колебаний используется при решении частотного уравнения в форме метода деформаций. В этом случае при-

веденная к удобному для итераций виду система уравнений имеет незначительное отличие. Записываем ее, полагая при этом любую из величин, определяющих форму колебаний, например y_{nn}, равной единице:

$$y_{n1} = \frac{1}{m_1 \xi} (k_{11} y_{n1} + k_{12} y_{n2} + \ldots + k_{1n});$$

$$y_{n2} = \frac{1}{m_2 \xi} (k_{21} y_{n1} + k_{22} y_{n2} + \ldots + k_{2n});$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\xi = \frac{1}{m_n} (k_{n1} y_{n1} + k_{n2} y_{n2} + \ldots + k_{nn}).$$

Дальнейшие операции полностью совпадают с описанными выше. При определении второй и третьей частоты собственных колебаний требуется достаточно высокая точность вычислений.

Если можно ограничиться определением только первой частоты и формы собственных колебаний, то для этой цели удобно применять энергетический метод. Согласно энергетическому методу частота собственных колебаний основного тона определяется по формуле

$$p_1 = \sqrt{\frac{\Pi}{V_1}},$$

где

$$\Pi = \frac{g}{2} \sum_{k=1}^{n} m_k y_k;$$

$$V_1 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{n} m_k y_k^2,$$

y_k — перемещение k-той массы при статическом действии системы сил P_j, равных силам веса каждой массы

$$P_j = m_j g;$$

$$y_k = \sum_{j=1}^{n} \delta_{kj} P_j.$$

Форма собственных колебаний может быть вычислена путем подстановки значения $\zeta_1 = p_1^{-2}$ в $n-1$ уравнений системы (1.25). Для приближенной оценки частоты основного тона колебаний конетрукций можно использовать также формулу Дункерлея:

$$\zeta_1 = m_1 \delta_{11} + m_2 \delta_{22} + \ldots + m_n \delta_{nn},$$

которая дает весьма грубое приближение снизу.

Б. Конструкции, которые можно рассматривать как системы с бесконечно большим числом степеней свободы

1. Однопролетные балки

Балки с равномерно распределенной массой

Круговые частоты собственных поперечных колебаний однопролетных балок постоянного сечения и массы определяются по формуле

$$p_r = \frac{\lambda_r^2}{l^2}\sqrt{\frac{D}{\mu_0}}. \qquad (1.34)$$

Здесь $r=1, 2, 3, \ldots$ — номер частоты, соответствующий номеру тона собственных колебаний;

l^2 — пролет балки в $м$;

$D=EJ$ — жесткость балки в $кГ\cdot м^2$ (E — модуль упругости в $кГ/м^2$; J — момент инерции поперечного сечения балки относительно нейтральной оси, постоянный по ее длине, в $м^4$);

$\mu_0 = \frac{q_0}{g}$ — погонная масса балки в $кГ\cdot сек^2/м^2$ (q_0 — погонная нагрузка в $кГ/м$; $g=9{,}81$ $м/сек^2$ — ускорение силы тяжести);

λ_r^2 — коэффициент r-той частоты собственных колебаний, квадраты которого даны в табл. 16 в зависимости от номера и вида закрепления концов балки.

Формы собственных колебаний однопролетных балок постоянного сечения и массы (балочные функции) удовлетворяют дифференциальному уравнению

$$X_r^{IV}(\alpha) - \lambda_r^4 X_r(\alpha) = 0 \qquad (1.35)$$

и граничным условиям при $\alpha=0$ и $\alpha=1$, соответствующим условиям закрепления концов балки. Здесь r — номер формы; $\alpha = \frac{x}{l}$ — относительная абсцисса, отсчитываемая от левого конца балки. Нормированные формы собственных колебаний однопролетной балки удовлетворяют также условию ортонормированности

$$\int_0^1 X_r(\alpha)\, X_k(\alpha)\, d\alpha = \begin{cases} 1 & \text{при } r=k; \\ 0 & \text{при } r\neq k. \end{cases} \qquad (1.36)$$

В табл. 22—27 приведены значения нормированных балочных функций и их производных для шести различных видов закрепления концов при $r=1, 2, 3, 4, 5$.

Таблица 16

Квадраты коэффициентов частоты (λ_r^2) для однопролетных балок

Вид закрепления конца		$r=1$	$r=2$	$r=3$	$r=4$	$r=5$	$r>5$
левого	правого						
Защемлен	Свободен	3,516	22,03	61,67	120,9	199,9	$\left(r-\frac{1}{2}\right)^2\pi^2$
Оперт	Оперт	9,87	39,48	88,83	157,9	246,7	$r^2\pi^2$
»	Защемлен	15,42	49,96	104,3	178,3	272	$\left(r+\frac{1}{4}\right)^2\pi^2$
»	Свободен	15,42	49,96	104,3	178,3	272	$\left(r+\frac{1}{4}\right)^2\pi^2$
Защемлен	Защемлен	22,37	61,67	120,9	199,9	298,6	$\left(r+\frac{1}{2}\right)^2\pi^2$
Свободен	Свободен	22,37	61,67	120,9	199,9	298,6	$\left(r+\frac{1}{2}\right)^2\pi^2$

Балки с равномерно распределенной и сосредоточенными массами (рис. 9)

Круговые частоты собственных поперечных колебаний балок определяются по формуле

$$p_r=\frac{\lambda_r^2}{l^2}\sqrt{\frac{D}{\mu_r}}, \qquad (1.37)$$

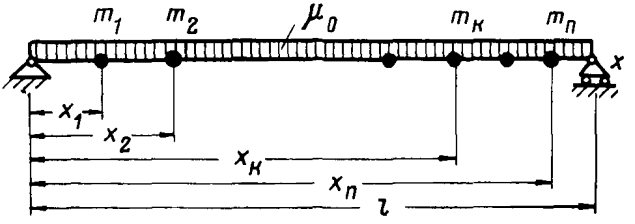


Рис. 9. Схема однопролетной балки с равномерно распределенной и сосредоточенными массами

где μ_r — приведенная погонная масса в $кГ\cdot сек^2/м^2$, соответствующая r-му тону колебаний, вычисляемая по приближенной формуле

$$\mu_r = \mu_0 + \frac{1}{l} \sum_{k=1}^{n} X_r^2 (\alpha_k)\ m_k\ . \qquad (1.38)$$

Здесь k — номер сосредоточенной массы, отсчитываемый от левого конца балки;

n — число сосредоточенных масс на балке;

m_k — сосредоточенная масса номера k в $кГ \cdot сек^2/м$;

μ_0 — равномерно распределенная погонная масса в $кГ \cdot сек^2/м^2$;

$\alpha_k = \frac{x_k}{l}$ — относительная абсцисса массы m_k на балке (x_k — абсцисса массы m_k в $м$);

$X_r^2 (\alpha_k)$ — коэффициент приведения массы m_k к равномерно распределенной;

$X_r (\alpha_k)$ — значение нормированной балочной функции в точке $x_к$, определяемое из табл. 22—27 в зависимости от вида закрепления концов балки, номера тона колебаний и значения α_k.

Обозначения остальных величин см. выше.

Погрешность формулы (1.38) тем меньше, чем симметричнее расположены на балке сосредоточенные массы, чем меньше их величины и чем меньше они различаются между собой.

Для более точного определения приведенных погонных масс составляются уравнения

$$(1 - \lambda_r^4 \zeta)\ a_r + \sum_{\nu=1}^{n} \frac{m_\nu}{\mu_0 l}\ X_r (\alpha_\nu) \sum_{j=1}^{k} a_j X_j (\alpha_\nu) = 0, \qquad (1.39)$$

где a_r, a_j — параметры, подлежащие исключению; $r = 1, 2, \ldots, k$;

k — количество определяемых частот колебаний;

n — количество сосредоточенных масс на балке;

ζ — неизвестное, подлежащее определению.

Число уравнений (1.39) равно k. После исключения параметров a_r получается уравнение k-й степени относительно ζ. С помощью корней этого уравнения, расположенных в порядке убывания

$$\zeta_1 > \zeta_2 > \ \ldots\ > \zeta_k\ ,$$

определяются приведенные массы μ_r по формуле

$$\mu_r = \mu_0 \lambda_r^4 \zeta_r. \qquad (1.40)$$

При $k=1$ формула (1.39) переходит в формулу (1.38)

2. *Неразрезные балки*

Равнопролетные балки с постоянными по длине жесткостью и массой

Круговые частоты собственных колебаний определяются по формуле (1.34), в которой D и μ_0 сохраняют прежнее значение; l — расстояние между соседними опорами в $м$; λ_r — коэффициент частоты r-го тона колебаний, квадраты которого даны в табл. 17.

Таблица 17

Квадраты коэффициентов частоты (λ_r^2) для неразрезных равнопролетных балок

Вид закрепления конца		К-во пролетов	$r=1$	$r=2$	$r=3$	$r=4$	$r=5$	$r=6$	$r=7$	$r=8$	$r=9$	$r=10$	$r=11$
левого	правого												
Оперт	Оперт	2	9,87	15,42	39,48	49,97	88,83	104,2	157,9	—	—	—	—
		3	9,87	12,65	18,47	39,48	45	55,19	88,83	97,02	111,8	157,9	—
		4	9,87	11,52	15,42	19,91	39,48	42,85	49,97	57,64	88,83	93,84	104,2
		5	9,87	10,95	13,69	17,25	20,7	39,48	41,73	46,91	53,18	58,94	88,83
»	Защемлен	2	11,52	19,91	42,85	57,64	93,84	115,2	164,5	—	—	—	—
		3	10,63	15,42	21,18	41,09	49,97	59,71	91,22	104,2	118,1	161,1	—
		4	10,31	13,28	17,71	21,66	40,42	46,16	53,91	60,51	90,21	98,72	109,9
		5	10,16	12,16	15,42	19,07	21,93	40,08	44,1	49,97	56,21	60,92	89,74
Защемлен	»	2	15,42	22,37	49,97	61,67	104,2	120,9	178,2	—	—	—	—
		3	12,65	18,47	22,38	45	55,19	61,67	97,02	111,7	120,9	168,7	—
		4	11,52	15,42	19,91	22,37	42,85	49,97	57,64	61,67	93,84	104,2	115,2
		5	10,95	13,69	17,25	20,7	22,37	41,73	46,91	53,18	58,94	61,67	92,18

Формы собственных колебаний неразрезных равнопролетных балок с постоянной жесткостью и массой с числом пролетов от двух до пяти приведены в табл. 28—39. Значения балочной функции и ее производных даются для каждого пролета отдельно. Относительная абсцисса $\alpha = \frac{x}{l}$, где l — длина одного пролета, отсчитывается в каждом пролете от его левого конца. Приведенные в табл. 28—39 балочные функции удовлетворяют условию ортонормированности

$$\sum_{i=1}^{N} \int_{0}^{1} X_{ri}(\alpha)\, X_{ki}(\alpha)\, d\alpha = \begin{cases} 1 & \text{при } r = k; \\ 0 & \text{при } r \neq k. \end{cases} \qquad (1.41)$$

Здесь i — номер пролета балки; k, r — номера форм собственных колебаний.

Равнопролетные балки постоянной жесткости при наличии сосредоточенных масс (рис. 10)

Круговые частоты p_r определяются по формуле (1.37), в которой D, l и λ_r^2 имеют значения, определенные в п. Б.1 настоящего приложения, а приведенная погонная масса μ_r определяется по приближенной формуле

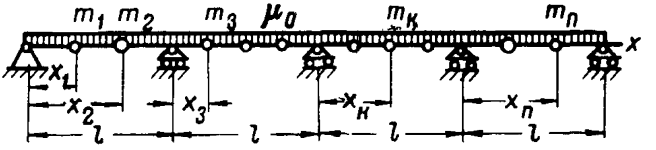


Рис. 10. Схема неразрезной равнопролетной балки с равномерно распределенной и сосредоточенными массами

$$\mu_r = \mu_0 + \frac{1}{l} \sum_{k=1}^{n} X_r^2(\alpha_k)\, m_k. \qquad (1.42)$$

Здесь μ_0 — постоянная погонная масса в $кг \cdot сек^2/м^2$;

k — номер сосредоточенной массы, отсчитываемый от левого конца балки;

n — количество сосредоточенных масс на балке;

$\alpha_k = \frac{x_k}{l}$ — относительная абсцисса массы m_k, отсчитываемая от левого конца пролета, в котором она расположена (x_k — абсцисса массы m_k, отсчитываемая от левого конца пролета, в котором она расположена);

l — пролет между соседними опорами;

$X_r(\alpha_k)$ — значение нормированной балочной функции в точке α_k, определяемое из табл. 28—39 в зависимости от

числа пролетов балки N, номера пролета, в котором расположена данная сосредоточенная масса, и от номера тона колебаний r.

Погрешность формулы (1.42) тем меньше, чем симметричнее расположены массы на балке, чем меньше их величина и меньше они различаются между собой.

Для более точного определения приведенных погонных масс неразрезной балки составляются уравнения типа (1.39), в которых α_ν, x_ν, l и $X_r(\alpha_\nu)$ имеют тот же смысл, что и в формуле (1.42).

Неразрезные балки в общем случае

Для определения частот собственных колебаний неразрезных балок с различными длинами пролетов или различными жесткостями в разных пролетах следует применять общие методы динамики стержневых систем.

Однако, используя приведенные выше методы определения частот и таблицы форм собственных колебаний балок с постоянным сечением и массой, можно упростить расчет. Например, для определения частот собственных колебаний балки, изображенной на рис. 11, мож-

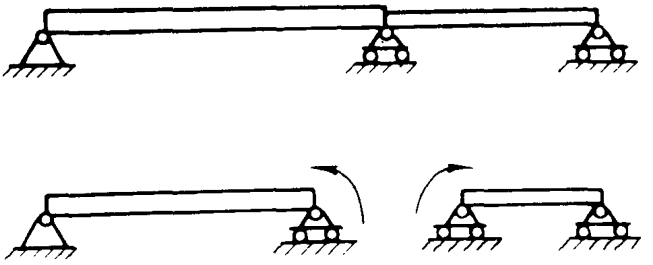


Рис. 11. Определение частот и форм собственных колебаний неразрезных балок в общем случае

но поступить следующим образом. Разрезав балку над средней опорой, приложим в сечении к каждой из полученных однопролетных балок моменты $1\cos\omega t$ и, пренебрегая затуханием, определим амплитуды углов поворота каждой балки в этом сечении по формулам

$$\theta_{л} = \frac{1}{l_{л}^3} \sum_{r=1}^{k} \frac{[X'_{r\,л}(1)]^2}{\mu_r} \cdot \frac{1}{p_{r\,л}^2 - \omega^2}; \qquad (1.43)$$

$$\theta_{пр} = \frac{1}{l_{пр}^3} \sum_{r=1}^{k} \frac{[X'_{r\,пр}(0)]^2}{\mu_r} \cdot \frac{1}{p_{r\,пр}^2 - \omega^2},$$

где $p_{rл}$ — частоты собственных колебаний левой балки;

$p_{r\,пр}$ — то же, правой балки;

$X'_{rл}(1)$ — значение первой производной нормированной балочной

функции для левой балки в сечении над правой крайней опорой;

$X'_{r\text{пр}}(0)$ — то же, для правой балки в сечении над левой крайней опорой;

$l_л$ — пролет между опорами левой балки;

$l_{\text{пр}}$ — то же, правой балки.

Частоты собственных колебаний определяются в результате решения частотного уравнения, получаемого путем приравнивания углов поворота левой и правой балки в сечении над средней опорой:

$$\theta_л - \theta_{\text{пр}} = 0. \tag{1.44}$$

Корни этого уравнения ω_r представляют собой частоты собственных колебаний рассмотренной неразрезной балки. Аналогичным образом могут быть рассмотрены и другие схемы балок, при этом может оказаться удобным делать не один, а два или более разрезов, получая систему уравнений, решение которой позволит определить спектр частот собственных колебаний. Для получения достаточно точных значений частот собственных колебаний число учитываемых собственных форм в формуле (1.43) должно быть на 2—3 больше, чем число определяемых частот.

3. Однопролетные прямоугольные плиты

Плиты с равномерно распределенной массой

Круговые частоты собственных колебаний определяются по формуле

$$p_{rs} = \frac{\lambda_{rs}^2}{l_x^2}\sqrt{\frac{D}{\mu_0}}. \tag{1.45}$$

Здесь $D = \dfrac{Eh^3}{12(1-\nu_0^2)}$ — цилиндрическая жесткость плиты в $кГ \cdot м$ (E — модуль нормальной упругости в $кГ/м^2$; h — толщина плиты в $м$; ν_0 — коэффициент Пуассона);

μ_0 — интенсивность равномерно распределенной массы (собственной и присоединенной) на единицу площади в $кГ \cdot сек^2/м^3$;

l_x, l_y — размеры плиты в направлении осей x и y соответственно в $м$;

$\eta = \dfrac{l_x}{l_y}$ — отношение длины сторон плиты;

r, s — индексы нормированных балочных функций $X_r(x)$ и $Y_s(y)$, произведение которых определяет форму собственных колебаний плиты; при этом балочная функция $X_r(x)$ определяется для балки, имеющей тот же вид закрепления концов, как

и стержень-полоска, вырезанная из плиты вдоль оси x; балочная функция $Y_s(y)$ определяется для стержня-полоски, вырезанной из плиты вдоль оси y (рис. 12);

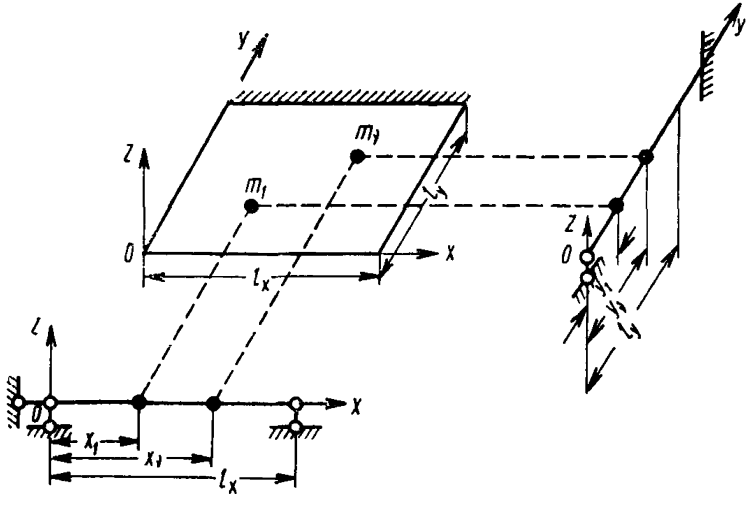


Рис. 12. Схема, показывающая характер соответствия между плитой и балками

λ_{rs} — коэффициент частоты собственных колебаний плиты, квадрат которого определяется по табл. 18 для плит с опертыми и защемленными краями; для остальных видов закрепления λ_{rs}^2 вычисляется по формуле (см. примечание на стр. 75)

$$\lambda_{rs}^2 = \pi^2 \sqrt{G_x^4 + \eta^4 G_y^4 + 2\eta^2 [\nu_0 H_x H_y + (1 - \nu_0) J_x J_y]}. \quad (1.46)$$

Значения коэффициентов G_x, G_y, H_x, H_y, J_x, J_y для различных видов закрепления краев плиты в зависимости от r и s даны в табл. 19.

В таблице приняты следующие обозначения:

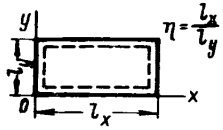
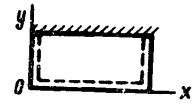
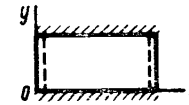
$$A_r = \left(r - \frac{1}{2}\right)^2 \left[1 - \frac{2}{\left(r - \frac{1}{2}\right)\pi}\right];$$

$$B_r = \left(r - \frac{3}{4}\right)^2 \left[1 - \frac{1}{\left(r - \frac{3}{4}\right)\pi}\right];$$

$$C_r = \left(r - \frac{1}{2}\right)^2 \left[1 + \frac{6}{\left(r - \frac{1}{2}\right)\pi}\right];$$

Таблица 18

Квадраты коэффициентов частоты (λ_{rs}^2) для прямоугольных плит

Номер тона	Индексы r	Индексы s	Вид закрепления краев плиты: 		
1	2	3	4	5	6
1	1	1	$\pi^2 (1 + \eta^2)$	$\sqrt{97{,}41 + 227{,}2\ \eta^2 + 237{,}7\ \eta^4}$	$\sqrt{97{,}41 + 242{,}9\ \eta^2 + 500{,}5\ \eta^4}$
2	1	2	$\pi^2 (1 + 4\eta^2)$	$\sqrt{97{,}41 + 846{,}7\ \eta^2 + 2496\ \eta^4}$	$\sqrt{97{,}41 + 908{,}9\ \eta^2 + 3804\ \eta^4}$
3	2	1	$\pi^2 (4 + \eta^2)$	$\sqrt{1559 + 908{,}9\ \eta^2 + 237{,}7\ \eta^4}$	$\sqrt{1559 + 971{,}6\ \eta^2 + 500{,}5\ \eta^4}$
4	2	2	$4\pi^2 (1 + \eta^2)$	$\sqrt{1559 + 3387\ \eta^2 + 2496\ \eta^4}$	$\sqrt{1559 + 3635\ \eta^2 + 3804\ \eta^4}$
5	1	3	$\pi^2 (1 + 9\eta^2)$	$\sqrt{97{,}41 + 1856\ \eta^2 + 10\,870\ \eta^4}$	$\sqrt{97{,}41 + 1952\ \eta^2 + 14\,620\ \eta^4}$
6	3	1	$\pi^2 (9 + \eta^2)$	$\sqrt{7890 + 2045\ \eta^2 + 237{,}7\ \eta^4}$	$\sqrt{7890 + 2186\ \eta^2 + 500{,}5\ \eta^4}$
7	2	3	$\pi^2 (4 + 9\eta^2)$	$\sqrt{1559 + 7424\ \eta^2 + 10\,870\ \eta^4}$	$\sqrt{1559 + 7810\ \eta^2 + 14\,620\ \eta^4}$
8	3	2	$\pi^2 (9 + 4\eta^2)$	$\sqrt{7890 + 7620\ \eta^2 + 2496\ \eta^4}$	$\sqrt{7890 + 8180\ \eta^2 + 3804\ \eta^4}$
9	3	3	$9\pi^2 (1 + \eta^2)$	$\sqrt{7890 + 16\,710\ \eta^2 + 10\,870\ \eta^4}$	$\sqrt{7890 + 17\,570\ \eta^2 + 14\,620\ \eta^4}$
10	1	4	$\pi^2 (1 + 16\eta^2)$	$\sqrt{97{,}41 + 3255\ \eta^2 + 31\,780\ \eta^4}$	$\sqrt{97{,}41 + 3387\ \eta^2 + 39\,940\ \eta^4}$
11	4	1	$\pi^2 (16 + \eta^2)$	$\sqrt{24\,940 + 3636\ \eta^2 + 237{,}7\ \eta^4}$	$\sqrt{24\,940 + 3886\ \eta^2 + 500{,}5\ \eta^4}$
12	2	4	$4\pi^2 (1 + 4\eta^2)$	$\sqrt{1559 + 13\,020\ \eta^2 + 31\,780\ \eta^4}$	$\sqrt{1559 + 13\,550\ \eta^2 + 39\,940\ \eta^4}$
13	4	2	$4\pi^2 (4 + \eta^2)$	$\sqrt{24\,940 + 13\,550\ \eta^2 + 2496\ \eta^4}$	$\sqrt{24\,940 + 14\,540\ \eta^2 + 3804\ \eta^4}$
14	3	4	$\pi^2 (9 + 16\eta^2)$	$\sqrt{7890 + 29\,300\ \eta^2 + 31\,780\ \eta^4}$	$\sqrt{7890 + 30\,480\ \eta^2 + 39\,940\ \eta^4}$
15	4	3	$\pi^2 (16 + 9\eta^2)$	$\sqrt{24\,940 + 29\,700\ \eta^2 + 10\,870\ \eta^4}$	$\sqrt{24\,940 + 31\,240\ \eta^2 + 14\,620\ \eta^4}$
16	4	4	$16\pi^2 (1 + \eta^2)$	$\sqrt{24\,940 + 52\,080\ \eta^2 + 31\,780\ \eta^4}$	$\sqrt{24\,940 + 54\,190\ \eta^2 + 39\,940\ \eta^4}$
17	1	5	$\pi^2 (1 + 25\eta^2)$	$\sqrt{97{,}41 + 5044\ \eta^2 + 74\,000\ \eta^4}$	$\sqrt{97{,}41 + 5211\ \eta^2 + 89\,140\ \eta^4}$
18	5	1	$\pi^2 (25 + \eta^2)$	$\sqrt{60\,880 + 5681\ \eta^2 + 237{,}7\ \eta^4}$	$\sqrt{60\,880 + 6072\ \eta^2 + 500{,}5\ \eta^4}$
19	2	5	$\pi^2 (4 + 25\eta^2)$	$\sqrt{1559 + 20\,180\ \eta^2 + 74\,000\ \eta^4}$	$\sqrt{1559 + 20\,840\ \eta^2 + 89\,140\ \eta^4}$
20	5	2	$\pi^2 (25 + 4\eta^2)$	$\sqrt{60\,880 + 21\,170\ \eta^2 + 2496\ \eta^4}$	$\sqrt{60\,880 + 22\,720\ \eta^2 + 3804\ \eta^4}$
21	3	5	$\pi^2 (9 + 25\eta^2)$	$\sqrt{7890 + 45\,400\ \eta^2 + 74\,000\ \eta^4}$	$\sqrt{7890 + 46\,900\ \eta^2 + 89\,140\ \eta^4}$
22	5	3	$\pi^2 (25 + 9\eta^2)$	$\sqrt{60\,880 + 46\,400\ \eta^2 + 10\,870\ \eta^4}$	$\sqrt{60\,880 + 48\,810\ \eta^2 + 14\,620\ \eta^4}$
23	4	5	$\pi^2 (16 + 25\eta^2)$	$\sqrt{24\,940 + 80\,700\ \eta^2 + 74\,000\ \eta^4}$	$\sqrt{24\,940 + 83\,380\ \eta^2 + 89\,140\ \eta^4}$
24	5	4	$\pi^2 (25 + 16\eta^2)$	$\sqrt{60\,880 + 81\,380\ \eta^2 + 31\,780\ \eta^4}$	$\sqrt{60\,880 + 84\,680\ \eta^2 + 39\,940\ \eta^4}$
25	5	5	$25\pi^2 (1 + \eta^2)$	$\sqrt{60\,880 + 126\,100\ \eta^2 + 74\,000\ \eta^4}$	$\sqrt{60\,880 + 130\,300\ \eta^2 + 89\,140\ \eta^4}$

Продолжение табл. 18

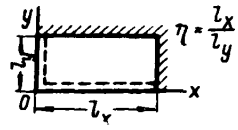
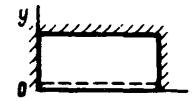
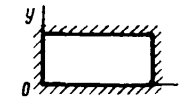
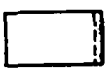
Номер тона	Индексы r	Индексы s	Вид закрепления краев плиты: 		
1	2	3	4	5	6
1	1	1	$\sqrt{237{,}7 + 265{,}1\ \eta^2 + 237{,}7\ \eta^4}$	$\sqrt{500{,}5 + 283{,}3\ \eta^2 + 237{,}7\ \eta^4}$	$\sqrt{500{,}5 + 302{,}7\ \eta^2 + 500{,}5\ \eta^4}$
2	1	2	$\sqrt{237{,}7 + 987{,}6\ \eta^2 + 2496\ \eta^4}$	$\sqrt{500{,}5 + 1056\ \eta^2 + 2496\ \eta^4}$	$\sqrt{500{,}5 + 1133\ \eta^2 + 3804\ \eta^4}$
3	2	1	$\sqrt{2496 + 987{,}6\ \eta^2 + 237{,}7\ \eta^4}$	$\sqrt{3804 + 1060\ \eta^2 + 237{,}7\ \eta^4}$	$\sqrt{3804 + 1133\ \eta^2 + 500{,}5\ \eta^4}$
4	2	2	$\sqrt{2496 + 3679\ \eta^2 + 2496\ \eta^4}$	$\sqrt{3804 + 3950\ \eta^2 + 2496\ \eta^4}$	$\sqrt{3804 + 4240\ \eta^2 + 3804\ \eta^4}$
5	1	3	$\sqrt{237{,}7 + 2165\ \eta^2 + 10\,870\ \eta^4}$	$\sqrt{500{,}5 + 2314\ \eta^2 + 10\,870\ \eta^4}$	$\sqrt{500{,}5 + 2434\ \eta^2 + 14\,620\ \eta^4}$
6	3	1	$\sqrt{10\,870 + 2165\ \eta^2 + 237{,}7\ \eta^4}$	$\sqrt{14\,620 + 2277\ \eta^2 + 237{,}7\ \eta^4}$	$\sqrt{14\,620 + 2434\ \eta^2 + 500{,}5\ \eta^4}$
7	2	3	$\sqrt{2496 + 8067\ \eta^2 + 10\,870\ \eta^4}$	$\sqrt{3804 + 8659\ \eta^2 + 10\,870\ \eta^4}$	$\sqrt{3804 + 9108\ \eta^2 + 14\,620\ \eta^4}$
8	3	2	$\sqrt{10\,870 + 8067\ \eta^2 + 2496\ \eta^4}$	$\sqrt{14\,620 + 8485\ \eta^2 + 2496\ \eta^4}$	$\sqrt{14\,620 + 9108\ \eta^2 + 3804\ \eta^4}$
9	3	3	$\sqrt{10\,870 + 17\,680\ \eta^2 + 10\,870\ \eta^4}$	$\sqrt{14\,620 + 18\,600\ \eta^2 + 10\,870\ \eta^4}$	$\sqrt{14\,620 + 19\,570\ \eta^2 + 14\,620\ \eta^4}$
10	1	4	$\sqrt{237{,}7 + 3797\ \eta^2 + 31\,780\ \eta^4}$	$\sqrt{500{,}5 + 4058\ \eta^2 + 31\,780\ \eta^4}$	$\sqrt{500{,}5 + 4223\ \eta^2 + 39\,940\ \eta^4}$
11	4	1	$\sqrt{31\,780 + 3797\ \eta^2 + 237{,}7\ \eta^4}$	$\sqrt{39\,940 + 3951\ \eta^2 + 237{,}7\ \eta^4}$	$\sqrt{39\,940 + 4223\ \eta^2 + 500{,}5\ \eta^4}$
12	2	4	$\sqrt{2496 + 14\,150\ \eta^2 + 31\,780\ \eta^4}$	$\sqrt{3804 + 15\,190\ \eta^2 + 31\,780\ \eta^4}$	$\sqrt{3804 + 15\,800\ \eta^2 + 39\,940\ \eta^4}$
13	4	2	$\sqrt{31\,780 + 14\,150\ \eta^2 + 2496\ \eta^4}$	$\sqrt{39\,940 + 14\,720\ \eta^2 + 2496\ \eta^4}$	$\sqrt{39\,940 + 15\,800\ \eta^2 + 3804\ \eta^4}$
14	3	4	$\sqrt{10\,870 + 31\,010\ \eta^2 + 31\,780\ \eta^4}$	$\sqrt{14\,620 + 32\,620\ \eta^2 + 31\,780\ \eta^4}$	$\sqrt{14\,620 + 33\,940\ \eta^2 + 39\,940\ \eta^4}$
15	4	3	$\sqrt{31\,780 + 31\,010\ \eta^2 + 10\,870\ \eta^4}$	$\sqrt{39\,940 + 32\,270\ \eta^2 + 10\,870\ \eta^4}$	$\sqrt{39\,940 + 33\,940\ \eta^2 + 14\,620\ \eta^4}$
16	4	4	$\sqrt{31\,780 + 54\,390\ \eta^2 + 31\,780\ \eta^4}$	$\sqrt{39\,940 + 56\,590\ \eta^2 + 31\,780\ \eta^4}$	$\sqrt{39\,940 + 58\,890\ \eta^2 + 39\,940\ \eta^4}$
17	1	5	$\sqrt{237{,}7 + 5883\ \eta^2 + 74\,000\ \eta^4}$	$\sqrt{500{,}5 + 6289\ \eta^2 + 74\,000\ \eta^4}$	$\sqrt{500{,}5 + 6497\ \eta^2 + 89\,140\ \eta^4}$
18	5	1	$\sqrt{74\,000 + 5883\ \eta^2 + 237{,}7\ \eta^4}$	$\sqrt{89\,140 + 6078\ \eta^2 + 237{,}7\ \eta^4}$	$\sqrt{89\,140 + 6497\ \eta^2 + 500{,}5\ \eta^4}$
19	2	5	$\sqrt{2496 + 21\,920\ \eta^2 + 74\,000\ \eta^4}$	$\sqrt{3804 + 23\,530\ \eta^2 + 74\,000\ \eta^4}$	$\sqrt{3804 + 24\,310\ \eta^2 + 89\,140\ \eta^4}$
20	5	2	$\sqrt{74\,000 + 21\,920\ \eta^2 + 2496\ \eta^4}$	$\sqrt{89\,140 + 22\,650\ \eta^2 + 2496\ \eta^4}$	$\sqrt{89\,140 + 24\,310\ \eta^2 + 3804\ \eta^4}$
21	3	5	$\sqrt{10\,870 + 48\,060\ \eta^2 + 74\,000\ \eta^4}$	$\sqrt{14\,620 + 50\,550\ \eta^2 + 74\,000\ \eta^4}$	$\sqrt{14\,620 + 52\,220\ \eta^2 + 89\,140\ \eta^4}$
22	5	3	$\sqrt{74\,000 + 48\,060\ \eta^2 + 10\,870\ \eta^4}$	$\sqrt{89\,140 + 49\,650\ \eta^2 + 10\,870\ \eta^4}$	$\sqrt{89\,140 + 52\,220\ \eta^2 + 14\,620\ \eta^4}$
23	4	5	$\sqrt{31\,780 + 84\,280\ \eta^2 + 74\,000\ \eta^4}$	$\sqrt{39\,940 + 87\,690\ \eta^2 + 74\,000\ \eta^4}$	$\sqrt{39\,940 + 90\,600\ \eta^2 + 89\,140\ \eta^4}$
24	5	4	$\sqrt{74\,000 + 84\,280\ \eta^2 + 31\,780\ \eta^4}$	$\sqrt{89\,140 + 87\,070\ \eta^2 + 31\,780\ \eta^4}$	$\sqrt{89\,140 + 90\,600\ \eta^2 + 39\,940\ \eta^4}$
25	5	5	$\sqrt{74\,000 + 130\,600\ \eta^2 + 74\,000\ \eta^4}$	$\sqrt{89\,140 + 134\,900\ \eta^2 + 74\,000\ \eta^4}$	$\sqrt{89\,140 + 139\,400\ \eta^2 + 89\,140\ \eta^4}$

Таблица 19

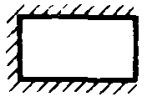
Значения коэффициентов для различных видов закрепления краев плиты

Вид закрепления краев плиты	r	G_x	H_x	J_x	s	G_y	H_y	J_y
	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	$\frac{12}{\pi^2}$	1	0	0	$\frac{12}{\pi^2}$
	2	1,506	1,248	5,017	2	1,506	1,248	5,017
	3, 4, 5, . . .	$r-\frac{1}{2}$	A_r	F_r	3, 4, 5, . . .	$s-\frac{1}{2}$	A_s	F_s
	1	0	0	$\frac{3}{\pi^2}$	0	0	0	0
					1	0	0	$\frac{12}{\pi^2}$
	2, 3, 4, . . .	$r-\frac{3}{4}$	B_r	D_r	2	1,506	1,248	5,017
					3, 4, 5, . . .	$s-\frac{1}{2}$	A_s	C_s

Продолжение табл. 19

Вид закрепления краев плиты	r	G_x	H_x	J_x	s	G_y	H_y	J_y
	1	0	0	$\frac{3}{\pi^2}$	1	0	0	$\frac{3}{\pi^2}$
	2, 3, 4, . . .	$r-\frac{3}{4}$	B_r	D_r	2, 3, 4, . . .	$s-\frac{3}{4}$	B_s	D_s
	0	0	0	0	2, 3, 4, . . .	$s-1$	$(s-1)^2$	$(s-1)^2$
	1	0	0	$\frac{12}{\pi^2}$				
	2	1,506	1,248	5,017				
	3, 4, 5, . . .	$r-\frac{1}{2}$	A_r	C_r				
	1	0	0	$\frac{3}{\pi^2}$	2, 3, 4, . . .	$s-1$	$(s-1)^2$	$(s-1)^2$
	2, 3, 4, . . .	$r-\frac{3}{4}$	B_r	D_r				

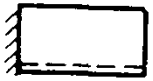
Продолжение табл 19

Вид закрепления краев плиты	r	G_x	H_x	J_x	s	G_y	H_y	J_y
	1	0,597	—0,087	0,471	2	1,506	1,248	1,248
	2	1,494	1,347	3,284				
	3, 4, 5, . . .	$r-\frac{1}{2}$	A_r	E_r	3, 4, 5, . . .	$s-\frac{1}{2}$	A_s	A_s
	1	0,597	—0,087	0,471	1	0,597	—0,087	0,471
	2	1,494	1,347	3,284	2	1,494	1,347	3,284
	3, 4, 5, . . .	$r-\frac{1}{2}$	A_r	E_r	3, 4, 5, . . .	$s-\frac{1}{2}$	A_s	E_s
	2	1,506	1,248	1,248	0	0	0	0
					1	0	0	$\frac{12}{\pi^2}$
	3, 4, 5, . . .	$r-\frac{1}{2}$	A_r	A_r	2	1,506	1,248	5,017
					3, 4, 5, . . .	$s-\frac{1}{2}$	A_s	C_s

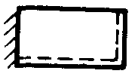
Продолжение табл. 19

Вид закрепления краев плиты	r	G_x	H_x	J_x	s	G_y	H_y	J_y
	1	0,507	—0,087	0,471	0	0	0	0
	2	1,494	1,347	3,284	1	0	0	$\frac{12}{\pi^2}$
					2	1,506	1,248	5,017
	3, 4, 5, . . .	$r-\frac{1}{2}$	A_r	E_r	3, 4, 5, . . .	$s-\frac{1}{2}$	A_s	C_s
	2, 3, 4, . . .	$r-\frac{3}{4}$	B_r	B_r	0	0	0	0
					1	0	0	$\frac{12}{\pi^2}$
					2	1,506	1,248	5,017
					3, 4, 5, . . .	$s-\frac{1}{2}$	A_s	C_s

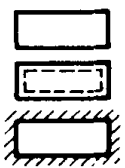
Продолжение табл. 19

Вид закрепления краев плиты	r	G_x	H_x	J_x	s	G_y	H_y	J_y
	1	0,597	—0,087	0,471	2, 3, 4, . . .	$s-\frac{3}{4}$	B_s	B_s
	2	1,494	1,347	3,284				
	3, 4, 5, . . .	$r-\frac{1}{2}$	A_r	E_r				
	1	0,597	—0,087	0,471	1	0	0	$\frac{3}{\pi^2}$
	2	1,494	1,347	3,284	2, 3, 4, . . .	$s-\frac{3}{4}$	B_s	D_s
	3, 4, 5, . . .	$r-\frac{1}{2}$	A_r	E_r				

Продолжение табл. 19

Вид закрепления краев плиты	r	G_x	H_x	J_x	s	G_y	H_y	J_y
	1	0	0	$\frac{3}{\pi^2}$	2	1,506	1,248	1,248
	2, 3, 4, . . .	$r-\frac{3}{4}$	B_r	D_r	3, 4, 5, . . .	$s-\frac{1}{2}$	A_s	A_s
	1	0	0	$\frac{3}{\pi^2}$	2, 3, 4, . . .	$s-\frac{3}{4}$	B_s	D_s
	2, 3, 4, . . .	$r-\frac{3}{4}$	B_r	D_r				

Условные обозначения:



— плита со свободными краями;

— плита с шарнирно опертыми краями;

— плита с защемленными краями.

Примечание. В табл. 19 r и s обозначают количество узловых линий в пролете плиты в каждом направлении, включая опертые и защемленные края.

$$D_r = \left(r - \frac{3}{4}\right)^2 \left[1 + \frac{3}{\left(r - \frac{3}{4}\right)\pi}\right];$$

$$E_r = \left(r - \frac{1}{2}\right)^2 \left[1 + \frac{2}{\left(r - \frac{1}{2}\right)\pi}\right];$$

$$F_r = \left(r - \frac{1}{2}\right)^2 \left[1 - \frac{6}{\left(r - \frac{1}{2}\right)\pi}\right].$$

A_s, B_s, C_s, D_s, E_s, F_s получаются при замене в приведенных выше формулах r на s.

Плиты с равномерно распределенной и сосредоточенными массами

Круговые частоты собственных колебаний определяются по формуле

$$p_{rs} = \frac{\lambda_{rs}^2}{l_x^2} \sqrt{\frac{D}{\mu_{rs}}}, \qquad (1.47)$$

где все величины, кроме μ_{rs}, определены выше; приведенная масса на единицу площади плиты μ_{rs} вычисляется по приближенной формуле

$$\mu_{rs} = \mu_0 + \frac{1}{l_x l_y} \sum_{\nu=1}^{n} X_r^2(\alpha_\nu)\, Y_s^2(\beta_\nu)\, m_\nu. \qquad (1.48)$$

Здесь $\alpha_\nu = \frac{x_\nu}{l_x}$, $\beta_\nu = \frac{y_\nu}{l_y}$ — относительные координаты центра массы m_ν (рис. 12);

ν — номер сосредоточенной массы;

n — количество всех сосредоточенных масс;

$X_r(\alpha_\nu)$, $Y_s(\beta_\nu)$ — нормированные балочные функции, значения которых в точке приложения массы m_ν с координатами x_ν и y_ν определяются из табл. 22—27.

Формула (1.48) тем точнее, чем меньше сосредоточенные массы, чем меньше отличаются они друг от друга и чем симметричнее они расположены на плите.

Примечание. Для определения значений $Y_s(\beta_\nu)$ из указанных таблиц в них следует заменить обозначения X на Y, α на β и r на s.

Между номерами собственных частот плиты, определенных из табл. 18, и индексами балочных функций существует единое соответствие. Если же частоты определяются из табл. 19, то индексы балочных функций должны выбираться по числу узловых линий, т. е. балочная функция должна иметь ровно r или s нулей, включая опоры

4. Многопролетные неразрезные плиты

Частоты собственных колебаний неразрезных плит на жестких опорах можно определять по приближенной формуле

$$p_{rs} = \sqrt{\frac{D}{\mu_{rs} l_x^4} (\lambda_r^4 + 2 \gamma_1^2 C_r C_s + \gamma_1^4 \lambda_s^4)}, \qquad (1.49)$$

где η — отношение длин пролетов неразрезной плиты;
λ_r, λ_s — коэффициенты частоты для неразрезных балок (табл. 17), соответствие которых с плитой указано на рис. 13;

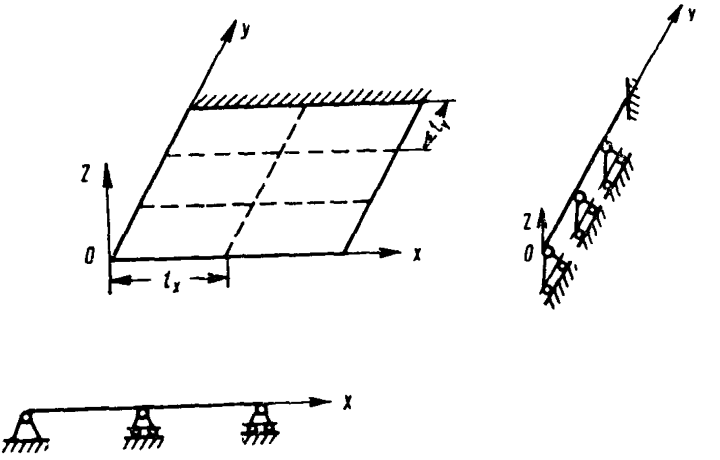


Рис. 13. Схема, показывающая характер соответствия между неразрезной плитой и неразрезными балками

$$C_r = \int_0^{N_x} X_r(\alpha)\, X_r''(\alpha)\, d\alpha;$$

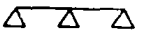
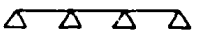
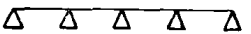
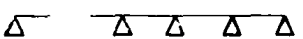
$$C_s = \int_0^{N_y} X_s(\beta)\, X_s''(\beta)\, d\beta$$

(значения коэффициентов C_r, C_s для неразрезных балок приведены в табл. 20);

N_x, N_y — число пролетов плиты вдоль осей x и y соответственно;
X_r, X_s — нормированные балочные функции, значения которых даны в табл 28—39.
l_x, l_y — размеры каждого поля плиты в направлении осей x и y.

Таблица 20

Значения коэффициентов C_n

Схема балки	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
	9,87	11,5	39,5	42,9	—	—	—	—	—	—
	9,87	10,7	12,3	39,5	40,8	44,9	—	—	—	—
	9,87	10,6	11,5	13,6	39,5	40,1	42,7	45,7	—	—
	9,87	10,2	11	12	12,6	39,5	39,7	41,5	44,2	47

Примечание. Все значения коэффициентов C_n отрицательны. Однако в табл. 20 знак минус везде опущен, что не влияет на вычисления по формуле (1.49).

Формы собственных колебаний неразрезных плит перекрытий определяются по приближенной формуле

$$w_{rs}(\alpha, \beta) = X_r(\alpha)\, Y_s(\beta). \qquad (1.50)$$

В. Каркасные здания без несущих стен и жесткого заполнения

1. Поступательные горизонтальные колебания

Частоты и формы собственных горизонтальных колебаний рамных каркасов промышленных зданий в предположении, что массы здания сосредоточены в уровнях перекрытий и покрытия, могут быть определены по формулам п. А.3 настоящего приложения как для системы с конечным числом степеней свободы.

Перемещения рамного каркаса от единичных сил в общем случае определяются в результате статического расчета рамы по правилам строительной механики.

В случае многоэтажных монолитных и сборно-монолитных каркасов регулярной структуры, имеющих жесткие узлы, для определения перемещений от единичных сил, приложенных в уровнях перекрытий и покрытия, можно использовать следующие формулы [1]:

$$\left.\begin{aligned}
&\delta_{11} = \frac{1}{12}(S_1 + R_1);\\
&\delta_{kk} = \frac{1}{12}\left(S_k + R_k + \frac{H_k^2}{4r_k}\right) \quad (k = 2, 3, \ldots, n);\\
&\delta_{12} = \delta_{13} = \ldots = \delta_{1n} = \delta_{11} + \frac{H_1 H_2}{48 r_1};\\
&\delta_{ki} = \delta_{ik} = \delta_{k,\,k+1} = \ldots = \delta_{kn} = \delta_{kk} + \frac{H_k H_{k+1}}{48 r_k},
\end{aligned}\right\} \qquad (1.51)$$

где

$$S_k = \sum_{j=1}^{k} \frac{H_j^2}{s_j};$$

$$R_1 = \frac{H_1^2}{4 r_1}; \quad R_2 = \frac{(H_1 + H_2)^2}{4 r_1};$$

$$R_k = R_{k-1} + \frac{(H_{k-1} + H_k)^2}{4 r_{k-1}} \quad (k > 2);$$

n — число этажей; s_j — суммарная погонная жесткость стоек j-того яруса; r_j — суммарная погонная жесткость ригелей j-того яруса; H_j — высота яруса рамы.

[1] Сигалов Э. Е. О расчете каркасных и крупнопанельных зданий на горизонтальные свободные колебания. «Строительная механика и расчет сооружений», 1969, № 2.

При этом жесткость элементов (ригелей и стоек), имеющих одно шарнирное, а другое жесткое закрепление концов, учитывается с коэффициентом $^1/_4$, а жесткость элементов с двумя шарнирно закрепленными концами принимается равной нулю.

Если погонная жесткость ригелей более чем в 3 раза превышает погонную жесткость стоек, то ригели рамы можно считать абсолютно жесткими, и

$$\delta_{kk} = \delta_{k,\,k+1} = \ldots = \delta_{kn} = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^{k} \frac{H_j^2}{s_j}. \qquad (1.52)$$

В сборных каркасах со сварными стыками необходимо учитывать податливость стыков. В этом случае формулы (1.45) принимают вид

$$\left.\begin{aligned}
&\delta_{11} = \frac{1}{12}\,(S_1 + R_1);\\
&\delta_{kk} = \frac{1}{12}\left[S_k + R_k + \frac{(1+2\mu_k^c)\,H_k^2}{4\bar{r}_k\,(1+\mu_k^c)}\right] \quad (k=2,\ 3,\ \ldots,n);\\
&\delta_{12} = \delta_{13} = \ldots = \delta_{1n} = \delta_{11} + \frac{H_1 H_2}{48\bar{r}_1\,(1+\mu_1^c)};\\
&\delta_{ki} = \delta_{ik} = \ldots = \delta_{kn} = \delta_{kk} + \frac{H_k H_{k+1}}{48\bar{r}_k\,(1+\mu_k^c)} \quad (i > k).
\end{aligned}\right\} \qquad (1.53)$$

Здесь

$$R_1 = \frac{(1+2\mu_1^c)\,H_1^2}{4\bar{r}_1\,(1+\mu_1^c)};$$

$$R_2 = \frac{H_1 + H_2}{4\bar{r}_1}\left[\frac{(1+2\mu_1^c)\,H_1}{1+\mu_1^c} + \frac{H_2}{1+\mu_2^c}\right];$$

$$R_k = R_{k-1} + \frac{H_{k-1} + H_k}{4\bar{r}_{k-1}}\left[\frac{(1+2\mu_{k-1}^c)\,H_{k-1}}{1+\mu_{k-1}^c} + \frac{H_k}{1+\mu_k^c}\right];$$

$$S_k = \sum_{j=1}^{k} \frac{H_j^2}{\bar{s}_j};$$

$$\bar{r}_k = \frac{r_k}{1+6\mu_k^p};$$

$$\bar{s}_k = \frac{s_k\,(1+\mu_k^c)}{1+4\mu_k^c};$$

$$\mu_k^c = \frac{s_k}{C_k^c}, \quad \mu_k^p = \frac{r_k}{C_k^p};$$

C_k^c, C_k^p — коэффициенты жесткости стыка стойки и ригеля соответственно, определяемые экспериментально или по эмпирической формуле

$$C = \eta^* h^2 \cdot 10^4 \ Тм .$$

Приближенные значения коэффициента η^* приведены в табл. 21.

Таблица 21

Значения коэффициента η^*

Вид стыков	η^*
Стыки ригелей или стоек на сварке закладных деталей или выпусков арматуры с обетонированием .	7
Стыки ригелей с опорной арматурой, заводимой на монтаже в каналы или закладные трубки стоек. Стыки стоек с центрирующей прокладкой и сваркой торцовых листов (с нестыкуемой арматурой)	2,6

Формулы (1.51) и (1.53) дают достаточную для практических целей точность при $r_j > 0{,}25\ s_j$.

В случае абсолютно жестких ригелей

$$\delta_{kk} = \delta_{k,\,k+1} = \ldots = \delta_{kn} = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^{k} \frac{H_j^2}{\overline{s}_j} . \qquad (1.54)$$

При наличии консольных стыков в сборных железобетонных каркасах погонную жесткость стоек и ригелей следует определять с учетом жесткости консольных участков.

Формы собственных колебаний рамных каркасов при предположении, что

$$\delta_{ik} = \delta_{ki} = \delta_{k,\,k+1} = \ldots = \delta_{kn} ,$$

т. е. при использовании формул (1.51)—(1.53) можно определять непосредственно по формулам

$$\left.\begin{aligned} y_{r1} &= \frac{\delta_{1n}}{1 + p_r^2 m_1 (\delta_{1n} - \delta_{11})} ; \\ y_{rk} &= \frac{\delta_{kn} - p_r^2 \sum_{i=1}^{k-1} m_i y_{ri} (\delta_{kn} - \delta_{in})}{1 + p_r^2 m_k (\delta_{kn} - \delta_{kk})} ; \\ y_{rn} &= \delta_{nn} - p_r^2 \sum_{i=1}^{n-1} m_i y_{ri} (\delta_{nn} - \delta_{in}). \end{aligned}\right\} \qquad (1.55)$$

Если суммарные погонные жесткости стоек и ригелей всех ярусов и массы отличаются не более чем на 20%, то при $r > 2s$ частоты соб-

ственных колебаний каркасных зданий с жесткими узлами можно определять по формуле[1]

$$p_i = \frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{\beta s}{m H^2}}\ \sin\frac{(i-1/2)\,\pi}{2n+1}, \qquad (1.56)$$

где s, m, H — суммарная погонная жесткость стоек, масса и высота каждого этажа;

n — число этажей;

β — коэффициент, определяемый по графику (рис. 14).

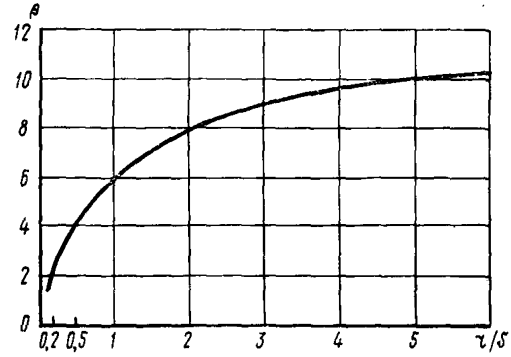


Рис. 14. График для определения коэффициента β

Формы собственных колебаний

$$y_{ij} = (-1)^{j+n}\sin\frac{2\pi j\,(n+1-i)}{2n+1}. \qquad (1.57)$$

Нормировка форм собственных горизонтальных колебаний каркасных зданий в общем случае производится согласно указаниям п. А.3.

По формулам настоящего пункта можно вычислять также частоты собственных колебаний площадок под машины.

2. *Каркасные здания с жестким заполнением*

Перемещения от единичных сил, приложенных в уровнях перекрытий и покрытия, для каркасных зданий со сплошным жестким заполнением или навесным ограждением, работающим как упругий диск, определяются по формулам

$$\delta_{kk} = \delta_{k,\,k+1} = \ldots = \delta_{kn} = \sum_{j=1}^{k}\frac{H_j^2}{12\overline{s}_j + H_j v_j}, \qquad (1.58)$$

[1] Вольфсон Б. П. О собственных колебаниях одномерных периодических систем. «Исследования по теории сооружений». т. XVII, 1969.

где

$$v_j = \frac{G_j F_j^{\text{зап}}}{1{,}2}. \qquad (1.59)$$

Здесь $F_j^{\text{зап}}$ — площадь в плане заполнения, расположенного вдоль направления колебаний в пределах j-того этажа;

G_j — модуль сдвига материала заполнения.

Остальные обозначения такие же, как и в предыдущем пункте.

Если в заполнении имеются проемы, то величина v_j умножается на дополнительный коэффициент, учитывающий влияние проемов на деформативность заполнения:

$$v_j = \frac{G_j F_j^{\text{зап}}}{1{,}2}\left(1 - \frac{F_j^{\text{пр}}}{0{,}85\, F_j^{\text{зап}}}\right), \qquad (1.60)$$

где $F_j^{\text{пр}}$ — площадь проемов в плане.

Формулу (1.60) можно применять при проемах средней высоты и $F_j^{\text{пр}} \leqslant 0{,}7\ F_j^{\text{зап}}$. Если проемы устроены на высоту всего этажа, то

$$v_j = \frac{G_j F_j^{\text{зап}}}{1{,}2}\left(1 - \frac{F_j^{\text{пр}}}{F_j^{\text{зап}}}\right).$$

Для каркасных зданий с жесткими узлами в формуле (1.58) следует положить $s'_j = s_j$.

3. Здания с несущими стенами

Перемещения от единичных сил для зданий с несущими стенами могут приближенно определяться по формулам

$$\delta_{kk} = \delta_{k,\,k+1} = \ldots = \delta_{kn} = \sum_{j=1}^{k} \frac{H_j}{v_j}, \qquad (1.61)$$

где v_j определяется по формулам (1.59)—(1.61), в которых вместо $F_j^{\text{зап}}$ следует подставить $F_j^{\text{ст}}$, т. е. площадь стен в плане. При этом также учитываются только те стены, которые расположены вдоль направления колебаний.

При густом расположении продольных и поперечных стен, образующих прямоугольную сетку с шагом, не большим 6—10 *м*, жесткость стен v_j в формуле (1.61) может определяться по формуле

$$v_j = \frac{G_j F_j}{2{,}4}\left(1 - \frac{F_j^{\text{пр}}}{0{,}85\, F_j}\right), \qquad (1.62)$$

где F_j — площадь всех стен j-того этажа в плане.

Формула (1.61) может применяться для зданий, расположенных на плотных основаниях и сваях. При податливом основании перемещения от единичных сил вычисляются по формулам

$$\left.\begin{aligned}\delta_{kk} &= \sum_{j=1}^{k}\frac{H_j}{v_j}+\frac{1}{K_x}+\frac{H_k^2}{K_\varphi}\,;\\ \delta_{k,\,k+i} &= \sum_{j=1}^{k}\frac{H_j}{v_j}+\frac{1}{K_x}+\frac{\overline{H}_k\,\overline{H}_{k+i}}{K_\varphi}\,,\end{aligned}\right\} \qquad (1.63)$$

где K_x, K_φ — жесткость основания здания при сдвиге и повороте;

$\overline{H}_k$ — расстояние от поверхности основания до k-того этажа.

Величины K_x и K_φ вычисляются согласно указаниям нормативных документов по расчету оснований и фундаментов.

Для каменных зданий с ленточными фундаментами можно приближенно принимать

$$\left.\begin{aligned}K_x &= 2{,}5\,C_z F_\Phi\,;\\ K_\varphi &= 5\,C_z J_\Phi\,.\end{aligned}\right\} \qquad (1.64)$$

Здесь C_z — коэффициент упругого равномерного сжатия грунта;

F_Φ — площадь основания фундаментов;

J_Φ — момент инерции площади основания фундаментов относительно оси, проходящей через центр тяжести.

4. Вращательные колебания каркасных зданий

Круговые частоты собственных вращательных горизонтальных колебаний каркасных промышленных зданий можно определять по формуле (1.21), в которой ζ_i есть корни частотного уравнения

$$\begin{vmatrix}\Theta_1\delta_{11}-\zeta & \Theta_2\delta_{12} & \dots & \Theta_n\delta_{1n}\\ \Theta_1\delta_{21} & \Theta_2\delta_{22}-\zeta & \dots & \Theta_n\delta_{2n}\\ \dots & \dots & \dots & \dots\\ \Theta_1\delta_{n1} & \Theta_2\delta_{n2} & \dots & \Theta_n\delta_{nn}-\zeta\end{vmatrix}=0. \qquad (1.65)$$

Здесь Θ — момент инерции массы i-того перекрытия относительно оси, проходящей через центр вращения перекрытия перпендикулярно плоскости колебаний, в $кГ\cdot м\cdot сек^2$;

δ_{ik} — угол поворота в $рад/кГ\cdot м$ i-того перекрытия от действия единичного момента, приложенного к k-тому перекрытию.

При этом предполагается, что центры жесткости и масс всех этажей лежат на одной оси и ось вращения проходит через центр симметрии здания (рис. 15) или она проходит через центр жесткой пристройки, лестничной клетки и т. д., если здание стеснено пристройками или имеет жесткие относительно горизонтальных перемещений элементы (рис. 16).

В наиболее часто встречающемся случае, когда центры жесткости и масс всех этажей лежат на оси симметрии здания, коэффициенты δ_{ik} в уравнении (1.65) выражаются через единичные перемещения отдельных плоских рам каркаса поперечного и продольного направления:

$$\delta_{ik}=\frac{\delta_{ik}^{(x)}\,\delta_{ik}^{(y)}}{l_y^2\,\delta_{ik}^{(y)}\,\xi_n+l_x^2\,\delta_{ik}^{(x)}\,\xi_m}\,, \qquad (1.66)$$

где l_x, l_y — расстояние между продольными и поперечными рамами каркаса соответственно;

$\delta_{ik}^{(x)}$ — перемещение поперечной рамы каркаса в своей плоскости на уровне i-того перекрытия от единичной гори-

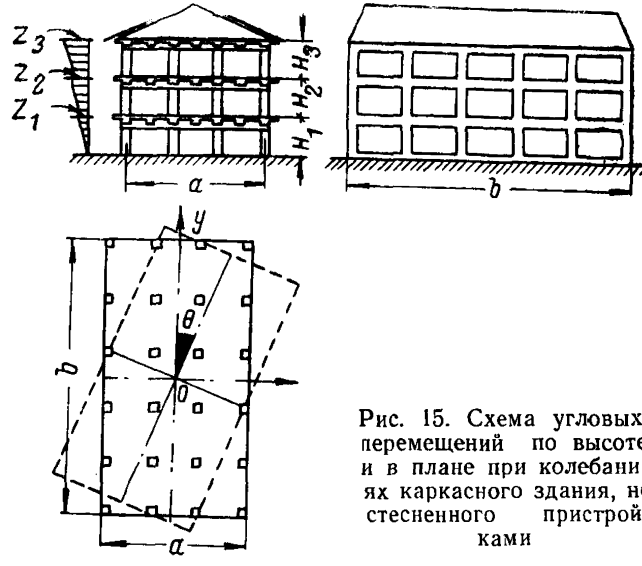


Рис. 15. Схема угловых перемещений по высоте и в плане при колебаниях каркасного здания, не стесненного пристройками

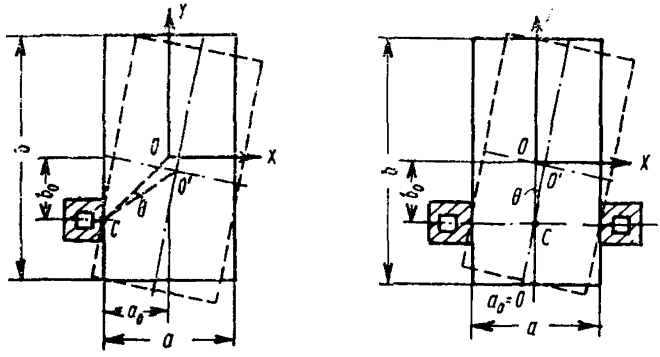


Рис. 16. Схема угловых перемещений в плане при колебаниях каркасного здания, стесненного пристройками

зонтальной силы, приложенной к поперечной раме в уровне j-того перекрытия;

$\delta_{ik}^{(y)}$ — перемещение продольной рамы каркаса в своей плоскости на уровне i-того перекрытия от единичной горизонтальной силы, приложенной к продольной раме в уровне k-того перекрытия;

m — число продольных рам в каркасе;
n — число поперечных рам в каркасе;

$$\xi_m = \frac{m\,(m^2-1)}{12}\,; \quad \xi_n = \frac{n\,(n^2-1)}{12}\,.$$

Если рамы расположены в обоих направлениях с одинаковым шагом ($l_x = l_y = l$), то

$$\delta_{ik} = \frac{\delta_{ik}^{(x)}\,\delta_{ik}^{(y)}}{l^2\,(\xi_n\,\delta_{ik}^{(y)} + \xi_m\,\delta_{ik}^{(x)})}\,. \tag{1.67}$$

Единичные повороты δ_{ik} могут быть определены также по приближенным формулам:

$$\delta_{kk} = \delta_{k,\,k+1} = \ldots = \delta_{kn} = \sum_{j=1}^{k} \frac{1}{\beta_j^c}\,, \tag{1.68}$$

где $\beta_j^c = \beta_j + b_0^2\,\mu_j^x + a_0^2\,\mu_j^y$ — обобщенная жесткость j-того этажа на поворот относительно центра вращения, обусловленная сопротивлением стоек изгибу и кручению, в *Тм*;

a_0, b_0 — координаты центра вращения относительно осей с началом в центре симметрии здания (см. рис. 16);

$\mu_j^x = \dfrac{12\,E_1\,J_j^x\,mn}{h_j^3}$ — суммарная обобщенная жесткость стоек j-того этажа на изгиб в направлении x силой, приложенной в плоскости j-того перекрытия (в предположении, что концы стоек не могут поворачиваться), в *Т/м*;

$\mu_j^y = \dfrac{12\,E_1\,J_j^y\,mn}{h_j^3}$ — то же, в направлении оси y в *Т/м*;

$\beta_j = b^2\,\lambda_n\,\mu_j^x + a^2\lambda_m\,\mu_j^y + \nu_j^{xy}$ — суммарная обобщенная жесткость j-того этажа на поворот относительно центра симметрии, обусловленная сопротивлением стоек изгибу и кручению, в *Тм*;

a, b — размеры здания в плане по осям крайних колонн или наружных стен в направлениях x и y соответственно в *м*;

E_1 — модуль упругости материала колонн;

J_j^x — момент инерции поперечного сечения одной колонны j-того этажа относительно своей главной оси, параллельной оси y, в $м^4$;

J_j^y — то же, относительно главной оси, параллельной оси x, в $м^4$;

h_j — высота j-того этажа в $м$;

$\nu_j^{xy} = \dfrac{G_1 J_j^{xy}\, mn}{h_j}$ — суммарная обобщенная жесткость колонн j-того этажа на кручение в $Т/м$;

G_1 — модуль сдвига материала колонн в $Т/м^2$;

$$\lambda_n = \frac{n+1}{12\ (n-1)}\ ;\quad \lambda_m = \frac{m+1}{12\ (m-1)}\ ;$$

J_j^{xy} — полярный момент инерции поперечного сечения одной колонны относительно центра сечения в $м^4$.

Для обычных промышленных зданий жесткостью колонн на кручение ν_j^{xy} можно пренебречь.

Решение частотного уравнения (1.65) может быть получено, в частности, с помощью приведенного выше итерационного метода. При этом исходная система уравнений имеет вид

$$\left.\begin{aligned}
&\theta_1\,(\theta_1\,\delta_{11} - \zeta) + \theta_2\,\theta_2\,\delta_{12} + \ldots\ldots + \theta_n\,\theta_n\,\delta_{1n} = 0\ ;\\
&\theta_1\,\theta_1\,\delta_{21} + \theta_2\,(\theta_2\,\delta_{22} - \zeta) + \ldots\ldots + \theta_n\,\theta_n\,\delta_{2n} = 0\ ;\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&\theta_1\,\theta_1\,\delta_{n1} + \theta_2\,\theta_2\,\delta_{n2} + \ldots\ldots\ldots + \theta_n\,(\theta_n\,\delta_{nn} - \zeta) = 0\ .
\end{aligned}\right\} \quad (1.69)$$

По формулам настоящего пункта можно вычислять частоты собственных вращательных колебаний площадок под машины. В этом случае следует учитывать жесткость стоек на кручение.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЬШИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ КОНСТРУКЦИЙ

А. Конструкции, которые можно рассматривать как системы с одной степенью свободы

Амплитуда перемещений системы с одной степенью свободы при гармонических поступательных колебаниях определяется по формуле

$$z_0 = \frac{P_0\,\delta}{\sqrt{\chi^2 + \gamma^2}} = \frac{P_0}{k\sqrt{\chi^2 + \gamma^2}}\ , \qquad (2.1)$$

где

$$\chi = 1 - \frac{\omega^2}{p^2}\ ;$$

P_0 — амплитуда силы, действующей на систему;

γ — коэффициент внутреннего трения. Остальные обозначения такие же, как и выше (см. приложение 1).

При вращательных колебаниях амплитуда угла поворота определяется по формуле

$$\theta_0 = \frac{M_0\,\delta_\theta}{\sqrt{\chi^2+\gamma^2}} = \frac{M_0}{k_\theta\sqrt{\chi^2+\gamma^2}}, \qquad (2.2)$$

где M_0 — амплитуда момента, действующего на систему.

Амплитуды внутренних усилий конструкций, рассматриваемых как система с одной степенью свободы, определяются в результате статического расчета конструкции на действие нагрузки

$$P = \frac{P_0}{\sqrt{\chi^2+\gamma^2}} \qquad (2.3)$$

при поступательных колебаниях и

$$M = \frac{M_0}{\sqrt{\chi^2+\gamma^2}} \qquad (2.4)$$

при вращательных колебаниях.

Наибольшее перемещение системы с одной степенью свободы при переходе через резонанс с постоянным угловым ускорением можно определять по формуле

$$z_{\max} = \bar{\mu}\,\frac{\bar{P}}{k}, \qquad (2.5)$$

где $\bar{\mu}$ — коэффициент передачи, определяемый по графикам (см. рис. 3) при круговой частоте p или по формулам п. 1.41 в зависимости от величины круговой частоты собственных колебаний и коэффициента неупругого сопротивления рассматриваемой системы;

$\bar{P}$ — амплитуда силы в момент времени, когда достигается наибольшее перемещение.

Для машин с инерционными силами, вызванными движением неуравновешенных масс:

$$\bar{P} = R\,\frac{\bar{\omega}^2}{\omega^2}, \qquad (2.6)$$

где R — амплитуда силы в рабочем режиме;

ω — круговая частота вынужденных колебаний в рабочем режиме;

$\bar{\omega}$ — то же, в момент времени, когда достигается наибольшее перемещение.

Величина $\bar{\omega}$ определяется по формуле (11) при значениях p и γ, соответствующих рассматриваемой системе.

Наибольшие внутренние усилия в конструкции, рассматриваемой как система с одной степенью свободы, при переходе через резонанс определяются в результате статического расчета конструкции на действие нагрузки

$$P = z_{\max}\,k, \qquad (2.7)$$

где k — коэффициент жесткости системы (см. п. А. 1 приложения 1).

При воздействии периодической нагрузки наибольшие перемещения системы с одной степенью свободы следует определять с учетом фаз составляющих гармоник. Если нагрузка представлена двумя гармониками (т. е. в ее разложении в ряд Фурье сохранены два члена ряда)[1]

$$f(t) = P_1 \cos \omega t + P_2 \cos (2\omega t + \varphi_1), \tag{2.8}$$

то наибольшее перемещение можно найти по формуле

$$z_{\max} = z_0^{(1)} \Omega, \tag{2.9}$$

где Ω определяется по графикам, приведенным на рис. 17, в зависимости от величины $\varkappa = \dfrac{z_0^{(2)}}{z_0^{(1)}}$ и сдвига фазы φ.

Здесь обозначено

$$z_0^{(1)} = \frac{P_1}{k\sqrt{\chi_1^2 + \gamma^2}};$$

$$z_0^{(2)} = \frac{P_2}{k\sqrt{\chi_2^2 + \gamma^2}};$$

$$\chi_1 = 1 - \frac{\omega^2}{p^2}, \quad \chi_2 = 1 - \frac{4\omega^2}{p^2};$$

$$\varphi = \varphi_1 - 2\psi_1 + \psi_2;$$

$$\sin \psi_1 = \frac{\gamma}{\sqrt{\chi_1^2 + \gamma^2}}, \quad \cos \psi_1 = \frac{\chi_1}{\sqrt{\chi_1^2 + \gamma^2}};$$

$$\sin \psi_2 = \frac{\gamma}{\sqrt{\chi_2^2 + \gamma^2}}, \quad \cos \psi_2 = \frac{\chi_2}{\sqrt{\chi_2^2 + \gamma^2}}.$$

При $|\varkappa| \geqslant 1$ коэффициент Ω вычисляется по формуле

$$\Omega = \Omega_1 + |\varkappa| - 1, \tag{2.10}$$

где Ω_1 — значение коэффициента Ω при $\varkappa = 1$ (если $\varkappa > 1$) и при $\varkappa = -1$ (если $\varkappa < -1$), определяемые по графику (рис. 17).

Наибольшие изгибающие моменты и поперечные силы конструкции определяются в результате статического расчета на нагрузку:

$$P = kz_0^{(1)} \Omega. \tag{2.11}$$

---

[1] Если обе гармоники имеют начальные фазы, то заменой временной переменной нагрузку можно привести к виду (2.8).

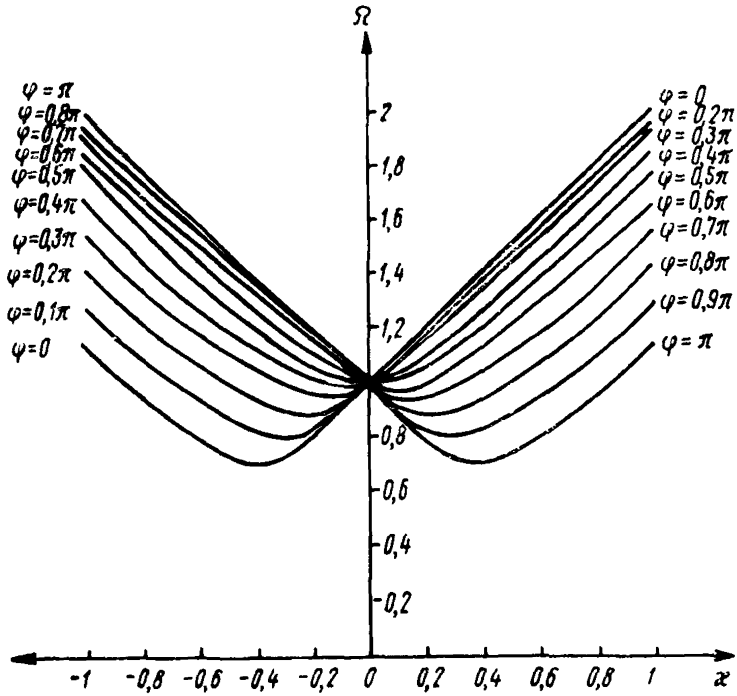


Рис. 17. Зависимость коэффициента Ω от величины χ для различного сдвига фазы φ

Б. Конструкции, которые можно рассматривать как системы с конечным числом степеней свободы

Амплитуда перемещений системы с n степенями свободы при гармонических колебаниях, вызванных системой сил $P_i \cos\omega t$, определяется по формуле

$$z_{0j} = \sqrt{[z_j']^2 + [z_j'']^2}\,, \tag{2.12}$$

где z_{0j} — амплитуда перемещений в точке j;

z_j' — амплитуда косинусоидальной составляющей перемещения, равная

$$z_j' = \sum_{r=1}^{k} B_r \chi_r \varphi_{rj}\,;$$

z_j'' — амплитуда синусоидальной составляющей перемещения, равная

$$z_j'' = -\gamma \sum_{r=1}^{k} B_r \varphi_{rj};$$

$$B_r = \frac{b_r}{p_r^2 (\chi_r^2 + \gamma^2)};$$

$$b_r = \sum_{i=1}^{n} P_i \varphi_{ri};$$

$$\chi_r = 1 - \frac{\omega^2}{p_r^2},$$

p_r — r-тая круговая частота собственных колебаний конструкции в *рад/сек*;

φ_{rj} — r-тая нормированная форма собственных колебаний конструкции, определяемая согласно указаниям раздела А приложения 1;

b_r — коэффициент разложения нагрузки в ряд по формам собственных колебаний;

P_i — амплитуда нагрузки, приложенной в точке i;

k — число учитываемых форм собственных колебаний ($k \leqslant n$).

При расчете на нагрузку $P_i \sin\omega t$ можно также применять формулу (2.12), считая

$$z_j' = \gamma \sum_{r=1}^{k} B_r \varphi_{rj}; \quad z_j'' = \sum_{r=1}^{k} B_r \chi_r \varphi_{rj}.$$

Приведенные формулы применяются при расчете на динамическую нагрузку с одинаковыми фазами у всех составляющих P_i. Если фазы сил P_i сдвинуты на некоторый угол, например на систему действуют нагрузки $P_1 \cos \omega t$ и $P_2 \cos(\omega t + \varphi)$, то, представляя последнюю нагрузку в виде $P_2' \cos\omega t + P_2'' \sin\omega t$, где $P_2' = P_2 \cos\varphi$, $P_2'' = -P_2 \sin\varphi$, можно найти амплитуды косинусоидальной и синусоидальной составляющей перемещений как сумму амплитуд (с учетом знаков) от нагрузок P_1, P_2', P_2'', а затем по формуле (2.12) определить амплитуды перемещений.

При действии на конструкцию нагрузок от независимых машин, фазы которых не связаны между собой, амплитуды перемещений вычисляются отдельно от каждой нагрузки, а затем складываются. Таким же образом учитывается взаимодействие нагрузок и при определении амплитуд внутренних усилий.

Амплитуды внутренних усилий при гармонических колебаниях конструкций, рассматриваемых как системы с n степенями свободы, можно определять по формулам

$$\left.\begin{aligned} M_{0j} &= \sqrt{[M_j']^2 + [M_j'']^2}; \\ Q_{0j} &= \sqrt{[Q_j']^2 + [Q_j'']^2}; \end{aligned}\right\} \qquad (2.13)$$

где M'_i и Q'_j — изгибающий момент и поперечная сила, вызванные статическим приложением системы сил

$$P'_i = m_i \sum_{r=1}^{k} p_r^2 B_r \chi_r \varphi_{rj} = m_i \sum_{r=1}^{k} \frac{b_r \chi_r \varphi_{ri}}{\chi_r^2 + \gamma^2}; \qquad (2.14)$$

M''_{0j} и Q''_{0j} — изгибающий момент и поперечная сила, вызванные статическим приложением системы сил

$$P''_i = m_i \gamma \sum_{r=1}^{k} p_r^2 B_i \varphi_{rj} = -m_i \gamma \sum_{r=1}^{k} \frac{b_r \varphi_{ri}}{\chi_r^2 + \gamma^2}. \qquad (2.15)$$

В случае резонанса по одной из форм собственных колебаний для определения амплитуд перемещений можно использовать формулу

$$z_{0j} = \left| \frac{b_r \varphi_{rj}}{p_r^2 \gamma} \right|, \qquad (2.16)$$

где r — номер резонирующей формы.

Если резонанс возможен по нескольким формам колебаний (например, при попадании частоты возмущающей нагрузки в зону сгущения собственных частот), то необходимо проверить перемещения по формуле (2.16) для всех резонирующих форм.

В случае резонанса по r-той форме собственных колебаний изгибающие моменты и поперечные силы можно определять в результате статического расчета конструкции на действие системы сил

$$P_i = \frac{m_i b_r \varphi_{ri}}{\gamma}. \qquad (2.17)$$

Если сосредоточенная возмущающая сила расположена вблизи узла резонирующей формы колебаний, то использование формул (2.16), (2.17) может привести к значительным погрешностям, вследствие чего в этом случае лучше применять формулы (2.12), (2.13).

Если имеет место резонанс по первой форме собственных колебаний ($\omega = p_1$), то формулы (2.16), (2.17) можно применять независимо от места расположения нагрузки.

При учете только первой формы колебаний, например когда $\omega < p_1$,

$$z_{0j} = \left| \frac{b_1 \varphi_{1j}}{p_1^2 \sqrt{\chi_1^2 + \gamma^2}} \right|. \qquad (2.18)$$

В тех случаях, когда частота вынужденных колебаний попадает в дорезонансную или межрезонансные зоны и отличается от ближайшей частоты собственных колебаний более чем на 10%, в формулах (2.12) — (2.15) и (2.18) можно положить $\gamma = 0$. Тогда эти формулы примут вид

$$z_{0j} = \left| \sum_{r=1}^{k} \frac{b_r \varphi_{rj}}{p_r^2 \chi_r} \right|; \qquad (2.12а)$$

$$M_{0j} = M_j', \quad Q_{0j} = Q_j'; \tag{2.13a}$$

$$P_j' = m_j \sum_{r=1}^{k} \frac{b_r \varphi_{rj}}{\chi_r}; \tag{2.14a}$$

$$z_{0j} = \left| \frac{b_1 \varphi_{1j}}{p_1^2 \chi_1} \right|. \tag{2.15a}$$

При определении внутренних усилий в конструкциях, рассматриваемых как системы с конечным числом степеней свободы, в дорезонансной и межрезонансной зонах путем загружения системой сил, вычисляемых по формуле (2.14а) настоящей Инструкции, амплитуда определяется без учета внутреннего неупругого сопротивления, при этом необходимо учитывать фазы колебаний различных точек системы, присваивая знак плюс или минус в зависимости от формы вынужденных колебаний.

При вращательных колебаниях амплитуды углов поворота и внутренних усилий конструкций можно определять по формулам (2.12) — (2.17), если всюду массу m_j заменить на момент инерции массы Θ_j и z_0 на θ_{0j}.

При воздействии периодической нагрузки наибольшие перемещения конструкций, которые можно рассматривать как системы с конечным числом степеней свободы, определяются с учетом фаз составляющих гармоник. Если нагрузка, приложенная в точке j, представлена двумя гармониками, то наибольшее перемещение можно определить по формуле (см. формулу 2.8)

$$z_{j\,\max} = z_{0j}^{(1)}\, \Omega,$$

где $z_{0j}^{(1)}$ — амплитуда перемещений в точке j при действии нагрузки $P_i^{(1)} \cos\omega t$, вычисляемая по формуле (2.12). Коэффициент Ω определяется по графикам, приведенным на рис. 17 или по формулам (2.10), при этом под $\varkappa$ понимается отношение $z_{0j}^{(2)}/z_{0j}^{(1)}$, где $z_{0j}^{(2)}$ — амплитуда перемещений в точке j при действии нагрузки $P_i^{(2)} \cos 2\omega t$, вычисляемая по формуле (2.12) при частоте 2ω, и

$$\varphi = \varphi_1 - 2\psi_1 + \psi_2;$$

$$\left.\begin{aligned} \sin\psi_1 &= \frac{z_j''^{(1)}}{z_{0j}^{(1)}}, \quad \cos\psi_1 = \frac{z_j'^{(1)}}{z_{0j}^{(1)}}; \\ \sin\psi_2 &= \frac{z_j''^{(2)}}{z_{0j}^{(2)}}, \quad \cos\psi_2 = \frac{z_j'^{(2)}}{z_{0j}^{(2)}}. \end{aligned}\right\} \tag{2.19}$$

Здесь $z_j'^{(1)}$ и $z_j''^{(1)}$ — амплитуды косинусоидальной и синусоидальной составляющей при действии нагрузки $P_i^{(1)} \cos\omega t$; $z_j'^{(2)}$ и $z_j''^{(2)}$ — то же, при действии нагрузки $P_i^{(2)} \cos 2\omega t$ [см. формулу (2.12)].

Наибольшие изгибающие моменты и поперечные силы определятся по формулам

$$\left.\begin{aligned} M_{j\,\max} &= M_{0j}^{(1)}\ \Omega; \\ Q_{j\,\max} &= Q_{0j}^{(1)}\ \Omega, \end{aligned}\right\} \tag{2.20}$$

где $M_{0j}^{(1)}$ и $Q_{0j}^{(1)}$ — амплитуды изгибающего момента и поперечной силы при действии нагрузки $P_i^{(1)}\cos\omega t$, вычисляемые по формуле (2.13). Коэффициент Ω определяется по графикам, приведенным на рис. 17, или по формулам (2.10), при этом под $\varkappa$ понимается отношение

$$\varkappa = \frac{M_{0j}^{(2)}}{M_{0j}^{(1)}} \tag{2.21}$$

или

$$\varkappa = \frac{Q_{0j}^{(2)}}{Q_{0j}^{(1)}}\ , \tag{2.22}$$

где $M_{0j}^{(2)}$, $Q_{0j}^{(2)}$ — амплитуды изгибающего момента и поперечной силы при действии нагрузки $P_i^{(2)}\cos 2\omega t$, вычисляемые по формуле (2.13) при частоте 2ω. Фазы ψ_1 и ψ_2 в этом случае принимают вид

$$\sin\psi_m = \frac{M_{0j}''^{(m)}}{M_{0j}^{(m)}}\ , \quad \cos\psi_m = \frac{M_{0j}'^{(m)}}{M_{0j}^{(m)}} \qquad (m = 1,\ 2)\ ; \tag{2.23}$$

$$\sin\psi_m = \frac{Q_{0j}''^{(m)}}{Q_{0j}^{(m)}}\ , \quad \cos\psi_m = \frac{Q_{0j}'^{(m)}}{Q_{0j}^{(m)}} \qquad (m = 1,\ 2)\ . \tag{2.24}$$

В. Конструкции, которые можно рассматривать как системы с бесконечным числом степеней свободы

1) Однопролетные и неразрезные балки

Амплитуды перемещений балок, рассматриваемых как системы с непрерывной массой, при гармонических колебаниях, вызванных нагрузкой $q(x)\cos\omega t$, можно определять по формуле

$$z_0(\alpha) = \sqrt{[z_0']^2 + [z_0'']^2}\ , \tag{2.25}$$

где

$$z_0'(\alpha) = \sum_{r=1}^{k} B_r\,\chi_r\,X_r(\alpha);$$

$$z_0''(\tau) = -\gamma \sum_{r=1}^{k} B_r X_r(\tau);$$

$$B_r = \frac{b_r}{p_r^2(\chi_r^2 + \gamma^2)}; \quad \chi_r = 1 - \frac{\omega^2}{p_r^2};$$

$$b_r = \frac{1}{\mu_r l} \int_0^1 q(\alpha) X_r(\tau) d\alpha;$$

$X_r(\alpha)$ — r-тая нормированная форма собственных колебаний балки (табл. 22—27).

Остальные обозначения такие же, как и в предыдущих пунктах.

Для сосредоточенной силы P, приложенной в точке $x = x_0$:

$$b_r = \frac{P}{\mu_r l} X_r(\tau_0); \quad \alpha_0 = \frac{x_0}{l}. \tag{2.26}$$

Для сосредоточенного момента M, приложенного в той же точке:

$$b_r = \frac{M}{\mu_r l^2} X_r'(\alpha_0). \tag{2.27}$$

Амплитуды углов поворота, изгибающих моментов и поперечных сил определяются по формулам:

$$\left.\begin{aligned} \theta_0(\alpha) &= \frac{1}{l} \sqrt{[\theta_0']^2 + [\theta_0'']^2}; \\ M_0(\alpha) &= \frac{EJ}{l^2} \sqrt{[M_0']^2 + [M_0'']^2}; \\ Q_0(\alpha) &= \frac{EJ}{l^3} \sqrt{[Q_0']^2 + [Q_0'']^2}, \end{aligned}\right\} \tag{2.28}$$

где

$$\theta_0'(\alpha) = \sum_{r=1}^{k} B_r \chi_r X_r'(\alpha), \quad \theta_0''(\alpha) = -\gamma \sum_{r=1}^{k} B_r X_r'(\alpha);$$

$$M_0'(\alpha) = \sum_{r=1}^{k} B_r \chi_r X_r''(\alpha), \quad M_0''(\alpha) = -\gamma \sum_{r=1}^{k} B_r X_r''(\alpha);$$

$$Q_0'(\alpha) = \sum_{r=1}^{k} B_r \chi_r X_r'''(\alpha), \quad Q_0''(\alpha) = -\gamma \sum_{r=1}^{k} B_r X_r'''(\alpha).$$

При учете только первой формы колебаний, например когда $\omega < p_1$,

$$\left.\begin{aligned} z_0(x) &= \left| \frac{b_1 X_1(x)}{p_1^2 \sqrt{\chi_1^2 + \gamma^2}} \right|; \\ \theta_0(x) &= \frac{1}{l} \left| \frac{b_1 X_1(x)}{p_1^2 \sqrt{\chi_1^2 + \gamma^2}} \right|; \\ M_0(x) &= \frac{EJ}{l^2} \left| \frac{b_1 X_1''(x)}{p_1^2 \sqrt{\chi_1^2 + \gamma^2}} \right|; \\ Q_0(x) &= \frac{EJ}{l^3} \left| \frac{b_1 X_1'''(x)}{p_1^2 \sqrt{\chi_1^2 + \gamma^2}} \right|. \end{aligned}\right\} \qquad (2.29)$$

В тех случаях, когда частота вынужденных колебаний более чем на 10% отличается от ближайшей частоты собственных колебаний, в формулах (2.25), (2.28), (2.29) можно положить $\gamma = 0$.

В случае резонанса по r-той форме собственных колебаний можно использовать приближенные формулы

$$\left.\begin{aligned} z_0(x) &= \left| \frac{b_r X_r(x)}{p_r^2 \gamma} \right|; \\ \theta_0(x) &= \left| \frac{b_r X_r'(x)}{p_r^2 l \gamma} \right|; \\ M_0(x) &= \frac{EJ}{l^2} \left| \frac{b_r X_r''(x)}{p_r^2 \gamma} \right|; \\ Q_0(x) &= \frac{EJ}{l^3} \left| \frac{b_r X_r'''(\alpha)}{p_r^2 \gamma} \right|. \end{aligned}\right\} \qquad (2.30)$$

При этом возмущающая нагрузка не должна находиться вблизи точек, где она не вызывает колебаний по соответствующей форме, т. е. сосредоточенные силы не должны находиться вблизи узлов r-той формы колебаний, а сосредоточенные моменты — вблизи ее пучностей. В противном случае рекомендуется применять формулы (2.25), (2.28). При резонансе по первой форме собственных колебаний можно пользоваться формулами (2.29) независимо от места приложения нагрузки.

Амплитуда перемещений балок определяется вблизи точек, где имеют экстремумы те формы собственных колебаний, частота которых наименее удалена от частоты возмущающей нагрузки. Амплитуды изгибающих моментов определяются вблизи точек, где имеют экстре-

мумы вторые производные указанных форм собственных колебаний. Амплитуды поперечных сил определяются только на опорах.

В случае резонанса амплитуды перемещений и изгибающих моментов определяются в точках, где имеют экстремумы резонирующая форма и ее вторая производная.

При расчетах на прочность с учетом выносливости изгибающие моменты следует также определять в сечениях, наиболее напряженных от статической нагрузки.

При действии на балку периодической нагрузки

$$q(\alpha, t) = q_1(\alpha)\cos\omega t + q_2(\alpha)\cos(2\omega t + \varphi_1) \qquad (2.31)$$

наибольшие перемещения можно определять по формуле

$$z_{\max}(\alpha) = \Omega z_0^{(1)}(\alpha), \qquad (2.32)$$

где $z_0^{(1)}(\alpha)$ — амплитуда перемещений в точке с приведенной координатой α при действии нагрузки $q_1(\alpha)\cos\omega t$, вычисляемая по формуле (2.25). Коэффициент Ω определяется по графикам, приведенным на рис. 17 или по формулам (2.10), при этом принимается

$$\varkappa = \frac{z_0^{(2)}(\alpha)}{z_0^{(1)}(\alpha)}, \qquad (2.33)$$

где $z_0^{(2)}(\alpha)$ — амплитуда перемещений в точке с приведенной координатой α при действии нагрузки $q_2\cos\omega t$, вычисляемая по формуле (2.25);

$$\left.\begin{aligned} \sin\psi_1 &= \frac{z_0''^{(1)}}{z_0^{(1)}}; \quad \cos\psi_1 = \frac{z_0'^{(1)}}{z_0^{(1)}}; \\ \sin\psi_2 &= \frac{z_0''^{(2)}}{z_0^{(2)}}; \quad \cos\psi_2 = \frac{z_0'^{(2)}}{z_0^{(2)}}. \end{aligned}\right\} \qquad (2.34)$$

Наибольшие углы поворотов, изгибающие моменты и поперечные силы определятся по формулам

$$\left.\begin{aligned} \theta_{\text{макс}}(\alpha) &= \Omega\,\theta_0^{(1)}(\alpha); \\ M_{\text{макс}}(\alpha) &= \Omega\, M_0^{(1)}(\alpha); \\ Q_{\text{макс}}(\alpha) &= \Omega\, Q_0^{(1)}(\alpha), \end{aligned}\right\} \qquad (2.35)$$

где $\theta_0^{(1)}(\alpha)$, $M_0^{(1)}(\alpha)$, $Q_0^{(1)}(\alpha)$ — амплитуды угла поворота, изгибающего момента и поперечной силы при действии нагрузки $q_2(\alpha)\cos\omega t$, вычисляемые по формуле (2.28). При определении коэффициента Ω принимается

$$\varkappa = \frac{\theta_0^{(2)}(\alpha)}{\theta_0^{(1)}(\alpha)}; \quad \varkappa = \frac{M_0^{(2)}(\alpha)}{M_0^{(1)}(\alpha)}; \quad \varkappa = \frac{Q_0^{(2)}(\alpha)}{Q_0^{(1)}(\alpha)}, \qquad (2.36)$$

где $\theta_0^{(2)}(\alpha)$, $M_0^{(2)}(\alpha)$, $Q_0^{(2)}(\alpha)$ — амплитуды угла поворота, изгибающего момента и поперечной силы при действии нагрузки $q_2(\alpha)\cos 2\omega t$, вычисляемые по формулам (2.28). Фазы ψ_1 и ψ_2 в этом случае принимают вид

$$\sin\psi_1 = \frac{\theta_0''^{(1)}}{\theta_0^{(1)}}, \quad \cos\psi_1 = \frac{\theta_0'^{(1)}}{\theta_0^{(1)}}; \tag{2.37}$$

$$\sin\psi_2 = \frac{\theta_0''^{(2)}}{\theta_0^{(2)}}, \quad \cos\psi_2 = \frac{\theta_0'^{(2)}}{\theta_0^{(1)}} \text{ и т. д.} \tag{2.38}$$

2) Однопролетные и неразрезные плиты

Амплитуды перемещений однопролетных плит при гармонических колебаниях, вызванных нагрузкой $q(x, y)\cos\omega t$, можно определять по формулам

$$z_0(\alpha, \beta) = \sqrt{[z_0']^2 + [z_0'']^2} =$$

$$= \sqrt{\left[\sum_{r,\,s=1}^{k} B_{rs}\,\chi_{rs}\,\Phi_{rs}\right]^2 + \left[\gamma \sum_{r,\,s=1}^{k} B_{rs}\,\Phi_{rs}\right]^2}, \tag{2.39}$$

где

$$\left.\begin{aligned} B_{rs} &= \frac{b_{rs}}{p_{rs}^2\,(\chi_{rs}^2 + \gamma^2)}; \\ \Phi_{rs}(\alpha, \beta) &= X_r(\alpha)\,Y_s(\beta); \\ b_{rs} &= \frac{1}{\mu_{rs}\,l_x\,l_y}\int_0^1\int_0^1 q(\alpha, \beta)\,X_r(\alpha)\,Y_s(\beta)\,d\alpha\,d\beta; \\ \chi_{rs} &= 1 - \frac{\omega^2}{p_{rs}^2}; \end{aligned}\right\} \tag{2.40}$$

$X_r(\alpha)$, $Y_s(\beta)$ — нормированные формы собственных колебаний однопролетной балки (табл. 22—27).

Остальные обозначения такие же, как и в приложении 2.

При сосредоточенной силе $P\cos\omega t$, приложенной в точке с приведенными координатами α_0, β_0,

$$b_{rs} = \frac{P}{\mu_{rs}\,l_x\,l_y}\,X_r(\alpha_0)\,Y_s(\beta_0). \tag{2.41}$$

Если в точке с теми же координатами приложен момент $M\cos\omega t$, действующий

а) в плоскости, нормальной к оси y, то

$$b_{rs} = \frac{M}{\mu_{rs}\,l_x^2\,l_y}\,X_r'(\alpha_0)\,Y_s(\beta_0); \tag{2.42}$$

б) в плоскости, нормальной к оси x, то

$$b_{rs} = \frac{M}{\mu_{rs}\, l_x\, l_y^2}\, X_r(\alpha_0)\, Y_s'(\beta_0); \qquad (2.43)$$

в) в плоскости, нормаль к которой образует угол α с осью y, то

$$b_{rs} = \frac{M}{\mu_{rs}\, l_x\, l_y}\left[\frac{\cos\varphi}{l_x} X_r'(\alpha_0)\, Y_s(\beta_0) + \frac{\sin\varphi}{l_y} X_r(\alpha_0)\, Y_s'(\beta_0)\right]. \qquad (2.44)$$

Амплитуды углов поворота, изгибающих моментов и поперечных сил можно определять по формулам

$$\left.\begin{aligned}
\theta_0(\alpha,\beta) &= \frac{1}{l_x} \times \\
&\times \sqrt{\left[\sum_{r,s=1}^{k} B_{rs}\chi_{rs}\Phi_{rs}'(\alpha,\beta)\right]^2 + \left[\gamma\sum_{r,s=1}^{k} B_{rs}\Phi_{rs}'(\alpha,\beta)\right]^2}; \\
M_0(\alpha,\beta) &= \frac{D}{l_x^2} \times \\
&\times \sqrt{\left[\sum_{r,s=1}^{k} B_{rs}\chi_{rs}\Phi_{rs}''(\alpha,\beta)\right]^2 + \left[\gamma\sum_{r,s=1}^{k} B_{rs}\Phi_{rs}''(\alpha,\beta)\right]^2}; \\
Q_0(\alpha,\beta) &= \frac{D}{l_x^3} \times \\
&\times \sqrt{\left[\sum_{r,s=1}^{k} B_{rs}\chi_{rs}\Phi_{rs}'''(\alpha,\beta)\right]^2 + \left[\gamma\sum_{r,s=1}^{k} B_{rs}\Phi_{rs}'''(\alpha,\beta)\right]^2},
\end{aligned}\right\} \qquad (2.45)$$

где обозначено:

$$\Phi_{rs}'(\alpha,\beta) = X_r'(\alpha)\, Y_s(\beta)$$

для углов поворота θ_x;

$$\Phi_{rs}'(\alpha,\beta) = \eta\, X_r(\alpha)\, Y_s'(\beta)$$

для углов поворота θ_y;

$$\Phi_{rs}''(\alpha,\beta) = X_r''(\alpha)\, Y_s(\beta) + \nu_0\,\eta^2\, X_r(\alpha)\, Y_s''(\beta)$$

для изгибающих моментов M_x;

$$\Phi_{rs}''(\alpha,\beta) = \eta^2\, X_r(\alpha)\, Y_s''(\beta) + \nu_0\, X_r''(\alpha)\, Y_s(\beta)$$

для изгибающих моментов M_y;

$$\Phi_{rs}'''(\alpha,\beta) = X_r'''(\alpha)\, Y_s(\beta) + (2-\nu_0)\,\eta^2\, X_r'(\alpha)\, Y_s''(\beta)$$

для поперечных сил Q_x;

$$\Phi_{rs}'''(\alpha,\beta) = \eta^3\, X_r(\alpha)\, Y_s'''(\beta) + (2-\nu_0)\,\eta\, X_r''(\alpha)\, Y_s'(\beta)$$

для поперечных сил Q_y;

ν_0 — коэффициент Пуассона материала плиты;

$\eta = l_x/l_y$ — отношение длины сторон плиты.

Амплитуды перемещений определяются вблизи тех точек пролета, где формы собственных колебаний, частоты которых наименее удалены от частоты вынужденных колебаний, имеют экстремумы. Амплитуды изгибающих моментов можно определять в середине и четвертях пролетов, в середине и четвертях кромок.

При расчете плит на прочность с учетом выносливости изгибающие моменты следует также определять в сечениях, наиболее напряженных от статической нагрузки.

При учете только первой формы колебаний

$$z_0(\alpha, \beta) = \left| \frac{b_{11} X_1(\alpha) Y_1(\beta)}{p_{11}^2 \sqrt{\chi_{11}^2 + \gamma^2}} \right|. \qquad (2.46)$$

В случае резонанса с частотой p_{rs} амплитуды перемещений плит могут определяться по формуле

$$z_0(\alpha, \beta) = \left| \frac{b_{rs} X_r(\alpha) Y_s(\beta)}{p_{rs}^2 \gamma} \right|. \qquad (2.47)$$

Формулой (2.47) не следует пользоваться, если сосредоточенная сила приложена вблизи узла резонирующей формы колебаний или момент приложен вблизи пучности этой формы.

Определение наибольших перемещений и внутренних усилий в плите при периодической нагрузке производится так же, как и в случае балок.

Расчет неразрезных плит на жестких опорах можно производить по формулам настоящего пункта, если под l_x и l_y понимать длину одного пролета, а под $X_r(\alpha)$, $Y_s(\beta)$ — нормированные формы собственных колебаний неразрезных балок с соответствующими условиями закрепления (см. рис. 13).

Если частота вынужденных колебаний более чем на 10% отличается от ближайшей частоты собственных колебаний, в формулах (2.39), (2.45), (2.46) можно положить $\gamma = 0$.

Г. Горизонтальные колебания зданий

Амплитуды перемещений и внутренних усилий при горизонтальных колебаниях зданий определяются по формулам параграфов А и Б настоящего приложения как для систем с конечным числом степеней свободы. При этом гармоническая нагрузка в уровне каждого этажа от машин одного типа определяется по формулам

$$P_j = \lambda \sum_{i=1}^{m} R_i \qquad (2.48)$$

и

$$M_j = \lambda \sum_{i=1}^{m} a_i R_i,$$

где P_j — суммарная возмущающая сила, действующая в уровне j-того этажа;

M_j — суммарный возмущающий момент, действующий в уровне j-того этажа;

λ — коэффициент синфазности, определяемый по графикам (рис. 1 и 2) от полного числа машин данного типа, установленных на перекрытиях зданий;

R_i — расчетная или нормативная амплитуда инерционной силы одной машины;

m — число машин на i-том этаже;

a_i — плечо инерционной силы i-той машины относительно центра вращения здания.

Амплитуды перемещений и внутренних усилий, определенные от нагрузок, приложенных в уровнях каждого этажа, суммируются. Если в здании установлены машины различных типов, развивающие нагрузки с разными частотами, то амплитуды перемещений и внутренних усилий, определенные от машин каждого типа, суммируются.

Амплитуды линейных перемещений на уровне j-того перекрытия здания при вращательных колебаниях определяются по формуле

$$z_{0j} = r\,\theta_{0j}\,, \tag{2.49}$$

где r — расстояние от линии, проходящей через данную точку в направлении колебаний до оси вращения;

θ_{0j} — амплитуда угла поворота j-того перекрытия.

В тех случаях, когда поступательные и вращательные колебания здания происходят одновременно, суммарная амплитуда линейного перемещения здания в данном направлении будет равна сумме двух перемещений в том же направлении: амплитуды перемещения при поступательных колебаниях здания и амплитуды линейных перемещений при вращательных колебаниях, определяемой по формуле (2.41).

Аналогично вычисляются амплитуды перемещений и внутренних усилий площадок под машины.

При определении разности перемещений концов колонны в пределах этажа вследствие горизонтальных колебаний здания необходимо учитывать обе составляющие перемещений (z' и z''), например разность перемещений концов колонн j-того этажа определяется по формуле

$$\Delta_z = \sqrt{(z'_{j+1} - z'_j)^2 + (z''_{j+1} - z''_j)^2}\,. \tag{2.50}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ТАБЛИЦЫ ФОРМ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ОДНОПРОЛЕТНЫХ И НЕРАЗРЕЗНЫХ БАЛОК (БАЛОЧНЫХ ФУНКЦИЙ) И ИХ ПРОИЗВОДНЫХ

А. Однопролетные балки

Таблица 22

Балка с левым защемленным и правым свободным концами

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	0	7,0318	—9,679	0	0	44,074	—210,71
0,025	0,0022	0,1728	6,7899	—9,679	0,0132	1,0364	38,804	—210,65
0,05	0,0086	0,3395	6,5479	—9,6775	0,0507	1,9403	33,544	—210,3
0,075	0,0191	0,5001	6,3062	—9,6738	0,1092	2,7136	28,295	—209,34
0,1	0,0335	0,6547	6,0643	—9,6658	0,1853	3,3553	23,084	—207,58
0,125	0,0518	0,8034	5,8227	—9,6525	0,2759	3,8681	17,925	—204,79
0,15	0,0738	0,946	5,5815	—9,6335	0,3776	4,2526	12,855	—200,83
0,175	0,0991	1,0823	5,3415	—9,6063	0,4874	4,5117	7,896	—195,59
0,2	0,1278	1,2129	5,1016	—9,5718	0,6021	4,6486	3,087	—188,98
0,225	0,1596	1,3376	4,8627	—9,527	0,7188	4,6676	— 1,542	—180,95
0,25	0,1946	1,4562	4,6251	—9,4727	0,8346	4,5733	— 5,948	—171,53
0,275	0,2324	1,5689	4,3889	—9,4066	0,9466	4,372	—10,106	—160,71
0,3	0,2729	1,6756	4,1551	—9,3288	1,0524	4,0704	—13,976	—148,56
0,325	0,3161	1,7766	3,9228	—9,2378	1,1494	3,6761	—17,205	—135,2
0,35	0,3617	1,8718	3,6931	—9,1328	1,2355	3,197	—20,726	—120,71
0,375	0,4097	1,9613	3,4662	—9,0139	1,3086	2,6431	—23,551	—105,25
0,4	0,4598	2,0452	3,2423	—8,8796	1,3671	2,0226	—25,981	—89
0,425	0,5118	2,1234	3,0225	—8,7298	1,4093	1,3475	—27,996	—72,13

Продолжение табл. 22

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0,45	0,5659	2,1963	2,8063	—8,5632	1,434	0,6266	—29,585	—54,85
0,475	0,6217	2,2638	2,5943	—8,3796	1,4403	—0,1279	—30,737	—37,39
0,5	0,6791	2,3261	2,3872	—8,1785	1,4274	—0,9065	—31,455	—19,95
0,525	0,7379	2,3831	2,1858	—7,9597	1,3949	—1,6977	—31,737	— 2,81
0,55	0,7982	2,4353	1,9898	—7,7226	1,3425	—2,4899	—31,599	13,82
0,575	0,8596	2,4828	1,7995	—7,4657	1,2704	—3,2744	—31,052	29,7
0,6	0,9223	2,5255	1,6162	—7,1904	1,179	—4,0395	—30,121	44,58
0,625	0,986	2,5637	1,4401	—6,8953	1,0686	—4,777	—28,835	58,26
0,65	1,0504	2,5974	1,272	—6,5819	0,9404	—5,4782	—27,222	70,46
0,675	1,1158	2,6272	1,1116	—6,2478	0,7952	—6,136	—25,324	81,01
0,7	1,1818	2,6531	0,9596	—5,8925	0,6344	—6,7437	—23,193	89,73
0,725	1,2482	2,6754	0,817	—5,516	0,4585	—7,2936	—20,856	96,35
0,75	1,3156	2,694	0,684	—5,1203	0,2704	—7,7861	—18,379	100,73
0,775	1,383	2,7096	0,5612	—4,704	0,0695	—8,2108	—15,844	102,88
0,8	1,4509	2,7223	0,449	—4,2658	—0,14	—8,5771	—13,26	102,41
0,825	1,5192	2,7321	0,348	—3,8063	—0,3582	—8,8768	—10,733	99,4
0,85	1,5877	2,7396	0,2591	—3,3269	—0,583	—9,1162	— 8,305	93,65
0,875	1,6561	2,7452	0,1821	—2,8255	—0,8137	—9,293	— 6,077	85,24
0,9	1,7248	2,7489	0,1179	—2,3028	—1,0475	—9,4204	— 4,075	73,91
0,925	1,7936	2,7512	0,067	—1,7589	—1,2842	—9,4998	— 2,403	59,79
0,95	1,8623	2,7525	0,0299	—1,1936	—1,5224	—9,5426	— 1,115	42,76
0,975	1,9313	2,7528	0,0076	—0,6078	—1,7612	—9,5589	— 0,29	22,42
1	2	2,7528	0	0	—2	—9,561	0	0

Продолжение табл. 22

x	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''
0	0	0	123,403	—968,57	0	0	241,82	—2659,1	0	0	399,97	—5650,7
0,025	0,036	2,783	99,196	—967,41	0.0686	5,215	175,39	—2650,5	0,1102	8,228	258,69	—5612,8
0,05	0,1341	4,962	75,086	—959,75	0,247	8,775	109,68	—2595,6	0,3822	12,958	120,76	—5376,8
0,075	0,2791	6,539	51,306	—940,41	0,4939	10,718	46,28	—2461,7	0,7302	14,346	— 7,5	—4824,2
0,1	0,4561	7,531	28,195	—905,6	0,77	11,127	— 12,59	—2231	1,0745	12,736	—117,51	—3919,9
0,125	0,6509	7,958	6,175	—853,01	1,0387	10,146	— 64,43	—1899,7	1,3467	8,693	—200,85	—2702,8
0,15	0,8496	7,853	—14,291	—781,61	1,2675	7,985	—106,81	—1476,5	1,4951	2,973	—250,85	—1271,9
0,175	1,0395	7,26	—32,745	—691,6	1,4303	4,902	—137,65	— 981,3	1,4886	— 3,54	—263,85	231,7
0,2	1,209	6,236	—48,734	—584,34	1,5076	1,209	—155,49	— 441,7	1,3192	— 9,912	—240,01	1646,8
0,225	1,3484	4,847	—61,842	—462,38	1,4884	— 2,757	—159,65	109	1,0016	—15,268	—183,55	2816,4
0,25	1,449	3,171	—71,754	—328,96	1,3703	— 6,659	—150,26	634,3	0,5703	—18,88	—102,62	3612,6
0,275	1,5051	1,289	—78,229	—187,98	1,1587	—10,167	—128,43	1099,1	0,0763	—20,269	— 6,96	3934,2
0,3	1,5125	— 0,711	—81,128	— 43,98	0,8675	—12,993	— 96,08	1471,6	—0,4219	—19,226	90,34	3757,9
0,325	1,4693	— 2,738	—80,444	98,36	0,5167	—14,905	— 55,94	1727,1	—0,8654	—15,842	176,97	3110
0,35	1,3761	— 4,703	—76,268	234,09	0,1315	—15,749	— 10,87	1844,7	—1,1985	—10,547	242,41	2068,3
0,375	1,2353	— 6,524	—68,831	358,75	—0,2612	—15,438	35,2	1822,4	—1,3819	— 3,97	278,23	765,9
0,4	1,0518	— 8,121	—58,458	467,91	—0,6316	—14,001	78,94	1657,4	—1,3928	3,075	279,96	— 634,9
0,425	0,832	— 9,428	—45,606	557,92	—0,9522	—11,543	117,05	1365,2	—1,2337	9,771	246,67	—1951,2
0,45	0,5832	—10,382	—30,769	625,4	—1,2013	— 8,225	146,37	969,6	—0,9182	15,207	183,67	—3036,8
0,475	0,3159	—10,953	—14,532	668,22	—1,3584	— 4,317	164,92	498	—0,489	18,765	97,96	—3746,9

Продолжение табл. 22

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''
0,5	0,039	—11,103	2,428	685,24	—1,4133	— 0,096	171,1	—12,5	0,0012	19,998	0,1	—3991,9
0,525	—0,2361	—10,828	19,497	675,83	—1,3664	4,165	163,91	—518	0,4905	18,775	— 97,55	—3745,4
0,55	—0,4988	—10,134	36,017	640,63	—1,2127	8,05	144,91	—992,3	0,92	15,229	—183,18	—3033,8
0,575	—0,7391	—9,04	51,339	581,49	—0,969	11,319	114,91	—1393,5	1,2363	9,805	—246,1	—1945,7
0,6	—0,9477	—7,582	64,911	500,93	—0,654	13,722	76,1	—1691,9	1,4003	3,179	—278,45	— 615,6
0,625	—1,1155	—5,814	76,25	402,28	—0,2917	15,074	13,35	—1865,8	1,3921	— 3,827	—276,22	793,1
0,65	—1,2355	—3,797	84,953	289,8	0,09	15,267	— 16,05	—1902,8	1,213	—10,343	—239,59	2107,2
0,675	—1,3038	—1,591	90,662	168,78	0,4618	14,279	— 62,75	—1801,2	0,8857	—15,557	—173	3166,2
0,7	—1,3144	0,712	93,347	43,51	0,7946	12,171	—105,02	—1570	0,4516	—18,81	— 84,49	3840,6
0,725	—1,2681	3,052	92,84	— 79,5	1,0622	9,088	—140,2	—1228,3	—0,0348	—19,688	15,15	4050,5
0,75	—1,1656	5,355	89,23	—194,41	1,2426	5,241	—165,75	— 804,2	—0,5118	—18,06	113,94	3774,2
0,775	—1,0044	7,514	83,041	—298,12	1,32	0,894	—180,02	— 340,6	—0,9183	—14,095	200,13	3051,8
0,8	—0,7914	9,487	74,472	—383,98	1,2856	— 3,66	—182,31	147,1	—1,2011	— 8,243	263,64	2007,2
0,825	—0,532	11,222	64,027	—447,31	1,1378	— 8,124	—172,94	593,3	—1,3201	— 1,163	297,51	708,3
0,85	—0,2327	12,678	52,332	—483,97	0,8825	—12,221	—153,25	965,7	—1,2553	6,359	298,81	— 593,1
0,875	0,0994	13,834	40,082	—490,55	0,5318	—15,72	—125,58	1226,8	—1,0052	13,52	269,16	—1736,8
0,9	0,4565	14,684	28,074	—464,26	0,1028	—18,46	— 93,11	1344,9	—0,5882	19,611	214,78	—2545
0,925	0,8313	15,247	17,158	—403,08	—0,3842	—20,368	— 59,75	1294,9	—0,0378	24,137	145,99	—2867
0,95	1,2168	15,559	8,221	—305,66	—0,9088	—21,476	— 29,92	1059,4	0,6037	26,902	76,43	—2590,3
0,975	1,6076	15,682	2,183	—171,38	—1,4525	—21,933	— 8,4	628,4	1,2941	28,085	22,05	—1644,9
1	2	15,7	0	0	—2	—22,013	0	0	2	28,272	0	0

Таблица 23

Балка со свободно опертыми концами

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	4,4429	0	—43,849	0	8,8857	0	—350,79
0,025	0,111	4,4291	— 1,095	—43,714	0,2212	8,7762	— 8,734	—346,48
0,05	0,2213	4,3881	— 2,184	—43,31	0,437	8,4508	—17,253	—333,62
0,075	0,3301	4,3201	— 3,258	—42,638	0,642	7,9171	—25,347	—312,55
0,1	0,437	4,2253	— 4,313	—41,703	0,8313	7,1887	—32,817	—283,8
0,125	0,5412	4,1047	— 5,341	—40,511	1	6,2831	—39,479	—248,05
0,15	0,642	3,9586	— 6,337	—39,07	1,1441	5,2228	—45,168	—206,19
0,175	0,7389	3,7882	— 7,293	—37,387	1,2601	4,034	—49,746	—159,25
0,2	0,8313	3,5943	— 8,204	—35,475	1,345	2,7458	—53,098	—108,4
0,225	0,9185	3,3784	— 9,065	—33,343	1,3968	1,3	—55,142	— 54,87
0,25	1	3,1416	— 9,87	—31,006	1,4142	0	—55,83	0
0,275	1,0754	2,8854	—10,613	—28,478	1,3968	—1,39	—55,142	54,87
0,3	1,1441	2,6115	—11,292	—25,774	1,345	—2,7458	—53,098	108,4
0,325	1,2058	2,3214	—11,901	—22,91	1,2601	—4,034	—49,746	159,25
0,35	1,2601	2,0171	—12,436	—19,908	1,1441	—5,2228	—45,168	206,19
0,375	1,3066	1,7002	—12,895	—16,779	1	—6,2831	—39,479	248,05
0,4	1,345	1,3729	—13,275	—13,549	0,8313	—7,1887	—32,817	283,8
0,425	1,3751	1,0372	—13,572	—10,236	0,642	—7,9171	—25,347	312,55
0,45	1,3968	0,6949	—13,786	— 6,859	0,437	—8,4508	—17,253	333,62
0,475	1,4098	0,3486	—13,915	— 3,441	0,2212	—8,7762	— 8,734	346,48

Продолжение табл. 23

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0,5	1,4142	0	—13,958	0	0	—8,8857	0	350,79
0,525	1,4098	—0,3486	—13,915	3,441	—0,2212	—8,7762	8,734	346,48
0,55	1,3968	—0,6949	—13,786	6,859	—0,437	—8,4508	17,253	333,62
0,575	1,3751	—1,0372	—13,572	10,236	—0,642	—7,9171	25,347	312,55
0,6	1,345	—1,3729	—13,275	13,549	—0,8313	—7,1887	32,817	283,8
0,625	1,3066	—1,7002	—12,895	16,779	—1	—6.2831	39,479	248,05
0,65	1,2601	—2,0171	—12,436	19,908	—1,1441	—5,2228	45,168	206,19
0,675	1,2058	—2,3214	—11,91	22,91	—1,2601	—4,034	49,746	159,25
0,7	1,1441	—2,6115	—11,292	25,774	—1,345	—2,7458	53,098	108,4
0,725	1,0754	—2,8854	—10,613	28,478	—1,3968	—1,39	55,142	54,87
0,75	1	—3,1416	— 9,87	31,006	—1,4142	0	55,83	0
0,775	0,9185	—3,3784	— 9,065	33,343	—1,3968	1,39	55,142	— 54,87
0,8	0,8313	—3,5943	— 8,204	35,475	—1,345	2,7458	53,098	—108,4
0,825	0,7389	—3,7882	— 7,293	37,387	—1,2601	4,034	49,746	—159,25
0,85	0,642	—3,9586	— 6,337	39,07	—1,1441	5,2228	45,168	—206,19
0,875	0,5412	—4,1047	— 5,341	40,511	—1	6,2831	39,479	—248,05
0,9	0,437	—4,2253	— 4,313	41,703	—0,8313	7,1887	32,817	—283,8
0,925	0,3301	—4,3201	— 3,258	42,638	—0,642	7,9171	25,347	—312,55
0,95	0,2213	—4,3881	— 2,184	43,31	—0,437	8,4508	17,253	—333,62
0,975	0,111	—4,4291	— 1,095	43,714	—0,2212	8,7762	8,734	—346,48
1	0	—4,4429	0	43,849	0	8,8857	0	—350,79

Продолжение табл. 23

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''
0	0	13,329	0	—1183,9	0	17,771	0	—2806,3	0	22,214	0	—5481,2
0,025	0,3301	12,96	— 29,33	—1151,2	0,437	16,901	— 69,01	—2669	0,5412	20,523	—133,53	—5064
0,05	0,642	11,876	— 57,03	—1054,9	0,8313	14,377	—131,27	—2270,4	1	15,708	—246,74	—3875,8
0,075	0,9185	10,134	— 81,58	— 900,3	1,1441	10,445	—180,68	—1649,5	1,3066	8,501	—322,38	—2097,5
0,1	1,1441	7,834	—101,63	— 695,9	1,345	5,491	—212,4	— 867,2	1,4142	0	—348,94	0
0,125	1,3066	5,101	—116,06	— 453,1	1,4142	0	—223,32	0	1,3066	— 8,501	—322,38	2097,5
0,15	1,3968	2,085	—124,07	— 185,2	1,345	— 5,491	—212,4	867,2	1	—15,708	—246,74	3875,8
0,175	1,4098	— 1,046	—125,23	92,9	1,1441	—10,445	—180,68	1649,5	0,5412	—20,523	—133,53	5064
0,2	1,345	— 4,119	—119,47	365,9	0,8313	—14,377	—131,27	2270,4	0	—22,214	0	5481,2
0,225	1,2058	— 6,964	—107,11	618,6	0,437	—16,901	— 69,01	2669	—0,5412	—20,523	133,53	5064
0,25	1	— 9,425	— 88,82	837,2	0	—17,771	0	2806,3	—1	—15,708	246,74	3875,8
0,275	0,7389	—11,364	— 65,64	1009,5	—0,437	—16,901	69,01	2669	—1,3066	— 8,501	322,38	2097,5
0,3	0,437	—12,676	— 38,82	1126	—0,8313	—14,377	131,27	2270,4	—1,4142	0	348,94	0
0,325	0,111	—13,287	— 9,86	1180,3	—1,1441	—10,445	180,68	1649,5	—1,3066	8,501	322,38	—2097,5
0,35	—0,2212	—13,165	19,65	1169,3	—1,345	— 5,491	212,4	867,2	—1	15,708	246,74	—3875,8
0,375	—0,5412	—12,314	48,07	1093,8	—1,4142	0	223,32	0	—0,5412	20,523	133,53	—5064
0,4	—0,8313	—10,783	73,84	957,8	—1,345	5,491	212,4	— 867,2	0	22,214	0	—5481,2
0,425	—1,0754	— 8,656	95,52	768,9	—1,1441	10,445	180,68	—1649,5	0,5412	20,523	—133,53	—5064
0,45	—1,2601	— 6,051	111,93	537,5	—0,8313	14,377	131,27	—2270,4	1	15,708	—246,74	—3875,8
0,475	—1,3751	— 3,111	122,15	276,4	—0,437	16,901	69,01	—2669	1,3066	8,501	322,38	—2097,5

Продолжение табл. 23

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''
0,5	—1,4142	0	125,62	0	0	17,771	0	—2806	1,4142	0	—348,94	0
0,525	—1,3751	3,111	122,15	— 276,4	0,437	16,901	— 69,01	—2669	1,3066	— 8,501	—322,38	2097,5
0,55	—1,2601	6,051	111,93	— 537,5	0,8313	14,377	—131,27	—2270,4	1	—15,708	—246,74	3875,8
0,575	—1,0754	8,656	95,52	— 768,9	1,1441	10,445	—180,68	—1649,5	0,5412	—20,523	—133,53	5064
0,6	—0,8313	10,783	73,84	— 957,8	1,345	5,491	—212,4	— 867,2	0	—22,214	0	5481,2
0,625	—0,5412	12,314	48,07	—1093,8	1,4142	0	—223,32	0	—0,5412	—20,523	133,53	5064
0,65	—0,2212	13,165	19,65	—1169,3	1,345	— 5,491	—212,4	867,2	—1	—15,708	246,74	3875,8
0,675	0,111	13,287	— 9,86	—1180,3	1,1441	—10,445	—180,68	1649,5	—1,3066	— 8,501	322,38	2097,5
0,7	0,437	12,676	— 38,82	—1126	0,8313	—14,377	—131,27	2270,4	—1,4142	0	348,94	0
0,725	0,7389	11,364	— 65,64	—1009,5	0,437	—16,901	— 69,01	2669	—1,3066	8,501	322,38	—2097,5
0,75	1	9,425	— 88,82	— 837,2	0	—17,771	0	2806,3	—1	15,708	246,74	—3875,8
0,775	1,2058	6,964	—107,11	— 618,6	—0,437	—16,901	69,01	2669	—0,5412	20,523	133,53	—5064
0,8	1,345	4,119	—119,47	— 365,9	—0,8313	—14,377	131,27	2270,4	0	22,214	0	—5481,2
0,825	1,4098	1,046	—125,23	— 92,9	—1,1441	—10,445	180,68	1649,5	0,5412	20,523	—133,53	—5064
0,85	1,3968	— 2,085	—124,07	185,2	—1,345	— 5,491	212,4	867,2	1	15,708	—246,74	—3875,8
0,875	1,3066	— 5,101	—116,06	453,1	—1,4142	0	223,32	0	1,3066	8,501	—322,38	—2097,5
0,9	1,1441	— 7,834	—101,63	695,9	—1,345	5,491	212,4	— 867,2	1,4142	0	—348,94	0
0,925	0,9185	—10,134	— 81,58	900,3	—1,1441	10,445	180,68	—1649,5	1,3066	— 8,501	—322,38	2097,5
0,95	0,642	—11,876	— 57,03	1054,9	—0,8313	14,377	131,27	—2270,4	1	—15,708	—246,74	3875,8
0,975	0,3301	—12,96	— 29,33	1151,2	—0,437	16,901	69,01	—2669	0,5412	—20,523	—133,53	5064
1	0	—13,329	0	1183,9	0	17,771	0	—2806,3	0	—22,214	0	5481,2

Таблица 24

Балка с левым свободно опертым и правым защемленным концами

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	5,7102	0	—83,26	0	9,9844	0	—500,08
0,025	0,1425	5,6841	— 2,078	—82,83	0,2483	9,8285	—12,438	—492,31
0,05	0,2838	5,6063	— 4,135	—81,57	0,4889	9,3657	—24,487	—469,25
0,075	0,4224	5,4777	— 6,15	—79,47	0,7141	8,6105	—35,776	—431,61
0,1	0.5572	5,2993	— 8,102	—76,56	0,9172	7,5861	—45,956	—380,56
0,125	0,687	5,0732	— 9,971	—72,86	1,0915	6,3246	—54,707	—317,71
0,15	0,8105	4,8017	—11,738	—68,41	1,2317	4,865	—61,76	—245,02
0,175	0,9267	4,4874	—13,384	—63,24	1,3335	3,2527	—66,894	—164,77
0,2	1,0346	4,1335	—14,895	—57,41	1,3935	1,5375	—69,955	— 79,44
0,225	1,1331	3,7439	—16,251	—50,96	1,4099	— 0,227	—70,847	8,27
0,25	1,2215	3,3224	—17,438	—43,96	1,3822	— 1,9865	—69,545	95,63
0,275	1,299	2,8735	—18,444	—36,46	1,3111	— 3,6863	—66,091	179,9
0,3	1,365	2,4019	—19,258	—28,54	1,1988	— 5,274	—60,597	258,43
0,325	1,4189	1,9122	—19,869	—20,26	1,0487	— 6,7006	—53,239	328,76
0,35	1,4605	1,4101	—20,269	—11,7	0,8655	— 7,9222	—44,247	388,65
0,375	1,4894	0,9006	—20,452	— 2,93	0,6547	— 8,9017	—33,91	436,21
0,4	1,5055	0,3893	—20,414	5,98	0,4227	— 9,6092	—22,552	469,92
0,425	1,5089	—0,1183	—20,153	14,94	0,1766	—10,0238	—10,537	488,68
0,45	1,4997	—0,6164	—19,667	23,89	—0,076	—10,1337	1,752	491,83
0,475	1,4782	—1,0997	—18,959	32,74	—0,3275	— 9,9373	13,923	479,22

Продолжение табл. 24

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0,5	1,4449	—1,5626	—18,031	41,43	—0,5703	—9,4422	25,584	451,13
0,525	1,4003	—1,9995	—16,89	49,89	—0,7973	—8,666	36,358	408,36
0,55	1,3451	—2,4053	—15,54	58,05	—1,0015	—7,634	45,889	352,09
0,575	1,2803	—2,7748	—13,989	65,86	—1,1771	—6,384	53,863	283,94
0,6	1,2067	—3,1032	—12,25	73,26	—1,3192	—4,957	60,005	205,85
0,625	1,1255	—3,3858	—10,331	80,19	—1,4239	—3,401	64,092	120,05
0,65	1,0379	—3,6184	— 8,244	86,62	—1,4786	—1,771	65,963	28,95
0,675	0,9451	—3,7967	— 6,004	92,51	—1,5123	—0,122	65,516	— 64,91
0,7	0,8485	—3,9174	— 3,623	97,85	—1,4951	1,486	62,714	—158,97
0,725	0,7497	—3,9769	— 1,116	102,6	—1,4388	2,994	57,586	—250,72
0,75	0,6502	—3,9722	1,501	106,76	—1,3467	4,346	50,218	—337,82
0,775	0,5516	—3,9009	4,216	110,33	—1,2233	5,488	40,752	—418,18
0,8	0,4557	—3,7605	7,013	113,32	—1,0744	6,368	29,384	—490
0,825	0,3642	—3,5498	9,878	115,75	—0,9074	6,943	16,334	—551,91
0,85	0,2789	—3,2664	12,797	117,66	—0,7302	7,173	1,875	—603,04
0,875	0,2015	—2,9095	15,756	119,08	—0,5519	7,027	—13,725	—643,04
0,9	0,134	—2,4783	8,747	120,08	—0,3822	6,48	—30,186	—672,11
0,925	0,0782	—1,972	21,758	120,7	—0,2314	5,513	—47,246	—691,13
0,95	0,036	—1,3904	24,788	121,03	—0,1102	4,114	—64,671	—701,61
0,975	0,0093	—0,7331	27,807	121,16	—0,0294	2,278	—82,274	—705,73
1	0	0	30,836	121,18	0	0	—99,929	—706,35

Продолжение табл. 24

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''
0	0	14,44	0	—1505,2	0	18,882	0	—3366,1	0	23,324	0	—6345,1
0,025	0,3571	13,972	— 37,22	—1456,4	0,4633	17,84	— 82,6	—3180,4	0,5667	21,37	—154,18	—5813,4
0,05	0,691	12,599	— 72,03	—1313,2	0,8755	14,828	—156,09	—2643,4	1,0385	15,833	—282,5	—4307,1
0,075	0,9802	10,398	—102,17	—1085	1,1911	10,181	—212,33	—1814,8	1,3362	7,642	—363,48	—2078,9
0,1	1,2059	7,546	—125,69	— 786,4	1,3751	4,408	—245,14	— 785,9	1,4098	— 1,83	—383,52	497,8
0,125	1,3534	4,193	—141,07	— 436,8	1,4074	— 1,851	—250,89	329,9	1,2472	—10,995	—339,28	2991
0,15	1,4133	0,569	—147,29	— 58,9	1,2843	— 7,905	—228,96	1409,3	0,8755	—18,317	—238,17	4982,9
0,175	1,3816	— 3,092	—143,98	322,8	1,0194	—13,087	—181,74	2333	0,3571	—22,569	— 97,14	6139,5
0,2	1,2603	— 6,552	—131,33	683,7	0,642	—16,825	—114,47	2999,1	—0,2212	—23,037	60,19	6267
0,225	1,0576	— 9,588	—110,18	1000,3	0,1937	—18,704	— 34,55	3334,3	—0,7624	—19,645	207,41	5344
0,25	0,7862	—12,001	— 81,86	1252,1	—0,2759	—18,52	49,17	3301,3	—1,1759	—12,958	319,88	3525,2
0,275	0,4639	—13,636	— 48,24	1422,8	—0,7151	—16,292	127,46	2903,9	—1,3922	— 4,1	378,72	1115,5
0,3	0,1117	—14,387	— 11,48	1501,5	—1,0754	—12,264	191,69	2185,9	—1,3751	5,445	374,08	—1481,2
0,325	—0,2476	—14,204	26,02	1482,9	—1,3171	— 6,884	234,74	1226,5	—1,1276	14,078	306,74	—3829,5
0,35	—0,5908	—13,099	61,86	1368,4	—1,4133	— 0,774	251,88	131,8	—0,691	20,352	187,98	—5536
0,375	—0,8955	—11,144	93,7	1165,4	—1,3535	5,479	241,21	— 977,8	—0,1386	23,213	37,72	—6314,4
0,4	—1,1419	— 8,465	119,5	887,1	—1,1444	11,094	203,9	—1979,3	0,4371	22,185	—116,32	—6034,2
0,425	—1,3141	— 5,234	137,58	551,6	—0,8091	15,484	144,06	—2762,6	0,9395	17,437	—252,97	—4742,7
0,45	—1,4008	— 1,66	146,78	180,8	—0,3845	18,164	68,26	—3241,2	1,2844	9,766	—346,79	—2655,9
0,475	—1,3962	2,026	146,53	—201,2	0,0823	18,837	—15	—3362,4	1,4141	0,461	—382,05	— 123,7

Продолжение табл. 24

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''
0,5	—1,3005	5,587	136,84	— 569,5	0,5399	17,429	— 96,7	—3112,9	1,3068	— 8,922	—352,8	2429,3
0,525	—1,1197	8,795	118,36	— 900,2	0,9376	14,091	—167,78	—2520,4	0,9806	—16,808	—266,53	4575,6
0,55	—0,8654	11,443	92,32	—1171,4	1,2314	9,194	—220,4	—1650,7	0,4901	—21,873	—132,99	5955,6
0,575	—0,5537	13,362	60,44	—1365,2	1,3887	3,274	—248,8	— 599,9	—0,0823	—23,269	22,9	6338,2
0,6	—0,2044	14,433	24,82	—1468,8	1,392	— 3,018	—249,86	515,2	—0,6407	—20,76	175,02	5659,6
0,625	0,1599	14,592	— 12,14	—1474,9	1,2405	— 8,991	—223,53	1570,9	—1,0911	—14,763	297,94	4034,6
0,65	0,5175	13,833	— 48,1	—1382,4	0,9506	—13,991	—172,8	2449,5	—1,358	— 6,28	371,11	1736,2
0,675	0,8448	12,216	— 80,52	—1196,4	0,5537	—17,474	—103,36	3053	—1,3962	3,275	382,36	— 848,8
0,7	1,1221	9,855	—107,23	— 927,8	0,0927	—19,068	— 23,02	3312,3	—1,1987	12,305	329,95	—3283,5
0,725	1,3328	6,917	—126,36	— 592,7	—0,3825	—18,609	59,13	3196,5	—0,7979	19,312	222,89	—5157,4
0,75	1,4677	3,612	—136,48	— 210,8	—0,8212	—16,174	133,74	2714,3	—0,2597	23,143	79,46	—6150,5
0,775	1,5123	0,176	—136,69	195,6	—1,1772	—12,059	192,18	1913,7	0,3275	23,186	— 75,8	—6088
0,8	1,4747	—3,137	—126,68	603,3	—1,4142	— 6,76	227,43	875,4	0,8682	19,479	—216,08	—4967,5
0,825	1,3586	—6,075	—106,7	989,8	—1,5106	— 0,919	234,83	— 296,1	1,2759	12,715	—316,72	—2958,2
0,85	1,1762	—8,396	— 77,53	1335,6	—1,4617	4,733	212,47	—1486,3	1,4886	4,131	—359,12	— 367,8
0,875	0,9457	—9,885	— 40,4	1624,6	—1,2816	9,462	161,29	—2583,9	1,4805	— 4,673	—333,52	2412,8
0,9	0,6904	—10,362	3,14	1847,1	—1,002	12,586	84,82	—3496,3	1,2675	—11,978	—240,26	4983,1
0,925	0,4372	—9,689	51,37	2000	—1,6704	13,538	— 11,46	—4162,3	0,9074	—16,2	— 88,94	7011,2
0,95	0,2163	—7,769	102,58	2087,6	—1,3467	11,903	—121,07	—4563,6	0,4939	—16,077	104,14	8307
0,975	0,0596	—4,547	155,31	2123,2	—0,099	7,427	—237,7	—4733,3	0,1467	—10,8	320,33	8879,2
1	0	0	208,49	2128.7	0	0	—356,53	—4760,3	0	0	544,06	8973,2

Таблица 25

Балка с левым свободно опертым и правым свободным концами

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	5,4003	0	—88,04	0	10,008	0	—498,87
0,025	0,1348	5,3729	— 2,197	—87,638	0,2489	9,853	—12,407	—491,08
0,05	0,2682	5,2907	— 4,376	—86,44	0,4901	9,391	—24,426	—467,96
0,075	0,3989	5,1544	— 6,514	—84,455	0,716	8,638	—35,683	—430,23
0,1	0,5255	4,9656	— 8,592	—81,707	0,9198	7,616	—45,826	—379,03
0,125	0,6467	4,7255	—10,592	—78,221	1,0949	6,359	—54,536	—316
0,15	0,7613	4,4367	—12,497	—74,033	1,2361	4,904	—61,543	—243,07
0,175	0,8682	4,1016	—14,288	—69,186	1,3388	3,298	—66,626	—162,52
0,2	0,9661	3,7234	—15,952	—63,733	1,4001	1,59	—69,625	— 76,82
0,225	1,054	3,3053	—17,471	—57,724	1,4179	—0,165	—70,447	11,34
0,25	1,131	2,851	—18,833	—51,226	1,3919	—1,914	—69,061	99,25
0,275	1,1963	2,3651	—20,029	—44,304	1,3227	—3,601	—65,509	184,19
0,3	1,249	1,8512	—21,046	—37,032	1,2128	—5,172	—59,898	263,51
0,325	1,2887	1,3142	—21,878	—29,484	1,0655	—6,580	—52,4	334,8
0,35	1,3146	0,7589	—22,517	—21,742	0,8856	—7,778	—43,243	395,83
0,375	1,3265	0,19	—22,963	—13,887	0,6786	—8,73	—32,709	444,77
0,4	1,324	—0,3876	—23,212	— 6,003	0,4514	—9,405	—21,118	480,12
0,425	1,3071	—0,969	—23,264	1,822	0,2109	—9,78	— 8,826	500,84
0,45	1,2756	—1,5493	—23,122	9,504	—0,0351	—9,844	— 3,797	506,33
0,475	1,2297	—2,1236	—22,791	16,956	—0,2787	—9,591	16,364	496,51

Продолжение табл. 25

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0,5	1,1695	—2,6872	—22,277	24,092	—0,512	—9,029	28,498	471,78
0,525	1,0954	—3,236	—21,589	30,829	—0,7276	—8,173	39,834	432,97
0,55	1,0079	—3,7654	—20,739	37,085	—0,9184	—7,047	50,04	381,45
0,575	0,9073	—4,2718	—19,74	42,783	—1,078	—5,683	58,815	318,97
0,6	0,7945	—4,7512	—18,606	47,846	—1,2009	—4,12	65,914	247,65
0,625	0,67	—5,201	—17,354	52,211	—1,2827	—2,403	71,144	169,93
0,65	0,5347	—5,6182	—16,002	55,789	—1,3202	—0,579	74,38	88,46
0,675	0,3894	—6,0005	—14,571	58,539	—1,3112	1,299	75,561	6,1
0,7	0,235	—6,3462	—13,082	60,398	—1,2552	3,182	74,701	— 74,23
0,725	0,0724	—6,6542	—11,559	61,316	—1,1525	5,018	71,891	—149,61
0,75	—0,0974	—6,9242	—10,025	61,245	—1,0051	6,761	67,286	—217,16
0,775	—0,2735	—7,1556	— 8,506	60,146	—0,8156	8,369	61,12	—274,19
0,8	—0,4549	—7,3497	— 7,027	57,984	—0,588	9,807	53,686	—318,18
0,825	—0,6407	—7,5076	— 5,615	54,73	—0,3269	11,046	45,339	—346,89
0,85	—0,83	—7,6313	— 4,299	50,362	—0,0375	12,069	36,485	—358,39
0,875	—1,0219	—7,7235	— 3,107	44,86	0,2747	12,87	27,577	—351,09
0,9	—1,2159	—7,7879	— 2,066	38,212	0,6041	13,452	19,096	—323,75
0,925	—1,4112	—7,8283	— 1,205	30,406	0,9456	13,832	11,564	—275,43
0,95	—1,6072	—7,85	— 0,556	21,437	1,2943	14,042	5,505	—205,57
0,975	—1,8035	—7,8581	— 0,143	11,303	1,6466	14,124	1,468	—113,8
1	—2	—7,8593	0	0	2	14,137	0	0

Продолжение табл. 25

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''
0	0	14,438	0	—1505,3	0	18,882	0	—3366,1	0	23,325	0	—6345,6
0,025	0,3571	13,971	— 37,23	—1456,6	0,4633	17,84	— 82,6	—3180,3	0,5667	21,37	—154,17	—5813,4
0,05	0,691	12,597	— 72,04	—1313,4	0,8755	14,828	—156,08	—2643,4	1,0385	15,833	—282,5	—4307,1
0,075	0,9801	10,408	—102,19	—1085,2	1,1911	10,18	—212,33	—1814,8	1,3362	7,642	—363,47	—2078,9
0,1	1,2057	7,543	—125,71	— 786,6	1,3751	4,408	—245,14	— 785,7	1,4098	— 1,83	—383,52	497,8
0,125	1,3532	4,19	—141,09	— 437,1	1,4074	— 1,851	—250,89	329,9	1,2472	—10,995	—339,28	2991
0,15	1,4129	0,565	—147,34	— 59,3	1,2843	— 7,905	—228,95	1409,3	0,8755	—18,317	—238,17	4982,9
0,175	1,3811	— 3,097	—144,02	322,4	1,0195	—13,087	—181,73	2333	0,3571	—22,569	— 97,14	6139,5
0,2	1,2598	— 6,558	—131,39	683,1	0,6421	—16,824	—114,45	2999,2	—0,2212	—23,038	60,18	6267
0,225	1,0569	— 9,595	—110,26	999,5	0,1938	—18,704	— 34,54	3334,4	—0,7625	—19,645	207,41	5344
0,25	0,7852	—12,011	— 81,95	1251,1	—0,2759	—18,519	49,19	3301,4	—1,1759	—12,959	319,87	3525,2
0,275	0,4627	—13,648	— 48,36	1421,5	—0,715	—16,289	127,49	2904,2	—1,3922	— 4,101	378,71	1115,4
0,3	0,1102	—14,399	— 11,65	1499,8	—1,0753	—12,262	191,72	2186,4	—1,3751	5,445	374,07	—1481,2
0,325	—0,2496	—14,225	25,81	1480,7	—1,3168	— 6,88	234,79	1227,1	—1,1276	14,078	306,73	—3829,7
0,35	—0,5934	—13,126	61,59	1365,6	—1,4129	— 0,739	251,94	132,5	—0,691	20,35	187,97	—5536,2
0,375	—0,8989	—11,179	93,35	1161,8	—1,3531	5,484	241,3	— 976,5	—0,1386	23,212	37,7	—8314,7
0,4	—1,1463	— 8,51	119,04	882,4	—1,1438	11,103	204,02	—1977,8	0,437	22,182	—118,89	—6034,8
0,425	—1,3197	— 5,292	136,99	545,6	—0,8082	15,497	144,24	—2760,5	0,9393	17,434	—255,56	—4743,4
0,45	—1,408	— 1,734	146,03	173	—0,3832	18,182	68,55	—3288,2	1,2842	9,763	—349,4	—2657
0,475	—1,4056	1,93	145,55	—211,3	0,0842	18,861	—14,68	—3358,2	1,4137	0,455	—384,7	— 125,3

Продолжение табл. 25

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''
0,5	—1,3126	5,464	135,57	— 582,4	0,5425	17,462	— 96,25	—3106,9	1,3063	— 8,93	—355,49	2426,9
0,525	—1,1354	8,635	116,73	— 916,8	0,9412	14,138	—167,15	—2512	0,9798	—16,82	—266,74	4572,1
0,55	—0,8856	11,236	90,22	—1192,9	1,2363	9,259	—219,52	—1638,9	0,4889	—21,893	—133,32	5949,5
0,575	—0,5798	13,096	57,72	—1393	1,3956	3,365	—247,57	— 583,6	—0,0842	—23,3	22,4	6330,1
0,6	—0,2381	14,09	21,31	—1504,7	1,4016	— 2,89	—248,15	538	—0,6434	—20,805	174,28	5647,3
0,625	0,1164	14,148	— 16,67	—1521,1	1,2539	— 8,812	—221,15	1602,7	—1,0953	—14,831	296,82	4016
0,65	0,4614	13,26	— 53,95	—1442,1	0,9693	—13,741	—169,47	2494,1	—1,3642	— 6,383	369,42	1708,4
0,675	0,7724	11,476	— 88,07	—1273,5	0,5798	—17,125	— 98,71	3115,1	—1,4056	3,12	379,8	— 890,9
0,7	1,0286	8,9	—116,98	—1027,3	0,1292	—18,581	— 16,53	3399	—1,2129	12,07	326,08	—3347,1
0,725	1,212	6,251	—138,94	— 721,1	—0,3316	—17,931	68,19	3317,6	—0,8193	18,959	217,05	—5253,6
0,75	1,3091	2,022	—152,71	— 376,6	—0,7502	—15,226	146,4	2883,3	—0,2921	22,61	70,65	—6295,9
0,775	1,3112	— 1,876	—157,65	— 18,4	—1,078	—10,734	209,85	2149,6	0,2786	22,38	— 89,09	—6307,3
0,8	1,2152	— 5,787	—153,74	327	—1,2758	— 4,911	252,11	1204,9	0,7943	18,261	—236,17	—5299
0,825	1,0236	— 9,495	—141,63	633,3	—1,3173	1,661	269,29	163,9	1,1643	10,874	—347,07	—3458,7
0,85	0,7438	—12,811	—122,61	875,2	—1,1918	8,337	260,59	— 843,9	1,3202	1,375	—404,96	—1128,7
0,875	0,3876	—15,584	— 98,59	1030,5	—0,9047	14,495	228,47	—1686,9	1,2261	— 8,869	—402,75	—1270,9
0,9	—0,0301	—17,718	— 71,97	1080,3	—0,4758	19,612	178,63	—2243,9	0,8832	—18,318	—344,81	3258,6
0,925	—0,4927	—19,184	— 45,58	1010,1	0,0643	23,348	119,52	—2413,5	0,3269	—25,774	—246,85	4406,8
0,95	—0,984	—20,025	— 22,55	809,9	0,6791	25,6	61,81	—2121,9	—0,3829	—30,537	—134,36	4373,4
0,975	—1,4898	—20,367	— 6,21	474	1,3333	26,551	17,65	—1324	—1,1775	—32,641	— 39,9	2938
1	—2	—20,42	0	0	2	26,703	0	0	—2	—32,986	0	0

Таблица 26

Балка с защемленными концами

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	0	44,745	—207,96	0	0	123,34	—969,35
0,025	0,0134	1,0516	39,559	—207,89	0,036	2,78	99,12	—968,19
0,05	0,0514	1,9738	34,376	—207,51	0,134	4,956	74,99	—960,55
0,075	0,1114	2,773	29,167	—206,5	0,2789	6,533	51,18	—941,22
0,1	0,1891	3,4366	24,036	—204,66	0,4557	7,522	28,05	—906,5
0,125	0,2818	3,9728	18,964	—201,72	0,6502	7,944	6,01	—853,89
0,15	0,3863	4,3835	13,981	—197,56	0,8485	7,835	—14,48	—782,77
0,175	0,5005	4,6733	9,078	—191,98	1,0379	7,236	—32,97	—692,95
0,2	0,6194	4,8407	4,373	—185	1,2067	6,207	—49	—586,02
0,225	0,741	4,8931	— 0,14	—176,51	1,3452	4,811	—62,15	—464,49
0,25	0,8626	4,8755	— 4,42	—166,5	1,4448	3,126	—72,12	—331,49
0,275	0,9824	4,6732	— 8,468	—154,86	1,5007	1,233	—78,66	—191,1
0,3	1,096	4,4146	—12,17	—141,89	1,5055	—0,778	—81,65	— 47,85
0,325	1,2019	4,0687	—15,547	—127,47	1,4605	—2,819	—81,08	93,56
0,35	1,2983	3,6429	—18,523	—111,91	1,3651	—4,802	—77,04	228,25
0,375	1,3838	3,1434	—21,13	— 95	1,2216	—6,644	—69,75	351,62
0,4	1,4555	2,5882	—23,279	— 77,26	1,0346	—8,266	—59,58	459,21
0,425	1,5126	1,9854	—24,976	— 58,71	0,8107	—9,603	—46,96	547,16
0,45	1,5542	1,3459	—26,204	— 39,56	0,5572	—10,597	—32,43	612,49
0,475	1,5796	0,6764	—26,951	— 19,8	0,2839	—11,213	—16,55	652,53

Продолжение табл. 26

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0,5	1,5882	0	—27,198	0	0	—11,422	0	665,93
0,525	1,5796	—0,6764	—26,951	19,8	—0,2839	—11,213	16,55	652,53
0,55	1,5542	—1,3459	—26,204	39,56	—0,5572	—10,597	32,43	612,49
0,575	1,5126	—1,9854	—24,976	58,71	—0,8107	— 9,603	46,96	547,16
0,6	1,4555	—2,5882	—23,279	77,26	—1,0346	— 8,266	59,58	459,21
0,625	1,3838	—3,1434	—21,13	95	—1,2216	— 6,644	69,75	351,62
0,65	1,2983	—3,6429	—18,523	111,91	—1,3651	— 4,802	77,04	228,25
0,675	1,2019	—4,0687	—15,547	127,47	—1,4605	— 2,819	81,08	93,56
0,7	1,096	—4,4146	—12,17	141,89	—1,5055	— 0,778	81,65	— 47,85
0,725	0,9824	—4,6732	— 8,468	154,86	—1,5007	1,233	78,66	—191,1
0,75	0,8626	—4,8355	— 4,42	166,5	—1,4448	3,126	72,12	—331,49
0,775	0,741	—4,8931	— 0,14	176,51	—1,3452	4,811	62,15	—464,49
0,8	0,6194	—4,8407	4,373	185	—1,2067	6,207	49	—586,02
0,825	0,5005	—4,6733	9,078	191,98	—1,0379	7,236	32,97	—692,95
0,85	0,3863	—4,3835	13,981	197,56	—0,8485	7,835	14,48	—782,77
0,875	0,2818	—3,9728	18,964	201,72	—0,6502	7,944	— 6,01	—853,89
0,9	0,1891	—3,4366	24,036	204,66	—0,4557	7,522	— 28,05	—906,5
0,925	0,1114	—2,773	29,167	206,5	—0,2789	6,533	— 51,18	—941,22
0,95	0,0514	—1,9738	34,376	207,51	—0,134	4,956	— 74,99	—960,55
0,975	0,0134	—1,0516	39,559	207,89	—0,036	2,78	— 99,12	—968,19
1	0	0	44,745	207,96	0	0	—123,34	—969,35

Продолжение табл. 26

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''
0	0	0	241,81	—2658,8	0	0	399,72	—5650,9	0	0	597,11	—10317,3
0,025	0,0686	5,215	175,4	—2650,2	0,1102	8,228	258,69	—5613	0,1598	11,708	339,97	—10193,7
0,05	0,2468	8,776	109,69	—2595,1	0,3822	12,959	120,74	—5376,9	0,5325	17,078	92,71	— 9447,4
0,075	0,4939	10,718	46,3	—2461,4	0,7302	14,346	—7,5	—4824,4	0,9646	16,592	—124,61	— 7776,8
0,1	0,7701	11,128	— 12,57	—2230,8	1,0745	12,736	—117,52	—3919,9	1,3218	11,294	—288,55	— 5204,5
0,125	1,0388	10,148	— 64,39	—1899,5	1,3468	8,692	—200,86	—2702,7	1,5024	2,774	—379,68	— 2018,2
0,15	1,2676	7,988	—106,78	—1476,4	1,4951	2,971	—250,87	—1271,7	1,45	— 6,999	—388,19	1316,7
0,175	1,4305	4,906	—137,6	— 981,2	1,4886	— 3,54	—263,86	231,7	1,1592	—15,969	—317,06	4265,7
0,2	1,5079	1,214	—155,44	— 441,5	1,3192	— 9,913	—240,01	1646,9	0,6741	—22,325	—182,13	6335,2
0,225	1,4888	— 2,751	—159,6	109,3	1,0016	—15,27	—183,55	2816,6	0,0762	—24,775	— 10,39	7182,9
0,25	1,3708	— 6,652	—150,2	634,7	0,5702	—18,881	—102,37	3609,6	—0,5282	—22,801	165,46	6672,2
0,275	1,1596	—10,158	—128,36	1099,8	0,0762	—20,271	— 6,96	3934,1	—1,0305	—16,725	312,44	4910,9
0,3	0,8686	—12,981	— 95,99	1472,6	—0,4221	—19,227	90,33	3757,7	—1,3394	— 7,637	403,05	2225,6
0,325	0,5181	—14,891	— 55,72	1727,5	—0,8656	—15,843	176,97	3109,5	—1,4004	2,803	420,49	— 878,1
0,35	0,1332	—15,73	— 10,73	1846,8	—1,1989	—10,547	242,37	2067,7	—1,2058	12,768	360,01	—3811,8
0,375	—0,2589	—15,416	35,42	1824,1	—1,3822	— 3,973	278,18	765	—0,7857	20,318	234,58	—6065,8
0,4	—0,6287	—13,973	79,24	1661	—1,3932	3,07	279,89	— 636,6	—0,2212	24,136	66,06	—7205,6
0,425	—0,9483	—11,508	117,47	1369,9	—1,2342	9,747	246,55	—1953,2	0,3839	23,519	—114,59	—7021,2
0,45	—1,1965	— 8,176	146,92	976,1	—0,9189	15,197	183,48	—3039,6	0,9185	18,582	—274,19	—5547,2
0,475	—1,3521	— 4,252	165,66	506,6	—0,4901	18,749	97,71	—3750,5	1,2844	10,232	—383,4	—3053,7

Продолжение табл. 26

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''
0,5	—1,4052	0	172,09	0	0	19,981	0	—3998,2	1,4144	0	—422,17	0
0,525	—1,3521	4,252	165,66	— 506,6	0,4901	18,749	— 97,71	—3750,5	1,2844	—10,232	—383,4	3053,7
0,55	—1,1965	8,176	146,92	— 976,1	0,9189	15,197	—183,48	—3039,6	0,9185	—18,582	—274,19	5547,2
0,575	—0,9483	11,508	117,47	—1369,9	1,2342	9,747	—246,55	—1953,2	0,3839	—23,519	—114,59	7021,2
0,6	—0,6287	13,973	79,24	—1661	1,3932	3,07	—279,89	— 636,6	—0,2212	—24,136	66,06	7205,6
0,625	—0,2589	15,416	35,42	—1824,1	1,3822	— 3,973	—278,18	765	—0,7857	—20,318	234,58	6065,8
0,65	0,1332	15,73	— 10,73	—1846,8	1,1989	—10,547	—242,37	2067,7	—1,2058	—12,768	360,01	3811,8
0,675	0,5181	14,891	— 55,72	—1727,5	0,8656	—15,843	—176,97	3109,5	—1,4004	— 2,803	420,49	878,1
0,7	0,8686	12,981	— 95,99	—1472,6	0,4221	—19,227	— 90,33	3757,7	—1,3394	7,637	403,05	—2225,6
0,725	1,1596	10,158	—128,36	—1099,8	—0,0762	—20,271	6,96	3934,1	—1,0305	16,725	312,44	—4910,9
0,75	1,3708	6,652	—150,2	— 634,7	—0,5702	—18,881	102,37	3609,6	—0,5282	22,801	165,46	—6672,2
0,775	1,4888	2,751	—159,6	— 109,3	—1,0016	—15,27	183,55	2816,6	0,0762	24,775	— 10,39	—7182,9
0,8	1,5079	— 1,214	—155,44	441,5	—1,3192	— 9,913	240,01	1646,9	0,6741	22,325	—182,13	—6335,2
0,825	1,4305	— 4,906	—137,6	981,2	—1,4886	— 3,54	263,86	231,7	1,1592	15,969	—317,06	—4265,7
0,85	1,2676	— 7,988	—106,78	1476,1	—1,4951	2,971	250,87	—1271,7	1,45	6,999	—388,19	—1316,7
0,875	1,0388	—10,148	— 64,39	1899,5	—1,3468	8,692	200,86	—2702,7	1,5024	— 2,774	—379,68	2018,2
0,9	0,7701	—11,128	— 12,57	2230,8	—1,0745	12,736	117,52	—3919,9	1,3218	—11,294	—288,55	5204,5
0,925	0,4939	—10,718	46,3	2461,4	—0,7302	14,346	7,5	—4824,4	0,9646	—16,592	—124,61	7776,8
0,95	0,2468	— 8,776	109,69	2595,1	—0,3822	12,959	—120,74	—5376,9	0,5325	—17,078	92,71	9447,4
0,975	0,0686	— 5,215	175,4	2650,2	—0,1102	8,228	—258,69	—5613	0,1598	—11,708	339,97	10193,7
1	0	0	241,81	2658,8	0	0	—399,72	—5650,9	0	0	597,11	10317,3

Таблица 27

Балка со свободными концами

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	—2	9,2945	0	0	—2	15,72	0	0
0,025	—1,7681	9,2921	— 0,3	— 23,53	—1,6072	15,7	— 2,201	—171,46
0,05	—1,5364	9,275	— 1,15	— 44,16	—1,2160	15,575	— 8,261	—305,63
0,075	—1,3035	9,2302	— 2,492	— 62,04	—0,8300	15,262	—17,198	—402,88
0,1	—1,0744	9,1471	— 4,231	— 76,89	—0,4549	14,7	—28,104	—463,85
0,125	—0,8476	9,0163	— 6,305	— 88,88	—0,0975	13,846	—40,097	—489,92
0,15	—0,6249	8,8303	— 8,642	— 98,07	0,2349	12,693	—52,326	—483,16
0,175	—0,4058	8,5811	—11,197	—104,56	0,5347	11,237	—64,007	—446,28
0,2	—0,1954	8,2688	—13,857	—108,3	0,7945	9,503	—74,416	—382,78
0,225	0,0062	7,8892	—16,579	—109,47	1,0078	7,532	—82,956	—296,67
0,25	0,1976	7,4417	—19,299	—108,19	1,1695	5,375	—89,101	—192,79
0,275	0,3785	6,922	—21,979	—104,55	1,2756	3,098	—92,487	— 76,04
0,3	0,544	6,342	—24,521	— 98,77	1,324	0,776	—92,846	47,99
0,325	0,6949	5,6976	—26,891	— 91,03	1,3147	— 1,517	—90,07	173,86
0,35	0,828	5,002	—29,047	— 81,5	1,2492	— 3,701	—84,183	296,15
0,375	0,9445	4,2462	—30,959	— 70,33	1,1311	— 5,702	—75,333	409,76
0,4	1,0405	3,4536	—32,562	— 57,91	0,9662	— 7,446	—63,806	509,78
0,425	1,1164	2,6246	—33,841	— 44,42	0,7615	— 8,872	—49,995	592,2
0,45	1,1713	1,768	—34,772	— 30,11	0,5259	— 9,932	—34,365	653,49
0,475	1,2047	0,885	—35,341	— 15,13	0,2683	—10,581	—17,507	691,48

Продолжение табл. 27

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0,5	1,2157	0	—35,531	0	0	—10,799	0	704,41
0,525	1,2047	—0,885	—35,341	15,13	—0,2683	—10,581	17,507	691,48
0,55	1,1713	—1,768	—34,772	30,11	—0,5259	— 9,932	34,365	653,49
0,575	1,1164	—2,6246	—33,841	44,42	—0,7615	— 8,872	49,995	592,2
0,6	1,0405	—3,4536	—32,562	57,91	—0,9662	— 7,446	63,806	509,78
0,625	0,9445	—4,2462	—30,959	70,33	—1,1311	— 5,702	75,333	409,76
0,65	0,828	—5,002	—29,047	81,5	—1,2492	— 3,701	84,183	296,15
0,675	0,6949	—5,6976	—26,891	91,03	—1,3147	— 1,517	90,07	173,86
0,7	0,544	—6,342	—24,521	98,77	—1,324	0,776	92,846	47,99
0,725	0,3785	—6,922	—21,979	104,55	—1,2756	3,098	92,487	— 76,04
0,75	0,1976	—7,4417	—19,299	108,19	—1,1695	5,375	89,101	—192,79
0,775	0,0062	—7,8892	—16,579	109,47	—1,0078	7,532	82,956	—296,67
0,8	—0,1954	—8,2688	—13,857	108,3	—0,7945	9,503	74,416	—382,78
0,825	—0,4058	—8,5811	—11,197	104,56	—0,5347	11,237	64,007	—446,28
0,85	—0,6249	—8,8303	— 8,642	98,07	—0,2349	12,693	52,326	—483,16
0,875	—0,8476	—9,0163	— 6,305	88,88	0,0975	13,846	40,097	—489,92
0,9	—1,0744	—9,1471	— 4,231	76,89	0,4549	14,7	28,104	—463,85
0,925	—1,3035	—9,2302	— 2,492	62,04	0,83	15,262	17,198	—402,88
0,95	—1,5364	—9,275	— 1,15	44,16	1,216	15,575	8,261	—305,63
0,975	—1,7681	—9,2921	— 0,3	23,53	1,6072	15,7	2,201	—171,46
1	—2	—9,2945	0	0	2	15,72	0	0

Продолжение табл. 27

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''
0	—2	21,991	0	0	—2	28,274	0	0	—2	34,558	0	0
0,025	—1,4507	21,92	— 8,3	— 630,5	—1,2944	28,085	— 22,02	—1644,5	—1,1387	34,143	— 47,69	—3495,4
0,05	—0,9073	21,465	— 29,84	—1061	—0,6041	26,904	— 76,39	—2590	—0,3105	31,644	—158,97	—5098,6
0,075	—0,3829	20,358	— 59,72	—1295,9	—0,0375	24,139	—145,94	—2867,2	—0,4174	26,048	—288	—4953,7
0,1	0,1039	18,451	— 93,1	—1345,4	+0,588	19,613	—214,75	—2545,4	0,9665	17,432	—394,62	—3371,8
0,125	0,5326	15,711	—125,59	—1227	1,005	13,524	—269,16	—1737,1	1,2717	6,759	—448,54	— 828,3
0,15	0,8832	12,211	—153,26	— 965,7	1,2552	6,363	—298,8	— 593,9	1,3002	— 4,41	—432,92	2089,5
0,175	1,1381	8,115	—172,95	— 593,1	1,3202	— 1,159	—297,51	707,5	1,062	—14,288	—346,09	4767,5
0,2	1,2857	3,651	—182,31	— 146,8	1,2009	— 8,24	—263,65	1981,2	0,6101	—21,22	—201,21	6665,3
0,225	1,32	— 0,904	—180,01	332,6	0,9184	—14,093	—200,17	3051,8	0,0348	—24,059	— 22,76	7396,7
0,25	1,2423	— 5,25	—165,74	804,2	0,5122	—18,061	—113,95	3773,6	—0,5542	—22,351	157,69	6807,2
0,275	1,0617	— 9,096	—140,2	1228,1	0,0348	—19,684	— 15,23	4051,3	—1,0465	—16,449	307,66	4993,4
0,3	0,7939	—12,18	—105,02	1569,5	—0,452	—18,802	84,35	3842,7	—1,35	— 7,455	399,88	2280,2
0,325	0,4609	—14,288	— 62,64	1800,3	—0,8855	—15,559	173	3166,4	—1,4084	2,941	418,1	— 836,9
0,35	0,0887	—15,275	— 16,11	1901,8	—1,2127	—10,346	239,62	2107,8	—1,2058	12,767	360	—3811,9
0,375	—0,2929	—15,087	31,3	1863,9	—1,3919	— 3,828	276,24	794,1	—0,7857	20,317	234,57	—6066
0,4	—0,6554	—13,739	76,01	1689,3	—1,4005	3,185	278,44	— 613,6	—0,2213	24,135	66,04	—7205,8
0,425	—0,9716	—11,33	114,65	1391,3	—1,2336	9,773	246,66	—1951,6	0,3838	23,517	—114,62	—7021,8
0,45	—1,2153	— 8,073	144,66	988,5	—0,9181	15,209	183,65	—3037,2	0,9184	18,58	—274,23	—5547,9
0,475	—1,3702	— 4,19	163,48	514,1	—0,4889	18,766	97,95	—3747,1	1,2842	10,228	—383,47	—3054,9

Продолжение табл. 27

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''
0,5	—1,4233	0	169,89	0	0	20,005	0	—3993,4	1,414	0	—422,28	0
0,525	—1,3702	4,19	163,48	— 514,1	0,4889	18,766	— 97,95	—3747,1	1,2842	—10,228	—383,47	3054,9
0,55	—1,2153	8,073	144,66	— 988,5	0,9181	15,209	—183,65	—3037,2	0,9184	—18,58	—274,23	5547,9
0,575	—0,9716	11,33	114,65	—1391,3	1,2336	9,773	—246,66	—1951,6	0,3838	—23,517	—114,62	7021,8
0,6	—0,6554	13,739	76,01	—1689,3	1,4005	3,185	—278,44	— 613,6	—0,2213	—24,135	66,04	7205,8
0,625	—0,2929	15,087	31,3	—1863,9	1,3919	— 3,828	—276,24	794,1	—0,7857	—20,317	234,57	6066
0,65	0,0887	15,275	— 16,11	—1901,8	1,2127	—10,346	—239,62	2107,8	—1,2058	—12,767	360	3811,9
0,675	0,4609	14,288	— 62,64	—1800,3	0,8855	—15,559	—173	3166,4	—1,4084	— 2,941	418,1	836,9
0,7	0,7939	12,18	—105,02	—1569,5	0,452	—18,802	— 84,35	3842,7	—1,35	7,455	399,88	—2280,2
0,725	1,0617	9,096	—140,2	—1228,1	—0,0348	—19,684	15,23	4051,3	—1,0465	16,449	307,66	—4993,4
0,75	1,2423	5,25	—165,74	— 804,2	—0,5122	—18,061	113,95	3773,6	—0,5542	22,351	157,69	—6807,2
0,775	1,32	0,904	—180,01	— 332,6	—0,9184	—14,093	200,17	3051,8	0,0348	24,059	— 22,76	—7396,7
0,8	1,2857	— 3,651	—182,31	146,8	—1,2009	— 8,24	263,65	1981,2	0,6101	21,22	—201,21	—6665,3
0,825	1,1381	— 8,115	—172,95	593,1	—1,3202	— 1,159	297,51	707,5	1,062	14,288	—346,09	—4767,5
0,85	0,8832	—12,211	—153,26	965,7	—1,2552	6,363	298,8	— 593,9	1,3002	4,41	—432,92	—2089,5
0,875	0,5326	—15,711	—125,59	1227	—1,005	13,524	269,16	—1737,1	1,2717	— 6,759	—448,54	828,3
0,9	0,1039	—18,451	— 93,1	1345,4	—0,588	19,613	214,75	—2545,4	0,9665	—17,432	—394,62	3371,8
0,925	—0,3829	—20,358	— 59,72	1295,9	—0,0375	24,139	145,94	—2867,2	0,4174	—26,048	—288	4953,7
0,95	—0,9073	—21,465	— 29,84	1061	0,6041	26,904	76,39	—2590	—0,3105	—31,644	—158,97	5098,6
0,975	—1,4507	—21,92	— 8,3	630,5	1,2944	28,085	22,02	—1644,5	—1,1387	—34,143	— 47,69	3495,4
1	—2	—21,991	0	0	2	28,274	0	0	—2	—34,558	0	0

Б. Неразрезные равнопролетные балки

I. Балки со свободно опертыми концами

Таблица 28

Двухпролетная балка

1-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''	
0	0	3,142	0	—31,02	0	4,038	0	—58,89	1
0,05	0,1565	3,103	—1,545	—30,64	0,2007	3,965	— 2,925	—57,7	0,95
0,1	0,3091	2,988	—3,051	—29,5	0,3941	3,748	— 5,731	—54,15	0,9
0,15	0,454	2,799	—4,482	—27,64	0,5732	3,396	— 8,303	—48,38	0,85
0,2	0,5879	2,542	—5,803	—25,09	0,7316	2,923	—10,54	—40,6	0,8
0,25	0,7072	2,222	—6,981	—21,93	0,8638	2,349	—12,33	—31,09	0,75
0,3	0,8091	1,846	—7,989	—18,23	0,9652	1,698	—13,62	—20,18	0,7
0,35	0,8911	1,426	—8,797	—14,08	1,033	0,9967	—14,34	— 8,268	0,65
0,4	0,9511	0,9704	—9,388	— 9,58	1,065	0,2748	—14,44	4,237	0,6
0,45	0,9877	0,4909	—9,751	— 4,847	1,06	—0,4366	—13,91	16,91	0,55
0,5	1	0	—9,872	0	1,022	—1,106	—12,75	29,32	0,5
0,55	0,9877	—0,4909	—9,751	4,847	0,9511	—1,702	—10,99	41,08	0,45
0,6	0,9511	—0,9704	—9,388	9,58	0,8532	—2,195	— 8,66	51,83	0,4
0,65	0,8911	—1,426	—8,797	14,08	0,7337	—2,559	— 5,827	61,28	0,35
0,7	0,8091	—1,846	—7,989	18,23	0,5998	—2,77	— 2,558	69,22	0,3
0,75	0,7072	—2,222	—6,981	21,93	0,4596	—2,809	1,068	75,52	0,25
0,8	0,5879	—2,542	—5,803	25,09	0,322	—2,659	4,967	80,16	0,2
0,85	0,454	—2,799	—4,482	27,64	0,197	—2,309	9,058	83,23	0,15
0,9	0,3091	—2,988	—3,051	29,5	0,0946	—1,751	13,27	84,93	0,1
0,95	0,1565	—3,103	—1,545	30,64	0,0254	—0,9815	17,53	85,61	0,05
1	0	—3,142	0	31,02	0	0	21,82	85,71	0
	$-X_1$	X_1'	$-X_1''$	X_1'''	X_2	$-X_2'$	X_2''	$-X_2'''$	α

2-й пролет

1-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	
0	0	6,283	0	—248	0	7,06	0	—353,6	1
0,05	0,309	5,976	—12,2	—235,9	0,3456	6,623	—17,32	—331,8	0,95
0,1	0,5878	5,083	—23,2	—200,7	0,6485	5,364	—32,5	—269,1	0,9
0,15	0,809	3,693	—31,94	—145,8	0,8709	3,44	—43,67	—173,3	0,85
0,2	0,9511	1,942	—37,54	— 76,65	0,9853	1,087	—49,47	— 56,17	0,8
0,25	1	0	—39,48	0	0,9773	—1,405	—49,18	67,64	0,75
0,3	0,9511	—1,942	—37,54	76,65	0,8476	—3,73	—42,85	182,8	0,7
0,35	0,809	—3,693	—31,94	145,8	0,6119	—5,602	—31,29	274,8	0,65
0,4	0,5878	—5,083	—23,2	200,7	0,2988	—6,795	—15,94	332,3	0,6
0,45	0,309	—5,976	—12,2	235,9	—0,0537	—7,166	1,242	347,8	0,55
0,5	0	—6,283	0	248	—0,4033	—6,676	18,09	319	0,5
0,55	—0,309	—5,976	12,2	235,9	—0,7082	—5,398	32,45	249	0,45
0,6	—0,5878	—5,083	23,2	200,7	—0,9328	—3,504	42,43	145,5	0,4
0,65	—0,809	—3,693	31,94	145,8	—1,053	—1,251	46,65	20,44	0,35
0,7	—0,9511	—1,942	37,54	76,65	—1,057	1,051	44,35	—112,5	0,3
0,75	—1	0	39,48	0	—0,9522	3,074	35,51	—238,9	0,25
0,8	—0,9511	1,942	37,54	— 76,65	—0,7597	4,503	20,77	—346,5	0,2
0,85	—0,809	3,693	31,94	—145,8	—0,5162	5,072	1,319	—426,5	0,15
0,9	—0,5878	5,083	23,2	—200,7	—0,2702	4,581	—21,35	—475,3	0,1
0,95	—0,309	5,976	12,2	—235,9	—0,0778	2,908	—45,74	—496,2	0,05
1	0	6,283	0	—248	0	0	—70,67	—499,6	0
	$-X_3$	X_3'	$-X_3''$	X_3'''	X_4	$-X_4'$	X_4''	$-X_4'''$	α

2-й пролет

Таблица 29

Трехпролетная балка

1-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''	
0	0	2,565	0	—25,33	0	3,509	0	—42,38	1
0,05	0,1277	2,534	—1,261	—25,01	0,1746	3,457	— 2,107	—41,68	0,95
0,1	0,2523	2,44	—2,491	—24,09	0,3439	3,3	— 4,145	—39,6	0,9
0,15	0,3707	2,286	—3,66	—22,57	0,5029	3,044	— 6,046	—36,21	0,85
0,2	0,48	2,075	—4,738	—20,49	0,6469	2,699	— 7,746	—31,6	0,8
0,25	0,5774	1,814	—5,7	—17,91	0,7715	2,274	— 9,188	—25,92	0,75
0,3	0,6606	1,508	—6,522	—14,88	0,8732	1,785	—10,32	—19,33	0,7
0,35	0,7276	1,164	—7,183	—11,49	0,9492	1,248	—11,11	—12,02	0,65
0,4	0,7766	0,7924	—7,666	— 7,822	0,9975	0,6804	—11,52	— 4,223	0,6
0,45	0,8065	0,4009	—7,962	— 3,957	1,017	0,1027	—11,53	— 3,849	0,55
0,5	0,8165	0	—8,061	0	1,008	—0,4654	—11,13	11,96	0,5
0,55	0,8065	—0,4009	—7,962	3,957	0,971	—1,004	—10,33	19,89	0,45
0,6	0,7766	—0,7924	—7,666	7,822	0,9083	—1,492	— 9,149	27,42	0,4
0,65	0,7276	—1,164	—7,183	11,49	0,8299	—1,913	— 7,601	34,35	0,35
0,7	0,6606	—1,508	—6,522	14,88	0,7185	—2,247	— 5,726	40,53	0,3
0,75	0,5774	—1,814	—5,7	17,91	0,6	—2,48	— 3,564	45,81	0,25
0,8	0,48	—2,075	—4,738	20,49	0,4724	—2,599	— 1,162	50,1	0,2
0,85	0,3707	—2,286	—3,66	22,57	0,342	—2,593	1,429	53,35	0,15
0,9	0,2523	—2,44	—2,491	24,09	0,2153	—2,454	4,156	55,57	0,1
0,95	0,1277	—2,534	—1,261	25,01	0,0989	—2,176	6,97	56,82	0,05
1	0	—2,565	0	25,33	0	—1,757	9,824	57,2	0
	X_1	$-X_1'$	X_1''	$-X_1'''$	$-X_2$	X_2'	$-X_2''$	X_2'''	α

3-й пролет

Продолжение табл. 29

1-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	
0	0	2,834	0	—49,78	0	5,13	0	—202,5	1
0,05	0,1407	2,772	— 2,469	—48,58	0,2523	4,879	— 9,960	—192,6	0,95
0,1	0,2752	2,589	— 4,819	—45,02	0,4799	4,151	—18,94	—163,8	0,9
0,15	0,3977	2,294	— 6,935	—39,27	0,6605	3,015	—26,08	—119	0,85
0,2	0,5029	1,901	— 8,713	—31,56	0,7765	1,585	—30,65	— 62,59	0,8
0,25	0,5865	1,43	—10,06	—22,24	0,8165	0	—32,23	0	0,75
0,3	0,645	0,9031	—10,92	—11,71	0,7765	—1,585	—30,65	62,59	0,7
0,35	0,6763	0,3473	—11,22	— 0,4086	0,6605	—3,015	—26,08	119	0,65
0,4	0,6797	—0,2095	—10,95	11,19	0,4799	—4,151	—18,94	163,8	0,6
0,45	0,6559	—0,7384	—10,11	22,61	0,2523	—4,879	— 9,96	192,6	0,55
0,5	0,6068	—1,211	— 8,702	33,41	0	—5,13	0	202,5	0,5
0,55	0,5362	—1,6	— 6,783	43,17	—0,2523	—4,879	9,96	192,6	0,45
0,6	0,4486	—1,881	— 4,407	51,59	—0,4799	—4,151	18,94	163,8	0,4
0,65	0,3502	—2,034	— 1,651	58,41	—0,6605	—3,015	26,08	119	0,35
0,7	0,2476	—2,042	1,405	63,5	—0,7765	—1,585	30,65	62,59	0,3
0,75	0,1486	—1,89	4,671	66,87	—0,8165	0	32,23	0	0,25
0,8	0,0614	—1,572	8,065	68,64	—0,7765	1,585	30,65	— 62,59	0,2
0,85	—0,0057	—1,081	11,51	69,08	—0,6605	3,015	26,08	—119	0,15
0,9	—0,0441	—0,4212	14,96	68,61	—0,4799	4,151	18,94	—163,8	0,1
0,95	—0,045	0,4122	18,37	67,79	—0,2523	4,879	9,96	—192,6	0,05
1	0	1,415	21,74	67,33	0	5,13	0	—202,5	0
	X_3	$-X_3'$	X_3''	$-X_3'''$	$-X_4$	X_4'	$-X_4''$	X_4'''	α

3-й пролет

Продолжение табл. 29

1-й пролет

α	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''	X_6	X_6'	X_6''	X_6'''	
0	0	6,421	0	—289,5	0	4,666	0	—262,8	1
0,05	0,315	6,062	—14,2	—273,4	0,2278	4,341	—12,83	—244,6	0,95
0,1	0,5949	5,027	—26,83	—226,9	0,424	3,412	—23,89	—192,5	0,9
0,15	0,8083	3,429	—36,47	—155,2	0,5611	2,008	—31,64	—113,8	0,85
0,2	0,9314	1,448	—42,06	— 66,32	0,6201	0,3222	—35	— 19,39	0,8
0,25	0,9503	—0,698	—42,98	29,81	0,5925	—1,411	—33,53	77,5	0,75
0,3	0,8628	—2,771	—39,14	122,4	0,4821	—2,954	—27,44	163,4	0,7
0,35	0,6783	—4,54	—30,97	201,2	0,3039	—4,092	—17,58	226,2	0,65
0,4	0,4171	—5,811	—19,4	257,1	0,0823	—4,672	— 5,354	257,1	0,6
0,45	0,1079	—6,445	— 5,742	284	—0,1525	—4,617	7,514	251,5	0,55
0,5	—0,2155	—6,376	8,458	278,5	—0,3689	—3,941	19,19	209,9	0,5
0,55	—0,518	—5,617	21,58	241,1	—0,5379	—2,746	27,99	137,5	0,45
0,6	—0,7672	—4,262	32,09	175,5	—0,6379	—1,212	32,58	43,61	0,4
0,65	—0,937	—2,472	38,76	88,46	—0,6574	0,428	32,19	— 59,74	0,35
0,7	—1,011	—0,464	40,73	— 10,96	—0,5975	1,92	26,66	—159,8	0,3
0,75	—0,9838	1,516	37,63	—112,7	—0,472	3,016	16,46	—244,9	0,25
0,8	—0,8638	3,216	29,59	—206,9	—0,3061	3,504	2,554	—306,7	0,2
0,85	—0,6708	4,402	17,2	—285,1	—0,1343	3,231	—13,76	—341,3	0,15
0,9	—0,4354	4,88	1,443	—341,3	0	2,1101	—31,16	—350,9	0,1
0,95	—0,1969	4,5	—16,52	—373,1	0,0621	0,1151	—48,59	—344,5	0,05
1	0	3,211	—35,5	—382,5	0	—2,741	—65,6	—496,8	0
	X_5	$-X_5'$	X_5''	$-X_5'''$	$-X_6$	X_6'	$-X_6''$	X_6'''	α

3-й пролет

Продолжение табл. 29

2-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''	
0	0	—2,565	0	25,33	0	—1,757	9,824	—14,87	1
0,05	—0,1277	—2,534	1,261	25,01	—0,0758	—1,283	9,097	—15,17	0,95
0,1	—0,2523	—2,44	2,491	24,09	—0,1285	—0,8475	8,319	—16,01	0,9
0,15	—0,3707	—2,286	3,66	22,57	—0,1613	—0,452	7,49	—17,18	0,85
0,2	—0,48	—2,075	4,738	20,49	—0,1748	—0,0995	6,598	—18,54	0,8
0,25	—0,5774	—1,814	5,7	17,91	—0,172	0,2066	5,636	—19,93	0,75
0,3	—0,6606	—1,508	6,522	14,88	—0,155	0,463	4,606	—21,25	0,7
0,35	—0,7276	—1,164	7,183	11,49	—0,1265	0,6662	3,514	—22,38	0,65
0,4	—0 7766	—0,7924	7,666	7,822	—0,0893	0,8136	2,372	—23,25	0,6
0,45	—0,8065	—0,4009	7,962	3,957	—0,0461	0,9028	1,195	—23,79	0,55
0,5	—0,8165	0	8,061	0	0	0,9327	0	—23,98	0,5
	X_1	$-X_1'$	X_1''	$-X_1'''$	$-X_2$	X_2'	$-X_2''$	X_2'''	α

Продолжение табл. 29

2-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	
0	0	1,415	21,74	—116,9	0	5,13	0	—202,5	1
0,05	0,0954	2,353	15,85	—116	0,2523	4,879	— 9,96	—192,6	0,95
0,1	0,2305	3,001	10,11	—113,3	0,4799	4,151	—18,94	—163,8	0,9
0,15	0,3908	3,367	4,563	—108	0,6605	3,015	—26,08	—119	0,85
0,2	0,5626	3,463	— 0,6461	— 99,88	0,7765	1,585	—30,65	— 62,59	0,8
0,25	0,733	3,31	— 5,376	— 88,83	0,8165	0	—32,23	0	0,75
0,3	0,89	2,936	— 9,482	— 74,98	0,7765	—1,585	—30,65	62,59	0,7
0,35	1,023	2,375	—12,83	— 58,62	0,6605	—3,015	—26,08	119	0,65
0,4	1,125	1,667	—15,31	— 40,26	0,4799	—4,151	—18,94	163,8	0,6
0,45	1,188	0,8595	—16,83	— 20,49	0,2523	—4,879	— 9,96	192,6	0,55
0,5	1,21	0	—17,35	0	0	—5,13	0	202,5	0,5
	X_3	$-X_3'$	X_3''	$-X_3'''$	$-X_4$	X_4'	$-X_4''$	X_4'''	α

Продолжение табл. 29

2-й пролет

α	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''	X_6	X_6'	X_6''	X_6'''	
0	0	3,211	—35,5	93,02	0	—2,741	—65,6	646,5	1
0,05	0,1181	1,554	—30,73	99,7	—0,2056	—5,216	—33,51	631,9	0,95
0,1	0,1596	0,148	—25,39	114,3	—0,4953	—6,12	— 3,092	577,1	0,9
0,15	0,1377	—0,972	—19,28	129,9	—0,7936	—5,59	23,41	475	0,85
0,2	0,0678	—1,768	—12,49	140,6	—1,035	—3,883	43,68	329,5	0,8
0,25	—0,0332	—2,215	— 5,366	142,5	—1,168	—1,358	55,85	153,9	0,75
0,3	—0,1477	—2,308	1,582	133,4	—1,164	1,55	58,9	— 32,13	0,7
0,35	—0,2584	—2,069	7,784	112,8	—1,015	4,38	52,84	—206	0,65
0,4	—0,3499	—1,551	12,69	81,77	—0,7346	6,702	38,87	—345,6	0,6
0,45	—0,4101	—0,83	15,83	43,01	—0,3586	8,171	19,16	—432,9	0,55
0,5	—0,4311	0	16,92	0	—0,0645	8,57	0	—456,4	0,5
	X_5	$-X_5'$	X_5''	$-X_5'''$	$-X_6$	X_6'	$-X_6''$	X_6'''	α

Таблица 30

Четырехпролетная балка

1-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''	
0	0	2,222	0	—21,93	0	3,577	0	—34,38	1
0,05	0,1106	2,194	—1,092	—21,66	0,1537	3,045	—1,711	—33,87	0,95
0,1	0,2185	2,113	—2,157	—20,86	0,3031	2,918	—3,37	—32,35	0,9
0,15	0,3211	1,98	—3,17	—19,54	0,4442	2,71	—4,93	—29,87	0,85
0,2	0,4157	1,797	—4,104	—17,74	0,5729	2,427	—6,343	—26,5	0,8
0,25	0,5001	1,571	—4,937	—15,51	0,6858	2,079	—7,567	—22,32	0,75
0,3	0,5721	1,306	—5,648	—12,89	0,7798	1,675	—8,563	—17,45	0,7
0,35	0,6301	1,008	—6,22	— 9,955	0,8525	1,227	—9,302	—12,03	0,65
0,4	0,6725	0,6862	—6,639	— 6,774	0,902	0,7492	—9,759	— 6,2	0,6
0,45	0,6984	0,3472	—6,895	— 3,427	0,9272	0,256	—9,917	— 0,125	0,55
0,5	0,7071	0	—6,981	0	0,9276	—0,2375	—9,77	6,035	0,5
0,55	0,6984	—0,3472	—6,895	3,427	0,9037	—0,7159	—9,316	12,12	0,45
0,6	0,6725	—0,6862	—6,639	6,774	0,8566	—1,164	—8,562	17,96	0,4
0,65	0,6301	—1,008	—6,22	9,955	0,7881	—1,567	—7,526	23,42	0,35
0,7	0,5721	—1,306	—5,648	12,89	0,7008	—1,912	—6,229	28,36	0,3
0,75	0,5001	—1,571	—4,937	15,5	0,598	—2,186	—4,7	32,67	0,25
0,8	0,4157	—1,797	—4,104	17,74	0,4835	—2,379	—2,973	36,26	0,2
0,85	0,3211	—1,98	—3,17	19,54	0,3616	—2,481	—1,086	39,07	0,15
0,9	0,2185	—2,113	—2,157	20,86	0,237	—2,486	0,92	41,05	0,1
0,95	0,1106	—2,194	—1,092	21,66	0,1148	—2,388	3,005	42,21	0,05
1	0	—2,222	0	21,93	0	—2,185	5,128	42,59	0
	$-X_1$	X_1'	$-X_1''$	X_1'''	X_2	$-X_2'$	X_2''	$-X_2'''$	α

4-й пролет

1-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	
0	0	2,855	0	—41,64	0	2,1	0	—39,98	1
0,05	0,1419	2,803	— 2,068	—40,8	0,1042	2,05	—1,982	—38,45	0,95
0,1	0,2786	2,65	— 4,052	—38,29	0,2034	1,904	—3,861	—35,89	0,9
0,15	0,4053	2,401	— 5,871	—34,21	0,2931	1,668	—5,539	—30,95	0,85
0,2	0,5173	2,067	— 7,45	—28,71	0,3689	1,355	—6,928	—24,36	0,8
0,25	0,6108	1,661	— 8,722	—21,98	0,4275	0,9809	—7,953	—16,44	0,75
0,3	0,6825	1,201	— 9,631	—14,27	0,4663	0,5663	—8,556	— 7,548	0,7
0,35	0,7303	0,7048	—10,14	— 5,846	0,4838	0,133	—8,699	1,904	0,65
0,4	0,7528	0,1943	—10,21	— 2,996	0,4797	—0,2956	—8,364	11,49	0,6
0,45	0,7498	—0,3087	— 9,835	11,96	0,4547	—0,6955	—7,555	20,78	0,55
0,5	0,7224	—0,7818	— 9,017	20,73	0,411	—1,044	—6,297	29,39	0,5
0,55	0,6725	—1,203	— 7,77	29,05	0,3516	—1,318	—4,633	36,97	0,45
0,6	0,6033	—1,552	— 6,124	36,65	0,2807	—1,501	—2,622	43,25	0,4
0,65	0,5188	—1,81	— 4,12	43,33	0,2033	—1,576	—0,3329	48,05	0,35
0,7	0,4241	—1,959	— 1,809	48,94	0,1251	—1,531	2,158	51,3	0,3
0,75	0,325	—1,986	0,7549	53,4	0,0523	—1,358	4,772	53,05	0,25
0,8	0,2277	—1,88	3,512	56,68	—0,0085	—1,053	7,44	53,46	0,2
0,85	0,1393	—1,633	6,404	58,85	—0,0507	—0,6142	10,1	52,83	0,15
0,9	0,0669	—1,239	9,381	60,06	—0,0677	—0,0436	12,71	51,61	0,1
0,95	0,0179	—0,6941	12,4	60,53	—0,053	0,656	15,26	50,36	0,05
1	0	0	15,43	60,61	0	1,482	17,76	49,77	0
	$-X_3$	X_3'	$-X_3''$	X_3'''	X_4	$-X_4'$	X_4''	$-X_4'''$	α

4-й пролет

Продолжение табл. 30

1-й пролет

α	X_5	X'_5	X''_5	X'''_5	X_6	X'_6	X''_6	X'''_6	
0	0	4,443	0	—175,4	0	5,806	0	—249,1	1
0,05	0,2185	4,225	— 8,626	—166,8	0,2851	5,498	—12,24	—235,9	0,95
0,1	0,4156	3,594	—16,41	—141,9	0,5399	4,604	—23,17	—197,7	0,9
0,15	0,572	2,611	—22,58	—103,1	0,7374	3,221	—31,66	—138,6	0,85
0,2	0,6725	1,373	—26,55	— 54,2	0,8563	1,495	—36,79	— 64,78	0,8
0,25	0,7071	0	—27,92	0	0,8842	—0,3921	—38,02	15,81	0,75
0,3	0,6725	—1,373	—26,55	54,2	0,8178	—2,24	—35,23	94,62	0,7
0,35	0,572	—2,611	—22,58	103,1	0,6641	—3,853	—28,73	163,2	0,65
0,4	0,4156	—3,594	—16,41	141,9	0,4392	—5,062	—19,2	214,3	0,6
0,45	0,2185	—4,225	— 8,626	166,8	0,1667	—5,74	— 7,682	242,4	0,55
0,5	0	—4,443	0	175,4	—0,1247	—5,818	4,598	244,4	0,5
0,55	—0,2185	—4,225	8,626	166,8	—0,4048	—5,29	16,31	219,8	0,45
0,6	—0,4156	—3,594	16,41	141,9	—0,6446	—4,218	26,18	171,3	0,4
0,65	—0,572	—2,611	22,58	103,1	—0,8195	—2,721	33,12	103,5	0,35
0,7	—0,6725	—1,373	26,55	54,2	—0,9124	—0,9683	36,33	23,37	0,3
0,75	—0,7071	0	27,92	0	—0,9154	0,8419	35,38	— 61,2	0,25
0,8	—0,6725	1,373	26,55	— 54,2	—0,8308	2,5	30,27	—141,9	0,2
0,85	—0,572	2,611	22,58	—103,1	—0,6713	3,806	21,37	—211,4	0,15
0,9	—0,4156	3,594	16,41	—141,9	—0,459	4,586	9,42	—263,6	0,1
0,95	—0,2185	4,225	8,626	—166,8	—0,2236	4,713	— 4,632	—294,9	0,05
1	0	4,443	0	—175,4	0	4,106	—19,72	—304,9	1
	$-X_5$	X'_5	$-X''_5$	X'''_5	X_6	$-X'_6$	X''_6	$-X'''_6$	α

4-й пролет

Продолжение табл. 30

1-й пролет

α	X_7	X'_7	X''_7	X'''_7	X_8	X'_8	X''_8	X'''_8	
0	0	4,992	0	—250	0	3,487	0	—201,4	1
0,05	0,2444	4,682	—12,24	—234,6	0,1701	3,238	— 9,828	—187,1	0,95
0,1	0,4585	3,793	—22,98	—190,3	0,3161	2,528	—18,26	—146,2	0,9
0,15	0,6157	2,432	—30,88	—122,5	0,4169	1,456	—24,1	— 84,57	0,85
0,2	0,6966	0,7685	—34,97	— 39,71	0,4581	0,175	—26,52	— 11,02	0,8
0,25	0,691	—0,9932	—34,77	47,82	0,4339	—1,133	—25,18	63,96	0,75
0,3	0,5993	—2,637	—30,3	129,2	0,3475	—2,283	—20,28	129,6	0,7
0,35	0,4326	—3,961	—22,12	194,3	0,211	—3,115	—12,53	176,6	0,65
0,4	0,2112	—4,804	—11,27	234,9	0,0435	—3,507	— 3,045	198	0,6
0,45	—0,038	—5,066	0,878	245,8	—0,1314	—3,412	6,792	190,6	0,55
0,5	—0,2851	—4,72	12,79	225,5	—0,2897	—2,846	15,55	155,3	0,5
0,55	—0,5007	—3,817	22,94	176	—0,4096	—1,897	21,93	96,54	0,45
0,6	—0,6595	—2,478	30	102,9	—0,4754	—0,7092	24,94	22,22	0,4
0,65	—0,7442	—0,8847	32,98	14,45	—0,4796	0,5323	24,05	— 57,93	0,35
0,7	—0,7471	0,7431	31,35	— 79,5	—0,4245	1,63	19,22	—133,8	0,3
0,75	—0,6732	2,173	25,1	—168,9	—0,3221	2,396	10,9	—196,3	0,25
0,8	—0,5371	3,184	14,68	—244,9	—0,1931	2,675	— 0,083	—239,3	0,2
0,85	—0,365	3,586	0,9323	—301,5	—0,0645	2,361	—12,67	—260,5	0,15
0,9	—0,191	3,239	—15,09	—336	0,0321	1,399	—25,81	—262,5	0,1
0,95	—0,055	2,056	—32,34	—350,8	0,0644	—0,2159	—38,73	—253,4	0,05
1	0	0	—49,97	—353,3	0	—2,465	—51,18	—246	0
	$-X_7$	X'_7	$-X''_7$	X'''_7	X_8	$-X'_8$	X''_8	$-X'''_8$	α

4-й пролет

Продолжение табл. 30

2-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''	
0	0	—2,222	0	21,93	0	—2,185	5,128	6,026	1
0,05	—0,1106	—2,194	1,092	21,66	—0,1027	—1,92	5,431	5,678	0,95
0,1	—0,2185	—2,113	2,157	20,86	—0,1918	—1,642	5,693	4,695	0,9
0,15	—0,3211	—1,98	3,17	19,54	—0,2667	—1,352	5,892	3,168	0,85
0,2	—0,4157	—1,797	4,104	17,74	—0,3268	—1,054	6,002	1,193	0,8
0,25	—0,5001	—1,571	4,937	15,51	—0,3721	—0,7535	6,005	— 1,131	0,75
0,3	—0,5721	—1,306	5,648	12,89	—0,4023	—0,4557	5,885	— 3,705	0,7
0,35	—0,6301	—1,008	6,22	9,955	—0,4178	—0,1672	5,662	— 6,43	0,65
0,4	—0,6725	—0,6862	6,639	6,774	—0,4192	0,1051	5,241	— 9,212	0,6
0,45	—0,6984	—0,3472	6,895	3,427	—0,4076	0,3545	4,712	—11,96	0,55
0,5	—0,7071	0	6,981	0	—0,3843	0,5741	4,047	—14,59	0,5
0,55	—0,6984	0,3472	6,895	— 3,427	—0,35	0,7546	3,266	—17,06	0,45
0,6	—0,6725	0,6862	6,639	— 6,774	—0,3093	0,8978	2,349	—19,22	0,4
0,65	—0,6301	1,008	6,22	— 9,955	—0,2619	0,9904	1,339	—21,11	0,35
0,7	—0,5721	1,306	5,648	—12,89	—0,2111	1,03	0,2428	—22,68	0,3
0,75	—0,5001	1,571	4,937	—15,51	—0,1598	1,013	—0,9234	—23,91	0,25
0,8	—0,4157	1,797	4,104	—17,74	—0,1107	0,937	—2,142	—24,81	0,2
0,85	—0,3211	1,98	3,17	—19,54	—0,0671	0,7987	—3,399	—25,39	0,15
0,9	—0,2185	2,113	2,157	—20,86	—0,0319	0,5968	—4,677	—25,71	0,1
0,95	—0,1106	2,194	1,092	—21,66	—0,0085	0,3306	—5,967	—25,84	0,05
1	0	2,222	0	—21,93	0	0	—7,26	—25,86	0
	$-X_1$	X_1'	$-X_1''$	X_1'''	X_2	$-X_2'$	X_2''	$-X_2'''$	α

3-й пролет

2-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	
0	0	0	15,43	—60,61	0	1,482	17,76	—105,8	1
0,05	0,0179	0,6941	12,4	—60,53	0,094	2,233	12,39	—104,9	0,95
0,1	0,0669	1,239	9,381	—60,06	0,2189	2,722	7,21	—101,8	0,9
0,15	0,1393	1,633	6,404	—58,85	0,3619	2,957	2,25	— 96,08	0,85
0,2	0,2277	1,88	3,512	—56,68	0,5107	2,953	— 2,35	— 87,44	0,8
0,25	0,325	1,986	0,7549	—53,4	0,6536	2,731	— 6,445	— 75,88	0,75
0,3	0,4241	1,959	— 1,809	—48,94	0,7806	2,319	— 9,893	— 61,64	0,7
0,35	0,5188	1,81	— 4,12	—43,33	0,883	1,755	—12,57	— 45,1	0,65
0,4	0,6033	1,552	— 6,124	—36,65	0,9541	1,077	—14,37	— 26,84	0,6
0,45	0,6725	1,203	— 7,77	—29,05	0,9895	0,3328	—15,24	— 7,516	0,55
0,5	0,7224	0,7818	— 9,017	—20,73	0,9871	—0,4303	—15,12	12,13	0,5
0,55	0,7498	0,3087	— 9,835	—11,96	0,9471	—1,163	—14,03	31,36	0,45
0,6	0,7528	—0,1943	—10,21	— 2,996	0,8721	—1,818	—12	49,44	0,4
0,65	0,7303	—0,7048	—10,14	5,846	0,7673	—2,349	— 9,116	65,73	0,35
0,7	0,6825	—1,201	— 9,631	14,27	0,6399	—2,717	— 5,47	79,71	0,3
0,75	0,6108	—1,661	— 8,722	21,98	0,4989	—2,886	— 1,19	91,01	0,25
0,8	0,5173	—2,067	— 7,45	28,71	0,355	—2,827	3,582	99,47	0,2
0,85	0,4053	—2,401	— 5,871	34,21	0,2205	—2,522	8,714	105,1	0,15
0,9	0,2786	—2,65	— 4,052	38,29	0,1074	—1,953	14,06	108,3	0,1
0,95	0,1419	—2,803	— 2,068	40,8	0,0294	—1,113	19,51	109,6	0,05
1	0	—2,855	0	41,64	0	0	25	109,9	0
	$-X_3$	X_3'	$-X_3''$	X_3'''	X_4	$-X_4'$	X_4''	$-X_4'''$	α

3-й пролет

Продолжение табл. 30

2-й пролет

α	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''	X_6	X_6'	X_6''	X_6'''	
0	0	4,443	0	—175,4	0	4,106	—19,72	— 47,39	1
0,05	0,2185	4,225	— 8,627	—166,8	0,1796	3,063	—21,94	— 38,75	0,95
0,1	0,4156	3,594	—16,41	—141,9	0,3047	1,926	—23,36	— 16,09	0,9
0,15	0,572	2,611	—22,58	—103,1	0,3716	0,7503	—23,4	15,4	0,85
0,2	0,6724	1,373	—26,55	— 54,2	0,3803	—0,3858	—21,76	50,34	0,8
0,25	0,7071	0	—27,91	0	0,3351	—1,397	—18,39	83,56	0,75
0,3	0,6724	—1,373	—26,55	54,2	0,2442	—2,2	—13,51	110,4	0,7
0,35	0,572	—2,611	—22,58	103,1	0,1197	—2,729	— 7,516	127,4	0,65
0,4	0,4156	—3,594	—16,41	141,9	—0,0234	—2,942	— 0,981	131,9	0,6
0,45	0,2185	—4,225	— 8,626	166,8	—0,169	—2,829	5,447	123	0,55
0,5	0	—4,443	0	175,4	—0,3011	—2,411	11,1	101,2	0,5
0,55	—0,2185	—4,225	8,626	166,8	—0,4058	—1,742	15,39	68,54	0,45
0,6	—0,4156	—3,594	16,41	141,9	—0,4725	—0,903	17,82	27,92	0,4
0,65	—0,572	—2,611	22,58	103,1	—0,495	0	18,12	— 16,83	0,35
0,7	—0,6724	—1,373	26,55	54,2	—0,4727	0,87	16,14	— 61,56	0,3
0,75	—0,7071	0	27,91	0	—0,4105	1,583	12,02	—102,4	0,25
0,8	—0,6724	1,373	26,55	— 54,2	—0,3186	2,041	6,025	—135,9	0,2
0,85	—0,572	2,611	22,58	—103,1	—0,212	2,161	— 1,424	—160,4	0,15
0,9	—0,4156	3,594	16,41	—141,9	—0,1092	1,882	— 9,851	—175	0,1
0,95	—0,2185	4,225	8,627	—166,8	—0,0311	1,168	—18,79	—181,2	0,05
1	0	4,443	0	—175,4	0	0	—27,88	—182,1	0
	$-X_5$	X_5'	$-X_5''$	X_5'''	X_6	$-X_6'$	X_6''	$-X_6'''$	α

3-й пролет

2-й пролет

α	X_7	X'_7	X''_7	X'''_7	X_8	X'_8	X''_8	X'''_8	
0	0	0	—49,96	353,2	0	—2,465	—51,18	531,2	1
0,05	—0,0551	—2,058	—32,33	350,9	—0,1761	—4,363	—24,83	517,9	0,95
0,1	—0,1912	—3,241	—15,09	336,1	—0,4147	—4,973	0	469,2	0,9
0,15	—0,3652	—3,587	0,9442	301,6	—0,654	—4,419	21,43	380,1	0,85
0,2	—0,5373	—3,184	14,7	245	—0,8409	—2,923	37,41	254,9	0,8
0,25	—0,6734	—2,173	25,12	168,9	—0,9357	—0,794	46,5	105,9	0,75
0,3	—0,7476	—0,742	31,37	79,45	—0,9159	1,598	47,89	— 49,53	0,7
0,35	—0,7444	0,886	32,99	— 14,53	—0,7779	3,869	41,76	—191,8	0,65
0,4	—0,6596	2,48	30	—103	—0,5369	5,668	29,25	—302,2	0,6
0,45	—0,5007	3,818	22,94	—176,1	—0,2237	6,72	12,32	—366,1	0,55
0,5	—0,285	4,722	12,79	—225,6	0,1199	6,869	— 6,436	—374,8	0,5
0,55	—0,0378	5,068	0,8691	—246	0,4477	6,093	—24,21	—327,1	0,45
0,6	0,2115	4,805	—11,28	—234,9	0,7157	4,51	—38,31	—229,4	0,4
0,65	0,4329	3,961	—22,13	—194,3	0,8891	2,36	—46,53	— 94,68	0,35
0,7	0,5996	2,637	—30,39	—129,2	0,9478	—0,022	—47,45	59,51	0,3
0,75	0,6912	0,992	—34,78	— 47,75	0,8895	—2,255	—40,52	213,6	0,25
0,8	0,6968	—0,77	—34,98	39,81	0,7312	—3,958	—26,42	349,4	0,2
0,85	0,6159	—2,434	—30,88	122,6	0,5082	—4,794	— 6,189	452,9	0,15
0,9	0,4585	—3,794	—22,97	190,4	0,2706	—4,506	18,23	517,4	0,1
0,95	0,2444	—4,683	—12,23	234,7	0,079	—2,933	44,93	545,3	0,05
1	0	—4,992	0,0193	249,9	0	0	72,37	549,7	0
	$-X_7$	X'_7	$-X''_7$	X'''_7	X_8	$-X'_8$	X''_8	$-X'''_8$	α

3-й пролет

Таблица 31

Пятипролетная балка

1-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''	
0	0	1,987	0	—19,62	0	2,781	0	—29,71	1
0,05	0,0989	1,963	—0,977	—19,38	0,1384	2,743	—1,479	—29,3	0,95
0,1	0,1955	1,89	—1,93	—18,66	0,2731	2,633	—2,916	—28,06	0,9
0,15	0,2872	1,771	—2,835	—17,48	0,4006	2,453	—4,272	—26,04	0,85
0,2	0,3718	1,608	—3,67	—15,87	0,5174	2,208	—5,507	—23,28	0,8
0,25	0,4473	1,405	—4,415	—13,87	0,6204	1,905	—6,588	—19,86	0,75
0,3	0,5117	1,168	—5,052	—11,53	0,7071	1,552	—7,484	—15,87	0,7
0,35	0,5636	0,9019	—5,564	— 8,904	0,775	1,16	—8,168	—11,42	0,65
0,4	0,6015	0,6138	—5,939	— 6,059	0,8226	0,7396	—8,62	— 6,622	0,6
0,45	0 6247	0,3105	—6,167	— 3,065	0,8487	0,3024	—8,826	— 1,601	0,55
0,5	0,6325	0	—6,244	0	0,8528	—0,1388	—8,779	3,509	0,5
0,55	0,6247	—0,3105	—6,167	3,065	0,835	—0,5712	—8,476	8,579	0,45
0,6	0,6015	—0,6138	—5,939	6,059	0,796	—0,9823	—7,924	13,48	0,4
0,65	0,5636	—0,9019	—5,564	8,904	0,7373	—1,36	—7,133	18,08	0,35
0,7	0,5117	—1,168	—5,052	11,53	0,6608	—1,692	—6,122	22,28	0,3
0,75	0,4473	—1,405	—4,415	13,87	0,569	—1,969	—4,914	25,97	0,25
0,8	0,3718	—1,608	—3,67	15,87	0,465	—2,18	—3,535	29,08	0,2
0,85	0,2872	—1,771	—2,835	17,48	0,3522	—2,32	—2,016	31,53	0,15
0,9	0,1955	—1,89	—1,93	18,66	0,2344	—2,38	—0,393	33,29	0,1
0,95	0,0989	—1,963	—0,977	19,38	0,1155	—2,358	1,301	34,34	0,05
1	0	—1,987	0	19,62	0	—2,25	3,029	34,68	0
	X_1	$-X_1'$	X_1''	$-X_1'''$	$-X_2$	X_2'	$-X_2''$	X_2'''	α

5-й пролет

Продолжение табл. 31

1-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	
0	0	2,665	0	—34,62	0	2,37	0	—38,76	1
0,05	0,1325	2,622	—1,721	—34	0,1177	2,322	—1,923	—37,88	0,95
0,1	0,2608	2,494	—3,379	—32,15	0,2306	2,18	—3,76	—35,28	0,9
0,15	0,3806	2,286	—4,916	—29,13	0,3342	1,949	—5,425	—31,07	0,85
0,2	0,4881	2,005	—6,275	—25,05	0,4243	1,641	—6,842	—25,41	0,8
0,25	0,5801	1,662	—7,406	—20,03	0,4973	1,27	—7,945	—18,53	0,75
0,3	0,6535	1,269	—8,265	—14,24	0,5505	0,8528	—8,68	—10,71	0,7
0,35	0,7064	0,8407	—8,82	— 7,852	0,5821	0,4089	—9,006	— 2,265	0,65
0,4	0,7373	0,3927	—9,044	— 1,07	0,5913	—0,0406	—8,901	6,49	0,6
0,45	0,7456	—0,058	—8,924	5,895	0,5783	—0,4739	—8,358	15,21	0,55
0,5	0,7317	—0,4938	—8,455	12,83	0,5445	—0,8692	—7,385	23,59	0,5
0,55	0,6968	—0,8977	—7,644	19,54	0,4924	—1,206	—6,01	31,32	0,45
0,6	0,6428	—1,253	—6,508	25,83	0,4253	—1,464	—4,268	38,16	0,4
0,65	0,5726	—1,543	—5,071	31,54	0,3476	—1,627	—2,211	43,92	0,35
0,7	0,4897	—1,755	—3,366	36,52	0,2644	—1,681	0,1037	48,47	0,3
0,75	0,3985	—1,876	—1,432	40,69	0,1815	—1,614	2,615	51,79	0,25
0,8	0,3038	—1,895	0,6887	43,98	0,1052	—1,417	5,262	53,9	0,2
0,85	0,2108	—1,805	2,952	46,39	0,042	—1,086	7,988	54,98	0,15
0,9	0,1252	—1,599	5,314	47,96	—0,0011	—0,6177	10,75	55,25	0,1
0,95	0,053	—1,272	7,735	48,78	—0,0175	—0,0114	13,51	55,08	0,05
1	0	—0,8247	10,18	49,01	0	0,7327	16,25	54,9	0
	X_3	$-X_3'$	X_3''	$-X_3'''$	$-X_4$	X_4'	$-X_4''$	X_4'''	α

5-й пролет

Продолжение табл. 31

1-й пролет

α	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''	X_6	X_6'	X_6''	X_6'''	
0	0	1,613	0	—32,03	0	3,974	0	—156,9	1
0,05	0,079	1,573	—1,587	—31,17	0,1954	3,779	— 7,716	—149,2	0,95
0,1	0,156	1,456	—3,089	—28,63	0,3717	3,215	—14,68	—126,9	0,9
0,15	0,2243	1,267	—4,424	—24,54	0,5116	2,336	—20,2	— 92,21	0,85
0,2	0,2816	1,017	—5,52	—19,09	0,6015	1,228	—23,75	— 48,48	0,8
0,25	0 3252	0,7199	—6,316	—12,56	0,6324	0	—24,97	0	0,75
0,3	0,3531	0,3914	—6,764	— 5,259	0,6015	—1,228	—23,75	48,48	0,7
0,35	0,3642	0,0499	—6,834	2,46	0,5116	—2,336	—20,2	92,21	0,65
0,4	0,3582	—0,2854	—6,517	10,23	0,3717	—3,215	—14,68	126,9	0,6
0,45	0,336	—0,5953	—5,816	17,7	0,1954	—3,779	— 7,716	149,2	0,55
0,5	0,2994	—0,8611	—4,757	24,54	0	—3,974	0	156,9	0,5
0,55	0,2509	—1,066	—3,378	30,46	—0,1954	—3,779	7,716	149,2	0,45
0,6	0,1941	—1,194	—1,73	35,24	—0,3717	—3,215	14,68	126,9	0,4
0,65	0,133	—1,235	0,1246	38,75	—0,5116	—2,336	20,2	92,21	0,35
0,7	0,0722	—1,18	2,122	40,94	—0,6015	—1,228	23,75	48,48	0,3
0,75	0,0167	—1,022	4,198	41,88	—0,6324	0	24,97	0	0,25
0,8	—0,0282	—0,7595	6,292	41,74	—0,6015	1,228	23,75	— 48,48	0,2
0,85	—0,0574	—0,393	8,358	40,79	—0,5116	2,336	20,2	— 92,21	0,15
0,9	—0,0658	0,0752	10,36	39,42	—0,3717	3,215	14,68	—126,9	0,1
0,95	—0,0482	0,6422	12,3	38,15	—0,1954	3,779	7,716	—149,2	0,05
1	0	1,305	14,19	37,42	0	3,974	0	—156,9	0
	X_5	$-X_5'$	X_5''	$-X_5'''$	$-X_6$	X_6'	$-X_6''$	X_6'''	α

5-й пролет

Продолжение табл. 31

1-й пролет

α	X_7	X_7'	X_7''	X_7'''	X_8	X_8'	X_8''	X_8'''	
0	0	5,319	0	—222,2	0	4,785	0	— 225	1
0,05	0,2613	5,043	—10,92	—210,7	0,2346	4,507	—11,03	—211,9	0,95
0,1	0,4956	4,246	—20,71	—177,5	0,4419	3,704	—20,78	—174,4	0,9
0,15	0,6785	3,008	—28,36	—125,9	0,5977	2,469	—28,13	—116,6	0,85
0,2	0,7912	1,459	—33,08	— 61,36	0,6839	0,9453	—32,22	— 45,41	0,8
0,25	0,8218	—0,2429	—34,39	9,498	0,6904	—0,6906	—32,58	30,93	0,75
0,3	0,7673	—1,921	—32,15	79,3	0,6162	—2,25	—29,19	103,5	0,7
0,35	0,633	—3,403	—26,6	140,8	0,4697	—3,553	—22,44	163,8	0,65
0,4	0,4329	—4,535	—18,32	187,6	0,2676	—4,451	—13,13	204,8	0,6
0,45	0,1873	—5,203	— 8,163	214,9	0,033	—4,842	— 2,363	221,5	0,55
0,5	—0,0784	—5,338	2,798	219,7	—0,2073	—4,684	8,582	211,9	0,5
0,55	—0,3373	—4,929	13,42	201,4	—0,4265	—4,003	18,4	176,7	0,45
0,6	—0,563	—4,021	22,58	161,9	—0,6003	—2,884	25,89	119,7	0,4
0,65	—0,7327	—2,711	29,32	105	—0,7099	—1,469	30,1	46,98	0,35
0,7	—0,8297	—1,142	32,89	36,39	—0,7452	0,0619	30,45	— 33,77	0,3
0,75	—0,8453	0,5176	32,87	— 37,15	—0,7052	1,508	26,73	—114,2	0,25
0,8	—0,7795	2,085	29,21	—108,5	—0,5991	2,671	19,17	—186,5	0,2
0,85	—0,6414	3,382	22,18	—170,8	—0,4458	3,37	8,326	—244,3	0,15
0,9	—0,4484	4,256	12,37	—218,6	—0,2722	3,463	— 4,956	—283,8	0,1
0,95	—0,2248	4,587	0,6263	—248	—0,1114	2,849	—19,74	—304,6	0,05
1	0	4,302	—12,1	—257,7	0	1,478	—35,16	—310,3	0
	X_7	$-X_7'$	X_7''	$-X_7'''$	$-X_8$	X_8'	$-X_8''$	X_8'''	α

5-й пролет

Продолжение табл. 31

1-й пролет

α	X_9	X'_9	X''_9	X'''_9	X_{10}	X'_{10}	X''_{10}	X'''_{10}	
0	0	4,057	0	—216	0	1,941	0	—114,6	1
0,05	0,1983	3,79	—10,56	—201,9	0,0946	1,799	— 5,59	—106,2	0,95
0,1	0,3706	3,024	—19,74	—161,3	0,1755	1,395	—10,37	— 82,5	0,9
0,15	0,494	1,859	—26,34	— 99,57	0,2307	0,7876	—13,64	— 46,78	0,85
0,2	0,5523	0,4477	—29,48	— 24,91	0,2523	0,0644	—14,93	— 4,306	0,8
0,25	0,5378	—1,025	—28,78	52,87	0,237	—0,6693	—14,06	38,72	0,75
0,3	0,452	—2,367	—24,32	123,5	0,187	—1,308	—11,16	76,01	0,7
0,35	0,3062	—3,404	—16,7	177,6	0,1094	—1,758	— 6,648	102,1	0,65
0,4	0,119	—4,002	— 6,953	207,9	0,0154	—1,957	— 1,201	113,1	0,6
0,45	—0,0853	—4,085	3,627	210,4	—0,0815	—1,876	4,377	107,2	0,55
0,5	—0,2807	—3,649	13,61	184,3	—0,1677	—1,531	9,255	85,36	0,5
0,55	—0,4425	—2,757	21,63	132,7	—0,2311	—0,9746	12,69	50,32	0,45
0,6	—0,5509	—1,536	26,56	61,93	—0,2631	—0,2946	14,15	6,909	0,4
0,65	—0,5937	—0,1653	27,64	— 19,64	—0,2602	0,4021	13,34	— 39,05	0,35
0,7	—0,5683	1,158	24,58	—102,4	—0,2245	1,002	10,3	— 81,58	0,3
0,75	—0,4822	2,226	17,54	—177,2	—0,1634	1,4	5,326	—115,6	0,25
0,8	—0,353	2,855	7,121	—236,5	—0,0893	1,511	— 1,056	— 13,57	0,2
0,85	—0,2066	2,897	— 5,777	—276	—0,018	1,281	— 8,217	— 31,41	0,15
0,9	—0,0748	2,253	—20,14	—295,5	—0,0326	0,6866	—15,55	— 48,93	0,1
0,95	0	0,8734	—35,06	—299,5	—0,0445	—0,2693	—22,63	— 62,21	0,05
1	0	—1,253	—49,99	—297,7	0	—1,57	—29,36	—132,8	0
	X_9	$-X'_9$	X''_9	$-X'''_9$	$-X_{10}$	X'_{10}	$-X''_{10}$	X'''_{10}	α

5-й пролет

2-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''	
0	0	—1,987	0	19,61	0	—2,25	3,035	13,38	1
0,05	—0,0989	—1,962	0,9755	19,37	—0,1084	—2,081	3,605	13,05	0,95
0,1	—0,1954	—1,889	1,928	18,65	—0,2075	—1,88	4,329	12,09	0,9
0,15	—0,2871	—1,77	2,833	17,47	—0,2959	—1,649	4,898	10,58	0,85
0,2	—0,3717	—1,607	3,668	15,87	—0,372	—1,392	5,379	8,57	0,8
0,25	—0,4471	—1,405	4,413	13,87	—0,4347	—1,113	5,748	6,144	0,75
0,3	—0,5116	—1,168	5,049	11,53	—0,4831	—0,8192	5,988	3,384	0,7
0,35	—0,5635	—0,9021	5,561	8,905	—0,5165	—0,5168	6,083	0,3795	0,65
0,4	—0,6014	—0,614	5,936	6,062	—0,5348	—0,2135	6,023	— 2,78	0,6
0,45	—0,6246	—0,3109	6,165	3,071	—0,538	0,0827	5,804	— 6,004	0,55
0,5	—0,6324	0	6,242	0	—0,5267	0,3641	5,423	— 9,204	0,5
0,55	—0,6246	0,3109	6,165	— 3,071	—0,502	0,6224	4,885	—12,29	0,45
0,6	—0,6014	0,614	5,936	— 6,062	—0,465	0,8501	4,197	—15,2	0,4
0,65	—0,5635	0,9021	5,561	— 8,905	—0,4176	1,04	3,369	—17,85	0,35
0,7	—0,5116	1,168	5,049	—11,53	—0,3618	1,185	2,417	—20,19	0,3
0,75	—0,4471	1,405	4,413	—13,87	—0,2999	1,28	1,356	—22,18	0,25
0,8	—0,3717	1,607	3,668	—15,87	—0,2347	1,319	0,2054	—23,78	0,2
0,85	—0,2871	1,77	2,833	—17,47	—0,169	1,299	—1,016	—24,99	0,15
0,9	—0,1954	1,889	1,928	—18,65	—0,1058	1,217	—2,287	—25,81	0,1
0,95	—0,0989	1,962	0,9755	—19,37	—0,0484	1,07	—3,591	—26,27	0,05
1	0	1,987	0	—19,61	0	0,8573	—4,909	—26,46	0
	X_1	$-X_1'$	X_1''	$-X_1'''$	$-X_2$	X_2'	$-X_2''$	X_2'''	α

4-й пролет

Продолжение табл. 31

2-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	
0	0	—0,824	10,2	—27,66	0	0,7329	16,26	—78,88	1
0,05	—0,029	—0,3486	8,815	—27,82	0,0553	1,447	12,32	—78,51	0,95
0,1	—0,036	0,0572	7,416	—28,14	0,1414	1,966	8,423	—77,08	0,9
0,15	—0,0244	0,3927	6,002	—28,44	0,2485	2,291	4,635	—74,2	0,85
0,2	0	0,6572	4,576	—28,55	0,3675	2,432	1,032	—69,62	0,8
0,25	0,04	0,8503	3,152	—28,36	0,4889	2,399	— 2,298	—63,25	0,75
0,3	0,0859	0,9727	1,746	—27,78	0,6047	2,208	— 5,264	—55,1	0,7
0,35	0,1361	1,026	0,3815	—26,74	0,7075	1,88	— 7,784	—45,32	0,65
0,4	0,1873	1,012	—0,9193	—25,22	0,7909	1,439	— 9,773	—34,15	0,6
0,45	0,2363	0,9352	—2,133	—23,23	0,85	0,9127	—11,13	—21,92	0,55
0,5	0,2799	0,8005	—3,236	—20,81	0,8812	0,3317	—11,95	— 9,003	0,5
0,55	0,3155	0,6138	—4,207	—18,01	0,8828	—0,2716	—12,07	4,154	0,45
0,6	0,3405	0,3822	—5,031	—14,92	0,8542	—0,8647	—11,54	17,11	0,4
0,65	0,3531	0,1134	—5,696	—11,66	0,797	—1,415	—10,37	29,43	0,35
0,7	0,3514	—0,1845	—6,196	— 8,345	0,7139	—1,892	— 8,616	40,69	0,3
0,75	0,3343	—0,5034	—6,532	— 5,118	0,6095	—2,268	— 6,328	50,56	0,25
0,8	0,3008	—0,8351	—6,715	— 2,128	0,4892	—2,518	— 3,588	58,75	0,2
0,85	0,2506	—1,172	—6,751	0,4708	0,3601	—2,621	— 0,4844	65,07	0,15
0,9	0,1836	—1,508	—6,674	2,52	0,2299	—2,562	2,887	69,46	0,1
0,95	0,0999	—1,838	—6,511	3,863	0,1069	—2,329	6,43	71,95	0,05
1	0	—2,159	—6,302	4,309	0	—1,917	10,06	72,69	0
	X_3	$-X_3'$	X_3''	$-X_3'''$	$-X_4$	X_4'	$-X_4''$	X_4'''	α

4-й пролет

Продолжение табл. 31

2-й пролет

α	X_5	X'_5	X''_5	X'''_5	X_6	X'_6	X''_6	X'''_6	
0	0	1,305	14,19	—89,39	0	3,974	0	—156,9	1
0,05	0,0811	1,903	9,734	—88,57	0,1954	3,779	— 7,716	—149,2	0,95
0,1	0,1865	2,28	5,367	—85,74	0,3717	3,215	—14,68	—126,9	0,9
0,15	0,3054	2,443	1,201	—80,48	0,5116	2,336	—20,2	— 92,21	0,85
0,2	0,4274	2,405	— 2,638	—72,62	0,6015	1,228	—23,75	— 48,48	0,8
0,25	0,5429	2,186	— 6,019	—62,2	0,6324	0	—24,97	0	0,75
0,3	0,6435	1,813	— 8,819	—49,45	0,6014	—1,228	—23,75	48,48	0,7
0,35	0,7222	1,316	—10,93	—34,77	0,5116	—2,336	—20,2	92,21	0,65
0,4	0,7737	0,7326	—12,27	—18,68	0,3717	—3,215	—14,68	126,9	0,6
0,45	0,7946	0,1026	—12,79	— 1,819	0,1954	—3,779	— 7,716	149,2	0,55
0,5	0,7838	—0,5319	—12,45	15,16	0	—3,974	0	156,9	0,5
0,55	0,7421	—1,129	—11,28	31,57	—0,1954	—3,779	7,716	149,2	0,45
0,6	0,6723	—1,647	— 9,316	46,77	—0,3717	—3,215	14,68	126,9	0,4
0,65	0,5794	—2,048	— 6,633	60,22	—0,5116	—2,336	20,2	92,21	0,35
0,7	0,47	—2,3	— 3,33	71,49	—0,6014	—1,228	23,75	48,48	0,3
0,75	0,3524	—2,373	0,4754	80,31	—0,6324	0	24,97	0	0,25
0,8	0,236	—2,246	4,659	86,61	—0,6015	1,228	23,75	— 48,48	0,2
0,85	0,1314	—1,903	9,096	90,52	—0,5116	2,336	20,2	— 92,21	0,15
0,9	0,0495	—1,334	13,68	92,41	—0,3717	3,215	14,68	—126,9	0,1
0,95	0	—0,5342	18,31	92,89	—0,1954	3,779	7,716	—149,2	0,05
1	0	0,4975	22,96	92,72	0	3,974	0	—156,9	0
	X_5	$-X'_5$	X''_5	$-X'''_5$	$-X_6$	X'_6	$-X''_6$	X'''_6	α

4-й пролет

Продолжение табл. 31

2-й пролет

α	X_7	X'_7	X''_7	X'''_7	X_8	X'_8	X''_8	X'''_8	
0	0	4,302	—12,1	—101,8	0	1,478	—35,16	171,2	1
0,05	0,1978	3,572	—17,04	— 92,9	0,0335	—0,0654	—26,56	173,7	0,95
0,1	0,3533	2,613	—21,13	— 68,55	0	—1,175	—17,79	176,1	0,9
0,15	0,4563	1,484	—23,79	— 32,89	—0,0766	—1,845	— 9,042	172,2	0,85
0,2	0,5004	0,2752	—24,31	9,209	—0,1766	—2,087	— 0,7351	158,4	0,8
0,25	0,4842	—0,9106	—22,76	52,51	—0,2787	—1,935	6,604	133,3	0,75
0,3	0,4115	—1,966	—19,13	91,9	—0,3646	—1,452	12,42	97,71	0,7
0,35	0,2914	—2,794	—13,71	122,8	—0,4198	—0,7261	16,24	54,23	0,65
0,4	0,1373	—3,316	— 7,046	141,7	—0,4349	0,1341	17,77	6,816	0,6
0,45	—0,0343	—3,488	0,213	146,2	—0,4061	1,012	16,94	— 39,85	0,55
0,5	—0,2054	—3,298	7,323	135,7	—0,3354	1,791	13,88	— 80,99	0,5
0,55	—0,3584	—2,771	13,54	111	—0,2304	2,369	9,001	—112,4	0,45
0,6	—0,4779	—1,969	18,22	74,25	—0,1031	2,67	2,862	—130,9	0,4
0,65	—0,5522	—0,9833	20,83	29,04	0,0311	2,646	— 3,843	—134,8	0,35
0,7	—0,575	0,074	21,05	— 20,43	0,1558	2,288	—10,38	—124,4	0,3
0,75	—0,5457	1,08	18,79	— 69,59	0,2548	1,622	—16,07	—101,5	0,25
0,8	—0,4699	1,914	14,17	—114,1	0,3138	0,7043	—20,38	— 69,78	0,2
0,85	—0,3591	2,463	7,517	—150,4	0,3223	—0,3872	—22,89	— 34,28	0,15
0,9	—0,2298	2,639	— 0,6935	—176,1	0,2737	—1,565	—23,84	— 0,957	0,1
0,95	—0,1024	2,377	— 9,905	—190,5	0,1658	—2,747	—23,22	23,76	0,05
1	0	1,641	—19,57	—194,9	0	—3,873	—21,72	33,1	0
	X_7	$-X'_7$	X''_7	$-X'''_7$	$-X_8$	X'_8	$-X''_8$	X'''_8	α

4-й пролет

Продолжение табл. 31

2-й пролет

α	X_9	X'_9	X''_9	X'''_9	X_{10}	X'_{10}	X''_{10}	X'''_{10}	
0	0	—1,253	—49,99	431,3	0	—1,57	—29,36	318,2	1
0,05	—0,1161	—3,215	—28,54	424,2	—0,5469	—2,642	—13,58	309,6	0,95
0,1	—0,3038	—4,121	— 7,942	395,1	—0,5271	—2,944	1,224	278,6	0,9
0,15	—0,5118	—4,045	10,49	337,5	—0,4373	—2,556	13,85	222,4	0,85
0,2	—0,6943	—3,131	25,34	251,9	—0,288	—1,615	23,16	144,6	0,8
0,25	—0,8145	—1,593	35,32	144,5	—0,0991	—0,3167	28,08	52,91	0,75
0,3	—0,8476	0,305	39,6	26,1	0,1036	1,114	28,35	— 41,4	0,7
0,35	—0,7829	2,268	37,96	— 90,1	0,2923	2,442	24,1	—126,1	0,65
0,4	—0,6245	4,01	30,86	—190,4	0,4411	3,461	16,09	—189,8	0,6
0,45	—0,3898	5,281	19,39	—262,7	0,521	4,01	5,611	—223,9	0,55
0,5	—0,1072	5,903	5,2	—298,2	0,582	4,007	— 5,719	—223,5	0,5
0,55	0,1881	5,789	— 9,739	—292,4	0,612	3,453	—16,16	—188,7	0,45
0,6	0,4594	4,951	—23,36	—246,2	0,605	2,433	—24,09	—124,2	0,4
0,65	0,6731	3,506	—33,78	—165,5	0,595	1,107	—28,23	— 38,9	0,35
0,7	0,8032	1,652	—39,5	— 60,22	0,5503	—0,3137	—27,82	55,99	0,3
0,75	0,8357	—0,3504	—39,61	56,59	0,5015	—1,596	—22,68	148,3	0,25
0,8	0,7705	—2,212	—33,88	171	0,3969	—2,509	—13,22	226,9	0,2
0,85	0,6217	—3,648	—22,77	270,1	0,2599	—2,861	— 0,3439	284,2	0,15
0,9	0,4168	—4,416	— 7,298	343,8	0,1226	—2,506	14,79	317,2	0,1
0,95	0,1944	—4,329	11,1	386,9	0,0225	—1,363	31,02	329	0,05
1	0	—3,282	30,89	400,1	0	0,5995	47,5	329,5	0
	X_9	$-X'_9$	X''_9	$-X'''_9$	$-X_{10}$	X'_{10}	$-X''_{10}$	X'''_{10}	α

4-й пролет

Продолжение табл. 31

3-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''	
0	0	1,987	0	—19,62	0	0,8573	—4,909	8,089	1
0,05	0,0989	1,963	—0,975	—19,38	0,0369	0,622	—4,503	8,206	0,95
0,1	0,1954	1,89	—1,928	—18,66	0,0625	0,4072	—4,086	8,509	0,9
0,15	0,2871	1,771	—2,833	—17,48	0,0779	0,2137	—3,65	8,935	0,85
0,2	0,3718	1,608	—3,669	—15,87	0,0842	0,0426	—3,191	9,426	0,8
0,25	0,4473	1,405	—4,414	—13,87	0,0826	—0,1049	—2,707	9,93	0,75
0,3	0,5118	1,168	—5,051	—11,53	0,0742	—0,2276	—2,199	10,4	0,7
0,35	0,5636	0,9024	—5,563	— 8,91	0,0603	—0,3244	—1,668	10,81	0,65
0,4	0,6016	0,6143	—5,938	— 6,066	0,0422	—0,3941	—1,119	11,12	0,6
0,45	0,6248	0,3111	—6,167	— 3,074	0,0213	—0,4361	—0,5581	11,31	0,55
0,5	0,6326	0	—6,244	0	0	—0,4498	0	11,37	0,5
	X_1	$-X_1'$	X_1''	$-X_1'''$	$-X_2$	X_2'	$-X_2''$	X_2'''	α

Продолжение табл. 31

3-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	
0	0	—2,159	—6,302	51,75	0	—1,917	10,05	—10,01	1
0,05	—0,1147	—2,4092	—3,723	51,23	—0,0835	—1,427	9,541	—10,66	0,95
0,1	—0,2387	—2,532	—1,198	49,57	—0,1431	—0,9641	8,969	—12,38	0,9
0,15	—0,3658	—2,531	1,215	46,74	—0,1804	—0,5321	8,291	—14,81	0,85
0,2	—0,4899	—2,4132	3,456	42,72	—0,197	—0,1372	7,481	—17,64	0,8
0,25	—0,6054	—2,189	5,468	37,58	—0,1949	0,2134	6,525	—20,58	0,75
0,3	—0,7072	—1,871	7,197	31,41	—0,1765	0,5128	5,425	—23,36	0,7
0,35	—0,7912	—1,475	8,595	24,37	—0,1445	0,7538	4,195	—25,76	0,65
0,4	—0,8537	—1,018	9,623	16,64	—0,1022	0,9305	2,858	—27,61	0,6
0,45	—0,8923	—0,5193	10,25	8,44	—0,0526	1,038	1,446	—28,77	0,55
0,5	—0,9053	0	10,46	0	0	1,074	0	—29,16	0,5
	X_3	$-X_3'$	X_3''	$-X_3'''$	$-X_4$	X_4'	$-X_4''$	X_4'''	α

Продолжение табл. 31

3-й пролет

α	X_5	X'_5	X''_5	X'''_5	X_6	X'_6	X''_6	X'''_6	
0	0	0,4975	22,96	—112,6	0	3,974	0	—156,9	1
0,05	0,0512	1,505	17,33	—112,1	0,1954	3,779	— 7,716	—149,2	0,95
0,1	0,1458	2,232	11,77	—110,1	0,3717	3,215	—14,68	—126,9	0,9
0,15	0,2698	2,684	6,367	—105,7	0,5116	2,336	—20,2	— 92,21	0,85
0,2	0,4098	2,873	1,253	— 98,39	0,6014	1,228	—23,75	— 48,47	0,8
0,25	0,553	2,817	— 3,421	— 88,06	0,6324	0	—24,97	0	0,75
0,3	0,6878	2,541	— 7,503	— 74,74	0,6014	—1,228	—23,75	48,48	0,7
0,35	0,804	2,079	—10,85	— 58,71	0,5116	—2,336	—20,2	92,21	0,65
0,4	0,8933	1,471	—13,34	— 40,46	0,3717	—3,215	—14,68	126,9	0,6
0,45	0,9494	0,7613	—14,87	—20,64	0,1954	—3,779	— 7,711	149,2	0,55
0,5	0,9686	0	—15,39	0	0	—3,974	0	156,9	0,5
	X_5	$-X'_5$	X''_5	$-X'''_5$	$-X_6$	X'_6	$-X''_6$	X'''_6	α

Продолжение табл. 31

3-й пролет

α	X_7	X'_7	X''_7	X'''_7	X_8	X'_8	X''_8	X'''_8	
0	0	1,641	—19,57	57,55	0	—3,873	—21,72	330,7	1
0,05	0,0588	0,7353	—16,64	60,44	—0,2139	—4,547	— 5,373	319,3	0,95
0,1	0,076	—0,0189	—13,47	66,58	—0,4414	—4,429	9,792	283,1	0,9
0,15	0,0596	—0,6067	— 9,987	72,71	—0,6451	—3,609	22,54	223	0,85
0,2	0,0184	—1,013	— 6,248	76,25	—0,7931	—2,234	31,76	143,3	0,8
0,25	—0,0384	—1,23	— 2,434	75,46	—0,8626	—0,5045	36,66	51,42	0,75
0,3	—0,1014	—1,26	1,21	69,37	—0,8414	1,353	36,86	— 43,16	0,7
0,35	—0,1615	—1,117	4,412	57,87	—0,729	3,105	32,47	—130,3	0,65
0,4	—0,2107	—0,83	6,916	41,55	—0,5363	4,534	24,11	—200,6	0,6
0,45	—0,2428	—0,44	8,508	21,66	—0,2839	5,467	12,83	—246,1	0,55
0,5	—0,2538	0	9,05	0	0	5,791	0	—261,9	0,5
	X_7	$-X'_7$	X''_7	$-X'''_7$	$-X_8$	X'_8	$-X''_8$	X'''_8	α

Продолжение табл. 31

3-й пролет

α	X_9	X'_9	X''_9	X'''_9	X_{10}	X'_{10}	X''_{10}	X'''_{10}	
0	0	—3,282	30,89	— 50,45	0	0,5995	47,5	—400,3	1
0,05	—0,1265	—1,803	28,2	— 60,25	0,081	2,475	24,57	—394,6	0,95
0,1	—0,1828	—0,4773	24,65	— 82,87	0,2311	3,368	8,386	—368,2	0,9
0,15	—0,1777	0,6406	19,85	—109	0,4025	3,347	— 8,772	—313,1	0,85
0,2	—0,1233	1,487	13,83	—130,7	0,5528	2,549	—22,45	—229,6	0,8
0,25	—0,0344	2,009	6,954	—142,2	0,6479	1,182	—31,37	—124,3	0,75
0,3	0,0716	2,179	— 0,1535	—139,6	0,6658	—0,4942	—34,71	—9,028	0,7
0,35	0,1775	2,002	— 6,755	—121,9	0,5981	—2,194	—32,34	102	0,65
0,4	0,2668	1,524	—12,11	— 90,3	0,4507	—3,642	—24,83	194,1	0,6
0,45	0,3262	0,8219	—15,61	— 48,05	0,2419	—4,612	—13,46	254,9	0,55
0,5	0,347	0	—16,82	0	0	—4,953	0	276,2	0,5
	X_9	$-X'_9$	X''_9	$-X'''_9$	$-X_{10}$	X'_{10}	$-X''_{10}$	X'''_{10}	α

II. Балки с защемленными концами

Двухпролетная балка

Таблица 32

1-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''	
0	0	0	21,69	—85,22	0	0	31,64	—147	1
0,05	0,0253	0,9778	17,43	—85,12	0,0364	1,398	24,29	146,7	0,95
0,1	0,0942	1,743	13,18	—84,45	0,1337	2,43	16,99	—144,7	0,9
0,15	0,1961	2,297	8,999	—82,75	0,2734	3,101	9,872	—139,7	0,85
0,2	0,3205	2,644	4,931	—79,7	0,4379	3,423	3,092	—130,8	0,8
0,25	0,4572	2,793	1,055	—75,08	0,6103	3,419	— 3,138	—117,7	0,75
0,3	0,5967	2,755	— 2,549	—68,81	0,7749	3,122	— 8,606	—100,3	0,7
0,35	0,7298	2,544	— 5,799	—60,92	0,9183	2,575	—13,11	— 79,08	0,65
0,4	0,8486	2,182	— 8,616	—51,52	1,029	1,83	—16,46	— 54,63	0,6
0,45	0,9459	1,691	—10,93	—40,82	1,099	0,9499	—18,53	— 27,91	0,55
0,5	1,016	1,099	—12,68	—29,13	1,123	0	—19,23	0	0,5
0,55	1,055	0,4332	—13,83	—16,79	1,099	—0,9499	—18,53	27,91	0,45
0,6	1,059	—0,274	—14,36	— 4,193	1,029	—1,83	—16,46	54,63	0,4
0,65	1,027	—0,9919	—14,25	8,241	0,9183	—2,575	—13,11	79,08	0,35
0,7	0,9598	—1,689	—13,54	20,09	0,7749	—3,122	— 8,606	100,3	0,3
0,75	0,8589	—2,337	—12,26	30,93	0,6103	—3,419	— 3,138	117,7	0,25
0,8	0,7274	—2,907	—10,47	40,39	0,4379	—3,423	3,092	130,8	0,2
0,85	0,638	—3,376	— 8,251	48,12	0,2734	—3,101	9,872	139,7	0,15
0,9	0,3918	—3,726	— 5,693	53,86	0,1337	—2,43	16,99	144,7	0,1
0,95	0,1995	—3,942	— 2,902	57,38	0,0364	—1,398	24,29	146,7	0,05
1	0	—4,015	0	58,52	0	0	31,64	147	0
	$-X_1$	X_1'	$-X_1''$	X_1'''	X_2	$-X_2'$	X_2''	$-X_2'''$	α

2-й пролет

Продолжение табл. 32

1-й пролет

α	X_3	X'_3	X''_3	X'''_3	X_4	X'_4	X''_4	X'''_4	
0	0	0	70,66	—499,5	0	0	87,22	—685,5	1
0,05	0,0779	2,909	45,73	—496,2	0,0947	3,505	53,03	—679,3	0,95
0,1	0,2702	4,582	21,34	—475,3	0,3222	5,319	19,84	—641,1	0,9
0,15	0,5163	5,072	— 1,327	—426,4	0,6	5,54	—10,25	—553,5	0,85
0,2	0,7597	4,503	—20,78	—346,5	0,8533	4,389	—34,65	—414,4	0,8
0,25	0,9522	3,073	—35,51	—238,9	1,022	2,21	—51	—234,4	0,75
0,3	1,057	1,05	—44,35	—112,4	1,064	—0,5507	—57,74	— 33,8	0,7
0,35	1,053	—1,252	—46,64	20,49	0,9652	—3,397	—54,47	161,5	0,65
0,4	0,9328	—3,505	—42,43	145,6	0,7315	—5,846	—42,13	324,8	0,6
0,45	0,7081	—5,399	—32,45	249	0,394	—7,495	—22,91	433,1	0,55
0,5	0,4032	—6,677	—18,09	319	0	—8,076	0	471	0,5
0,55	0,0536	—7,166	— 1,235	347,8	—0,394	—7,495	22,91	433,1	0,45
0,6	—0,2989	—6,795	15,95	332,3	—0,7315	—5,846	42,13	324,8	0,4
0,65	—0,6120	—5,602	31,29	274,8	—0,9652	—3,397	54,47	161,5	0,35
0,7	—0,8477	—3,729	42,85	182,7	—1,064	—0,5507	57,74	— 33,8	0,3
0,75	—0,9774	—1,404	49,18	67,58	—1,022	2,21	51	—234,4	0,25
0,8	—0,9853	1,088	49,46	— 56,23	—0,8533	4,389	34,65	—414,4	0,2
0,85	—0,8709	3,44	43,67	—173,3	—0,6	5,54	10,25	—553,5	0,15
0,9	—0,6484	5,364	32,49	—269,2	—0,3222	5,319	—19,84	—641,1	0,1
0,95	—0,3456	6,622	17,31	—331,9	—0,0947	3,505	—53,03	—679,3	0,05
1	0	7,059	— 0,0136	—353,5	0	0	—87,22	—685,5	0
	$-X_3$	X'_3	$-X''_3$	X'''_3	X_4	$-X'_4$	X''_4	$-X'''_4$	α

2-й пролет

Таблица 33

Трехпролетная балка

1-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''	
0	0	0	11,35	—41,57	0	0	25,07	—106,3	1
0,05	0,0133	0,5153	9,269	—41,54	0,0291	1,121	19,76	—106,1	0,95
0,1	0,0498	0,9269	7,197	—41,3	0,1076	1,976	14,47	—105,1	0,9
0,15	0,1042	1,235	5,145	—40,69	0,2223	2,569	9,28	—102,3	0,85
0,2	0,1716	1,442	3,136	—39,59	0,3603	2,907	4,28	— 97,33	0,8
0,25	0,2468	1,55	1,196	—37,92	0,509	3,003	— 0,4117	— 89,92	0,75
0,3	0,325	1,563	—0,6461	—39,79	0,6568	2,874	— 4,67	— 79,97	0,7
0,35	0,4017	1,488	—2,358	—32,73	0,793	2,545	— 8,368	— 67,58	0,65
0,4	0,4725	1,33	—3,909	—29,23	0,9085	2,048	—11,39	— 53,03	0,6
0,45	0,5335	1,1	—5,272	—25,2	0,9956	1,419	—13,64	— 36,74	0,55
0,5	0,5814	0,8066	—6,422	—20,73	1,049	0,6978	—15,05	— 19,26	0,5
0,55	0,6133	0,4616	—7,34	—15,94	1,065	—0,071	—15,56	— 1,174	0,45
0,6	0,6269	0,0767	—8,013	—10,97	1,042	—0,8428	—15,16	16,85	0,4
0,65	0,6205	—0,3355	—8,436	— 5,968	0,981	—1,573	—13,88	34,15	0,35
0,7	0,5931	—0,7627	—8,612	— 1,101	0,8858	—2,217	—11,77	50,12	0,3
0,75	0,5442	—1,193	—8,551	3,461	0,7614	—2,737	— 8,905	64,21	0,25
0,8	0,474	—1,614	—8,274	7,546	0,6148	—3,097	— 5,39	75,97	0,2
0,85	0,3831	—2,017	—7,808	10,99	0,4548	—3,268	— 1,351	85,11	0,15
0,9	0,306	—2,392	—7,189	13,62	0,2916	—3,226	3,075	91,47	0,1
0,95	0,1444	—2,734	—6,461	15,3	0,1361	—2,956	7,75	95,1	0,05
1	0	—3,038	—5,677	15,94	0	—2,449	12,54	96,16	0
	X_1	$-X_1'$	X_1''	$-X_1'''$	$-X_2$	X_2'	$-X_2''$	X_2'''	α

3-й пролет

Продолжение табл. 33

1-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	
0	0	0	25,83	—120,1	0	0	40,99	—274,6	1
0,05	0,0297	1,142	19,83	—119,8	0,0455	1,706	27,28	—273	0,95
0,1	0,1091	1,984	13,88	—118,2	0,1592	2,732	13,83	—263,1	0,9
0,15	0,2232	2,532	8,06	—114,1	0,3078	3,103	1,199	—239,6	0,85
0,2	0,3576	2,795	2,525	—106,8	0,4596	2,878	— 9,874	—200,7	0,8
0,25	0,4983	2,792	— 2,563	— 96,1	0,5873	2,154	—18,63	—147,4	0,75
0,3	0,6327	2,549	— 7,027	— 81,92	0,6689	1,064	—24,43	— 83,38	0,7
0,35	0,7498	2,102	—10,7	— 64,57	0,6902	—0,2327	—26,88	— 14,04	0,65
0,4	0,8403	1,494	—13,44	— 44,61	0,6451	—1,565	—25,86	54,1	0,6
0,45	0,8974	0,7756	—15,13	— 22,79	0,5359	—2,764	—21,6	114,4	0,55
0,5	0,9169	0	—15,7	0	0,3734	—3,681	—14,65	160,8	0,5
0,55	0,8974	—0,7756	—15,13	22,79	0,1746	—4,198	— 5,832	188,7	0,45
0,6	0,8403	—1,494	—13,44	44,61	—0,0386	—4,249	3,867	195,6	0,4
0,65	0,7498	—2,102	—10,7	64,57	—0,2421	—3,815	13,38	181,2	0,35
0,7	0,6327	—2,549	— 7,027	81,92	—0,4125	—2,932	21,67	147,7	0,3
0,75	0,4983	—2,792	— 2,563	96,1	—0,5292	—1,682	27,9	99,54	0,25
0,8	0,3576	—2,795	2,525	106,8	—0,5767	—0,1858	31,48	42,95	0,2
0,85	0,2232	—2,532	8,06	114,1	—0,546	1,418	32,18	— 14,54	0,15
0,9	0,1091	—1,984	13,88	118,2	—0,4355	2,987	30,15	— 64,88	0,1
0,95	0,0297	—1,142	19,83	119,8	—0,25	4,396	25,94	—100,2	0,05
1	0	0	25,83	120,1	0	5,56	20,5	—113,5	0
	X_3	$-X_3'$	X_3''	$-X_3'''$	$-X_4$	X_4'	$-X_4''$	X_4'''	α

3-й пролет

Продолжение табл. 33

1-й пролет

α	X_5	X'_5	X''_5	X'''_5	X_6	X'_6	X''_6	X'''_6	
0	0	0	75,83	—568,8	0	0	71,21	—559,7	1
0,05	0,0829	3,081	47,44	—564,3	0,0773	2,862	43,29	—554,6	0,95
0,1	0,2846	4,756	19,79	—536,4	0,2631	4,342	16,19	—523,4	0,9
0,15	0,5362	5,098	— 5,575	—471,8	0,4898	4,523	— 8,368	—451,9	0,85
0,2	0,7748	4,269	—26,72	—367,7	0,6967	3,583	—28,29	—338,3	0,8
0,25	0,9479	2,528	—41,79	—230,5	0,8341	1,804	—41,64	—191,4	0,75
0,3	1,018	0,2141	—49,44	— 73,79	0,8691	—0,4497	—47,14	— 27,62	0,7
0,35	0,9662	—2,284	—49,14	84,53	0,788	—2,773	—44,48	131,8	0,65
0,4	0,7932	—4,574	—41,29	225	0,5972	—4,773	—34,4	265,2	0,6
0,45	0,5182	—6,309	—27,24	329,6	0,3216	—6,119	—18,71	353,6	0,55
0,5	0,1759	—7,23	— 9,151	385,1	0	—6,593	0	384,6	0,5
0,55	—0,1889	—7,201	10,32	384	—0,3216	—6,119	18,71	353,6	0,45
0,6	—0,5282	—6,223	28,31	326,7	—0,5972	—4,773	34,4	265,2	0,4
0,65	—0,7977	—4,439	42,18	220,9	—0,788	—2,773	44,48	131,8	0,35
0,7	—0,963	—2,11	49,82	80,32	—0,8691	—0,4497	47,14	— 27,62	0,3
0,75	—1,005	0,4165	49,93	— 76,77	—0,8341	1,804	41,64	—191,4	0,25
0,8	—0,9246	2,752	42,19	—230,7	—0,6967	3,583	28,29	—338,3	0,2
0,85	—0,7398	4,515	27,22	—363,3	—0,4898	4,523	8,368	—451,9	0,15
0,9	—0,4881	5,377	6,454	—460,8	—0,2631	4,342	—16,19	—523,4	0,1
0,95	—0,2212	5,096	—18,16	—516,6	—0,0773	2,862	—43,29	—554,6	0,05
1	0	3,532	—44,54	—409,9	0	0	—71,21	—559,7	0
	X_5	$-X'_5$	X''_5	$-X'''_5$	$-X_6$	X'_6	$-X''_6$	X'''_6	α

3-й пролет

Продолжение табл. 33

2-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''	
0	0	—3,038	—5,677	57,48	0	—2,449	12,54	—10,16	1
0,05	—0,1577	—3,25	—2,813	56,86	—0,1069	—1,834	12,02	—11,12	0,95
0,1	—0,3226	—3,32	—0,0123	54,94	—0,1839	—1,248	11,41	—13,64	0,9
0,15	—0,4874	—3,253	2,659	51 7	—0,2323	—0,6965	10,64	—17,23	0,85
0,2	—0,6457	—3,057	5,136	47,16	—0,2542	—0,1879	9,672	—21,42	0,8
0,25	—0,7912	—2,744	7,355	41,41	—0,252	0,2671	8,493	—25,77	0,75
0,3	—0,9184	—2,327	9,259	34,56	—0,2286	0,6577	7,099	—29,9	0,7
0,35	—1,022	—1,824	10,79	26,78	—0,1875	0,9738	5,512	—33,47	0,65
0,4	—1,1	—1,254	11,92	18,28	—0,1326	1,206	3,766	—36,22	0,6
0,45	—1,147	—0,639	12,61	9,271	—0,0684	1,348	1,908	—37,94	0,55
0,5	—1,163	0	12,85	0	0	1,396	0	—38,52	0,5
	X_1	$-X_1'$	X_1''	$-X_1'''$	$-X_2$	X_2'	$-X_2''$	X_2'''	α

Продолжение табл. 33

2-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	
0	0	0	25,84	—120,1	0	5,56	20,56	—388	1
0,05	0,0297	1,142	19,83	—119,8	0,2955	6,104	1,345	—373,3	0,95
0,1	0,1091	1,984	13,88	—118,1	0,5948	5,72	—16,32	—328,1	0,9
0,15	0,2232	2,532	8,067	—114	0,8539	4,522	—30,98	—254,2	0,85
0,2	0,3575	2,795	2,525	—106,8	1,036	2,693	—41,36	—157,8	0,8
0,25	0,4982	2,792	— 2,562	— 96,09	1,117	0,4728	—46,54	— 47,91	0,75
0,3	0,6327	2,549	— 7,026	— 81,92	1,082	—1,867	—46,11	64,33	0,7
0,35	0,7497	2,102	—10,76	— 64,57	0,9327	—4,048	—40,26	167,2	0,65
0,4	0,8402	1,494	—13,44	— 44,61	0,6839	—5,815	—29,73	249,7	0,6
0,45	0,8973	0,7756	—15,13	— 22,79	0,3615	—6,964	—15,77	303,1	0,55
0,5	0,9168	0	—15,7	0	0	—7,362	0	321,6	0,5
	X_3	$-X_3'$	X_3''	$-X_3'''$	$-X_4$	X_4'	$-X_4''$	X_4'''	α

Продолжение табл. 33

2-й пролет

α	X_5	X'_5	X''_5	X'''_5	X_6	X'_6	X''_6	X'''_6	
0	0	3,532	—44,54	135,2	0	0	—71,22	559,8	1
0,05	0,1237	1,476	—37,58	146,4	—0,0773	—2,862	—43,29	554,7	0,95
0,1	0,1537	—0,2109	—29,71	169,4	—0,2631	—4,343	—16,19	523,5	0,9
0,15	0,1097	—1,475	—20,67	191	—0,4899	—4,524	8,373	452	0,85
0,2	0,0141	—2,264	—10,8	201,3	—0,6968	—3,583	28,3	338,4	0,8
0,25	—0,1083	—2,553	— 0,8329	194,1	—0,8343	—1,804	41,65	191,4	0,75
0,3	—0,233	—2,361	8,277	167	—0,8692	0,45	47,15	27,57	0,7
0,35	—0,3375	—1,756	15,57	121,6	—0,7881	2,774	44,48	—131,9	0,65
0,4	—0,4036	—0,8496	20,2	62,44	—0,5973	4,774	34,4	—265,2	0,6
0,45	—0,4199	—0,2114	21,69	—3,289	—0,3216	6,12	18,76	—353,7	0,55
0,5	—0,3826	0	19,99	0	0	6,594	0	—384,6	0,5
	X_5	$-X'_5$	X''_5	$-X'''_5$	$-X_6$	X'_6	$-X''_6$	X'''_6	α

Таблица 34

Четырехпролетная балка

1-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''	
0	0	0	7,259	—25,86	0	0	18,85	—75,99	1
0,05	0	0,3306	5,966	—25,84	0,0219	0,8477	15,06	—75,89	0,95
0,1	0,0319	0,5966	4,677	—25,71	0,0816	1,506	11,27	—75,22	0,9
0,15	0,0671	0,7984	3,398	—25,39	0,1694	1,976	7,55	—73,56	0,85
0,2	0,1107	0,9368	2,142	—24,8	0,2761	2,263	3,941	—70,57	0,8
0,25	0,1597	1,013	0,923	—23,91	0,3927	2,373	0,5181	—66,07	0,75
0,3	0,2111	1,03	—0,243	—22,68	0,5107	2,319	— 2,64	—59,98	0,7
0,35	0,2618	0,9901	—1,339	—21,11	0,6221	2,115	— 5,453	—52,33	0,65
0,4	0,3092	0,8975	—2,349	—19,22	0,72	1,781	— 7,849	—43,26	0,6
0,45	0,3508	0,757	—3,256	—17,02	0,7984	1,338	— 9,76	—33	0,55
0,5	0,3842	0,5739	—4,047	—14,58	0,8525	0,8136	—11,13	—21,84	0,5
0,55	0,4075	0,3544	—4,711	—11,95	0,8788	0,2344	—11,94	—10,14	0,45
0,6	0,4191	0,105	—5,24	— 9,207	0,8755	—0,37	—12,14	1,718	0,4
0,65	0,4177	—0,1673	—5,631	— 6,426	0,8419	—0,9703	—11,77	13,33	0,35
0,7	0,4021	—0,4557	—5,884	— 3,7	0,779	—1,537	—10,82	24,29	0,3
0,75	0,3719	—0,7535	—6,004	— 1,126	0,6892	—2,044	— 9,356	34,21	0,25
0,8	0,3267	—1,054	—6,001	1,198	0,5761	—2,465	— 7,425	42,76	0,2
0,85	0,2666	—1,352	—5,89	3,173	0,4444	—2,78	— 5,107	49,66	0,15
0,9	0,1917	—1,642	—5,691	4,7	0,3001	—2,971	— 2,49	54,69	0,1
0,95	0,1026	—1,92	—5,429	5,683	0,1496	—3,026	0,3284	57,73	0,05
1	0	—2,184	—5,133	6,046	0	—2,936	3,248	58,64	0
	$-X_1$	X_1'	$-X_1''$	X_1'''	X_2	$-X_2'$	X_2''	$-X_2'''$	α

4-й пролет

Продолжение табл. 34

1-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	
0	0	0	25,04	—110	0	0	22,37	—104	1
0,05	0,029	1,114	19,54	—109,8	0,0258	0,9887	17,18	—103,8	0,95
0,1	0,1068	1,955	14,08	—108,5	0,0945	1,718	12,02	—102,3	0,9
0,15	0,2199	2,524	8,727	—105,3	0,1933	2,193	6,981	— 98,77	0,85
0,2	0,3549	2,831	3,593	— 99,62	0,3097	2,42	2,186	— 92,5	0,8
0,25	0,4989	2,889	— 1,188	— 91,15	0,4315	2,418	— 2,219	— 83,22	0,75
0,3	0,6401	2,721	— 5,474	— 79,84	0,548	2,208	— 6,086	— 70,94	0,7
0,35	0,7677	2,353	— 9,127	— 65,84	0,6493	1,821	— 9,268	— 55,92	0,65
0,4	0,8726	1,821	—12,02	— 49,52	0,7277	1,294	—11,64	— 38,63	0,6
0,45	0,9477	1,165	—14,05	— 31,41	0,7771	0,6717	—13,1	— 19,73	0,55
0,5	0,9878	0,4313	—15,14	— 12,15	0,794	0	—13,6	0	0,5
0,55	0,9903	—0,3327	—15,26	7,537	0,7771	—0,6717	—13,1	19,73	0,45
0,6	0,9548	—1,078	—14,39	26,9	0,7277	—1,294	—11,64	38,63	0,4
0,65	0,8836	—1,756	—12,58	45,19	0,6493	—1,821	— 9,268	55,92	0,35
0,7	0,7811	—2,322	— 9,903	61,75	0,548	—2,208	— 6,086	70,94	0,3
0,75	0,654	—2,734	— 6,448	76,02	0,4315	—2,418	— 2,219	83,22	0,25
0,8	0,5109	—2,956	— 2,346	87,6	0,3097	—2,42	2,186	92,5	0,2
0,85	0,362	—2,96	2,263	96,26	0,1933	—2,193	6,981	98,77	0,15
0,9	0,2189	—2,724	7,231	102	0,0945	—1,718	12,02	102,3	0,1
0,95	0,0939	—2,233	12,42	105,1	0,0258	—0,9887	17,18	103,8	0,05
1	0	—1,48	17,7	106	0	0	22,37	104	0
	$-X_3$	X_3'	$-X_3''$	X_3'''	X_4	$-X_4'$	X_4''	$-X_4'''$	α

4-й пролет

1-й пролет

α	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''	X_6	X_6'	X_6''	X_6'''	
0	0	0	27,89	—182,2	0	0	49,97	—353,2	1
0,05	0,031	1,167	18,79	—181,2	0,0551	2,057	32,34	—350,9	0,95
0,1	0,1091	1,882	9,856	—175	0,1911	3,24	15,09	—336,1	0,9
0,15	0,2119	2,161	1,432	—160,4	0,3651	3,587	— 0,9384	—301,6	0,85
0,2	0,3185	2,041	— 6,019	—136	0,5373	3,184	—14,69	—245	0,8
0,25	0,4104	1,583	—12,01	—102,4	0,6734	2,173	—25,11	—168,9	0,75
0,3	0,4726	0,8709	—16,14	— 61,59	0,7476	0,7427	—31,36	— 79,49	0,7
0,35	0,4949	0	—18,11	— 16,86	0,7444	—0,8856	—32,99	14,49	0,65
0,4	0,4724	—0,902	—17,82	27,88	0,6596	—2,479	—30,01	103	0,6
0,45	0,4059	—1,741	—15,39	68,51	0,5007	—3,818	—22,95	176,1	0,55
0,5	0,3012	—2,41	—11,1	101,2	0,2851	—4,722	—12,79	225,6	0,5
0,55	0,1691	—2,828	— 5,449	122,9	0,0379	—5,068	— 0,8737	246	0,45
0,6	0,0235	—2,942	0,9766	131,8	—0,2114	—4,805	11,28	235	0,4
0,65	—0,1196	—2,729	7,511	127,3	—0,4328	—3,962	22,13	194,3	0,35
0,7	—0,244	—2,2	13,5	110,4	—0,5995	—2,637	30,31	129,2	0,3
0,75	—0,335	—1,397	18,39	83,58	—0,6912	—0,993	34,78	47,79	0,25
0,8	—0,3802	—0,3863	21,76	50,37	—0,6968	0,7693	34,98	— 39,76	0,2
0,85	—0,3715	0,7498	23,4	15,44	—0,6159	2,433	30,88	—122,6	0,15
0,9	—0,3046	1,925	23,36	— 16,04	—0,4586	3,794	22,98	—190,3	0,1
0,95	—0,1796	3,062	21,94	— 38,7	—0,2444	4,683	12,24	—234,7	0,05
1	0	4,106	19,72	— 47,45	0	4,992	0	—249,8	0
	$-X_5$	X_5'	$-X_5''$	X_5'''	X_6	$-X_6'$	X_6''	$-X_6'''$	α

4-й пролет

Продолжение табл. 34

1-й пролет

α	X_7	X_7'	X_7''	X_7'''	X_8	X_8'	X_8''	X_8'''	
0	0	0	72,38	—549,9	0	0	61,67	—484,7	1
0,05	0,079	2,932	44,95	—545,4	0,0669	2,478	37,49	—480,3	0,95
0,1	0,2705	4,506	18,24	—517,4	0,2278	3,761	14,02	—453,3	0,9
0,15	0,5081	4,795	— 6,181	—453	0,4242	3,917	— 7,247	—391,4	0,85
0,2	0,7312	3,959	—26,4	—349,5	0,6033	3,103	—24,5	—293	0,8
0,25	0,8895	2,256	—40,58	—213,7	0,7224	1,562	—36,06	—165,7	0,75
0,3	0,9479	0,0224	—47,46	— 59,58	0,7527	—0,3894	—40,83	— 23,9	0,7
0,35	0,8893	—2,36	—46,54	94,63	0,6824	—2,402	—38,51	114,2	0,65
0,4	0,7158	—4,509	—38,32	229,4	0,5172	—4,133	—29,79	229,6	0,6
0,45	0,4478	—6,093	—24,22	327,1	0,2785	—5,299	—16,2	306,2	0,55
0,5	0,12	—6,87	— 6,444	374,8	0	—5,71	0	333,1	0,5
0,55	—0,2236	—6,721	12,32	366,1	—0,2785	—5,299	16,2	306,2	0,45
0,6	—0,5368	—5,669	29,24	302,2	—0,5172	—4,133	29,79	229,6	0,4
0,65	—0,7779	—3,87	41,76	191,8	—0,6824	—2,402	38,51	114,2	0,35
0,7	—0,916	—1,599	47,89	49,59	—0,7527	—0,3894	40,83	— 23,9	0,3
0,75	—0,9358	0,7931	46,5	—105,8	—0,7224	1,562	36,06	—165,7	0,25
0,8	—0,841	2,922	37,42	—254,8	—0,6033	3,103	24,5	—293	0,2
0,85	—0,6542	4,419	21,42	—380,1	—0,4242	3,917	7,247	—391,4	0,15
0,9	—0,4149	4,974	0,02	—469,2	—0,2278	3,761	—14,02	—453,3	0,1
0,95	—0,1762	4,364	—24,82	—517,9	—0,0669	2,478	—37,49	—480,3	0,05
1		2,467	—51,17	—531,4	0	0	—61,67	—484,7	0
	$-X_7$	X_7'	$-X_7''$	X_7'''	X_8	$-X_8'$	X_8''	$-X_8'''$	α

4-й пролет

Продолжение табл. 34

2-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''	
0	0	—2,184	—5,133	42,6	0	—2,936	3,248	32,55	1
0,05	—0,1147	—2,387	—3,009	42,23	—0,142	—2,733	4,859	31,58	0,95
0,1	—0,2369	—2,486	—0,9235	41,06	—0,272	—2,452	6,375	28,77	0,9
0,15	—0,3615	—2,481	1,084	39,08	—0,3861	—2,099	7,709	24,31	0,85
0,2	—0,4834	—2,379	2,971	36,28	—0,4809	—1,686	8,783	18,45	0,8
0,25	—0,5979	—2,187	4,698	32,69	—0,5538	—1,226	9,535	11,45	0,75
0,3	—0,7007	—1,913	6,228	28,38	—0,603	—0,7383	9,914	3,62	0,7
0,35	—0,788	—1,568	7,526	23,43	—0,6275	—0,2415	9,888	— 4,703	0,65
0,4	—0,8565	—1,164	8,562	17,97	—0,6274	0,2435	9,441	—13,19	0,6
0,45	—0,9037	—0,7162	9,316	12,12	—0,6037	0,6955	8,572	—21,51	0,55
0,5	—0,9277	—0,2378	9,771	6,043	—0,5587	1,094	7,297	—29,37	0,5
0,55	—0,9272	0,2557	9,919	— 0,1185	—0,4956	1,419	5,647	—36,5	0,45
0,6	—0,9021	0,749	9,761	— 6,195	—0,4183	1,653	3,664	—42,67	0,4
0,65	—0,8526	1,227	9,304	—12,02	—0,332	1,781	1,399	—47,74	0,35
0,7	—0,7799	1,675	8,565	—17,45	—0,2422	1,789	— 1,09	—51,61	0,3
0,75	—0,6859	2,079	7,568	—22,32	—0,1552	1,669	— 3,742	—54,28	0,25
0,8	—0,5729	2,428	6,345	—26,5	—0,0776	1,413	— 6,499	—55,84	0,2
0,85	—0,4442	2,71	4,932	—29,88	—0,0162	1,018	— 9,31	—56,45	0,15
0,9	—0,3031	2,918	3,372	—32,36	0,0218	0,4821	—12,13	—56,38	0,1
0,95	—0,1537	3,046	1,712	—33,88	0,0295	—0,1948	—14,94	—56	0,05
1	0	3,089	0	—34,4	0	—1,012	—17,73	—87,2	0
	$-X_1$	X_1'	$-X_1''$	X_1'''	X_2	$-X_2'$	X_2''	$-X_2'''$	α

3-й пролет

2-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	
0	0	—1,48	17,7	—49,54	0	0	22,37	—104	1
0,05	—0,0529	—0,6573	15,21	—50,13	0,0257	0,9885	17,18	—103,7	0,95
0,1	—0,0678	0,0401	12,68	—51,38	0,0945	1,718	12,02	—102,3	0,9
0,15	—0,051	0,6092	10,08	—52,61	0,1933	2,192	6,981	— 98,77	0,85
0,2	0	1,047	7,426	—53,24	0,3096	2,42	2,187	— 92,5	0,8
0,25	0,0514	1,352	4,768	—52,85	0,4315	2,418	— 2,219	— 83,22	0,75
0,3	0,1238	1,525	2,163	—51,12	0,5479	2,207	— 6,085	— 70,94	0,7
0,35	0,2017	1,57	—0,3187	—47,9	0,6493	1,82	— 9,267	— 55,92	0,65
0,4	0,2788	1,496	—2,601	—43,12	0,7276	1,294	—11,64	— 38,63	0,6
0,45	0,3495	1,315	—4,606	—36,87	0,7771	0,6717	—13,1	— 19,74	0,55
0,5	0,4088	1,041	—6,266	—29,33	0,794	0	—13,6	0	0,5
0,55	0,4524	0,6947	—7,522	—20,75	0,7771	—0,6717	—13,1	19,74	0,45
0,6	0,4774	0,2964	—8,33	—11,5	0,7276	—1,294	—11,64	38,63	0,4
0,65	0,4816	—0,1304	—8,667	— 1,947	0,6493	—1,82	— 9,267	55,92	0,35
0,7	0,4643	—0,5622	—8,527	7,472	0,5479	—2,207	— 6,085	70,94	0,3
0,75	0,4257	—0,9755	—7,929	16,34	0,4315	—2,418	— 2,219	83,22	0,25
0,8	0,3674	—1,348	—6,91	24,23	0,3096	—2,42	2,187	92,5	0,2
0,85	0,2919	—1,66	—5,528	30,8	0,1933	—2,192	6,981	98,77	0,15
0,9	0,2026	—1,896	—3,857	35,73	0,0945	—1,718	12,02	102,3	0,1
0,95	0,1038	—2,043	—1,986	38,78	0,0257	—0,9885	17,18	103,7	0,05
1	0	—2,093	—0,0127	39,93	0	0	22,37	104	0
	$-X_3$	X_3'	$-X_3''$	X_3'''	X_4	$-X_4'$	X_4''	$-X_4'''$	α

3-й пролет

Продолжение табл. 34

2-й пролет

α	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''	X_6	X_6'	X_6''	X_6'''	
0	0	4,106	19,72	—305	0	4,992	0	—250	1
0,05	0,2236	4,713	4,637	—294,9	0,2444	4,683	—12,25	—234,6	0,95
0,1	0,459	4,586	— 9,417	—263,6	0,4585	3,792	—22,98	—190,2	0,9
0,15	0,6713	3,806	—21,37	—211,4	0,6158	2,432	—30,88	—122,4	0,85
0,2	0,8308	2,5	—30,27	—142	0,6966	0,768	—34,98	— 39,67	0,8
0,25	0,9154	0,8423	—35,38	— 61,22	0,6909	—0,9938	—34,77	47,86	0,75
0,3	0,9125	—0,968	—36,33	23,35	0,5992	—2,637	—30,29	129,2	0,7
0,35	0,8196	—2,721	—33,12	103,5	0,4325	—3,961	—22,12	194,3	0,65
0,4	0,6447	—4,218	—26,18	171,3	0,2111	—4,804	—11,27	235	0,6
0,45	0,4049	—5,29	—16,31	219,8	—0,0381	—5,066	0,8826	245,9	0,55
0,5	0,1248	—5,818	— 4,601	244,4	—0,2852	—4,72	12,8	225,5	0,5
0,55	—0,1667	—5,741	7,68	242,4	—0,5008	—3,816	22,95	176	0,45
0,6	—0,4392	—5,063	19,2	214,3	—0,6596	—2,477	30	102,9	0,4
0,65	—0,6641	—3,854	28,73	163,2	—0,7442	—0,8841	32,98	14,41	0,35
0,7	—0,8178	—2,24	35,24	94,64	—0,7474	0,7437	31,35	— 79,54	0,3
0,75	—0,8842	—0,3924	38,02	15,83	—0,6731	2,174	25,1	—169	0,25
0,8	—0,8564	1,495	36,79	— 64,76	—0,537	3,184	14,68	—245	0,2
0,85	—0,7374	3,221	31,66	—138,6	—0,3649	3,586	0,9264	—301,5	0,15
0,9	—0,54	4,605	23,18	—197,7	—0,1909	3,239	—15,1	—336,1	0,1
0,95	—0,2851	5,498	12,24	—235,9	—0,055	2,056	—32,35	—350,8	0,05
1	0	5,807	0	—249,2	0	0	—49,97	—353,4	0
	$-X_5$	X_5'	$-X_5''$	X_5'''	X_6	$-X_6'$	X_6''	$-X_6'''$	α

3-й пролет

Продолжение табл. 34

2-й пролет

α	X_7	X'_7	X''_7	X'''_7	X_8	X'_8	X''_8	X'''_8	
0	0	2,467	—51,17	246,3	0	0	—61,68	484,8	1
0,05	0,0645	0,2178	—38,73	253,2	—0,067	—2,479	—37,49	480,4	0,95
0,1	0,0323	—1,398	—25,82	262,4	—0,2279	—3,761	—14,02	453,3	0,9
0,15	—0,0643	—2,36	—12,68	260,4	—0,4243	—3,918	7,251	391,4	0,85
0,2	—0,1928	—2,675	— 0,0986	239,2	—0,6034	—3,103	24,51	293	0,8
0,25	—0,3218	—2,396	10,88	196,3	—0,7225	—1,562	36,07	165,7	0,75
0,3	—0,4243	—1,631	19,21	133,8	—0,7528	0,3898	40,83	23,88	0,7
0,35	—0,4794	—0,534	24,04	58,03	—0,6825	2,402	38,52	—114,2	0,65
0,4	—0,4753	0,707	24,94	— 22,1	—0,5172	4,134	29,79	—229,7	0,6
0,45	—0,4096	1,894	21,93	— 96,41	—0,2785	5,3	16,2	—306,3	0,55
0,5	—0,2898	2,843	15,56	—155,2	0	5,711	0	—333,1	0,5
0,55	—0,1317	3,41	6,804	—190,5	0,2785	5,3	—16,2	—306,3	0,45
0,6	0,0432	3,506	— 3,03	—198	0,5172	4,134	—29,79	—229,7	0,4
0,65	0,2106	3,113	—12,51	—176,6	0,6825	2,402	—38,52	—114,2	0,35
0,7	0,3472	2,284	—20,26	—129,7	0,7528	0,3898	—40,83	23,88	0,3
0,75	0,4336	1,134	—25,17	— 64,06	0,7225	—1,562	—36,07	165,7	0,25
0,8	0,4579	—0,173	—26,51	10,88	0,6034	—3,103	—24,51	293	0,2
0,85	0,4168	—1,454	—24,1	84,41	0,4243	—3,918	— 7,251	391,4	0,15
0,9	0,316	—2,526	—18,27	146	0,2279	—3,761	14,02	453,3	0,1
0,95	0,1702	—3,238	— 9,849	186,9	0,067	—2,479	37,49	480,4	0,05
1	0	—3,488	— 0,0301	201,6	0	0	61,68	484,8	0
	$-X_7$	X'_7	$-X''_7$	X'''_7	X_8	$-X'_8$	X''_8	$-X'''_8$	α

3-й пролет

Таблица 35

Пятипролетная балка

1-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''	
0	0	0	5,158	—18,12	0	0	10,73	—40,35	1
0,05	0	0,2352	4,252	—18,11	0,0125	0,4858	8,71	—40,31	0,95
0,1	0,0227	0,4251	3,348	—18,03	0,0469	0,871	6,699	—40,04	0,9
0,15	0,0478	0,5701	2,451	—17,82	0,098	1,156	4,712	—39,38	0,85
0,2	0,079	0,6704	1,568	—17,44	0,1608	1,343	2,771	—38,17	0,8
0,25	0,1141	0,7273	0,7096	—16,87	0,2307	1,435	0,9054	—36,34	0,75
0,3	0,151	0,742	—0,1146	—16,07	0,3028	1,435	—0,8516	—33,84	0,7
0,35	0,1876	0,7166	—0,8937	—15,05	0,3728	1,352	—2,467	—30,67	0,65
0,4	0,2221	0,6536	—1,617	—13,82	0,4367	1,192	—3,908	—26,86	0,6
0,45	0,2524	0,556	—2,273	—12,4	0,4908	0,9643	—5,144	—22,51	0,55
0,5	0,2771	0,4275	—2,854	—10,81	0,5322	0,681	—6,151	—17,7	0,5
0,55	0,2947	0,272	—3,352	— 9,089	0,5582	0,3534	—6,909	—12,57	0,45
0,6	0,304	0,0938	—3,761	— 7,289	0,567	0	—7,406	— 7,286	0,4
0,65	0,3038	—0,1025	—4,08	— 5,462	0,5574	—0,3826	—7,637	— 2	0,35
0,7	0,2935	—0,3125	—4,308	— 3,665	0,5287	—0,7648	—7,609	3,107	0,3
0,75	0,2724	—0,5318	—4,448	— 1,963	0,481	—1,139	—7,333	7,855	0,25
0,8	0,2402	—0,756	—4,507	— 0,42	0,415	—1,494	—6,832	12,07	0,2
0,85	0,1968	—0,9813	—4,494	0,8962	0,3321	—1,819	—6,137	15,58	0,15
0,9	0,1421	—1,204	—4,422	1,918	0,2338	—2,106	—5,288	18,25	0,1
0,95	0,0764	—1,423	—4,308	2,579	0,1223	—2,346	—4,329	19,93	0,05
1	0	—1,635	—4,171	2,743	0	—2,538	—3,313	20,48	0
	X_1	$-X_1'$	X_1''	$-X_1'''$	$-X_2$	X_2'	$-X_2''$	X_2'''	α

5-й пролет

Продолжение табл. 35

1-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	
0	0	0	17,09	—70,34	0	0	24,14	—108	1
0,05	0,0199	0,7667	13,58	—70,24	0,0279	1,072	18,74	—107,8	0,95
0,1	0,0737	1,358	10,08	—69,58	0,1027	1,875	13,38	—106,5	0,9
0,15	0,1528	1,776	6,637	—67,92	0,2109	2,412	8,13	—103,1	0,85
0,2	0,2484	2,024	3,31	—64,95	0,3396	2,692	3,109	— 97,27	0,8
0,25	0,3524	2,11	0,1675	—60,48	0,476	2,729	— 1,549	— 88,53	0,75
0,3	0,4569	2,045	— 2,713	—54,46	0,6088	2,545	— 5,696	— 76,89	0,7
0,35	0,5547	1,844	— 5,253	—46,92	0,7274	2,17	— 9,192	— 62,53	0,65
0,4	0,6394	1,526	— 7,382	—38,02	0,8232	1,639	—11,91	— 45,86	0,6
0,45	0,7057	1,114	— 9,037	—27,99	0,8894	0,9937	—13,75	— 27,45	0,55
0,5	0,7496	0,6314	—10,17	—17,14	0,9214	0,28	—14,64	— 7,979	0,5
0,55	0,7682	0,1063	—10,74	— 5,817	0,917	—0,4535	—14,54	11,79	0,45
0,6	0,76	—0,4332	—10,75	5,583	0,8765	—1,158	—13,47	31,08	0,4
0,65	0,7251	—0,959	—10,19	16,66	0,8026	—1,785	—11,45	49,13	0,35
0,7	0,6648	—1,443	— 9,094	27,03	0,7001	—2,289	— 8,585	65,28	0,3
0,75	0,5819	—1,86	— 7,505	36,33	0,5764	—2,631	— 4,967	78,99	0,25
0,8	0,4803	—2,187	— 5,484	44,25	0,4403	—2,775	— 0,7327	89,9	0,2
0,85	0,365	—2,403	— 3,107	50,55	0,3026	—2,696	3,974	97,86	0,15
0,9	0,2421	—2,493	— 0,459	55,07	0,1748	—2,373	9,005	102,9	0,1
0,95	0,1181	—2,446	2,369	57,75	0,0696	—1,792	14,23	105,5	0,05
1	0	—2,254	5,285	58,56	0	—0,9487	19,53	106,2	0
	X_3	$-X_3'$	X_3''	$-X_3'''$	$-X_4$	X_4'	$-X_4''$	X_4'''	α

5-й пролет

1-й пролет

α	X_5	X'_5	X''_5	X'''_5	X_6	X'_6	X''_6	X'''_6	
0	0	0	20,01	—93	0	0	20,57	—132,6	1
0,05	0,023	0,8843	15,36	—92,81	0,0229	0,8629	13,95	—131,9	0,95
0,1	0,0845	1,537	10,75	—91,53	0,0808	1,397	7,446	—127,5	0,9
0,15	0,1729	1,961	6,244	—88,35	0,1573	1,614	1,298	—117,3	0,85
0,2	0,277	2,165	1,956	—82,74	0,2372	1,538	— 4,164	—100	0,8
0,25	0,386	2,163	— 1,985	—74,44	0,307	1,214	— 8,596	— 76,23	0,75
0,3	0,4901	1,975	— 5,443	—63,46	0,3555	0,7008	—11,7	— 47,19	0,7
0,35	0,5808	1,628	— 8,29	—50,02	0,3751	0,07	—13,27	— 15,15	0,65
0,4	0,6509	1,158	—10,41	—34,55	0,3619	—0,5985	—13,21	17,19	0,6
0,45	0,6951	0,6008	—11,72	—17,65	0,316	—1,225	—11,59	46,93	0,55
0,5	0,7102	0	—12,16	0	0,2414	—1,735	— 8,605	71,39	0,5
0,55	0,6951	—0,6008	—11,72	17,65	0,1455	—2,068	— 4,576	88,35	0,45
0,6	0,6509	—1,158	—10,41	34,55	0,0382	—2,182	0,0814	96,4	0,4
0,65	0,5808	—1,628	— 8,29	50,02	—0,0686	—2,057	4,906	95,03	0,35
0,7	0,4901	—1,975	— 5,443	63,46	—0,1634	—1,696	9,436	84,79	0,3
0,75	0,386	—2,163	— 1,985	74,44	—0,2347	—1,125	13,26	67,24	0,25
0,8	0,277	—2,165	1,956	82,74	—0,2731	—0,3867	16,08	44,86	0,2
0,85	0,1729	—1,961	6,244	88,35	—0,2715	0,4632	17,72	20,83	0,15
0,9	0,0845	—1,537	10,75	91,53	—0,2259	1,366	18,2	— 1,159	0,1
0,95	0,023	—0,8843	15,36	92,81	—0,135	2,267	17,7	— 17,2	0,05
1	0	0	20,01	93	0	3,127	16,64	— 23,11	0
	X_5	$-X'_5$	X''_5	$-X'''_5$	$-X_6$	X'_6	$-X''_6$	X'''_6	α

5-й пролет

Продолжение табл. 35

1-й пролет

α	X_7	X'_7	X''_7	X'''_7	X_8	X'_8	X''_8	X'''_8	
0	0	0	36,97	—253	0	0	52,56	—383,3	1
0,05	0,0409	1,532	24,34	—251,5	0,0577	2,149	33,43	—380,4	0,95
0,1	0,1427	2,438	11,96	—241,8	0,1991	3,351	14,76	—363	0,9
0,15	0,2746	2,742	0,3798	—219	0,3777	3,649	— 2,481	—322,5	0,85
0,2	0,4078	2,501	— 9,689	—181,3	0,5506	3,147	—17,06	—256,7	0,8
0,25	0,5172	1,81	—17,52	—130,1	0,6817	2,007	—27,79	—169,1	0,75
0,3	0,5834	0,7957	—22,54	— 69,12	0,7443	0,4481	—33,74	— 67,56	0,7
0,35	0,5939	—0,3903	—24,36	— 3,812	0,7237	—1,279	—34,49	37,04	0,65
0,4	0,5442	—1,586	—22,95	59,34	0,6179	—2,916	—30,18	132,7	0,6
0,45	0,4377	—2,636	—18,58	113,8	0,4376	—4,226	—21,56	207,9	0,55
0,5	0,2853	—3,404	—11,81	154	0,2039	—5,022	— 9,888	253,6	0,5
0,55	0,1037	—3,791	— 3,489	175,5	—0,054	—5,191	3,213	264,3	0,45
0,6	—0,0864	—3,744	5,398	176,5	—0,3041	—4,707	15,94	238,8	0,4
0,65	—0,2633	—3,259	13,82	157	—0,5148	—3,632	26,54	180,4	0,35
0,7	—0,4058	—2,386	20,8	119,8	—0,6599	—2,113	33,55	96,58	0,3
0,75	—0,4969	—1,216	25,58	69,61	—0,7221	—0,3546	35,95	— 1,958	0,25
0,8	—0,5245	0,1267	27,65	12,81	—0,6954	1,398	33,31	—103	0,2
0,85	—0,4837	1,502	26,87	— 43,28	—0,5865	2,895	25,81	—194,3	0,15
0,9	—0,3762	2,77	23,46	— 91,16	—0,414	3,911	14,22	—265,5	0,1
0,95	—0,2105	3,813	18,01	—123,9	—0,2064	4,268	— 0,2825	—309,5	0,05
1	0	4,552	11,42	—135,6	0	3,858	—16,24	—324	0
	X_7	$-X'_7$	X''_7	$-X'''_7$	$-X_8$	X'_8	$-X''_8$	X'''_8	α

5-й пролет

Продолжение табл. 35

1-й пролет

α	X_9	X'_9	X''_9	X'''_9	X_{10}	X'_{10}	X''_{10}	X'''_{10}	
0	0	0	68,68	—527,6	0	0	55,16	—433,5	1
0,05	0,0748	2,775	42,35	—523,2	0,0599	2,216	33,53	—429,6	0,95
0,1	0,2557	4,247	16,76	—495,5	0,2037	3,363	12,54	—405,4	0,9
0,15	0,4789	4,488	— 6,59	—431,9	0,3794	3,503	— 6,482	—350	0,85
0,2	0,6866	3,657	—25,79	—330,1	0,5396	2,775	—21,91	—262,1	0,8
0,25	0,831	2,008	—39,07	—197,1	0,646	1,398	—32,25	—148,2	0,75
0,3	0,8792	—0,1304	—45,21	— 47,01	0,6732	—0,3483	—36,51	— 21,37	0,7
0,35	0,816	—2,387	—43,79	101,8	0,6103	—2,148	—34,45	102,1	0,65
0,4	0,6447	—4,392	—35,37	230,1	0,4626	—3,697	—26,64	205,4	0,6
0,45	0,3862	—5,831	—21,41	320,7	0,2491	—4,739	—14,49	273,9	0,55
0,5	0,0749	—6,478	— 4,135	361,2	0	—5,107	0	297,9	0,5
0,55	—0,2465	—6,234	13,78	346,2	—0,2491	—4,739	14,49	273,9	0,45
0,6	—0,534	—5,135	29,58	277,6	—0,4626	—3,697	26,64	205,4	0,4
0,65	—0,7486	—3,352	40,8	164,9	—0,6103	—2,148	34,45	102,1	0,35
0,7	—0,8624	—1,162	45,59	23,41	—0,6732	—0,3483	36,51	— 21,37	0,3
0,75	—0,8639	1,083	42,98	—128,1	—0,646	1,398	32,25	—148,2	0,25
0,8	—0,7594	3,011	32,93	—270,5	—0,5396	2,775	21,91	—262,1	0,2
0,85	—0,574	4,267	16,36	—387,2	—0,3794	3,503	6,482	—350	0,15
0,9	—0,3487	4,564	— 5,176	—467,6	—0,2037	3,363	—12,54	—405,4	0,1
0,95	—0,137	3,699	—29,75	—509,1	—0,0599	2,216	—33,53	—429,6	0,05
1	0	1,569	—55,56	—519,5	0	0	—55,16	—433,5	0
	X_9	$-X'_9$	X''_9	$-X'''_9$	$-X_{10}$	X'_{10}	$-X''_{10}$	X'''_{10}	α

5-й пролет

Продолжение табл. 35

2-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''	
0	0	—1,635	—4,171	32,13	0	—2,538	—3,313	45,43	1
0,05	—0,0862	—1,803	—2,569	31,88	—0,13	—2,646	—1,052	44,83	0,95
0,1	—0,179	—1,892	—0,9927	31,08	—0,2627	—2,644	1,149	42,99	0,9
0,15	—0,2742	—1,904	0,5297	29,72	—0,3926	—2,534	3,226	39,91	0,85
0,2	—0,3681	—1,841	1,97	27,8	—0,5144	—2,324	5,12	35,65	0,8
0,25	—0,4571	—1,708	3,3	25,32	—0,6235	—2,026	6,773	30,3	0,75
0,3	—0,5378	—1,513	4,493	22,33	—0,7157	—1,652	8,135	24,01	0,7
0,35	—0,6074	—1,262	5,526	18,89	—0,7877	—1,218	9,161	16,94	0,65
0,4	—0,6632	—0,9633	6,376	15,07	—0,8368	—0,7416	9,82	9,31	0,6
0,45	—0,7031	—0,6273	7,028	10,97	—0,8615	—0,2423	10,09	1,329	0,55
0,5	—0,7255	—0,264	7,47	6,674	—0,861	0,2602	9,951	— 6,765	0,5
0,55	—0,7293	0,1159	7,694	2,303	—0,8357	0,746	9,412	—14,74	0,45
0,6	—0,7138	0,5017	7,7	— 2,034	—0,787	1,195	8,483	—22,36	0,4
0,65	—0,6792	0,8824	7,493	— 6,22	—0,7172	1,588	7,185	—29,43	0,35
0,7	—0,6258	1,248	7,083	—10,14	—0,6294	1,908	5,552	—35,76	0,3
0,75	—0,5548	1,588	6,485	—13,69	—0,5279	2,138	3,624	—41,19	0,25
0,8	—0,4676	1,893	5,722	—16,76	—0,4173	2,266	1,45	—45,62	0,2
0,85	—0,3662	2,157	4,818	—19,27	—0,3031	2,28	—0,9203	—49	0,15
0,9	—0,2527	2,373	3,805	—21,13	—0,1913	2,172	—3,433	—51,32	0,1
0,95	—0,1297	2,537	2,717	—22,28	—0,0881	1,935	—6,035	—52,62	0,05
1	0	2,644	1,59	—22,62	0	1,568	—8,679	—53,02	0
	X_1	$-X_1'$	X_1''	$-X_1'''$	$-X_2$	X_2'	$-X_2''$	X_2'''	α

4-й пролет

2-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	
0	0	—2,254	5,285	15,12	0	—0,9487	19,52	—68,51	1
0,05	—0,1057	—1,971	6,028	14,31	—0,0244	—0,0581	16,09	—68,85	0,95
0,1	—0,1965	—1,653	6,692	12,04	0	0,6602	12,64	—69,27	0,9
0,15	—0,2705	—1,304	7,212	8,548	0,0386	1,206	9,179	—68,99	0,85
0,2	—0,3266	—0,935	7,531	4,083	0,109	1,579	5,761	—67,44	0,8
0,25	—0,3639	—0,5555	7,608	— 1,076	0,1937	1,784	2,462	—64,22	0,75
0,3	—0,3822	—0,1787	7,416	— 6,649	0,2847	1,828	—0,6288	—59,09	0,7
0,35	—0,382	0,1813	6,941	—12,36	0,3741	1,726	—3,415	—52,02	0,65
0,4	—0,3646	0,5106	6,183	—17,93	0,4551	1,494	—5,801	—43,12	0,6
0,45	—0,3317	0,7951	5,154	—23,13	0,5217	1,154	—7,7	—32,62	0,55
0,5	—0,286	1,022	3,88	—27,74	0,5691	0,733	—9,041	—20,89	0,5
0,55	—0,2307	1,18	2,393	—31,59	0,5941	0,2599	—9,775	— 8,376	0,45
0,6	—0,1694	1,258	0,7356	—34,57	0,5948	—0,2339	—9,874	4,411	0,4
0,65	—0,1063	1,251	—1,048	—36,62	0,5709	—0,7168	—9,338	16,95	0,35
0,7	—0,0458	1,152	—2,911	—37,75	0,5238	—1,158	—8,192	28,72	0,3
0,75	0	0,9594	—4,808	—38,02	0,4563	—1,527	—6,487	39,26	0,25
0,8	0,0485	0,6716	—6,701	—37,59	0,3727	—1,798	—4,294	48,17	0,2
0,85	0,0729	0,2899	—8,559	—36,66	0,2785	—1,949	—1,702	55,16	0,15
0,9	0,0759	—0,1833	—10,36	—35,52	0,1801	—1,963	1,188	60,08	0,1
0,95	0,0531	—0,7455	—12,11	—34,53	0,0847	—1,828	4,271	62,91	0,05
1	0	—1,394	—13,83	—34,16	0	—1,535	7,446	63,93	0
	X_3	$-X_3'$	X_3''	$-X_3'''$	$-X_4$	X_4'	$-X_4''$	X_4'''	α

4-й пролет

Продолжение табл. 35

2-й пролет

α	X_5	X'_5	X''_5	X'''_5	X_6	X'_6	X''_6	X'''_6	
0	0	0	20,01	—92,99	0	3,126	16,64	—237,8	1
0,05	0,023	0,8842	15,36	—92,8	0,1721	3,663	4,868	—230,5	0,95
0,1	0,0845	1,537	10,75	—91,52	0,3566	3,626	— 6,151	—207,5	0,9
0,15	0,1729	1,961	6,244	—88,34	0,5261	3,074	—15,62	—168,9	0,85
0,2	0,2769	2,165	1,956	—82,73	0,657	2,102	—22,82	—117	0,8
0,25	0,3859	2,162	— 1,985	—74,44	0,7314	0,8394	—27,17	— 56,08	0,75
0,3	0,4901	1,974	— 5,443	—63,45	0,7386	—0,5623	—28,36	8,441	0,7
0,35	0,5807	1,628	— 8,289	—50,02	0,6755	—1,943	—26,36	70,52	0,65
0,4	0,6508	1,158	—10,41	—34,55	0,5472	—3,15	—21,45	124,2	0,6
0,45	0,6951	0,6008	—11,72	—17,65	0,3657	—4,049	—14,17	164,3	0,55
0,5	0,7102	0	—12,16	0	0,1491	—4,541	— 5,316	186,9	0,5
0,55	0,6951	—0,6008	—11,72	17,65	—0,0806	—4,57	4,186	189,9	0,45
0,6	0,6508	—1,158	—10,41	34,55	—0,2999	—4,128	13,34	173,1	0,4
0,65	0,5807	—1,628	— 8,289	50,02	—0,4862	—3,257	21,2	138,6	0,35
0,7	0,4901	—1,974	— 5,443	63,45	—0,6199	—2,043	26,96	89,98	0,3
0,75	0,3859	—2,162	— 1,985	74,44	—0,6868	—0,6057	30,05	32,56	0,25
0,8	0,2769	—2,165	1,956	82,73	—0,6792	0,9125	30,18	— 27,47	0,2
0,85	0,1729	—1,961	6,244	88,34	—0,5967	2,363	27,37	— 83,55	0,15
0,9	0,0845	—1,537	10,75	91,52	—0,4463	3,606	21,99	—129,4	0,1
0,95	0,023	—0,8842	15,36	92,8	—0,2414	4,53	14,69	—159,7	0,05
1	0	0	20,01	92,99	0	5,058	6,348	—170,2	0
	X_5	$-X'_5$	X''_5	$-X'''_5$	$-X_6$	X'_6	$-X''_6$	X'''_6	α

4-й пролет

Продолжение табл. 35

2-й пролет

α	X_7	X'_7	X''_7	X'''_7	X_8	X'_8	X''_8	X'''_8	
0	0	4,552	11,42	—292,1	0	3,858	—16,24	— 87,04	1
0,05	0,2357	4,76	— 2,974	—279,2	0,1708	2,94	—20,38	— 74,44	0,95
0,1	0,4644	4,276	—16,07	—240,5	0,2909	1,84	—23,34	— 41,21	0,9
0,15	0,6533	3,195	—26,64	—178,5	0,3531	0,6403	—24,28	4,939	0,85
0,2	0,7765	1,672	—33,64	— 99,19	0,3552	—0,5464	—22,77	55,62	0,8
0,25	0,8164	—0,0978	—36,4	— 10,77	0,3008	—1,595	—18,78	102,5	0,75
0,3	0,7662	—1,894	—34,72	77,11	0,1999	—2,39	—12,7	138,3	0,7
0,35	0,6302	—3,5	—28,87	154,6	0,0676	—2,842	— 5,229	157,5	0,65
0,4	0,4226	—4,724	—19,58	213,1	—0,0776	—2,905	2,713	156,8	0,6
0,45	0,1666	—5,419	— 7,985	245,8	—0,2163	—2,58	10,11	135,9	0,55
0,5	—0,109	—5,507	4,515	249,1	—0,33	—1,919	16	96,92	0,5
0,55	—0,3736	—4,978	16,42	222,3	—0,4042	—1,018	19,58	44,59	0,45
0,6	—0,5976	—3,899	26,29	168,3	—0,43	0	20,34	— 14,87	0,4
0,65	—0,7566	—2,403	32,9	93,17	—0,4056	0,965	18,09	— 74,4	0,35
0,7	—0,8341	—0,678	35,39	4,886	—0,3366	1,754	13,01	—127,2	0,3
0,75	—0,8242	1,059	33,32	— 87,12	—0,2355	2,227	5,572	—167,9	0,25
0,8	—0,7319	2,579	26,77	—173,4	—0,1209	2,283	— 3,519	—193,1	0,2
0,85	—0,5734	3,669	16,22	—245,7	—0,0152	1,86	—13,47	—202,4	0,15
0,9	—0,3751	4,149	2,532	—298,1	0,0566	0,9342	—23,55	—199	0,1
0,95	—0,1709	3,888	—13,21	—328	0,0698	—0,488	—33,26	—189,2	0,05
1	0	2,812	—29,92	—337	0	—2,384	—42,53	—183	0
	X_7	$-X'_7$	X''_7	$-X'''_7$	$-X_8$	X'_8	$-X''_8$	X'''_8	α

4-й пролет

Продолжение табл. 35

2-й пролет

α	X_9	X'_9	X''_9	X'''_9	X_{10}	X'_{10}	X''_{10}	X'''_{10}	
0	0	1,569	—55,56	334,2	0	0	—55,16	433,6	1
0,05	0,0159	—0,7906	—38,78	337,3	—0,0599	—2,217	—33,53	429,6	0,95
0,1	—0,065	—2,308	—21,94	334,2	—0,2038	—3,364	—12,54	405,4	0,9
0,15	—0,2009	—2,994	— 5,694	311,6	—0,3795	—3,504	6,485	350,1	0,85
0,2	—0,3515	—2,906	8,794	263,5	—0,5397	—2,775	21,92	262,1	0,8
0,25	—0.4807	—2,165	20,24	190,7	—0,6461	—1,397	32,26	148,2	0,75
0,3	—0,5601	—0,9513	27,56	99,47	—0,6732	0,3486	36,52	21,36	0,7
0,35	—0,5717	0,5096	30,05	0,1224	—0,6104	2,149	34,45	—102,1	0,65
0,4	—0,5091	1,972	27,64	— 94,8	—0,4626	3,698	26,64	—205,4	0,6
0,45	—0,3784	3,201	20,86	—172,8	—0,2491	4,74	14,49	—273,9	0,55
0,5	—0,1962	4,003	10,83	—223,2	0	5,107	0	—297,9	0,5
0,55	0,0126	4,255	— 0,8905	—239,4	0,2491	4,74	—14,49	—273,9	0,45
0,6	0,2193	3,916	—12,5	—219	0,4626	3,698	—26,64	—205,4	0,4
0,65	0,3952	3,037	—22,22	—165	0,6104	2,149	—34,45	—102,1	0,35
0,7	0,5162	1,75	—28,56	— 84,88	0,6732	0,3486	—36,52	21,36	0,3
0,75	0,5667	0,255	—30,46	10,24	0,6461	—1,397	—32,26	148,2	0,25
0,8	0,5421	—1,214	—27,5	107,6	0,5397	—2,775	—21,92	262,1	0,2
0,85	0,4498	—2,417	—19,87	194,6	0,3795	—3,504	— 6,485	350,1	0,15
0,9	0,3085	—3,137	— 8,382	261	0,2038	—3,364	12,54	405,4	0,1
0,95	0,1469	—3,21	5,776	300,6	0,0599	—2,217	33,53	429,6	0,05
1	0	—2,538	21,22	312,9	0	0	55,16	433,6	0
	X_9	$-X'_9$	X''_9	$-X'''_9$	$-X_{10}$	X'_{10}	$-X''_{10}$	X'''_{10}	α

4-й пролет

Продолжение табл. 35

3-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''	
0	0	2,644	1,59	—33,85	0	1,568	—8,679	12,28	1
0,05	0,1335	2,682	—0,0959	—33,45	0,0677	1,149	—8,06	12,61	0,95
0,1	0,2667	2,636	—1,742	—32,25	0,1154	0,7621	—7,409	13,49	0,9
0,15	0,3957	2,509	—3,308	—30,26	0,1445	0,409	—6,705	14,72	0,85
0,2	0,5164	2,307	—4,755	—27,52	0,1569	0,0927	—5,934	16,15	0,8
0,25	0,6252	2,036	—6,048	—24,09	0,1545	—0,1831	—5,09	17,62	0,75
0,3	0,719	1,705	—7,154	—20,05	0,1393	—0,415	—4,174	19	0,7
0,35	0,7949	1,324	—8,044	—15,5	0,1138	—0,5994	—3,193	20,2	0,65
0,4	0,8507	0,9046	—8,697	—10,56	0,0802	—0,7334	—2,159	21,11	0,6
0,45	0,8849	0,4587	—9,095	— 5,341	0,0413	—0,8146	—1,087	21,69	0,55
0,5	0,8964	0	—9,229	0	0	—0,8418	0	21,88	0,5
	X_1	$-X_1'$	X_1''	$-X_1'''$	$-X_2$	X_2'	$-X_2''$	X_2'''	α

Продолжение табл. 35

3-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''	
0	0	—1,394	—13,83	79,69	0	—1,535	7,446	— 2,832	1
0,05	—0,0853	—1,986	— 9,851	79,09	—0,0674	—1,166	7,292	— 3,588	0,95
0,1	—0,1952	—2,38	— 5,941	77,03	—0,1167	—0,8067	7,067	— 5,595	0,9
0,15	—0,3201	—2,582	— 2,178	73,2	—0,1484	—0,4615	6,718	— 8,468	0,85
0,2	—0,4504	—2,602	1,347	67,47	—0,1632	—0,1376	6,212	—11,84	0,8
0,25	—0,5775	—2,453	4,537	59,82	—0,1626	0,1566	5,532	—15,36	0,75
0,3	—0,6933	—2,155	7,299	50,35	—0,1482	0,4126	4,679	—18,71	0,7
0,35	—0,7909	—1,732	9,546	39,28	—0,1221	0,6219	3,668	—21,63	0,65
0,4	—0,8648	—1,211	11,21	26,93	—0,0869	0,7772	2,527	—23,88	0,6
0,45	—0,9109	—0,6221	12,22	13,69	—0,0454	0,873	1,293	—25,31	0,55
0,5	—0,9265	0	12,57	0	0	0	—0,0112	—25,81	0,5
	X_3	$-X_3'$	X_3''	$-X_3'''$	$-X_4$	X_4'	$-X_4''$	X_4'''	α

Продолжение табл. 35

3-й пролет

α	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''	X_6	X_6'	X_6''	X_6'''	
0	0	0	20,01	—92,99	0	5,058	6,348	—252,2	1
0,05	0,023	0,884	15,36	—92,79	0,2556	5,062	— 6,078	—241,1	0,95
0,1	0,0845	1,537	10,75	—91,51	0,4962	4,469	—17,4	—208,1	0,9
0,15	0,1729	1,961	6,244	—88,34	0,6938	3,359	—26,57	—155,9	0,85
0,2	0,2769	2,165	1,956	—82,73	0,8256	1,862	—32,75	— 89,22	0,8
0,25	0,3859	2,162	— 1,984	—74,43	0,8763	0,1437	—35,36	— 14,49	0,75
0,3	0,49	1,974	— 5,442	—63,45	0,8394	—1,611	—34,18	60,85	0,7
0,35	0,5807	1,628	— 8,288	—50,01	0,7178	—3,214	—29,39	129,2	0,65
0,4	0,6508	1,158	—10,41	—34,55	0,5233	—4,498	—21,49	183,7	0,6
0,45	0,695	0,6008	—11,72	—17,65	0,2756	—5,326	—11,34	218,8	0,55
0,5	0,7101	0	—12,16	0	0	—5,612	0	230,9	0,5
	X_5	$-X_5'$	X_5''	$-X_5'''$	$-X_6$	X_6'	$-X_6''$	X_6'''	α

Продолжение табл. 35

3-й пролет

α	X_7	X'_7	X''_7	X'''_7	X_8	X'_8	X''_8	X'''_8	
0	0	2,811	—29,92	72,59	0	—2,384	—42,53	437	1
0,05	0,1047	1,408	—26,18	78,99	—0,1632	—3,966	—20,84	426,4	0,95
0,1	0,144	0,2032	—21,89	93,23	—0,3789	—4,488	— 0,3432	388,5	0,9
0,15	0,1289	—0,768	—16,83	108,7	—0,5959	—4,045	17,48	319,5	0,85
0,2	0,0718	—1,468	—11,09	120	—0,7701	—2,809	31,13	222,4	0,8
0,25	—0,0129	—1,87	— 4,962	123,5	—0,8676	—1,022	39,39	105,7	0,75
0,3	—0,1101	—1,966	1,088	116,7	—0,8679	1,028	41,59	— 17,91	0,7
0,35	—0,2046	—1,772	6,534	99,34	—0,7655	3,035	37,72	—134,3	0,65
0,4	—0,2831	—1,331	10,86	72,31	—0,5699	4,711	28,51	—229,5	0,6
0,45	—0,3348	—0,7115	13,64	38,03	—0,3039	5,82	15,32	—291,9	0,55
0,5	—0,3527	0	14,6	0	0	6,207	0	—313,5	0,5
	X_7	$-X'_7$	X''_7	$-X'''_7$	$-X_8$	X'_8	$-X''_8$	X'''_8	α

Продолжение табл. 35

3-й пролет

α	X_9	X'_9	X''_9	X'''_9	X_{10}	X'_{10}	X''_{10}	X'''_{10}	
0	0	—2,538	21,22	— 13,17	0	0	55,17	—433,7	1
0,05	—0,1006	—1,496	20,4	— 22,66	0,0599	2,218	33,54	—429,7	0,95
0,1	—0,1505	—0,5126	18,74	— 45,19	0,2039	3,365	12,54	—405,5	0,9
0,15	—0,1538	0,3565	15,8	— 72,25	0,3796	3,505	— 6,49	—350,2	0,85
0,2	—0,1178	1,046	11,56	— 96,34	0,5398	2,776	—21,92	—262,1	0,8
0,25	—0,0532	1,496	6,318	—111,5	0,6463	1,397	—32,27	—148,2	0,75
0,3	0,027	1,67	0,6229	—113,9	0,6734	—0,349	—36,53	— 21,34	0,7
0,35	0,109	1,562	— 4,836	—102	0,6105	—2,149	—34,46	102,2	0,65
0,4	0,179	1,202	— 9,357	— 76,76	0,4627	—3,699	—26,65	205,5	0,6
0,45	0,226	0,6521	—12,34	— 41,19	0,2491	—4,742	—14,49	274	0,55
0,5	0,2425	0	—13,38	0	0	—5,109	0	298	0,5
	X_9	$-X'_9$	X''_9	$-X'''_9$	$-X_{10}$	X'_{10}	$-X''_{10}$	X'''_{10}	α

Таблица 36

III. Балки с левым свободно опертым и правым защемленным концами

Двухпролетная балка
1-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	4,368	0	—48,63	0	2,959	0	—56,37
0,05	0,2173	4,307	— 2,419	—47,91	0,1467	2,889	— 2,794	—54,9
0,1	0,4287	4,127	— 4,767	—45,76	0,2866	2,682	— 5,443	—50,59
0,15	0,6281	3,833	— 6,973	—42,25	0,4128	2,349	— 7,808	—43,62
0,2	0,8102	3,433	— 8,971	—37,48	0,5197	1,908	— 9,766	—34,33
0,25	0,9699	2,94	—10,7	—31,56	0,6022	1,381	—11,21	—23,16
0,3	1,103	2,368	—12,11	—24,68	0,6568	0,7968	—12,06	—10,62
0,35	1,206	1,735	—13,16	—17,01	0,6814	0,1861	—12,26	2,706
0,4	1,276	1,059	—13,8	— 8,765	0,6756	—0,4178	—11,78	16,22
0,45	1,311	0,3618	—14,03	0,1719	0,6403	—0,9813	—10,64	29,32
0,5	1,312	—0,3361	—13,82	8,541	0,5786	—1,471	— 8,87	41,45
0,55	1,278	—1,013	—13,17	17,14	0,4949	—1,859	— 6,523	52,14
0,6	1,211	—1,647	—12,11	25,41	0,3949	—2,116	— 3,687	60,98
0,65	1,114	—2,217	—10,64	33,13	0,2858	—2,221	— 0,4597	67,75
0,7	0,991	—2,705	— 8,808	40,13	0,1756	—2,157	3,051	72,32
0,75	0,8456	—3,092	6,645	46,22	0,0731	—1,913	6,737	74,77
0,8	0,6837	—3,364	— 4,202	51,3	—0,0124	—1,482	10,5	75,34
0,85	0,5113	—3,509	— 1,534	55,26	—0,0719	—0,8634	14,25	74,45
0,9	0,3351	—3,515	— 1,304	58,07	—0,0957	—0,0587	17,93	72,72
0,95	0,1622	—3,376	— 4,254	59,71	—0,0747	0,9277	21,52	70,95
1	0	—3,089	— 7,257	60,2	0	2,092	25,04	69,93

1-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''
0	0	8,211	0	—352,3	0	4,931	0	—284,8
0,05	0,4032	7,775	—17,3	—333,6	0,2406	4,58	—13,9	—264,5
0,1	0,7636	6,512	—32,77	—279,6	0,447	3,575	—25,82	—206,7
0,15	1,043	4,556	—44,77	—196	0,5895	2,059	—34,08	—119,6
0,2	1,211	2,114	—52,02	— 91,61	0,6479	0,2475	—37,5	— 15,59
0,25	1,25	—0,5545	—53,77	22,36	0,6137	—1,602	—35,61	90,45
0,3	1,156	—3,168	—49,83	133,8	0,4914	—3,229	—28,68	183,2
0,35	0,9392	—5,45	—40,63	230,8	0,2984	—4,402	—17,71	249,7
0,4	0,6211	—7,159	—27,16	303,1	0,0615	—4,959	— 4,307	280
0,45	0,2358	—8,118	—10,86	342,8	—0,1859	—4,825	9,605	269,6
0,5	—0,1764	—8,228	6,503	345,6	—0,4097	—4,024	21,99	219,6
0,55	—0,5726	—7,481	23,07	310,9	—0,5793	—2,682	31,01	136,5
0,6	—0,9116	—5,965	37,02	242,2	—0,6723	—1,003	35,27	31,43
0,65	—1,159	—3,848	46,84	146,4	—0,6783	0,7528	34,01	— 81,94
0,7	—1,29	—1,369	51,37	33,05	—0,6004	2,305	27,18	—189,2
0,75	—1,295	1,191	50,03	— 86,55	—0,4556	3,388	15,41	—277,6
0,8	—1,175	3,536	42,81	—200,8	—0,2731	3,783	— 0,1174	—338,4
0,85	—0,9493	5,382	30,23	—298,9	—0,0913	3,339	—17,91	—368,4
0,9	—0,6491	6,486	13,32	—372,7	0,0454	1,979	—36,5	—371,2
0,95	—0,3162	6,665	— 6,551	—417,1	0,0911	—0,3054	—54,77	—358,3
1	0	5,807	—27,88	—427	0	—3,486	—72,38	—340,9

Продолжение табл. 36

2-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	—3,089	7,257	8,538	0	2,092	25,04	—149,8
0,05	—0,1451	—2,715	7,676	8,047	0,1327	3,157	17,57	—148,6
0,1	—0,2711	—2,322	8,047	6,656	0,3094	3,851	10,23	—144,2
0,15	—0,3771	—1,912	8,329	4,496	0,5118	4,185	3,206	—136,1
0,2	—0,4622	—1,491	8,486	1,703	0,7223	4,18	— 3,311	—123,9
0,25	—0,5261	—1,066	8,491	— 1,584	0,9246	3,866	— 9,113	—107,5
0,3	—0,5688	—0,6449	8,322	— 5,225	1,104	3,284	—14	— 87,34
0,35	—0,5908	—0,2369	7,965	— 9,08	1,249	2,484	—17,79	— 63,92
0,4	—0,5929	0,1482	7,412	—13,01	1,35	1,525	—20,35	— 38,06
0,45	—0,5765	0,5009	6,664	—16,9	1,4	0,4713	—21,57	— 10,68
0,5	—0,5435	0,8115	5,725	—20,62	1,397	—0,609	—21,41	17,16
0,55	—0,4962	1,071	4,606	—24,07	1,34	—1,647	—19,87	44,36
0,6	—0,4375	1,269	3,324	—27,17	1,234	—2,574	—17	70
0,65	—0,3704	1,4	1,896	—29,86	1,086	—3,326	—12,91	93,08
0,7	—0,2987	1,457	0,3458	—32,07	0,9052	—3,847	— 7,746	112,9
0,75	—0,2261	1,433	—1,303	—33,81	0,7057	—4,086	— 1,685	128,9
0,8	—0,1567	1,325	—3,028	—35,08	0,502	—4,004	5,074	140,8
0,85	—0,095	1,13	—4,804	—35,91	0,3112	—3,57	12,33	148,9
0,9	—0,0453	0,8444	—6,612	—36,37	0,1512	—2,765	19,9	153,4
0,95	—0,0121	0,4682	—8,436	—36,55	0,041	—1,577	27,63	155,2
1	0	0	—10,26	—36,57	0	0	35,4	155,5

2-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''
0	0	5,807	—27,88	— 67,02	0	—3,486	—72,38	751,2
0,05	0,2541	4,332	—31,02	— 54,8	—0,2491	—6,17	—35,12	732,4
0,1	0,4309	2,723	—33,03	— 22,75	—0,5865	—7,033	0,0131	663,6
0,15	0,5255	1,061	—33,09	21,78	—0,9249	—6,25	30,27	537,5
0,2	0,5379	—0,5456	—30,77	71,19	—1,189	—4,133	52,91	360,5
0,25	0,4739	—1,975	—26,01	118,2	—1,323	—1,123	65,76	149,7
0,3	0,3453	—3,111	—19,1	156,2	—1,295	2,26	67,73	— 70,04
0,35	0,1693	—3,859	—10,63	180,1	—1,1	5,472	59,06	—271,2
0,4	—0,0331	—4,161	— 1,387	186,5	—0,7593	8,015	41,36	—427,4
0,45	—0,239	—4,001	7,701	173,9	—0,3163	9,504	17,43	—517,7
0,5	—0,4259	—3,409	15,7	143,2	0,1696	9,715	— 9,102	—530
0,55	—0,574	—2,463	21,76	96,93	0,6331	8,617	—34,24	—462,6
0,6	—0,6682	—1,277	25,21	39,48	1,012	6,378	—54,18	—324,5
0,65	—0,7	0	25,61	— 23,8	1,257	3,338	—65,81	—133,9
0,7	—0,6685	1,231	22,83	— 87,06	1,34	—0,0304	—67,11	84,16
0,75	—0,5805	2,239	17	—144,8	1,258	—3,189	—57,4	302,1
0,8	—0,4506	2,886	8,52	—192,3	1,034	—5,597	—37,33	494,1
0,85	—0,2998	3,056	— 2,017	—226,8	0,7187	—6,78	— 8,752	640,5
0,9	—0,1544	2,662	—13,93	—247,5	0,3827	—6,373	25,78	731,6
0,95	—0,0439	1,651	—26,57	—256,2	0,1118	—4,148	63,54	771,2
1,0	0	0	—39,43	—257,6	0	0	102,3	777,6

Таблица 37

Трехпролетная балка
1-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	3,474	0	—36	0	3,297	0	—48,08
0,05	0,1729	3,429	— 1,792	—35,52	0,1638	3,237	— 2,388	—47,1
0,1	0,3414	3,296	— 3,536	—34,09	0,3217	3,06	— 4,678	—44,21
0,15	0,501	3,076	— 5,186	—31,75	0,4679	2,772	— 6,778	—39,5
0,2	0,6478	2,779	— 6,697	—28,56	0,5973	2,387	— 8,601	—33,15
0,25	0,7778	2,41	— 8,028	—24,59	0,7052	1,918	—10,07	—25,38
0,3	0,8878	1,98	— 9,145	—19,97	0,7881	1,387	—11,12	—16,48
0,35	0,975	1,5	—10,01	—14,79	0,8432	0,8139	—11,7	— 6,753
0,4	1,037	1,127	—10,62	— 9,2	0,8692	0,2245	—11,79	3,456
0,45	1,073	0,443	—10,93	— 3,337	0,8658	—0,3561	—11,36	13,8
0,5	1,081	—0,1051	—10,95	2,648	0,8341	—0,9024	—10,41	23,93
0,55	1,062	—0,6468	—10,67	8,605	0,7765	—1,389	— 8,972	33,53
0,6	1,017	—1,167	—10,09	14,38	0,6966	—1,792	— 7,072	42,31
0,65	0,9461	—1,651	— 9,234	19,84	0,5991	—2,089	— 4,759	50,02
0,7	0,8527	—2,086	— 8,115	24,84	0,4898	—2,262	— 2,09	56,51
0,75	0,7388	—2,459	— 6,76	29,26	0,3753	—2,293	0,8696	61,65
0,8	0,6081	—2,759	— 5,201	33	0,263	—2,171	4,052	65,44
0,85	0,4643	—2,976	— 4,193	35,98	0,1609	—1,886	7,392	67,95
0,9	0,3119	—3,104	— 1,617	38,13	0,0772	—1,43	10,83	69,34
0,95	0,1555	—3,136	0,3258	39,43	0,0207	—0,802	14,31	69,89
1	0	—3,071	2,312	39,83	0	0	17,81	69,87

Продолжение табл. 37

1-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''
0	0	1,816	0	—36,95	0	6,969	0	—286,6
0,05	0,09	1,77	— 1,831	—35,94	0,3424	6,613	—14,08	—272
0,1	0,1755	1,635	— 3,561	—32,95	0,65	5,584	—26,74	—229,7
0,15	0,2521	1,417	— 5,095	—28,13	0,8913	3,985	—36,67	—164,1
0,2	0,3161	1,13	— 6,348	—21,74	1,042	1,98	—42,87	— 81,81
0,25	0,3642	0,7885	— 7,248	—14,08	1,086	—0,2284	—44,71	8,771
0,3	0,3943	0,412	— 7,741	— 5,543	1,019	—2,415	—42,01	98,4
0,35	0,4052	0,0217	— 7,794	3,455	0,8485	—4,358	—35,04	177,9
0,4	0,3966	—0,3598	— 7,395	12,48	0,5909	—5,86	—24,52	239,2
0,45	0,3697	—0,7104	— 6,553	21,1	0,2725	—6,768	—11,53	276
0,5	0,3265	—1,008	— 2,342	28,93	—0,0744	—6,993	2,602	284,4
0,55	0,2701	—1,234	— 3,679	35,64	—0,415	—6,513	16,42	263,6
0,6	0,2045	—1,371	— 1,757	40,98	—0,7149	—5,38	28,5	215,5
0,65	0,1347	—1,406	0,3935	44,78	—0,9441	—3,713	37,59	144,9
0,7	0,0658	—1,329	2,695	47,02	—1,08	—1,687	42,73	58,72
0,75	0	—1,135	5,071	47,78	—1,11	0,4844	43,35	— 34,49
0,8	—0,0456	—0,822	7,453	47,29	—1,033	2,57	39,31	—125,7
0,85	—0,0764	—0,3908	9,784	45,88	—0,8586	4,344	30,96	—206,2
0,9	—0,0828	0,1549	12,03	44,04	—0,6073	5,606	19	—268,5
0,95	—0,0591	0,8109	14,19	42,39	—0,3091	6,201	4,5	—307,4
1	0	1,573	16,29	41,53	0	6,034	—11,3	—317,6

Продолжение табл. 37

1-й пролет

α	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''	X_6	X_6'	X_6''	X_6'''
0	0	5,765	0	—288,7	0	2,993	0	—179
0,05	0,2822	5,407	—14,14	—270,9	0,1459	2,772	— 8,731	—165,8
0,1	0,5295	4,38	—26,53	—219,7	0,2703	2,142	—16,18	—128,3
0,15	0,7111	2,809	—35,66	—141,5	0,3548	1,194	—21,24	— 71,86
0,2	0,8045	0,8876	—40,39	— 45,86	0,3868	0,0697	—23,19	— 4,929
0,25	0,798	—1,147	—40,15	55,23	0,3615	—1,067	—21,72	62,61
0,3	0,692	—3,045	—34,99	149,2	0,2827	—2,049	—17,08	120,8
0,35	0,4996	—4,574	—25,55	224,4	0,1616	—2,734	— 9,951	160,9
0,4	0,2439	—5,548	—13,02	271,3	0,0159	—3,021	— 1,398	176,9
0,45	—0,0439	—5,851	1,014	284	—0,1331	—2,871	7,294	166,4
0,5	—0,3293	—5,451	14,77	260,5	—0,2642	—2,311	14,81	130,5
0,55	—0,5782	—4,408	26,5	203,3	—0,3588	—1,429	20,01	74,34
0,6	—0,7617	—2,861	34,65	118,8	—0,404	—0,3633	22,04	5,557
0,65	—0,8595	—1,022	38,08	16,69	—0,3949	0,7153	20,51	— 66,45
0,7	—0,8631	0,8582	36,21	— 91,82	—0,3352	1,629	15,5	—132,2
0,75	—0,7774	2,51	28,99	—195,1	—0,2375	2,216	7,526	—183,7
0,8	—0,6203	3,677	16,96	—282,9	—0,1213	2,347	— 2,547	—215,8
0,85	—0,4215	4,141	1,077	—348,2	—0,0117	1,943	—13,71	—227,3
0,9	—0,2206	3,741	—17,43	—388,1	0,0634	0,974	—25	—222
0,95	—0,0635	2,375	—37,35	—405,1	0,0763	—0,5479	—35,77	—208,4
1	0	0	—57,71	—401,8	0	—2,592	—45,92	—195,2

Продолжение табл. 37

2-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	—3,071	2,312	23,78	0	0	17,81	—70
0,05	—0,1501	—2,925	4,213	23,36	0,0208	0,8039	14,31	—69,92
0,1	—0,2915	—2,722	4,634	22,13	0,0774	1,432	10,82	—69,37
0,15	—0,4214	—2,463	5,694	20,14	0,1611	1,887	7,388	—67,97
0,2	—0,537	—2,154	6,637	17,48	0,2633	2,173	4,047	—65,46
0,25	—0,6361	—1,802	7,432	14,22	0,3757	2,295	0,8635	—61,67
0,3	—0,7166	—1,414	8,05	10,46	0,4902	2,263	— 2,097	—56,52
0,35	—0,7771	—1	8,471	6,308	0,5996	2,09	— 4,766	—50,03
0,4	—0,8164	—0,5707	8,677	1,881	0,6971	1,792	— 7,079	—42,31
0,45	—0,8341	—0,1364	8,656	— 2,706	0,7771	1,389	— 8,979	—33,52
0,5	—0,8301	0,291	8,405	— 7,33	0,8346	0,9019	—10,42	—23,92
0,55	—0,8053	0,7002	7,925	—11,87	0,8663	0,3553	—11,36	—13,78
0,6	—0,7606	1,08	7,221	—16,22	0,8696	—0,2256	—11,79	— 3,43
0,65	—0,6979	1,419	6,307	—20,28	0,8436	—0,8152	—11,71	6,783
0,7	—0,6196	1,707	5,2	—23,94	0,7884	—1,388	—11,12	16,51
0,75	—0,5282	1,936	3,922	—27,12	0,7055	—1,92	—10,07	25,42
0,8	—0,4271	2,097	2,497	—29,78	0,5975	—2,388	— 8,599	33,19
0,85	—0,3197	2,184	0,9538	—31,85	0,468	—2,774	— 6,774	39,54
0,9	—0,21	2,191	—0,6778	—33,32	0,3217	—3,061	— 4,672	44,25
0,95	—0,102	2,115	—2,368	—34,18	0,1638	—3,238	— 2,379	47,15
1	0	1,954	—4,086	—34,44	0	—3,297	0,0106	48,06

Продолжение табл. 37

2-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''
0	0	1,573	16,29	—105,7	0	6,034	—11,3	—175,9
0,05	0,0968	2,256	11,02	—104,6	0,2839	5,252	—19,89	—163,6
0,1	0,2211	2,677	5,865	—101,1	0,5183	4,065	—27,3	—129,4
0,15	0,3602	2,846	0,9587	— 94,61	0,685	2,558	—32,54	— 78,03
0,2	0,5018	2,779	— 3,543	— 84,94	0,7709	0,8586	—34,92	— 15,98
0,25	0,6347	2,501	— 7,484	— 72,18	0,7702	—0,88	—34,08	49,68
0,3	0,7489	2,043	—10,71	— 56,62	0,685	—2,495	—30,01	111,7
0,35	0,8366	1,444	—13,11	— 38,8	0,5253	—3,833	—23,08	163,2
0,4	0,8917	0,7477	—14,57	— 19,36	0,3084	—4,767	—13,96	198,8
0,45	0,9106	0	—15,03	0,9114	0,0569	—5,208	— 3,543	214,3
0,5	0,8921	—0,7383	—14,48	21,19	—0,2034	—5,117	7,109	208,1
0,55	0,8376	—1,427	—12,92	40,64	—0,4462	—4,511	16,91	180,5
0,6	0,751	—2,015	—10,44	58,5	—0,647	—3,458	24,84	134
0,65	0,6385	—2,457	— 7,113	74,12	—0,7864	—2,072	30,06	72,97
0,7	0,5084	—2,715	— 3,073	87	—0,8513	—0,5064	31,99	3,299
0,75	0,3707	—2,755	1,537	96,86	—0,8369	1,067	30,36	— 68,51
0,8	0,2369	—2,554	6,562	103,6	—0,7474	2,471	25,22	—135,9
0,85	0,1196	—2,094	11,85	107,6	—0,5955	3,537	16,94	—192,9
0,9	0,0319	—1,366	17,28	109,2	—0,4017	4,123	6,171	—235,2
0,9	—0,0124	—0,3655	22,75	109,4	—0,1929	4,126	— 6,291	—260,3
1	0	0,9086	28,21	108,8	0	3,481	—19,57	—265,8

2-й пролет

α	X_5	X'_5	X''_5	X'''_5	X_6	X'_6	X''_6	X'''_6
0	0	0	—57,71	408	0	—2,592	—45,92	510,1
0,05	—0,0636	—2,377	—37,34	405,2	—0,1764	—4,253	—20,65	495,7
0,1	—0,2208	—3,742	—17,42	388,2	—0,4047	—4,683	3,02	444,2
0,15	—0,4218	—4,142	1,091	348,3	—0,6263	—4,011	23,08	351,8
0,2	—0,6206	—3,677	16,97	283	—0,7913	—2,467	37,61	224,3
0,25	—0,7777	—2,509	29,01	195,1	—0,8637	—0,3672	45,15	75,25
0,3	—0,8634	—0,857	36,22	91,76	—0,8249	1,92	45,08	— 76,94
0,35	—0,8596	1,024	38,1	— 16,78	—0,6748	4,019	37,74	—212,2
0,4	—0,7617	2,864	34,65	—119	—0,4317	5,595	24,46	—311,9
0,45	—0,5782	4,41	26,5	—203,4	—0,1283	6,401	7,373	—362,5
0,5	—0,3292	5,454	14,77	—260,6	0,1934	6,314	—10,84	—356,6
0,55	—0,0436	5,853	1,004	—284,1	0,4883	5,346	—27,35	—295,1
0,6	0,2442	5,549	—13,03	—271,4	0,7158	3,65	—39,57	—186,5
0,65	0,5	4,575	—25,56	—224,4	0,8456	1,495	—45,47	— 45,78
0,7	0,6924	3,045	—35	—149,2	0,8634	—0,7721	—43,92	108,2
0,75	0,7983	1,146	—40,17	— 55,15	0,7729	—2,77	—34,76	255,5
0,8	0,8048	—0,889	—40,4	45,97	0,597	—4,134	—18,78	378,6
0,85	0,7113	—2,81	—35,66	141,6	0,3752	—4,559	2,496	465,6
0,9	0,5296	—4,381	—26,53	219,9	0,1604	—3,829	27,11	512,8
0,95	0,2822	—5,408	—14,12	271,1	0,0136	—1,823	53,22	526,8
1	0	—5,765	0,0223	285,5	0	1,496	79,54	514,3

Продолжение табл. 37

3-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	1,954	—4,086	— 6,03	0	—3,297	0,0106	48,04
0,05	0,0924	1,742	—4,383	— 5,768	—0,1638	—3,237	2,396	47,06
0,1	0,1739	1,516	—4,655	— 5,024	—0,3217	—3,059	4,685	44,17
0,15	0,2438	1,277	—4,879	— 3,861	—0,4678	—2,771	6,783	39,46
0,2	0,3015	1,029	—5,035	— 2,343	—0,5971	—2,385	8,604	33,11
0,25	0,3466	0,775	—5,108	— 0,54	—0,705	—1,917	10,07	25,34
0,3	0,379	0,5198	—5,086	1,477	—0,7878	—1,385	11,12	16,44
0,35	0,3986	0,2682	—4,958	3,639	—0,8428	—0,8127	11,7	6,723
0,4	0,4059	0,0258	—4,72	5,876	—0,8688	—0,2234	11,78	— 3,481
0,45	0,4015	—0,2019	—4,37	8,12	—0,8653	0,356	11,35	—13,82
0,5	0,3861	—0,4093	—3,909	10,31	—0,8336	0,903	10,4	—23,94
0,55	0,361	—0,591	—3,341	12,38	—0,776	1,389	8,965	—33,54
0,6	0,3275	—0,7418	—2,674	14,3	—0,6961	1,792	7,065	—42,31
0,65	0,2874	—0,8569	—1,915	16	—0,5986	2,089	4,752	—50,02
0,7	0,2425	—0,932	—1,077	17,47	—0,4893	2,261	2,083	—56,5
0,75	0,1949	—0,9635	—0,172	18,69	—0,3748	2,292	— 0,8756	—61,64
0,8	0,1469	—0,9483	0,787	19,64	—0,2626	2,17	— 4,058	—65,42
0,85	0,1009	—0,8841	1,787	20,32	—0,1606	1,884	— 7,396	—67,92
0,9	0,0593	—0,7692	2,815	20,76	—0,077	1,429	—10,83	—69,31
0,95	0,0248	—0,6023	3,86	20,99	—0,0206	0,8	—14,31	—69,86
1	0	0	4,912	21,06	0	0	—17,81	—69,94

Продолжение табл. 37

3-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''
0	0	0,9086	28,21	—146,1	0	3,481	—19,57	— 18,03
0,05	0,0776	2,137	20,92	—145,3	0,1492	2,481	—20,36	— 11,38
0,1	0,2076	3,002	13,72	—142,2	0,2476	1,455	—20,54	5,732
0,15	0,3719	3,513	6,756	—135,8	0,2949	0,4445	—19,68	28,99
0,2	0,5532	3,685	0,2098	—125,4	0,2933	—0,4929	—17,61	54,14
0,25	0,7352	3,544	— 5,716	—110,9	0,2479	—1,296	—14,3	77,27
0,3	0,903	3,127	—10,82	— 92,55	0,1669	—1,906	— 9,969	94,99
0,35	1,044	2,479	—14,91	— 70,66	0,0612	—2,281	— 4,938	104,8
0,4	1,148	1,655	—17,84	— 46,01	—0,0567	—2,396	0,3468	105
0,45	1,208	0,7165	19,48	— 19,52	—0,1739	—2,25	5,393	95,2
0,5	1,219	—0,2706	—19,78	7,766	—0,2778	—1,869	9,709	75,99
0,55	1,181	—1,238	—18,71	34,75	—0,3576	—1,299	12,86	48,97
0,6	1,096	—2,12	—16,32	60,36	—0,4056	—0,608	14,51	16,5
0,65	0,9714	—2,851	—12,71	83,61	—0,4177	0,1243	14,47	— 18,51
0,7	0,8148	—3,373	— 8,018	103,7	—0,394	0,81	12,67	— 53,01
0,75	0,6384	—3,637	— 2,409	120	—0,3389	1,364	9,224	— 84,14
0,8	0,4561	—3,602	3,914	132,3	—0,2611	1,709	4,353	—109,6
0,85	0,2837	—3,237	10,75	140,5	—0,1726	1,781	— 1,616	—127,9
0,9	0,1382	—2,522	17,91	145,2	—0,0883	1,535	— 8,315	—138,8
0,95	0,0376	—1,444	25,22	147,1	—0,0249	0,943	—15,39	—143,4
1	0	0	32,58	147,3	0	0	—22,59	—144,1

Продолжение табл. 37

3-й пролет

α	X_5	X'_5	X''_5	X'''_5	X_6	X'_6	X''_6	X'''_6
0	0	—5,765	0,0223	288,6	0	1,496	79,54	—704,5
0,05	—0,2822	—5,407	14,15	270,8	0,1595	4,594	44,49	—692,6
0,1	—0,5294	—4,378	26,54	219,6	0,4306	5,969	10,95	—641
0,15	—0,7109	—2,807	35,66	141,3	0,7299	5,753	—18,74	—537,4
0,2	—0,8043	—0,8861	40,38	45,75	0,9836	4,204	—41,95	—383,6
0,25	—0,7977	1,148	40,14	— 55,3	1,134	1,703	—56,48	—192,9
0,3	—0,6917	3,046	34,97	—149,3	1,146	—1,276	—61	12,49
0,35	—0,4993	4,574	25,53	—224,4	1,007	—4,227	—55,42	206,6
0,4	—0,2436	5,547	13,01	—271,3	0,7317	—6,669	—40,96	363,4
0,45	0,0441	5,849	— 1,024	—283,9	0,3552	—8,216	—20,06	461,4
0,5	0,3294	5,449	—14,78	—260,4	—0,0707	—8,624	3,965	487,1
0,55	0,5782	4,405	—26,5	—203,2	—0,4869	—7,83	27,37	436,8
0,6	0,7616	2,859	—34,64	—118,7	—0,8356	—5,958	46,49	317,5
0,65	0,8593	1,02	—38,08	— 16,6	—1,07	—3,304	58,24	145,7
0,7	0,8629	—0,8594	—36,2	91,88	—1,16	—0,2919	60,57	— 55,21
0,75	0,7771	—2,51	—28,98	195,1	—1,101	2,582	52,68	—258,9
0,8	0,6199	—3,676	—16,94	282,9	—0,9126	4,813	35,06	—440
0,85	0,4212	—4,14	— 1,063	348,2	—0,638	5,953	9,384	—579
0,9	0,2204	—3,739	17,44	388	—0,3412	5,657	—21,96	—666,1
0,95	0,0634	—2,373	37,35	405	—0,1	3,706	—56,4	—704
1	0	0	57,71	407,7	0	0	—91,83	—710,1

Таблица 38

Четырехпролетная балка
1-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	3,126	0	—31,85	0	3,006	0	—37,97
0,05	0,1556	3,086	—1,586	—31,44	0,1495	2,959	— 1,888	—37,31
0,1	0,3072	2,968	—3,13	—30,21	0,2943	2,818	— 3,709	—35,35
0,15	0,4511	2,774	—4,593	—31,37	0,4298	2,59	— 5,402	—32,14
0,2	0,5835	2,511	—5,937	—25,44	0,5519	2,281	— 6,905	—27,8
0,25	0,7011	2,183	—7,126	—25,21	0,6568	1,903	— 8,165	—22,45
0,3	0,8009	1,801	—8,129	—18,03	0,7413	1,469	— 9,136	—16,26
0,35	0,8805	1,374	—8,921	—13,56	0,803	0,9951	— 9,781	— 9,429
0,4	0,9378	0,9129	—9,479	— 8,72	0,8404	0,4973	—10,07	— 2,157
0,45	0,9714	0,4301	—9,788	— 3,642	0,8527	0	— 9,993	5,335
0,5	0,9806	—0,0616	—9,841	1,549	0,8401	—0,4956	— 9,538	12,82
0,55	0,9653	—0,5495	—9,634	6,724	0,8037	—0,9534	— 8,714	20,1
0,6	0,926	—1,021	—9,171	11,75	0,7456	—1,361	— 7,536	26,95
0,65	0,8637	—1,463	—8,463	16,51	0,6687	—1,702	— 6,029	33,2
0,7	0,7804	—1,863	—7,526	20,88	0,5768	—1,959	— 4,227	38,71
0,75	0,6783	—2,212	—6,383	24,76	0,4744	—2,12	— 2,172	43,36
0,8	0,5602	—2,499	—5,06	28,06	0,3666	—2,173	0,0927	47,07
0,85	0,4296	—3,989	—3,588	30,69	0,2591	—2,108	2,519	49,83
0,9	0,29	—2,855	—2,003	32,6	0,1578	—1,919	5,06	51,66
0,95	0,1454	—2,914	—0,3408	33,76	0,0693	—1,601	7,672	52,66
1	0	—2,889	1,36	34,12	0	—1,151	10,31	52,89

Продолжение табл. 38

1-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''
0	0	2,582	0	—43,41	0	1,241	0	—25,9
0,05	0,1282	2,528	—2,154	—42,4	0,0615	1,209	—1,283	—25,17
0,1	0,251	2,369	—4,207	—39,42	0,1198	1,114	—2,494	—23,03
0,15	0,3634	2,11	—6,065	—34,58	0,172	0,9621	—3,564	—19,59
0,2	0,4607	1,767	—7,638	—28,1	0,2152	0,7612	—4,434	—15,03
0,25	0,539	1,353	—8,852	—20,23	0,2475	0,5229	—5,052	— 9,57
0,3	0,5952	0,8889	—9,644	—11,31	0,2671	0,2608	—5,381	— 3,502
0,35	0,6274	0,3965	—9,971	— 1,692	0,2734	0	—5,397	2,871
0,4	0,6348	—0,0999	—9,808	8,236	0,2663	—0,2735	—5,094	9,234
0,45	0,6177	—0,5759	—9,149	18,09	0,2464	—0,5141	—4,479	15,28
0,5	0,5779	—1,007	—8,007	27,49	0,2155	—0,7166	—3,576	20,72
0,55	0,5182	—1,369	—6,413	36,11	0,1756	—0,8675	—2,421	25,33
0,6	0,4425	—1,641	—4,413	43,66	0,1298	—0,9553	—1,06	28,92
0,65	0,3559	—1,805	—2,068	49,93	0,0813	—0,971	0,4524	31,4
0,7	0,2641	—1,843	0,5562	54,8	0,034	—0,9085	2,061	32,75
0,75	0,1738	—1,746	3,3877	58,22	0	—0,7642	3,71	33,04
0,8	0,092	—1,502	6,356	60,29	—0,041	—0,5376	5,35	32,44
0,85	0,0261	—1,109	9,398	61,19	—0,0605	—0,23	6,944	31,22
0,9	—0,0162	—0,5622	12,46	61,24	—0,0627	0,1555	8,468	29,73
0,95	—0,0275	0,1372	15,51	60,85	—0,0437	0,6155	9,92	28,44
1	0	0,9888	18,55	60,46	0	1,147	11,32	27,78

1-й пролет

α	X_5	X'_5	X''_5	X'''_5	X_6	X'_6	X''_6	X'''_6
0	0	6,129	0	—247,8	0	5,431	0	—251,3
0,05	0,3013	5,822	—12,18	—235,4	0,2663	5,12	—12,32	—237
0,1	0,5724	4,931	—23,15	—199,4	0,5021	4,222	—23,24	—195,6
0,15	0,7862	3,546	—31,79	—143,5	0,6804	2,84	—31,51	—132
0,2	0,9211	1,806	—37,25	— 73,2	0,7806	1,131	—36,19	— 53,35
0,25	0,9637	—0,1167	—38,99	4,394	0,7913	—0,7104	—36,75	31,24
0,3	0,9096	—2,028	—36,82	81,52	0,7109	—2,474	—33,13	112,1
0,35	0,7643	—3,737	—30,97	150,4	0,5485	—3,961	—25,76	179,9
0,4	0,5421	—5,074	—22,03	204,2	0,3223	—5,002	—15,49	226,7
0,45	0,2653	—5,904	—10,9	237,5	0,0577	—5,482	— 3,526	247,2
0,5	—0,0384	—6,145	1,314	246,8	—0,2155	—5,349	8,744	238,7
0,55	—0,3389	—5,775	13,37	231,3	—0,4672	—4,626	19,88	202
0,6	—0,6063	—4,832	24,05	192,4	—0,6698	—3,403	28,54	140,9
0,65	—0,8141	—3,411	32,28	133,9	—0,8017	—1,831	33,66	61,76
0,7	—0,9419	—1,659	37,21	61,62	—0,8504	—0,1075	34,55	— 27,05
0,75	—0,9774	0,2461	38,33	— 17,38	—0,8136	1,549	30,95	—116,5
0,8	—0,918	2,108	35,49	— 95,39	—0,7003	2,915	23,04	—197,8
0,85	—0,7706	3,733	28,93	—164,9	—0,5303	3,791	11,43	—263,7
0,9	—0,5515	4,949	19,25	—219,3	—0,3322	4,011	— 2,998	—309,8
0,95	—0,2848	5,621	7,341	—253,6	—0,142	3,462	—19,2	—334,8
1	0	5,664	— 5,728	—263,1	0	2,079	—36,18	—337,7

Продолжение табл. 38

1-й пролет

α	X_7	X'_7	X''_7	X'''_7	X_8	X'_8	X''_8	X'''_8
0	0	4,398	0	—237,6	0	2,035	0	—123,4
0,05	0,2149	4,104	—11,62	—221,8	0,0992	1,883	— 6,016	—114,2
0,1	0,4012	3,262	—21,69	—176,5	0,1835	1,449	—11,13	— 87,97
0,15	0,5338	1,983	—28,88	—107,8	0,2404	0,7975	—14,59	— 48,63
0,2	0,595	0,4384	—32,23	— 24,86	0,2613	0,026	—15,88	— 2,084
0,25	0,5766	—1,168	—31,31	61,24	0,2429	—0,7506	—14,8	44,7
0,3	0,4808	—2,623	—26,25	138,9	0,1881	—1,417	—11,52	84,69
0,35	0,32	—3,735	—17,73	197,8	0,1047	—1,874	— 6,543	111,9
0,4	0,1155	—4,358	— 6,914	229,8	0	—2,055	— 0,6183	122,1
0,45	—0,1061	—4,412	4,731	230,6	—0,0956	—1,935	5,354	113,7
0,5	—0,3161	—3,897	15,61	199,6	—0,1835	—1,534	10,46	87,85
0,55	—0,4876	—2,889	24,22	140,6	—0,2455	—0,917	13,91	48,08
0,6	—0,5993	—1,534	29,32	60,76	—0,2732	—0,181	15,13	0,0115
0,65	—0,6385	—0,0296	30,11	— 30,09	—0,2636	0,5545	13,88	— 49,72
0,7	—0,6035	1,4	26,31	—121,2	—0,2198	1,167	10,24	— 94,46
0,75	—0,5036	2,528	18,16	—202,3	—0,1508	1,545	4,61	—128,7
0,8	—0,359	3,155	6,377	—265,4	—0,0706	1,605	— 2,395	—149
0,85	—0,1991	3,123	— 8,002	—305,9	0	1,295	—10,05	—154,9
0,9	—0,0595	2,33	—23,84	—324,2	0,0524	0,6002	—17,69	—149,3
0,95	0,0204	0,7309	—40,15	—326,1	0,0572	—0,4667	—24,89	—138,4
1	0	—1,682	—56,37	—317,3	0	—1,881	—31,61	—128,7

2-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	—2,889	1,36	24,73	0	—1,151	10,31	—23,86
0,05	—0,1422	—2,79	2,59	24,35	—0,0451	—0,6654	9,118	—24,07
0,1	—0,2779	—2,631	3,783	23,23	—0,0675	—0,2398	7,902	—24,59
0,15	—0,4043	—2,413	4,902	21,42	—0,0701	0,1242	6,657	—25,21
0,2	—0,5184	—2,142	5,914	18,96	—0,0561	0,4253	5,382	—25,78
0,25	—0,6177	—1,824	6,789	15,94	—0,0287	0,662	4,083	—26,16
0,3	—0,7001	—1,466	7,5	12,44	0	0,8334	2,771	—26,25
0,35	—0,7638	—1,077	8,026	8,543	0,0535	0,9392	1,463	—25,98
0,4	—0,8074	—0,6667	8,35	4,364	0,1017	0,9801	0,1795	—25,3
0,45	—0,8303	—0,2456	8,46	0	0,1504	0,9579	—1,059	—24,18
0,5	—0,832	0,1755	8,35	— 4,412	0,1965	0,8753	—2,232	—22,65
0,55	—0,8129	0,5856	8,019	— 8,786	0,237	0,7361	—3,318	—20,73
0,6	—0,7738	0,9738	7,474	—13,01	0,2693	0,5452	—4,299	—18,49
0,65	—0,7161	1,33	6,723	—16,97	0,2908	0,3082	—5,162	—16,01
0,7	—0,6415	1,643	5,783	—20,58	0,2994	0,0311	—5,898	—13,39
0,75	—0,5526	1,905	4,672	—23,75	0,2934	—0,2793	—6,501	—10,76
0,8	—0,452	2,108	3,416	—26,42	0,2711	—0,6167	—6,976	— 8,258
0,85	—0,3429	2,245	2,04	—28,54	0,2313	—0,9749	—7,332	— 6,027
0,9	—0,2287	2,31	0,636	—30,06	0,1733	—1,348	—7,586	— 4,227
0,95	—0,1132	2,301	—0,9555	—30,96	0,0963	—1,732	—7,764	— 3,023
1	0	2,214	—2,514	—31,24	0	—2,124	—7,901	— 2,578

Продолжение табл. 38

2-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''
0	0	0,9888	18,55	—93,82	0	1,147	11,32	—75,72
0,05	0,0706	1,799	13,86	—93,32	0,0699	1,618	7,55	—74,94
0,1	0,176	2,376	9,239	—91,42	0,1587	1,903	3,861	—72,29
0,15	0,3044	2,725	4,753	—87,68	0,2572	2,008	0,3585	—67,41
0,2	0,4448	2,856	0,507	—81,81	0,3566	1,944	— 2,842	—60,2
0,25	0,5866	2,782	— 3,391	—73,72	0,4491	1,73	— 5,624	—50,72
0,3	0,72	2,524	— 6,829	—63,46	0,5276	1,39	— 7,88	—39,22
0,35	0,8364	2,108	— 9,704	—51,23	0,5865	0,9527	— 9,519	—26,1
0,4	0,9287	1,565	—11,92	—37,35	0,6218	0,4499	—10,47	—11,86
0,45	0,9913	0,928	—13,42	—22,26	0,631	—0,0822	—10,7	2,896
0,5	1,02	0,2358	—14,14	— 6,439	0,6136	—0,6073	—10,18	17,56
0,55	1,015	—0,4724	—14,06	9,564	0,571	—1,089	— 8,952	31,52
0,6	0,9737	—1,157	—13,19	25,2	0,5061	—1,491	— 7,053	44,2
0,65	0,9	—1,779	—11,55	39,93	0,4237	—1,784	— 4,561	55,14
0,7	0,7975	—2,301	— 9,218	53,27	0,33	—1,939	— 1,573	64,01
0,75	0,6721	—2,69	— 6,257	64,82	0,2324	—1,935	1,802	70,61
0,8	0,5312	—2,918	— 2,771	74,27	0,1394	—1,754	5,45	74,96
0,85	0,3834	—2,96	1,132	81,44	0,0601	—1,387	9,264	77,27
0,9	0,2386	—2,799	5,335	86,31	0	—0,8269	13,15	77,97
0,95	0,1071	—2,423	9,726	89	—0,0193	—0,072	17,04	77,71
1	0	—1,825	14,2	89,63	0	0,8771	20,92	77,16

2-й пролет

α	X_5	X'_5	X''_5	X'''_5	X_6	X'_6	X''_6	X'''_6
0	0	5,664	— 5,728	—192,7	0	2,079	—36,18	149,4
0,05	0,272	5,139	—15,17	—181,4	0,0618	0,4575	—28,63	153,4
0,1	0,5063	4,165	—23,52	—149,3	0,0521	—0,7794	—20,79	160,1
0,15	0,6823	2,821	—29,82	—100,3	0	—1,617	—12,69	162,7
0,2	0,7843	1,229	—33,36	— 39,9	—0,1028	—2,05	— 4,661	156,9
0,25	0,8035	—0,4618	—33,73	25,5	—0,2079	—2,092	2,819	140,4
0,3	0,7392	—2,089	—30,84	89,03	—0,3062	—1,786	9,193	112,8
0,35	0,5983	—3,496	—24,96	144,1	—0,3818	—1,2	13,95	75,92
0,4	0,3955	—4,545	—16,67	185	—0,423	—0,4255	16,68	32,67
0,45	0,1514	—5,136	— 6,769	207,6	—0,423	0,4303	17,18	— 12,8
0,5	—0,1094	—5,212	3,742	209,3	—0,3805	1,255	15,44	— 56
0,55	—0,361	—4,769	13,81	190	—0,2999	1,94	11,69	— 92,57
0,6	—0,5784	—3,855	22,42	151,3	—0,1903	2,397	6,352	—118,9
0,65	—0,7402	—2,567	28,68	97,03	—0,0651	2,559	0	—132,6
0,7	—0,831	—1,037	31,94	32,37	0,0599	2,392	— 6,682	—132,8
0,75	—0,8427	0,5715	31,84	— 36,51	0,1685	1,896	—13,06	—120,4
0,8	—0,7754	2,09	28,33	—103,1	0,2445	1,101	—18,55	— 98,03
0,85	—0,6379	3,352	21,68	—161,2	0,2745	0,0619	—22,76	— 69,9
0,9	—0,4469	4,214	12,44	—205,8	0,2478	—1,152	—25,54	— 41,52
0,95	—0,225	4,566	1,385	—233,3	0,1576	—2,47	—27,02	— 19,33
1	0	4,338	—10,59	—240,4	0	—3,84	—27,69	— 9,753

2-й пролет

α	X_7	X'_7	X''_7	X'''_7	X_8	X'_8	X''_8	X'''_8
0	0	—1,682	—56,37	505	0	—1,881	—31,61	360,1
0,05	—0,144	—3,871	—31,26	495,8	—0,126	—3,013	—13,77	349,4
0,1	—0,3665	—4,826	— 7,245	459,3	—0,2868	—3,278	2,881	311,8
0,15	—0,6076	—4,64	14,09	388,4	—0,4408	—2,769	16,91	244,8
0,2	—0,8144	—3,49	31,04	284,4	—0,5535	—1,653	26,94	152,9
0,25	—0,9448	—1,634	42,11	155,4	—0,5998	—0,1583	31,95	46,1
0,3	—0,9714	0,6075	46,39	14,86	—0,5674	1,451	31,53	— 62,03
0,35	—0,8835	2,887	43,68	—121,3	—0,4572	2,909	25,97	—157
0,4	—0,6877	4,869	34,61	—236,6	—0,283	3,979	16,27	—225,6
0,45	—0,4064	6,266	20,6	—317	—0,0686	4,493	4,012	—258,2
0,5	—0,0742	6,88	3,665	—352,3	0,1555	4,37	— 8,869	—250,2
0,55	0,2669	6,623	—13,8	—338,1	0,3579	3,63	—20,34	—202,6
0,6	0,5741	5,532	—29,35	—276,3	0,5101	2,39	—28,58	—122,1
0,65	0,8087	3,758	—40,77	—174,8	0,5919	0,8495	—32,19	— 20
0,7	0,9426	1,552	—46,38	— 46,22	0,5943	—0,7393	—30,45	89,86
0,75	0,962	—0,767	—45,2	93,57	0,5217	—2,105	—23,32	193,1
0,8	0,8698	—2,852	—37,11	227,9	0,3918	—2,992	—11,45	277,5
0,85	0,6862	—4,373	—22,75	341,9	0,234	—3,191	3,979	334,9
0,9	0,4467	—5,045	— 3,444	424,6	0,0866	—2,558	21,56	363,8
0,95	0,1993	—4,663	19,11	471,3	0	—1,021	39,98	370
1	0	—3,11	43,13	477,3	0	1,44	58,41	359,3

3-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	2,214	—2,514	—13,86	0	—2,124	— 7,901	56,25
0,05	0,1072	2,071	—3,202	—13,58	—0,1149	—2,449	— 5,097	55,75
0,1	0,2065	1,894	—3,862	—12,74	—0,2425	—2,634	— 2,343	54,18
0,15	0,2961	1,686	—4,468	—11,4	—0,376	—2,685	0,3023	51,45
0,2	0,3746	1,449	—4,995	— 9,616	—0,5089	—2,607	2,782	47,54
0,25	0,4406	1,188	—5,423	— 7,446	—0,6348	—2,41	5,038	42,49
0,3	0,4931	0,9086	—5,734	— 4,962	—0,7481	—2,108	7,013	36,37
0,35	0,5313	0,6168	—5,915	— 2,237	—0,8441	—1,715	8,66	29,33
0,4	0,5547	0,3195	—5,955	0,6519	—0,9184	—1,248	9,934	21,54
0,45	0,5633	0,0237	—5,848	3,626	—0,968	—0,7279	10,8	13,19
0,5	0,5573	—0,2628	—5,592	6,606	—0,9906	—0,1748	11,25	4,525
0,55	0,5373	—0,5329	—5,189	9,516	—0,9853	0,3895	11,26	— 4,218
0,6	0,5044	—0,7793	—4,643	12,29	—0,9519	0,9434	10,83	—12,79
0,65	0,4598	—0,995	—3,964	14,85	—0,8915	1,465	9,983	—20,94
0,7	0,4055	—1,174	—3,163	17,15	—0,8062	1,935	8,745	—28,45
0,75	0,3432	—1,31	—2,254	19,14	—0,6991	2,334	7,152	—35,11
0,8	0,2753	—1,398	—1,254	20,78	—0,5742	2,645	5,251	—40,74
0,85	0,2043	—1,434	—0,1817	22,06	—0,4363	2,855	3,097	—45,21
0,9	0,1328	—1,415	0,945	22,95	—0,2906	2,952	0,7505	—48,43
0,95	0,0638	—1,339	2,107	23,47	—0,1431	2,928	— 1,724	—50,34
1	0	—1,204	3,286	23,62	0	2,778	— 4,262	—50,91

3-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''
0	0	—1,825	14,2	—28,43	0	0,8771	20,92	—114
0,05	—0,0741	—1,151	12,77	—29,06	0,0676	1,781	15,23	—113,3
0,1	—0,1162	—0,5491	11,28	—30,59	0,1733	2,402	9,626	—110,5
0,15	—0,1302	—0,024	9,705	—32,56	0,3032	2,747	4,227	—105
0,2	—0,12	0,4196	8,026	—34,55	0,4436	2,83	— 0,8157	— 96,2
0,25	—0,0897	0,777	6,255	—36,22	0,5822	2,674	— 5,338	— 84,14
0,3	—0,0438	1,044	4,414	—37,28	0,7075	2,308	— 9,177	— 68,96
0,35	0,013	1,218	2,54	—37,54	0,8101	1,77	—12,19	— 51,09
0,4	0,0763	1,298	0,6767	—36,84	0,8824	1,105	—14,25	— 31,15
0,45	0,1413	1,286	— 1,127	—35,13	0,9193	0,3621	—15,28	— 9,927
0,5	0,2035	1,187	— 2,82	—32,42	0,9182	—0,4053	—15,24	11,72
0,55	0,2587	1,007	— 4,354	—28,79	0,8792	—1,144	—14,12	32,9
0,6	0,303	0,7553	— 5,685	—24,36	0,8052	—1,8	—11,97	52,74
0,65	0,3332	0,4426	— 6,78	—19,36	0,7014	—2,325	— 8,879	70,48
0,7	0,3465	0,0816	— 7,615	—14	0,5756	—2,674	— 4,968	85,5
0,75	0,3408	—0,3143	— 8,179	— 8,587	0,4376	—2,81	— 0,3812	97,41
0,8	0,3147	—0,7318	— 8,478	— 3,419	0,2986	—2,704	4,719	106
0,85	0,2675	—1,158	— 8,531	1,174	0,1716	—2,333	10,17	111,6
0,9	0,1989	—1,581	— 8,376	4,859	0,07	—1,683	15,83	114,3
0,95	0,1095	—1,993	— 8,066	7,305	0	—0,7486	21,57	115,1
1	0	—2,387	— 7,671	8,181	0	0,4737	27,33	114,8

3-й пролет

α	X_5	X'_5	X''_5	X'''_5	X_6	X'_6	X''_6	X'''_6
0	0	4,338	—10,59	—108,3	0	—3,84	—27,69	365,7
0,05	0,2014	3,675	—15,86	— 99,84	—0,219	—4,77	— 9,592	354,4
0,1	0,3633	2,765	—20,32	— 76,48	—0,4622	—4,819	7,331	318,1
0,15	0,4747	1,667	—23,32	— 41,89	—0,6876	—4,078	21,8	256,5
0,2	0,5283	0,4656	—24,4	— 0,5302	—0,8593	—2,7	32,62	173,5
0,25	0,5213	—0,7367	—23,34	42,73	—0,9504	—0,8912	38,91	76,21
0,3	0,4564	—1,833	—20,17	83,01	—0,9453	1,107	40,17	— 25,71
0,35	0,3414	—2,723	—15,16	115,9	—0,8408	3,042	36,43	—121,8
0,4	0,1889	—3,326	— 8,769	137,7	—0,6461	4,676	28,26	—201,7
0,45	0,0145	—3,587	— 1,613	146,1	—0,3816	5,811	16,67	—257
0,5	—0,1637	—3,486	5,602	140	—0,0757	6,31	3,072	—281,6
0,55	—0,3282	—3,038	12,15	119,8	0,2377	6,111	—10,93	—272,9
0,6	—0,4626	—2,293	17,37	87,24	0,524	5,238	—23,68	—231,9
0,65	—0,5539	—1,332	20,72	45,42	0,7518	3,79	—33,66	—163,2
0,7	—0,5939	—0,2586	21,82	— 1,81	0,8963	1,938	—39,67	— 74,6
0,75	—0,5799	0,8101	20,52	— 50,09	0,9426	—0,0974	—40,95	24,31
0,8	—0,515	1,754	16,87	— 95,11	0,8876	—2,073	—37,24	122,7
0,85	—0,4084	2,462	11,13	—133,1	0,7404	—3,744	—28,86	210,2
0,9	—0,2743	2,84	3,733	—161	0,5219	—4,893	—16,55	278
0,95	—0,1311	2,817	— 4,782	—177,6	0,2626	—5,352	— 1,485	320
1	0	2,353	—13,84	—181,2	0	—5,018	14,98	330,2

Продолжение табл. 38

3-й пролет

α	X_7	X_7'	X_7''	X_7'''	X_8	X_8'	X_8''	X_8'''
0	0	—3,11	43,13	—148,8	0	1,439	58,41	—542
0,05	—0,1047	—1,142	35,54	—157,6	0,1337	3,684	31,47	—531,5
0,1	—0,1207	0,4312	27,23	—174,9	0,3463	4,607	5,811	—488,2
0,15	—0,0688	1,567	18,09	—189,4	0,5742	4,318	—16,66	—403,7
0,2	0,0281	2,232	8,478	—192,8	0,7614	3,028	—33,91	—280,4
0,25	0,1463	2,419	— 0,9173	—180,2	0,8654	1,043	—44,25	—129,9
0,3	0,2625	2,158	— 9,251	—150,3	0,8604	—1,265	—46,74	29,93
0,35	0,3559	1,525	—15,69	—105	0,7401	—3,501	—41,45	178,2
0,4	0,4107	0,632	—19,57	— 48,77	0,5177	—5,297	—29,45	294,8
0,45	0,4171	—0,3821	—20,49	11,99	0,2226	—6,367	—12,77	363,4
0,5	0,3729	—1,367	—18,42	69,99	—0,1039	—6,54	5,927	374,4
0,55	0,2833	—2,179	—13,66	118,2	—0,4159	—5,79	23,68	326,2
0,6	0,1599	—2,699	— 6,861	150,7	—0,6695	—4,235	37,67	225,6
0,65	0,0197	—2,846	1,088	163,8	—0,8301	—2,124	45,6	86,67
0,7	—0,1177	—2,587	9,181	156,6	—0,8783	0,1992	46,02	— 71,58
0,75	—0,2325	—1,942	16,43	130,7	—0,8132	2,344	38,47	—228,1
0,8	—0,3065	—0,972	22,02	90,96	—0,6534	3,923	23,56	—363,7
0,85	—0,3259	0,2235	25,41	44,28	—0,4359	4,6	2,698	—464
0,9	—0,2823	1,53	26,48	— 0,7028	—0,2126	4,126	—22,15	—523
0,95	—0,1729	2,837	25,53	— 34,57	—0,045	2,353	—48,98	—545,2
1	0	4,062	23,36	— 47,9	0	—0,7794	—76,32	—535,2

Продолжение табл. 38

4-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	—1,204	3,286	0,8958	0	2,778	—4,262	—19,23
0,05	—0,056	—1,038	3,329	0,7434	0,1331	2,541	—5,214	—18,63
0,1	—0,1038	—0,8712	3,356	0,3154	0,2533	2,258	—6,107	—16,92
0,15	—0,1431	—0,7033	3,356	— 0,3436	0,3582	1,932	—6,889	—14,21
0,2	—0,1741	—0,5362	3,319	— 1,189	0,446	1,572	—7,513	—10,64
0,25	—0,1968	—0,3722	3,235	— 2,178	0,515	1,184	—7,941	— 6,388
0,3	—0,2114	—0,2136	3,099	— 3,265	0,5641	0,7812	—8,143	— 1,61
0,35	—0,2183	—0,0632	2,908	— 4,409	0,593	0,3742	—8,097	3,513
0,4	—0,2179	0,0761	2,658	— 5,57	0,6017	—0,024	—7,789	8,801
0,45	—0,2109	0,2016	2,351	— 6,711	0,591	—0,4002	—7,217	14,08
0,5	—0,198	0,3103	1,988	— 7,799	0,5623	—0,7413	—6,384	19,18
0,55	—0,1802	0,3995	1,572	— 8,805	0,5176	—1,034	—5,304	23,96
0,6	—0,1585	0,4667	1,109	— 9,705	0,4598	—1,268	—3,996	28,28
0,65	—0,1339	0,5097	0,6039	—10,48	0,392	—1,431	—2,485	32,05
0,7	—0,1079	0,5265	0,0632	—11,12	0,3181	—1,514	—0,8013	35,19
0,75	—0,0817	0,5156	—0,5062	—11,63	0,2421	—1,508	1,023	37,66
0,8	—0,0568	0,4755	—1,097	—11,99	0,1688	—1,41	2,954	39,47
0,85	—0,0347	0,4056	—1,704	—12,24	0,1028	—1,212	4,959	40,66
0,9	—0,0168	0,305	—2,319	—12,37	0,0493	—0,9128	7,011	41,32
0,95	0	0,1736	—2,939	—12,43	0,0133	—0,5105	9,085	41,58
1	0	0,0111	—3,561	—12,44	0	0	11,16	41,62

4-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''
0	0	—2,387	— 7,671	72,05	0	0,4737	27,32	—134,9
0,05	—0,1274	—2,68	— 4,085	71,07	0,055	1,672	20,59	—134,3
0,1	—0,265	—2,797	— 0,5993	68	0,1615	2,534	13,92	—131,9
0,15	—0,4042	—2,744	2,678	62,75	0,3029	3,067	7,45	—126,5
0,2	—0,5368	—2,534	5,639	55,35	0,463	3,285	1,335	—117,5
0,25	—0,6553	—2,187	8,181	45,98	0,6265	3,21	— 4,237	—104,7
0,3	—0,7536	—1,725	10,21	34,91	0,7796	2,873	— 9,074	— 88,18
0,35	—0,8264	—1,176	11,65	22,48	0,9101	2,317	—13	— 68,28
0,4	—0,8702	—0,5706	12,44	9,142	1,008	1,591	—15,86	— 45,69
0,45	—0,883	0,0572	12,56	— 4,646	1,067	0,7512	—17,54	— 21,24
0,5	—0,8647	0,6734	11,98	—18,39	1,083	—0,1415	—17,97	4,094
0,55	—0,8165	1,244	10,72	—31,61	1,053	—1,024	—17,13	29,26
0,6	—0,7416	1,735	8,834	—43,86	0,9815	—1,834	—15,06	53,23
0,65	—0,6448	2,118	6,362	—54,75	0,8722	—2,511	—11,84	75,06
0,7	—0,5321	2,363	3,386	—63,99	0,7335	—3,001	— 7,604	93,96
0,75	—0,4111	2,449	0	—71,4	0,576	—3,257	— 2,506	109,4
0,8	—0,2902	2,357	— 3,721	—76,89	0,4123	—3,241	3,268	121
0,85	—0,1786	2,073	— 7,664	—80,55	0,2569	—2,922	9,526	128,8
0,9	—0,0862	1,588	—11,75	—82,59	0,1254	—2,283	16,09	133,2
0,95	—0,0232	0,8972	—15,9	—83,41	0,0342	—1,311	22,8	135
1	0	0	—20,08	—83,53	0	0	29,56	135,3

4-й пролет

α	X_5	X'_5	X''_5	X'''_5	X_6	X'_6	X''_6	X'''_6
0	0	2,353	—13,84	— 7,441	0	—5,018	14,98	130,5
0,05	0,1001	1,652	—14,13	— 3,113	—0,2294	—4,108	21,29	117,8
0,1	0,1651	0,9458	—14,04	7,958	—0,4059	—2,909	26,4	83,45
0,15	0,1951	0,26	—13,27	22,9	—0,5169	—1,504	29,38	33,64
0,2	0,192	—0,3683	—11,73	38,92	—0,555	—0,0167	29,63	— 24,14
0,25	0,1599	—0,8997	— 9,407	53,47	—0,5196	1,41	26,96	— 82,05
0,3	0,1043	—1,298	— 6,442	64,39	—0,4173	2,634	21,55	—132,5
0,35	0,0327	—1,537	— 3,056	70,07	—0,2617	3,529	13,94	—169,1
0,4	—0,0464	—1,602	0,461	69,53	—0,0715	4,005	4,952	—187,1
0,45	—0,1245	—1,494	3,788	62,51	0,1309	4,018	— 4,413	—183,9
0,5	—0,1932	—1,231	6,611	49,45	0,3226	3,575	—13,08	—159,6
0,55	—0,2456	—0,8459	8,65	31,4	0,4818	2,738	—20,05	—116,3
0,6	—0,2765	—0,3829	9,694	9,93	0,5915	1,612	—24,48	— 58,61
0,65	—0,2834	0,1046	9,617	—13,1	0,6406	0,3423	—25,77	7,627
0,7	—0,2666	0,5595	8,391	—35,71	0,6261	—0,9081	—23,68	75,69
0,75	—0,229	0,9256	6,084	—56,07	0,553	—1,97	—18,28	139
0,8	—0,1763	1,152	2,847	—72,69	0,4348	—2,687	— 9,955	192
0,85	—0,1168	1,198	— 1,108	—84,68	0,2922	—2,927	0,6785	230,8
0,9	—0,06	1,034	— 5,54	—91,84	0,1516	—2,594	12,87	254,3
0,95	—0,0172	0,6402	—10,22	—94,86	0,0434	—1,627	25,88	264,3
1	0	0,0101	—14,98	—95,36	0	0	39,16	265,9

Продолжение табл. 38

4-й пролет

α	X_7	X'_7	X''_7	X'''_7	X_8	X'_8	X''_8	X'''_8
0	0	4,062	23,36	—391,1	0	—0,7794	—76,32	641,5
0,05	0,2242	4,745	4,067	—375,2	—0,121	—3,795	—44,37	632,7
0,1	0,4589	4,496	—13,59	—325,4	—0,3532	—5,236	—13,62	590,4
0,15	0,6603	3,441	—27,94	—243,5	—0,6201	—5,211	13,87	501,2
0,2	0,7929	1,782	—37,53	—136,9	—0,8535	—3,943	35,72	365,3
0,25	0,8328	—0,2163	—41,41	— 17,56	—0,9993	—1,769	49,81	193,9
0,3	0,7705	—2,259	—39,31	100,1	—1,022	0,8859	54,84	— 6,721
0,35	0,6111	—4,055	—31,67	201,6	—0,9104	3,56	50,61	—172,3
0,4	0,3734	—5,352	—19,63	273,9	—0,6735	5,809	38,15	—319,1
0,45	0,0872	—5,973	— 4,917	307,8	—0,3426	7,272	19,58	—413,3
0,5	—0,2111	—5,834	10,43	298,7	0,0365	7,716	— 2,084	—441,7
0,55	—0,4838	—4,956	24,25	247,7	0,4106	7,069	—23,42	—400,2
0,6	—0,6965	—3,467	34,6	161	0,7269	5,436	—41,04	—294,8
0,65	—0,8238	—1,58	39,94	49,42	0,942	3,076	—52,08	—140,1
0,7	—0,8525	0,4278	39,35	— 73,58	1,029	0,3712	—54,58	42,41
0,75	—0,784	2,252	32,63	—193,6	0,9809	—2,227	—47,78	228,4
0,8	—0,6352	3,596	20,26	—297,5	0,8155	—4,258	—32,08	394,5
0,85	—0,4368	4,202	3,307	—375,8	0,5715	—5,31	— 8,965	522,4
0,9	—0,2307	3,874	—16,82	—424,1	0,3062	—5,067	19,36	602,6
0,95	—0,067	2,492	—38,64	—444,9	0,0898	—3,327	50,53	637,5
1	0	0	—61,01	—448,2	0	0	82,62	643,2

Таблица 39

Пятипролетная балка
1-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	2,804	—0	—28,25	0	2,739	0	—31,98
0,05	0,1395	2,768	—1,406	—27,89	0,1362	2,699	—1,59	—31,47
0,1	0,2756	2,664	—2,777	—26,82	0,2686	2,581	—3,13	—29,97
0,15	0,4048	2,492	—4,077	—25,06	0,3931	2,388	—4,571	—27,51
0,2	0,5238	2,258	—5,272	—22,66	0,5062	2,126	—5,867	—24,17
0,25	0,6296	1,967	—6,334	—19,69	0,6047	1,804	—6,975	—20,05
0,3	0,7196	1,627	—7,233	—16,2	0,6858	1,432	—7,861	—15,26
0,35	0,7916	1,247	—7,947	—12,3	0,7473	1,022	—8,492	— 9,94
0,4	0,8438	0,8357	—8,458	— 8,081	0,7876	0,5876	—8,848	— 4,243
0,45	0,8749	0,4045	—8,752	— 3,645	0,8059	0,1424	—8,913	1,671
0,5	0,8841	—0,0356	—8,82	0,8958	0,8019	—0,2986	—8,68	7,638
0,55	0,8713	—0,4736	—8,662	5,427	0,7763	—0,7206	—8,151	13,5
0,6	0,837	—0,8981	—8,28	9,837	0,7304	—1,109	—7,335	19,09
0,65	0,7819	—1,298	—7,682	14,01	0,6662	—1,45	—6,249	24,27
0,7	0,7077	—1,663	—6,884	17,86	0,5865	—1,73	—4,917	28,92
0,75	0,6164	—1,983	—5,903	21,28	0,4944	—1,938	—3,368	32,92
0,8	0,5103	—2,251	—4,764	24,19	0,3941	—2,064	—1,637	36,22
0,85	0,3923	—2,458	—3,494	26,52	0,2896	—2,099	0,2408	38,75
0,9	0,2656	—2,598	—2,123	28,21	0,1858	—2,038	2,225	40,51
0,95	0,1336	—2,669	—0,684	29,24	0,0875	—1,875	4,279	41,52
1	0	—2,666	0,7895	29,57	0	—1,609	6,366	41,8

Продолжение табл. 39

1-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''
0	0	2,554	0	—37,24	0	2,078	0	—37,76
0,05	0,1269	2,507	—1,85	—36,49	0,1031	2,031	—1,872	—36,82
0,1	0,2492	2,37	—3,624	—34,24	0,2015	1,892	—3,652	—34,04
0,15	0,3625	2,147	—5,251	—30,6	0,2909	1,669	—5,248	—29,55
0,2	0,4627	1,849	—6,662	—25,68	0,3671	1,372	—6,582	—23,55
0,25	0,5463	1,486	—7,8	—19,66	0,427	1,016	—7,583	—16,31
0,3	0,6104	1,074	—8,614	—12,76	0,4681	0,6198	—8,197	— 8,142
0,35	0,6531	0,6304	—9,066	— 5,231	0,4887	0,2034	—8,388	0,5835
0,4	0,6733	0,1739	—9,131	2,677	0,4884	—0,2114	—8,135	9,494
0,45	0,6706	—0,2759	—8,796	10,69	0,4679	—0,6027	—7,441	18,21
0,5	0,6461	—0,699	—8,064	18,54	0,4289	—0,9485	—6,323	26,39
0,55	0,6015	—1,076	—6,949	25,97	0,3742	—1,228	—4,816	33,71
0,6	0,5396	—1,388	—5,478	32,77	0,3075	—1,424	—2,971	39,92
0,65	0,4641	—1,619	—3,686	38,75	0,2334	—1,521	—0,8459	44,84
0,7	0,3794	—1,752	—1,619	43,77	0,1572	—1,506	1,491	48,39
0,75	0,2907	—1,776	0,6736	47,76	0,0848	—1,369	3,97	50,58
0,8	0,2037	—1,682	3,139	50,69	0,0224	—1,107	6,528	51,54
0,85	0,1246	—1,461	5,726	52,63	—0,0236	—0,7163	9,107	51,5
0,9	0,0598	—1,108	8,388	53,71	—0,047	—0,1968	11,67	50,81
0,95	0,016	—0,6212	11,09	54,14	—0,0412	0,4496	14,19	49,96
1	0	0	13,79	54,12	0	1,221	16,67	49,41

1-й пролет

α	X_5	X'_5	X''_5	X'''_5	X_6	X'_6	X''_6	X'''_6
0	0	0,9104	0	—19,23	0	5,572	0	—223,4
0,05	0,0451	0,8865	—0,9523	—18,68	0,2739	5,295	—10,98	—212,3
0,1	0,0878	0,8161	—1,851	—17,08	0,5206	4,491	—20,88	—180,1
0,15	0,126	0,7032	—2,644	—14,5	0,7156	3,241	—28,7	—130
0,2	0,1576	0,5542	—3,287	—11,08	0,8394	1,669	—33,67	— 67,06
0,25	0,1809	0,3777	—3,741	— 6,996	0,8797	—0,0692	—35,29	2,584
0,3	0,195	0,1837	—3,979	— 2,461	0,8326	—1,801	—33,41	71,95
0,35	0,1992	—0,0162	—3,983	2,295	0,7026	—3,355	—28,22	134,1
0,4	0,1935	—0,2105	—3,749	5,108	0,5026	—4,576	—20,22	182,9
0,45	0,1785	—0,3873	—3,284	11,52	0,2525	—5,344	—10,23	213,5
0,5	0,1552	—0,5354	—2,606	15,54	—0,0229	—5,582	0,7754	222,8
0,55	0,1256	—0,6448	—1,741	18,92	—0,2964	—5,268	11,69	209,9
0,6	0,0916	—0,707	—0,7261	21,54	—0,541	—4,433	21,42	176
0,65	0,0558	—0,7155	0,3986	23,31	—0,7324	—3,162	28,99	124,4
0,7	0,021	—0,666	1,591	24,23	—0,852	—1,583	33,65	60,24
0,75	0	—0,5561	2,808	24,35	—0,8882	0,1456	34,91	— 10,24
0,8	—0,0335	—0,3854	4,014	23,81	—0,8379	1,849	32,63	— 80,15
0,85	—0,0473	—0,1553	5,182	22,82	—0,5279	3,353	27,02	—142,7
0,9	—0,0481	0,1317	6,293	21,64	—0,5085	4,503	18,59	—191,9
0,95	—0,0332	0,473	7,348	20,63	—0,2643	5,178	8,128	—223,2
1	0	0,8659	8,366	20,13	0	5,299	— 3,386	—231,9

Продолжение табл. 39

1-й пролет

α	X_7	X'_7	X''_7	X'''_7	X_8	X'_8	X''_8	X'''_8
0	0	5,063	0	—223,7	0	4,465	0	—223,6
0,05	0,2485	4,786	—10,98	—211,5	0,2186	4,189	—10,95	—209,9
0,1	0,4698	3,985	—20,76	—176,2	0,4101	3,393	—20,55	—170,2
0,15	0,6397	2,748	—28,28	—121,8	0,5508	2,176	—27,62	—109,6
0,2	0,7396	1,209	—32,72	— 54,12	0,6232	0,6875	—31,29	— 35,52
0,25	0,7583	—0,4646	—33,6	19,38	0,6181	—0,8885	—31,1	42,78
0,3	0,6939	—2,09	—30,82	90,64	0,5361	—2,359	—27,1	115,6
0,35	0,5531	—3,491	—24,7	151,8	0,387	—3,543	—19,79	173,8
0,4	0,3511	—4,516	—15,92	196,2	0,1889	—4,298	—10,08	31,25
0,45	0,1097	—5,055	— 5,446	218,8	—0,034	—4,532	0,7854	220
0,5	—0,1452	—5,052	5,555	217,1	—0,2551	—4,223	11,45	201,8
0,55	—0,3864	—4,511	15,86	191	—0,4479	—3,414	20,53	157,5
0,6	—0,5884	—3,497	24,29	143,2	—0,59	—2,216	26,84	92,05
0,65	—0,7302	—2,129	29,9	78,57	—0,6657	—0,7914	29,5	12,93
0,7	—0,798	—0,5662	31,98	3,646	—0,6686	0,665	28,05	— 71,12
0,75	—0,7867	1,005	30,21	— 74,03	—0,6022	1,944	22,46	—151,1
0,8	—0,7006	2,392	24,66	—146,9	—0,4804	2,848	13,14	—219,2
0,85	—0,5536	3,414	15,72	—208,3	—0,3265	3,208	0,834	—269,7
0,9	—0,3678	3,919	4,104	—253,3	—0,1708	2,898	—13,51	—300,6
0,95	—0,1722	3,795	— 9,294	—279,5	—0,0492	1,839	—28,93	—313,8
1	0	2,976	—23,54	—284,5	0	0	—44,7	—311,3

1-й пролет

α	X_9	X'_9	X''_9	X'''_9	X_{10}	X'_{10}	X''_{10}	X'''_{10}
0	0	3,491	0	—196,6	0	1,491	0	— 91
0,05	0,1704	3,248	— 9,602	—183	0,0726	1,379	— 4,435	— 84,16
0,1	0,3172	2,553	—17,87	—144	0,1344	1,059	— 8,205	— 64,7
0,15	0,4198	1,502	—23,67	— 85,11	0,1758	0,579	—10,74	— 35,54
0,2	0,4639	0,2409	—26,19	— 14,5	0,1908	0,0114	—11,67	— 1,068
0,25	0,4432	—1,056	—25,09	57,99	0,1769	—0,5586	—10,85	33,51
0,3	0,3606	—2,21	—20,53	122,2	0,1363	—1,046	— 8,405	62,96
0,35	0,2273	—3,062	—13, 5	169,2	0,0749	—1,378	— 4,713	82,83
0,4	0,0615	—3,495	— 4,203	192,3	0	—1,506	— 0,334	90,06
0,45	—0,1142	—3,454	5,625	188,1	—0,0718	—1,411	4,062	83,5
0,5	—0,276	—2,948	14,36	157	—0,1357	—1,111	7,799	64
0,55	—0,4024	—2,053	20,94	102,8	—0,1803	—0,6522	10,29	34,32
0,6	—0,4772	—0,9065	24,37	32,6	—0,1995	—0,1092	11,13	— 1,35
0,65	—0,4918	0,3209	24,08	— 44,73	—0,1913	0,4302	10,14	— 38,04
0,7	—0,4469	1,437	19,94	—119,6	—0,158	0,8754	7,393	— 70,8
0,75	—0,353	2,257	12,31	—183,3	—0,1066	1,145	3,194	— 95,58
0,8	—0,2289	2,622	1,905	—229,5	—0,0475	1,178	— 1,989	—109,9
0,85	—0,1003	2,417	—10,3	—255,4	0	0,9389	— 7,617	—113,5
0,9	0	1,578	—23,32	—262,6	0,0416	0,4174	—13,2	—108,6
0,95	0,0465	0,0853	—36,36	—257,7	0,0438	—0,3748	—18,42	—100,1
1	0	—2,052	—49,09	—247,5	0	—1,418	—23,27	— 92,73

Продолжение табл. 39

2-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	—2,666	0,7895	24,14	0	—1,609	6,366	— 4,26
0,05	—0,1318	—2,597	1,991	23,8	—0,0725	—1,296	6,148	— 4,538
0,1	—0,2586	—2,468	3,159	22,79	—0,1298	—0,9949	5,904	— 5,297
0,15	—0,3776	—2,282	4,26	21,15	—0,1723	—0,7067	5,612	— 6,425
0,2	—0,4859	—2,043	5,264	18,92	—0,2007	—0,4347	5,257	— 7,814
0,25	—0,5812	—1,758	6,143	16,166	—0,2161	—0,1822	4,828	— 9,366
0,3	—0,661	—1,431	6,873	12,96	—0,2193	0,0467	4,319	—10,98
0,35	—0,7238	—1,073	7,433	9,384	—0,2118	0,2483	3,73	—12,59
0,4	—0,768	—0,6913	7,807	5,534	—0,195	0,4184	3,062	—14,1
0,45	—0,7927	—0,2957	7,983	1,505	—0,1706	0,5533	2,322	—15,46
0,5	—0,7975	0,1035	7,956	— 2,6	—0,1404	0,6496	1,52	—16,61
0,55	—0,7824	0,4964	7,724	— 6,678	—0,1063	0,7044	0,665	—17,53
0,6	—0,7481	0,8726	7,291	—10,63	—0,0706	0,7155	—0,2289	—18,18
0,65	—0,6956	1,222	6,665	—14,35	—0,0355	0,681	—1,149	—18,58
0,7	—0,6265	1,536	5,86	—17,77	0	0,6003	—2,082	—18,72
0,75	—0,5427	1,806	4,895	—20,78	0,0236	0,4728	—3,017	—18,64
0,8	—0,4468	2,023	3,79	—23,34	0,0431	0,2987	—3,943	—18,39
0,85	—0,3414	2,183	2,569	—25,37	0,0527	0,0787	—4,854	—18,02
0,9	—0,2296	2,279	1,262	—26,84	0,0502	—0,1863	—5,746	—17,64
0,95	—0,1146	2,308	—0,1053	—27,73	0,0334	—0,4955	—6,619	—17,32
1	0	2,268	—1,502	—28,01	0	—0,848	—7,48	—17,16

2-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''
0	0	0	13,79	—54,22	0	1,221	16,67	—93,92
0,05	0,0161	0,6227	11,08	—54,16	0,0799	1,937	11,98	—93,25
0,1	0,06	1,109	8,385	—53,73	0,1898	2,421	7,375	—90,83
0,15	0,1248	1,462	5,723	—52,65	0,3182	2,678	2,938	—86,23
0,2	0,204	1,683	3,135	—50,7	0,454	2,72	— 1,208	—79,22
0,25	0,291	1,777	0,6689	—47,77	0,5869	2,564	— 4,942	—69,75
0,3	0,3797	1,753	— 1,624	—43,78	0,7075	2,234	— 8,144	—57,96
0,35	0,4644	1,619	— 3,692	—38,75	0,8079	1,76	—10,71	—44,16
0,4	0,54	1,388	— 5,483	—32,77	0,8817	1,176	—12,53	—28,76
0,45	0,6019	1,076	— 6,955	—25,97	0,9243	0,52	—13,56	—12,3
0,5	0,6465	0,6986	— 8,069	—18,52	0,9332	—0,1664	—13,76	4,63
0,55	0,671	0,2753	— 8,801	—10,67	0,9078	—0,8413	—13,1	21,41
0,6	0,6736	—0,1747	— 9,134	— 2,657	0,8499	—1,463	—11,63	37,43
0,65	0,6534	—0,6314	— 9,068	5,254	0,7631	—1,991	— 9,382	52,13
0,7	0,6106	—1,075	— 8,615	12,79	0,653	—2,39	— 6,445	65,02
0,75	0,5464	—1,487	— 7,8	19,69	0,5268	—2,626	— 2,915	75,76
0,8	0,4628	—1,85	— 6,661	25,71	0,3935	—2,673	1,092	84,13
0,85	0,3625	—2,148	— 5,247	30,63	0,263	—2,511	5,457	90,08
0,9	0,2492	—2,371	— 3,619	34,28	0,1462	—2,123	10,06	93,77
0,95	0,1269	—2,508	— 1,843	36,52	0,0546	—1,502	14,8	95,55
1	0	—2,554	0	37,22	0	—0,642	19,6	95,77

Продолжение табл. 39

2-й пролет

α	X_5	X'_5	X''_5	X'''_5	X_6	X'_6	X''_6	X'''_6
0	0	0,8659	8,366	—56,77	0	5,299	— 3,386	—191,1
0,05	0,0525	1,213	5,537	—56,17	0,2567	4,893	—12,77	—180,6
0,1	0,119	1,421	2,773	—54,13	0,4817	4,039	—21,12	—150,7
0,15	0,1923	1,493	0,1519	—50,4	0,6544	2,812	—27,57	—104,6
0,2	0,2662	1,44	—2,238	—44,89	0,7586	1,326	—31,4	— 47,39
0,25	0,3345	1,275	—4,308	—37,66	0,785	—0,2774	—32,22	15,16
0,3	0,3921	1,016	—5,978	—28,91	0,7315	—1,843	—29,91	76,6
0,35	0,4348	0,6848	—7,179	—18,94	0,604	—3,219	—24,68	130,7
0,4	0,4597	0,3064	—7,859	— 8,163	0,415	—4,271	—17,05	172
0,45	0,4651	—0,092	—7,989	2,984	0,1839	—4,896	— 7,766	196,2
0,5	0,4507	—0,4831	—7,562	14,02	—0,0664	—5,035	2,25	201
0,55	0,4174	—0,8392	—6,596	24,48	—0,3112	—4,676	12	185,7
0,6	0,3678	—1,134	—5,131	33,94	—0,5263	—3,856	20,51	151,8
0,65	0,3054	—1,345	—3,225	42,04	—0,6906	—2,66	26,92	102,5
0,7	0,235	—1,451	—0,953	48,55	—0,788	—1,209	30,59	42,64
0,75	0,1623	—1,436	1,601	53,32	—0,8097	0,3463	31,11	— 22,06
0,8	0,0937	—1,287	4,35	56,38	—0,7543	1,847	28,4	— 85,4
0,85	0,0359	—0,9987	7,213	57,91	—0,6285	3,136	22,69	—141,4
0,9	0	—0,5654	10,12	58,25	—0,4466	4,075	14,47	—184,9
0,95	—0,0181	0,0133	13,03	57,93	—0,2287	4,554	4,474	—212,2
1	0	0,7368	15,91	57,46	0	4,507	— 6,44	—219,5

Продолжение табл. 39

2-й пролет

α	X_7	X_7'	X_7''	X_7'''	X_8	X_8'	X_{8j}''	X_8'''
0	0	2,976	—23,54	24,62	0	0	—44,7	316
0,05	0,1198	1,831	—22,2	30,91	—0,0493	—1,841	—28,92	313,9
0,1	0,1843	0,7651	—20,3	46,13	—0,171	—2,899	—13,5	300,7
0,15	0,1983	—0,1843	—17,52	65,12	—0,3267	—3,209	0,8447	269,8
0,2	0,1686	—0,9713	—13,8	83,28	—0,4807	—2,848	13,15	219,2
0,25	0,1046	—1,551	— 9,273	96,8	—0,6024	—1,944	22,47	151,1
0,3	0,0175	—1,89	— 4,246	102,9	—0,6688	—0,6638	28,06	71,08
0,35	—0,08	—1,974	0,863	99,88	—0,6659	0,7928	29,51	— 12,99
0,4	—0,1756	—1,81	5,583	87,37	—0,59	2,218	26,84	— 92,13
0,45	—0,2575	—1,43	9,455	66,16	—0,4479	3,416	20,52	—157,5
0,5	—0,3159	—0,8857	12,08	38,06	—0,255	4,224	11,44	—201,8
0,55	—0,3445	—0,2471	13,19	5,698	—0,0338	4,533	0,7775	—220
0,6	—0,3404	0,4054	12,63	— 27,86	0,1892	4,298	—10,09	—210,2
0,65	—0,3051	0,9888	10,44	— 59,48	0,3873	3,543	—19,8	—173,8
0,7	—0,244	1,424	6,766	— 86,35	0,5363	2,359	—27,11	—115,6
0,75	—0,1662	1,646	1,915	—106,4	0,6183	0,8878	—31,11	— 42,72
0,8	—0,0838	1,603	— 3,741	—118,5	0,6233	—0,6886	—31,29	35,61
0,85	—0,0109	1,265	— 9,808	—123	0,5509	—2,177	—27,62	109,7
0,9	0,0375	0,6207	—15,94	—121,4	0,4102	—3,394	—20,55	170,3
0,95	0,0461	—0,3262	—21,9	—117	0,2186	—4,189	—10,94	210
1	0	—1,566	—27,67	—112,8	0	—4,465	0,0173	221,2

Продолжение табл. 39

2-й пролет

α	X_9	X'_9	X''_9	X'''_9	X_{10}	X'_{10}	X''_{10}	X'''_{10}
0	0	—2,052	—49,09	483,8	0	—1,418	—23,27	268,3
0,05	—0,1538	—3,903	—25,07	472,8	—0,0944	—2,248	— 9,984	260,2
0,1	—0,3707	—4,579	— 2,307	431,9	—0,2139	—2,431	2,406	231,7
0,15	—0,5939	—4,183	17,52	355,4	—0,3279	—2,04	12,82	181,1
0,2	—0,7742	—2,905	32,69	246,5	—0,4104	—1,2	20,21	111,9
0,25	—0,8741	—1,015	41,8	115,1	—0,4433	—0,0826	23,83	31,85
0,3	—0,871	1,161	44,07	— 24,11	—0,4174	1,114	23,38	— 48,95
0,35	—0,759	3,278	39,54	—154,2	—0,3339	2,191	19,1	—119,5
0,4	—0,5495	5,016	29,08	—258,7	—0,2032	2,973	11,77	—169,9
0,45	—0,2682	6,114	14,33	—324	—0,0436	3,337	2,565	—193,1
0,5	0,0484	6,413	— 2,521	—341,5	0,1224	3,223	— 7,035	—185,7
0,55	0,3589	5,868	—18,99	—309	0,271	2,652	—15,51	—148,8
0,6	0,6225	4,561	—32,66	—230,7	0,3814	1,714	—21,51	— 87,49
0,65	0,8055	2,684	—41,46	—116,6	0,4388	0,5599	—24	— 10,48
0,7	0,8861	0,5203	—43,97	18,36	0,437	—0,6188	—22,47	71,7
0,75	0,8583	—1,597	—39,56	157,5	0,3799	—1,62	—16,92	148,3
0,8	0,733	—3,323	—28,43	284,3	0,2812	—2,253	— 7,886	210,1
0,85	0,5378	—4,344	—11,56	385,3	0,1633	—2,365	3,746	251,5
0,9	0,3146	—4,408	9,539	452,7	0,0551	—1,853	16,9	271,4
0,95	0,1157	—3,348	33,14	486	—0,0106	—0,6659	30,6	274,6
1	0	—1,079	57,7	484,8	0	1,206	44,26	265,9

Продолжение табл. 39

3-й пролет

a	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	2,268	—1,502	—17,67	0	—0,848	—7,48	36,98
0,05	0,1111	2,171	—2,381	—17,38	—0,0509	—1,176	—5,634	36,8
0,1	0,2163	2,03	—3,231	—16,54	—0,116	—1,412	—3,807	36,19
0,15	0,3134	1,848	—4,026	—15,17	—0,1906	—1,557	—2,024	35,06
0,2	0,4005	1,629	—4,74	—13,32	—0,2703	—1,615	—0,3107	33,36
0,25	0,4758	1,376	—5,351	—11,06	—0,3507	—1,59	1,302	31,06
0,3	0,5377	1,096	—5,84	— 8,445	—0,428	—1,487	2,785	28,17
0,35	0,585	0,7944	—6,191	— 5,547	—0,4983	—1,314	4,11	24,73
0,4	0,6169	0,4792	—6,391	— 2,444	—0,5584	—1,079	5,25	20,81
0,45	0,6328	0,1579	—6,433	0,782	—0,6054	—0,7926	6,184	16,49
0,5	0,6327	—0,1613	—6,312	4,049	—0,637	—0,4646	6,895	11,88
0,55	0,6169	—0,4705	—6,029	7,274	—0,6513	—0,107	7,37	7,102
0,6	0,586	—0,7615	—5,587	10,38	—0,6474	0,2682	7,604	2,282
0,65	0,5411	—1,027	—4,994	13,29	—0,6244	0,6493	7,6	— 2,439
0,7	0,4838	—1,259	—4,262	15,93	—0,5825	1,024	7,364	— 6,92
0,75	0,4159	—1,451	—3,406	18,26	—0,5223	1,382	6,914	—11,02
0,8	0,3395	—1,598	—2,443	20,2	—0,4448	1,712	6,271	—14,61
0,85	0,257	—1,694	—1,393	21,74	—0,3516	2,007	5,463	—17,57
0,9	0,171	—1,736	—0,2762	22,85	—0,2448	2,257	4,526	—19,79
0,95	0,0844	—1,721	0,8844	23,5	—0,1268	2,458	3,498	—21,17
1	0	—1,647	2,067	23,71	0	2,606	2,424	—21,63

Продолжение табл. 39

3-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''
0	0	—2,554	0	37,21	0	—0,6423	19,59	—72,63
0,05	—0,1269	—2,507	1,856	36,45	0	0,2465	15,96	—72,78
0,1	—0,2491	—2,369	3,629	34,21	0,0216	0,9535	12,32	—72,72
0,15	—0,3624	—2,147	5,254	30,56	0,0831	1,479	8,702	—71,81
0,2	—0,4625	—1,848	6,664	25,65	0,1665	1,825	5,161	—69,57
0,25	—0,5461	—1,485	7,8	19,63	0,2628	1,998	1,773	—65,68
0,3	—0,6102	—1,073	8,613	12,74	0,3635	2,006	— 1,376	—59,99
0,35	—0,6529	—0,6295	9,064	5,208	0,4609	1,865	— 4,196	—52,49
0,4	—0,6729	—0,1731	9,127	— 2,696	0,5479	1,594	— 6,597	—43,3
0,45	—0,6703	0,2765	8,732	—10,7	0,6185	1,214	— 8,502	—32,67
0,5	—0,6457	0,6994	8,06	—18,55	0,6679	0,7529	— 9,846	—20,95
0,55	—0,6011	1,076	6,944	—25,98	0,6929	0,2395	—10,58	— 8,544
0,6	—0,5392	1,388	5,472	—32,77	0,6915	—0,2951	—10,7	4,077
0,65	—0,4637	1,618	3,681	—38,75	0,6635	—0,8196	—10,18	16,43
0,7	—0,379	1,751	1,614	—43,76	0,6102	—1,303	— 9,066	28,04
0,75	—0,2903	1,776	— 0,678	—47,74	0,5344	—1,717	— 7,398	38,47
0,8	—0,2034	1,681	— 3,143	—50,67	0,4401	—2,035	— 5,245	47,35
0,85	—0,1244	1,459	— 5,729	—52,61	0,3329	—2,235	— 2,693	54,39
0,9	—0,0597	1,106	— 8,39	—53,69	0,2189	—2,299	0,1609	59,41
0,95	—0,016	0,6197	—11,09	—54,11	0,1054	—2,215	3,214	62,35
1	0	0	—13,8	—54,1	0	—1,976	6,363	63,16

3-й пролет

α	X_5	X_5'	X_5''	X_5'''	X_6	X_6'	X_6''	X_6'''
0	0	0,7368	15,91	—88,76	0	4,507	— 6,44	—140,1
0,05	0,0548	1,422	11,48	—88,17	0,2143	4,011	—13,3	—131,3
0,1	0,1385	1,886	7,125	—85,9	0,3957	3,191	—19,3	—106,5
0,15	0,2399	2,137	2,933	—81,38	0,5291	2,108	—23,74	— 69
0,2	0,3488	2,185	— 0,97	—74,31	0,6036	0,853	—26,06	— 23,08
0,25	0,4553	2,047	— 4,454	—64,64	0,6134	—0,4584	—25,99	26,24
0,3	0,5508	1,748	— 7,393	—52,53	0,5588	—1,705	—23,47	73,75
0,35	0,6279	1,319	— 9,673	—38,33	0,446	—2,768	—18,72	114,5
0,4	0,6811	0,7935	—11,2	—22,56	0,2868	—3,548	—12,21	144,2
0,45	0,7064	0,2122	—11,91	— 5,84	0,0972	—3,969	— 4,544	159,7
0,5	0,702	—0,3835	—11,78	11,13	—0,1035	—3,995	3,505	159,5
0,55	0,6685	—0,9517	—10,81	27,65	—0,2956	—3,626	11,14	143,3
0,6	0,608	—1,451	— 9,034	43,03	—0,4601	—2,901	17,6	112,7
0,65	0,5252	—1,843	— 6,533	56,67	—0,581	—1,897	22,22	70,58
0,7	0,4261	—2,094	— 3,403	68,12	—0,6469	—0,7175	24,53	20,86
0,75	0,3186	—2,175	0,2371	77,07	—0,6519	0,5131	24,26	— 31,73
0,8	0,2118	—2,064	4,261	83,43	—0,5969	1,665	21,39	— 82,28
0,85	0,1157	—1,744	8,539	87,33	—0,4888	2,612	16,14	—126,2
0,9	0,041	—1,207	12,96	89,16	—0,3409	3,246	8,944	—159,8
0,95	0	—0,4477	17,43	89,57	—0,1708	3,484	0,3828	—180,4
1	0	0,5357	21,91	89,18	—0	3,273	— 8,864	—185,6

Продолжение табл. 39

3-й пролет

α	X_7	X_7'	X_7''	X_7'''	X_8	X_8'	X_8''	X_8'''
0	0	—1,566	—27,67	252,6	0	—4,465	0,0173	223,5
0,05	—0,1076	—2,634	—15,11	247,8	—0,2186	—4,188	10,96	209,7
0,1	—0,2531	—3,086	— 3,095	230,5	—0,4101	—3,392	20,56	170,1
0,15	—0,4066	—2,965	7,687	198,3	—0,5507	—2,174	27,62	109,5
0,2	—0,5413	—2,35	16,5	152	—0,623	—0,6864	31,28	35,44
0,25	—0,6353	—1,358	22,7	94,4	—0,6179	0,8893	31,09	— 42,84
0,3	—0,6732	—0,1316	25,83	30,28	—0,5358	2,359	27,09	—115,6
0,35	—0,6472	1,171	25,72	— 34,44	—0,3867	3,543	19,78	—173,8
0,4	—0,5576	2,388	22,48	— 93,51	—0,1887	4,297	10,07	—210,1
0,45	—0,4123	3,374	16,56	—141,1	0,0341	4,531	— 0,7934	—219,9
0,5	—0,2261	4,011	8,648	—172,4	0,2552	4,221	—11,45	—201,7
0,55	—0,0184	4,22	— 0,3535	—184,3	0,4479	3,412	—20,52	—157,4
0,6	0,1882	3,974	— 9,445	—176	0,5899	2,215	—26,83	— 91,97
0,65	0,3716	3,291	—17,63	—148,5	0,6656	0,79	—29,49	— 12,86
0,7	0,5112	2,24	—24,03	—105,1	0,6684	—0,6657	—28,04	71,17
0,75	0,5913	0,9294	—27,96	— 51,01	0,602	—1,944	—22,44	151,1
0,8	0,602	—0,5082	—29,05	7,584	0,4802	—2,848	—13,12	219,1
0,85	0,5407	—1,928	—27,25	63,71	0,3263	—3,207	— 0,8233	269,7
0,9	0,4119	—3,189	—22,84	110,5	0,1707	—2,896	13,51	300,5
0,95	0,2264	—4,178	—16,45	142	0,0491	—1,838	28,93	313,7
1	0	—4,816	— 8,978	151,9	0	0	44,7	311,2

3-й пролет

α	X_9	X'_9	X''_9	X'''_9	X_{10}	X'_{10}	X''_{10}	X'''_{10}
0	0	—1,079	57,7	—372,1	0	1,206	44,26	—419,3
0,05	0,0104	1,341	39,07	—372,9	0,1069	2,896	23,42	—410,7
0,1	0,1185	2,83	20,58	—363,7	0,2725	3,565	3,628	—376
0,15	0,2783	3,415	3,069	—332,7	0,4478	3,301	—13,63	—308,9
0,2	0,4463	3,174	—12,24	—275,3	0,5899	2,271	—26,76	—211,8
0,25	0,5843	2,249	—24,05	—193,3	0,6662	0,716	—34,47	— 94,09
0,3	0,6632	0,845	—31,28	— 93,9	0,6576	—1,073	—36,06	30,14
0,35	0,665	—0,792	—33,33	12,06	0,5601	—2,789	—31,62	144,5
0,4	0,5845	—2,401	—30,18	111,8	0,3846	—4,15	—22,04	233,2
0,45	0,4295	—3,734	—22,47	192,7	0,1547	—4,935	— 8,941	283,8
0,5	0,219	—4,591	—11,4	244,5	—0,0971	—5,02	5,581	289,3
0,55	—0,0194	—4,845	1,386	260,5	—0,3352	—4,392	19,21	248,6
0,6	—0,2546	—4,455	14,02	238,6	—0,526	—3,15	29,77	167,8
0,65	—0,4551	—3,477	24,66	181,9	—0,6433	—1,495	35,51	57,97
0,7	—0,5947	—2,049	31,75	98,02	—0,6731	0,3016	35,34	— 65,58
0,75	—0,6559	—0,3794	34,19	— 1,848	—0,6159	1,935	28,99	—186,5
0,8	—0,6328	1,285	31,51	—104,7	—0,4873	3,106	16,99	—289,8
0,85	—0,5318	2,689	23,89	—197,6	—0,3172	3,559	0,4932	—364,8
0,9	—0,372	3,604	12,1	—269,6	—0,1465	3,107	—18,94	—407,5
0,95	—0,1826	3,851	— 2,6	—313,6	—0,0235	1,641	—39,78	—422,1
1	0	3,32	—18,75	—322,4	0	—0,8758	—60,91	—413

4-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	—1,647	2,067	9,468	0	2,606	2,424	—39,2
0,05	—0,0795	—1,532	2,537	9,261	0,1325	2,678	0,4723	—38,71
0,1	—0,1527	—1,394	2,986	8,659	0,2661	2,654	—1,43	—37,23
0,15	—0,2185	—1,234	3,397	7,699	0,3963	2,537	—3,234	—34,77
0,2	—0,2758	—1,055	3,751	6,422	0,5184	2,333	—4,892	—31,38
0,25	—0,3237	—0,8598	4,034	4,873	0,6282	2,051	—6,358	—27,13
0,3	—0,3616	—0,6527	4,235	3,103	0,7223	1,701	—7,592	—22,11
0,35	—0,3889	—0,4379	4,342	1,165	0,7974	1,296	—8,559	—16,47
0,4	—0,4053	—0,2202	4,349	— 0,885	0,8512	0,8499	—9,231	—10,36
0,45	—0,4109	0	4,252	— 2,992	0,882	0,378	—9,589	— 3,923
0,5	—0,4059	0,2032	4,05	— 5,101	0,8889	—0,1035	—9,621	2,649
0,55	—0,3908	0,3985	3,743	— 7,158	0,8718	—0,5786	—9,325	9,183
0,6	—0,3664	0,5759	3,336	— 9,112	0,8314	—1,031	—8,707	15,5
0,65	—0,3336	0,7305	2,834	—10,92	0,7693	—1,444	—7,781	21,44
0,7	—0,2938	0,8579	2,247	—12,54	0,6879	—1,804	—6,571	26,85
0,75	—0,2483	0,954	1,584	—13,94	0,59	—2,097	—5,107	31,59
0,8	—0,199	1,015	0,8576	—15,09	0,4795	—2,311	—3,425	35,56
0,85	—0,1474	1,039	0,0797	—15,98	0,3604	—2,436	—1,565	38,67
0,9	—0,0957	1,023	—0,7362	—16,61	0,2374	—2,465	0,4273	40,89
0,95	—0,0459	0,9648	—1,577	—16,97	0,1156	—2,392	2,508	42,19
1	0	0,8647	—2,429	—17,08	0	—2,214	4,632	42,58

Продолжение табл. 39

4-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''
0	0	0	—13,79	54,25	0	—1,976	6,363	8,541
0,05	—0,0162	—0,6242	—11,08	54,18	—0,0906	—1,648	6,776	7,692
0,1	—0,0601	—1,111	— 8,383	53,75	—0,1644	—1,3	7,107	5,348
0,15	—0,125	—1,463	— 5,72	52,67	—0,2204	—0,9393	7,291	1,823
0,2	—0,2042	1,684	— 3,131	50,72	—0,2583	—0,5742	7,275	— 2,556
0,25	—0,2913	—1,778	— 0,6642	47,78	—0,278	—0,2157	7,026	— 7,455
0,3	—0,3801	—1,753	1,629	43,78	—0,2801	0,1241	6,526	—12,55
0,35	—0,4648	—1,619	3,697	38,76	—0,2661	0,4326	5,773	—17,54
0,4	—0,5404	—1,388	5,489	32,77	—0,2376	0,6974	4,779	—22,14
0,45	—0,6023	—1,076	6,96	25,96	—0,1972	0,9069	3,57	—26,11
0,5	—0,6469	—0,6982	8,074	18,51	—0,148	1,051	2,182	—29,25
0,55	—0,6714	—0,2746	8,805	10,66	—0,0933	1,123	0,6602	—31,45
0,6	—0,6739	0,1756	9,137	2,638	—0,037	1,116	— 0,9462	—32,64
0,65	—0,6537	0,6324	9,07	— 5,277	0,0168	1,028	— 2,587	—32,81
0,7	—0,6109	1,076	8,616	—12,82	0,0643	0,8576	— 4,212	—32,06
0,75	—0,5466	1,488	7,799	—19,72	0,1013	0,6075	— 5,78	—30,54
0,8	—0,4629	1,851	6,659	—25,74	0,1238	0,2811	— 7,257	—28,47
0,85	—0,3626	2,149	5,244	—30,66	0,1282	—0,1162	— 8,622	—26,15
0,9	—0,2492	2,371	3,614	—34,31	0,1111	—0,5791	— 9,873	—23,94
0,95	—0,1269	2,508	1,836	—36,55	0,0693	—1,102	—11,02	—22,26
1	0	2,554	— 0,0165	—37,26	0	—1,681	—12,11	—21,53

4-й пролет

α	X_5	X'_5	X''_5	X'''_5	X_6	X'_6	X''_6	X'''_6
0	0	0,5357	21,91	—112,1	0	3,273	— 8,864	— 75,33
0,05	0,0518	1,491	16,31	—111,6	0,151	2,737	—12,52	— 69,08
0,1	0,1444	2,168	10,78	—109,3	0,2708	2,031	—15,59	— 51,89
0,15	0,264	2,572	5,427	—104,4	0,3519	1,196	—17,58	— 26,6
0,2	0,3973	2,716	0,3923	— 96,47	0,3894	0,296	—18,17	3,486
0,25	0,5316	2,619	— 4,166	— 85,31	0,3817	—0,5945	—17,21	34,76
0,3	0,6557	2,31	— 8,086	— 71,02	0,3314	—1,399	—14,73	63,68
0,35	0,7597	1,824	—11,22	— 53,97	0,2445	—2,046	—10,93	87,03
0,4	0,8358	1,203	—13,45	— 34,75	0,1304	—2,476	— 6,165	102,2
0,45	0,8786	0,4958	—14,67	— 14,09	0	—2,653	— 0,8764	107,6
0,5	0,8848	—0,2465	—14,85	7,157	—0,1304	—2,564	4,416	102,3
0,55	0,8542	—0,9711	—13,96	28,11	—0,251	—2,221	9,189	86,92
0,6	0,7889	—1,626	—12,05	47,91	—0,3488	—1,662	12,96	62,63
0,65	0,6936	—2,160	— 9,203	65,76	—0,4146	—0,9478	15,34	31,72
0,7	0,5755	—2,532	— 5,521	81,04	—0,4423	—0,1553	16,07	— 2,965
0,75	0,4438	—2,702	— 1,15	93,3	—0,4302	0,6296	15,03	— 38,28
0,8	0,3092	—2,638	3,755	102,3	—0,3809	1,319	12,28	— 71,1
0,85	0,1842	—2,32	9,031	108,2	—0,3013	1,832	8,012	— 98,68
0,9	0,0818	—1,731	14,53	111,4	—0,2018	2,1	2,537	—119
0,95	0,0157	—0,8649	20,13	112,4	—0,0961	2,073	— 3,746	—130,9
1	0	0,2054	25,76	112,2	0	1,719	—10,42	—133,5

4-й пролет

α	X_7	X_7'	X_7''	X_7'''	X_8	X_8'	X_8''	X_8'''
0	0	—4,816	— 8,978	272,3	0	0	44,7	—316,1
0,05	—0,2463	—4,927	4,438	260,4	0,0494	1,843	28,92	—314
0,1	—0,4819	—4,392	16,66	224,7	0,1712	2,9	13,49	—300,7
0,15	—0,6763	—3,3	26,56	168	0,3269	3,21	— 0,8554	—269,8
0,2	—0,8049	—1,791	33,19	95,37	0,4809	2,849	—13,16	—219,2
0,25	—0,8514	—0,0454	35,95	14,15	0,6027	1,943	—22,48	—151,1
0,3	—0,8089	1,736	34,61	— 67,29	0,669	0,6629	—28,07	— 71,03
0,35	—0,6806	3,35	29,36	—140,3	0,666	—0,7942	—29,52	13,06
0,4	—0,4797	4,617	20,84	—197,3	0,5901	—2,22	—26,84	92,21
0,45	—0,2271	5,395	10,01	—231,9	0,4479	—3,418	—20,52	157,6
0,5	0,0502	5,599	— 1,92	—240,6	0,2549	—4,226	—11,43	201,9
0,55	0,3228	5,207	—13,61	—222,3	0,0336	—4,535	— 0,7695	220,1
0,6	0,5617	4,265	—23,73	—179	—0,1894	—4,299	10,11	210,2
0,65	0,7418	2,879	—31,16	—115	—0,3875	—3,544	19,81	173,8
0,7	0,8448	1,209	—35,01	— 37,22	—0,5366	—2,358	27,12	115,5
0,75	0,8612	—0,5533	—34,78	46,43	—0,6186	—0,887	31,12	42,66
0,8	0,7914	—2,2	—30,41	127,4	—0,6235	0,6897	31,3	— 35,69
0,85	0,6465	—3,53	—22,22	197,9	—0,5511	2,178	27,62	—109,8
0,9	0,4466	—4,369	—10,9	251,4	—0,4103	3,395	20,54	—170,4
0,95	0,22	—4,584	2,569	283,9	—0,2186	4,19	10,93	—210,1
1	0	—4,095	17,11	291,3	0	4,465	— 0,0346	—221,3

Продолжение табл. 39

4-й пролет

α	X_9	X'_9	X''_9	X'''_9	X_{10}	X'_{10}	X''_{10}	X'''_{10}
0	0	3,32	—18,75	— 46,31	0	—0,8758	—60,91	529,2
0,05	0,1416	2,327	—20,86	— 34,48	—0,1089	—3,261	—34,57	521
0,1	0,2313	1,252	—21,89	— 4,32	—0,3044	—4,35	— 9,307	483,5
0,15	0,2666	0,1679	—21,13	35,71	—0,5238	—4,239	13,11	406,5
0,2	0,2495	—0,8264	—18, 3	77,13	—0,7115	—3,12	30,7	291
0,25	0,1872	—1,629	—13,52	112,2	—0,8238	—1,279	41,74	147,1
0,3	0,0913	—2,154	— 7,295	134,5	—0,8333	0,9272	45,21	— 8,376
0,35	—0,0226	—2,347	— 0,3566	140	—0,7314	3,114	41,04	—155,3
0,4	—0,1375	—2,193	6,402	127,3	—0,5283	4,919	30,16	—273,6
0,45	—0,2367	—1,726	12,08	97,42	—0,2508	6,049	14,44	—346,7
0,5	—0,306	—1,016	15,92	54,09	0,0623	6,325	— 3,581	—364,4
0,55	—0,336	—0,1729	17,36	2,832	0,3666	5,701	—21,03	—324,1
0,6	—0,3232	0,6765	16,18	— 49,79	0,619	4,278	—35,12	—231,6
0,65	—0,2704	1,403	12,47	— 97,14	0,7848	2,284	—43,53	— 99,78
0,7	—0,1869	1,888	6,648	—133,6	0,8433	0,045	—44,75	53,03
0,75	—0,0871	2,043	— 0,641	—155,3	0,7915	—2,061	—38,22	206,4
0,8	0,0108	1,813	— 8,619	—161,2	0,6457	—3,656	—24,43	341
0,85	0,0874	1,182	—16,52	—153	0,4401	—4,404	— 4,684	442,3
0,9	0,1227	0,1714	—23,77	—135,8	0,2236	—4,056	19,13	503,6
0,95	0,0989	—1,179	—30,08	—117,4	0,0554	—2,456	45,06	528,3
1	0	—2,824	—35,66	—105,8	0	0,4598	71,59	519,6

5-й пролет

α	X_1	X_1'	X_1''	X_1'''	X_2	X_2'	X_2''	X_2'''
0	0	0,8647	—2,429	—0,337	0	—2,214	4,632	9,077
0,05	0,0401	0,7428	—2,445	—0,2309	—0,1047	—1,971	5,079	8,681
0,1	0,0742	0,6204	—2,449	0,0665	—0,1967	—1,707	5,488	7,557
0,15	0,1022	0,4982	—2,435	0,5238	—0,275	—1,424	5,824	5,801
0,2	0,1241	0,3773	—2,395	1,11	—0,3388	—1,126	6,059	3,519
0,25	0,14	0,2593	—2,323	1,792	—0,3875	—0,8196	6,169	0,8198
0,3	0,1501	0,1457	—2,214	2,542	—0,4207	—0,5114	6,136	— 2,183
0,35	0,1547	0,0385	—2,068	3,33	—0,4387	—0,2086	5,948	— 5,375
0,4	0,1541	—0,0603	—1,881	4,127	—0,4418	0,0806	5,597	— 8,644
0,45	0,1488	—0,1489	—1,655	4,91	—0,431	0,3483	5,084	—11,88
0,5	0,1394	—0,2252	—1,391	5,654	—0,4075	0,5863	4,411	—14,99
0,55	0,1265	—0,2874	—1,091	6,34	—0,373	0,7869	3,588	—17,89
0,6	0,1109	—0,3338	—0,758	6,953	—0,3295	0,9428	2,627	—20,5
0,65	0,0934	—0,3628	—0,397	7,48	—0,2795	1,048	1,544	—22,76
0,7	0,0749	—0,3731	—0,017	7,914	—0,2257	1,096	0,3571	—24,63
0,75	0,0564	—0,3636	0,3928	8,253	—0,171	1,082	—0,9128	—26,1
0,8	0,0389	—0,3336	0,8119	8,498	—0,1186	1,003	—2,246	—27,17
0,85	0,0234	—0,2822	1,241	8,658	—0,0718	0,8565	—3,624	—27,87
0,9	0,011	—0,2093	1,677	8,745	—0,0341	0,6403	—5,028	—28,26
0,95	0	—0,1145	2,115	8,779	0	0,3535	—6,446	—28,41
1	0	0	2,554	8,784	0	0	—7,867	—28,43

5-й пролет

α	X_3	X_3'	X_3''	X_3'''	X_4	X_4'	X_4''	X_4'''
0	0	2,554	—0,0165	—37,18	0	—1,681	—12,12	82,67
0,05	0,1268	2,507	—1,8628	—36,42	—0,0974	—2,183	— 7,996	81,83
0,1	0,2491	2,369	—3,634	—34,18	—0,2149	—2,482	— 3,966	79,01
0,15	0,3623	2,146	—5,257	—30,53	—0,3423	—2,583	— 0,1323	73,95
0,2	0,4624	1,847	—6,666	—25,62	—0,4701	—2,5	3,39	66,57
0,25	0,5459	1,484	—7,801	—19,6	—0,5895	—2,251	6,486	56,92
0,3	0,61	1,072	—8,612	—12,71	—0,6929	—1,86	9,048	45,23
0,35	0,6525	0,6285	—9,061	— 5,184	—0,7737	—1,357	10,98	31,88
0,4	0,6726	0,1722	—9,124	2,716	—0,8272	—0,7739	12,21	17,27
0,45	0,6699	—0,2772	—8,788	10,72	—0,8504	—0,1479	12,7	1,987
0,5	0,6453	—0,6999	—8,055	18,56	—0,8419	0,483	12,41	—13,44
0,55	0,6007	—1,076	—6,939	25,99	—0,8026	1,08	11,36	—28,43
0,6	0,5388	—1,388	—5,467	32,77	—0,7351	1,607	9,585	—42,44
0,65	0,4633	—1,618	—3,675	38,74	—0,6437	2,028	7,142	—55
0,7	0,3786	—1,751	—1,609	43,76	—0,5346	2,311	4,115	—65,73
0,75	0,29	—1,775	0,6829	47,73	—0,4153	2,431	0,6034	—74,37
0,8	0,2031	—1,68	3,147	50,66	—0,2946	2,365	— 3,285	—80,82
0,85	0,1242	—1,458	5,732	52,59	—0,1821	2,098	— 7,443	—85,13
0,9	0,0595	—1,105	8,392	53,67	—0,0883	1,618	—11,77	—87,55
0,95	0,0159	—0,6182	11,09	54,09	—0,0239	0,9201	—16,17	—88,52
1	0	0	13,8	54,16	0	0	—20,6	—88,67

Продолжение табл. 39

5-й пролет

α	X_5	X'_5	X''_5	X'''_5	X_6	X'_6	X''_6	X'''_6
0	0	0,2054	25,76	—124,5	0	1,719	—10,42	— 3,199
0,05	0,0437	1,4148	19,54	—124	0,0728	1,195	—10,53	— 0,0966
0,1	0,1363	2,2375	13,38	—122	0,1195	0,6715	—10,35	7,807
0,15	0,2624	2,756	7,392	—117,2	0,1403	0,1681	— 9,7	18,42
0,2	0,407	2,982	1,716	—109,2	0,137	—0,2891	— 8,496	29,71
0,25	0,556	2,936	— 3,47	— 97,64	0,1126	—0,6723	— 6,748	39,88
0,3	0,6965	2,646	— 7,989	— 82,57	0,0715	—0,9564	— 4,553	47,37
0,35	0,8172	2,151	—11,67	— 64,34	0,019	—1,123	— 2,075	51,06
0,4	0,9089	1,495	—14,38	— 43,55	—0,0386	—1,163	0,4783	50,29
0,45	0,9649	0,7309	—16	— 20,97	—0,0951	—1,078	2,877	44,88
0,5	0,9811	—0,0854	—16,46	2,481	—0,1445	—0,8813	4,895	35,19
0,55	0,9565	—0,8957	—15,75	25,83	—0,1818	—0,5978	6,336	21,98
0,6	0,8926	—1,642	—13,9	48,11	—0,2034	—0,2598	7,053	6,39
0,65	0,7943	—2,268	—10,97	68,43	—0,2075	0,0938	6,958	—10,24
0,7	0,6687	—2,723	— 7,1	86,04	—0,1944	0,4221	6,035	—26,5
0,75	0,5256	—2,964	— 2,424	100,4	—0,1664	0,6844	4,336	—41,08
0,8	0,3765	—2,955	2,882	111,2	—0,1277	0,8446	1,972	—52,96
0,85	0,2347	—2,669	8,641	118,6	—0,0842	0,8731	— 0,9032	—61,48
0,9	0,1145	—2,086	14,68	122,7	—0,0429	0,7486	— 4,118	—66,55
0,95	0,0312	—1,198	20,86	124,4	—0,0121	0,4584	— 7,508	—68,66
1	0	0	27,1	124,6	0	0	—10,95	—68,99

Продолжение табл. 39

5-й пролет

α	X_7	X_7'	X_7''	X_7'''	X_8	X_8'	X_8''	X_8'''
0	0	—4,095	17,11	67,42	0	4,465	— 0,0346	—223,4
0,05	—0,1819	—3,157	20,33	58,19	0,2185	4,187	—10,97	—209,6
0,1	—0,3132	—2,076	22,68	33,68	0,41	3,39	—20,56	—169,9
0,15	—0,3882	—0,914	23,53	— 0,8924	0,5506	2,173	—27,62	—109,4
0,2	—0,4047	0,2452	22,51	— 39,91	0,6228	0,6853	—31,28	— 35,36
0,25	—0,3653	1,305	19,56	— 77,77	0,6176	—0,89	—31,09	42,9
0,3	—0,2774	2,171	14,84	—109,4	0,5356	—2,359	—27,08	115,6
0,35	—0,1527	2,767	8,794	—130,5	0,3865	—3,543	—19,77	173,8
0,4	0	3,039	2,013	—138,4	0,1885	—4,296	—10,06	210,1
0,45	0,1453	2,968	— 4,797	—131,6	—0,0343	—4,53	0,8013	219,9
0,5	0,2851	2,571	—10,9	—110,5	—0,2553	—4,219	11,45	201,6
0,55	0,3978	1,9	—15,64	— 77	—0,4479	—3,411	20,53	157,3
0,6	0,4719	1,039	—18,45	— 34,37	—0,5898	—2,213	26,83	91,89
0,65	0,5003	0,093	—18,99	13,28	—0,6654	—0,7887	29,49	12,79
0,7	0,4817	—0,8197	—17,12	61,4	—0,6682	0,6666	28,03	— 71,21
0,75	0,4209	—1,579	—12,92	105,6	—0,6017	1,945	22,43	—151,1
0,8	0,3282	—2,077	— 6,685	142,2	—0,48	2,848	13,11	—219,1
0,85	0,219	—2,222	1,136	168,9	—0,326	3,206	0,8126	—269,6
0,9	0,113	—1,946	10,02	184,9	—0,1705	2,895	—13,52	—300,5
0,95	0,0321	—1,21	19,47	191,7	—0,049	1,836	—28,94	—313,6
1	0	0	29,09	192,7	0	0	—44,7	—315,7

5-й пролет

α	X_9	X'_9	X''_9	X'''_9	X_{10}	X'_{10}	X''_{10}	X'''_{10}
0	0	—2,824	—35,66	426,6	0	0,4598	71,59	—587,3
0,05	—0,1769	—4,077	—14,54	413,4	0,1002	3,306	42,33	—580,2
0,1	—0,3905	—4,302	5,151	368,8	0,3065	4,709	14,07	—543,5
0,15	—0,5918	—3,613	21,77	290,7	0,5485	4,761	—11,31	—464,2
0,2	—0,7397	—2,202	33,75	184,7	0,7634	3,663	—31,62	—341,6
0,25	—0,8044	—0,334	39,95	61,5	0,9006	1,717	—44,91	—185,7
0,3	—0,7705	1,687	39,86	— 64,21	0,9274	—0,69	—49,93	— 14,21
0,35	—0,6383	3,551	33,75	—176,7	0,831	—3,134	—46,44	150,9
0,4	—0,4227	4,979	22,66	—261,4	0,6202	—5,207	—35,33	287,1
0,45	—0,1512	5,762	8,26	—307,3	0,3222	—6,571	—18,53	375,6
0,5	0,1406	5,785	— 7,317	—308,1	—0,0213	—7,01	1,229	403,9
0,55	0,4145	5,048	—21,79	—263,8	—0,362	—6,452	20,79	367,9
0,6	0,6345	3,66	—33,04	—180	—0,6513	—4,986	37,03	272,7
0,65	0,773	1,827	—39,32	— 67,67	—0,8494	—2,849	47,29	131,8
0,7	0,8145	—0,1709	—39,56	59,02	—0,9308	—0,3873	49,77	— 35,29
0,75	0,7584	—2,022	—33,44	184,4	—0,8896	1,985	43,71	—206,1
0,8	0,6199	—3,416	—21,38	294,2	—0,7408	3,846	29,47	—358,8
0,85	0,429	—4,079	— 4,462	377,5	—0,5198	4,818	8,41	—476,5
0,9	0,2277	—3,805	15,84	429,2	—0,2787	4,608	—17,45	—550,5
0,95	0,0663	—2,465	37,96	451,5	—0,0818	3,03	—45,93	—582,7
1	0	0	60,67	455,1	0	0	—75,26	—588

В настоящем приложении приводятся таблицы значений балочных функций $X_i(\alpha)$ и их производных до третьей включительно для однопролетных и неразрезных равнопролетных балок с различными условиями закрепления концов в зависимости от относительной абсциссы $\alpha = \frac{x}{l}$ (x — абсцисса точки оси балки, l — длина пролета балки; для неразрезных балок l — длина каждого из пролетов). Производные балочных функций $X_i'(\alpha)$, $X_i''(\alpha)$, $X_i'''(\alpha)$ берутся по аргументу α. Таблицы составлены на ЭЦВМ БЭСМ-2М для $2N$ последовательных тонов собственных колебаний балки, где N — число пролетов. Значения балочной функции и ее производной даются для каждого пролета отдельно. Относительная абсцисса $\alpha(0<\alpha<1)$ отсчитывается в каждом пролете от его левого конца, шаг переменной α равен 0,05.

Балочные функции удовлетворяют условию ортогональности

$$\sum_{r=1}^{N} \int_0^1 X_{ir}(\alpha)\, X_{jr}(\alpha)\, d\alpha = 0 \qquad (i \neq j)$$

и нормировки

$$\sum_{r=1}^{N} \int_0^1 X_{ir}^2(\alpha)\, d\alpha = 1,$$

где r — номер пролета балки.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1. Расчет каркасного здания ткацкой фабрики на действие горизонтальной динамической нагрузки от станков

а) ЗАДАНИЕ

Требуется рассчитать четырехэтажное здание ткацкого корпуса на действие горизонтальных динамических нагрузок от ткацких станков, располагаемых по 96 шт. (всего 192 станка) на втором и четвертом этажах.

План здания с поперечным разрезом представлен на рис. 18. Каркас здания компонуется из продольных и поперечных рам с жесткими узлами (рис. 19). Рамы в обоих направлениях образуются из типовых сборных железобетонных колонн и ригелей. В колоннах применен бетон марки 300, а в ригелях — марки 200; арматура из горячекатаной стали класса А-III.

Колонны третьего и четвертого этажей приняты сечением 400×400 *мм*, а колонны первого и второго этажей — сечением 400×600 *мм*. При этом колонны расположены так, что большая сторона их поперечного сечения параллельна продольной оси здания.

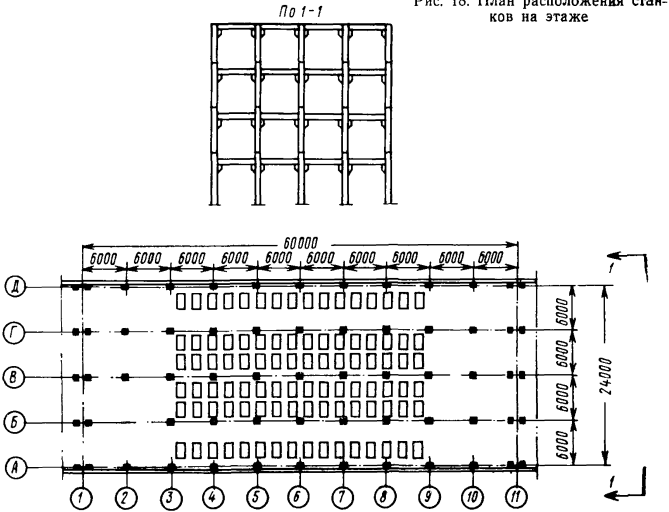


Рис. 18. План расположения станков на этаже

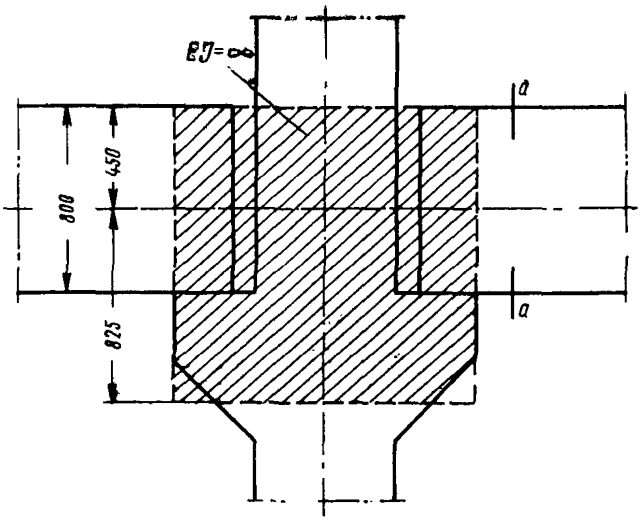


Рис. 19. Узел продольной рамы

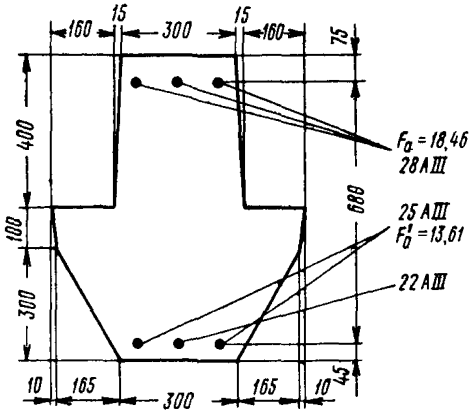


Рис. 20. Опорные сечения ригеля

Ригели приняты сечением 300×800 *мм*.

Стены панельные со сплошным ленточным остеклением. Гибкие крепления стеновых панелей не препятствуют независимому перемещению каркаса, поэтому жесткость каркаса подсчитывается без учета жесткости стеновых панелей.

На участках второго и четвертого этажей, свободных от оборудования, а также на третьем этаже размещены складские и производственные помещения, для которых принимается временная длительная нагрузка 500 *кГ/м*^{2}.

План расположения станков на этаже представлен на рис. 18. Крепление станков к полу осуществлено путем их приклейки на мастике.

Вес одного ткацкого станка 1150 *кГ*. Число оборотов n_0=180 *об/мин* или $n_0 = \frac{180}{60} = 3$ *об/сек*. Движение батанов всех станков направлено вдоль здания.

Схема приложения динамической нагрузки от ткацкого станка к перекрытию показана на рис. 21.

Вопросы расчета перекрытий на возникающую сосредоточенную моментную нагрузку, вызывающую вертикальные колебания перекрытий, в настоящем примере не рассматриваются.

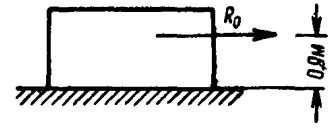


Рис. 21. Схема передачи динамической нагрузки от ткацкого станка на перекрытие

Амплитуда горизонтальной инерционной силы ткацкого станка в рабочем режиме R_0=282 *кГ*.

Средняя продолжительность работы станка между двумя последовательными пусками 4 *ч*, и, следовательно, среднее число включений станка в сутки равно 6.

Продолжительность пребывания обслуживающих станки людей на их рабочих местах — вся рабочая смена.

Технологические требования по ограничению амплитуд перемещений конструкций не предъявляются.

б) СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ

Статический расчет каркаса здания выполнен исходя из условия упругой работы плоских рам продольного и поперечного направлений. При этом модуль упругости принят постоянным для всех элементов рам.

Продольные и поперечные рамы рассчитаны при значениях жесткостей, приведенных в табл. 40. При этом учтена повышенная жесткость элементов в местах соединения ригелей с колоннами (см. рис. 19).

Эпюры изгибающих моментов от единичных сил, полученные в результате статического расчета продольной рамы, приведены на рис. 31—34. На рис. 35 дана эпюра моментов M_c^p, возникающих в продольной раме от расчетных статических нагрузок (включая вет-

Таблица 40

Название элементов	Высота колонны или длина ригеля в *м*	Размеры поперечного сечения $h \times b$ в *м*	Жесткость сечения в $Тм^2$
Колонны:			
первого этажа	4,45	0,6×0,4	19 080
второго этажа	4,8	0,6×0,4	19 080
третьего и четвертого этажей	4,8	0,4×0,4	5653
Ригели всех этажей	6	0,8×0,3	35 887

ровую нагрузку).

Единичные перемещения эквивалентных продольной и поперечной рам δ_{ik} (умноженные на 10^7) приведены в табл. 41 и 42.

Таблица 41

i \ k	1	2	3	4
1	207	244	245	245
2	244	512	550	551
3	245	550	1206	1251
4	245	551	1251	1923

Таблица 42

i \ k	1	2	3	4
1	1261	1408	1410	1410
2	1408	2895	3043	3044
3	1410	3043	5073	5224
4	1410	3044	5224	7167

в) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ОТ ТКАЦКИХ СТАНКОВ

По характеру динамического воздействия данный ткацкий станок относится к I типу (табл. 5 Инструкции), по характерной продолжительности динамической нагрузки — к 1-й группе (табл. 6), а по динамичности — к III категории (табл. 8).

Поскольку центры жесткости и масс всех этажей лежат на одной и той же вертикальной оси, являющейся осью симметрии здания, то поступательные и вращательные колебания будем рассматривать раздельно. Считаем, что при поступательных колебаниях наиболее неблагоприятным будет случай, когда инерционные силы от всех станков находятся в одной фазе, а при вращательных — случай, когда инерционные силы от половины станков, расположенной выше или ниже оси B (рис. 18), находятся в одной фазе, а от другой половины станков — в противофазе.

В соответствии с п. 5.1 Инструкции для наиболее неблагоприятного случая при поступательных колебаниях определяем амплитудное значение равнодействующих нормативных динамических сил.

При среднем числе включений в сутки каждого станка $N=6$ и числе машин $m=192$ по графику, приведенному на рис. 2 Инструкции, с помощью интерполяции определяем коэффициент синфазности $\lambda=0{,}368$. Амплитуда равнодействующей динамической нагрузки, приложенной к одному перекрытию, будет равна:

$$R = R_0 m_1 \lambda = 0{,}282 \cdot 96 \cdot 0{,}368 = 9{,}975 \ T$$

или на одну раму

$$R = \frac{9{,}975}{5} = 1{,}995 \ T,$$

где $R_0=0{,}282 \ T$ — амплитуда горизонтальной инерционной силы одного станка;

$m_1 = 96$ — количество станков на этаже.

Затем для наиболее неблагоприятного случая при вращательных колебаниях определим амплитудное значение нормативного динамического момента (см. п. 5.1 Инструкции), приложенного в уровне одного перекрытия:

$$M = 2 \cdot 16 \cdot 0{,}282 \ (2{,}15 + 4{,}75 + 9{,}75) \ 0{,}368 = 55{,}36 \ T \cdot м,$$

где 16 — количество станков в продольном ряду;

2,15, 4,75, 9,75 $м$ — расстояния от осей продольных рядов станков до продольной оси здания;

0,368 — коэффициент синфазности λ, определяемый так же, как и в расчете на вынужденные поступательные колебания.

Круговая частота вынужденных колебаний

$$\omega = 2\pi n_0 = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 3 = 18{,}84 \ рад/сек.$$

г) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОЙ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ КОНСТРУКЦИЙ

По санитарным нормам

В соответствии с табл. 10 Инструкции для частоты $n_0=3$ *гц* допускаемая амплитуда колебаний равняется $a_0=0{,}4$ *мм*.

По технологическим требованиям

В соответствии с примечанием к табл. 11 Инструкции по табл. 12 устанавливаем, что ткацкий станок относится к III классу по чувствительности к колебаниям.

По табл. 11 Инструкции для найденного III класса и частоты $n_0 = 3$ *гц* находим величину допускаемой амплитуды ускорения $w_0 = 250$ *мм/сек*^{2}.

Тогда допускаемая технологическими требованиями амплитуда перемещений определяется по формуле (14) Инструкции

$$a_0 = \frac{w_0}{(2\pi n_0)^2} = \frac{250}{4\pi^2 3^2} = 0{,}704 \text{ мм}.$$

Согласно указаниям п. 5.9 Инструкции при числе машин $m \geqslant 10$ допускаемую амплитуду перемещений можно увеличить на $\frac{\sqrt{m}}{3}$. Таким образом,

$$a_0 = 0{,}4\ \frac{\sqrt{192}}{3} = 1{,}85 \text{ мм}.$$

д) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТ И ФОРМ СОБСТВЕННЫХ ПОСТУПАТЕЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЗДАНИЯ

В качестве эквивалентной рамы (см. п. 3.6 Инструкции) при поступательных колебаниях здания рассматриваем одну продольную раму с массами, сосредоточенными в уровнях ригелей и равными $^1/_5$ (по числу продольных рам в каркасе здания) значений масс перекрытий. Такая расчетная схема приведена на рис. 22.

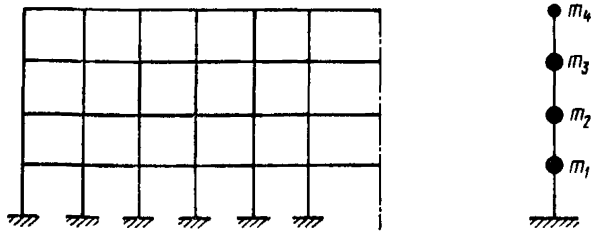


Рис. 22. Схема каркаса при рассмотрении поступательных колебаний

Суммарные нормативные нагрузки, действующие в уровнях перекрытий и покрытия, имеют следующие значения:

для перекрытия первого этажа . . . . $P_1 = 1923$ *T*
» » второго » . . . . $P_2 = 1897$ »
» » третьего » . . . . $P_3 = 1893$ »
» покрытия . . . . $P_4 = 1185$ »

Приведенные значения суммарных нормативных нагрузок включают в себя вес оборудования, собственные веса ригелей, плит и пола, а также половину веса колонн и стен смежных этажей, примыкающих к перекрытию.

Для эквивалентной продольной рамы массы, сосредоточенные в уровнях перекрытий и покрытия, имеют следующие значения:

$$m_1 = \frac{1923}{5g}\ T\cdot сек^2/м;\quad m_2 = \frac{1897}{5g}\ T\cdot сек^2/м,$$

$$m_3 = \frac{1893}{5g}\ T\cdot сек^2/м;\quad m_4 = \frac{1185}{5g}\ T\cdot сек^2/м,$$

где $g = 9{,}81\ м/сек^2$ — ускорение силы тяжести.

В соответствии с п. 4.4 Инструкции определяем три первые частоты и формы собственных поступательных колебаний здания.

Подставляя значения единичных перемещений δ_{ik} (взятых из табл. 41) и масс m_i в систему уравнений (1.25), получаем

$$\left.\begin{aligned}
&y_1\,(0{,}3980-\zeta)+y_2\cdot 0{,}4612+y_3\cdot 0{,}4638+y_4\cdot 0{,}2904=0\\
&y_1\cdot 0{,}4692+y_2\,(0{,}9711-\zeta)+y_3\cdot 1{,}041+y_4\cdot 0{,}6530=0\\
&y_1\cdot 0{,}4712+y_2\cdot 1{,}043+y_3\,(2{,}283-\zeta)+y_4\cdot 1{,}483=0\\
&y_1\cdot 0{,}4712+y_2\cdot 1{,}045+y_3\cdot 2{,}368+y_4\,(2{,}279-\zeta)=0.
\end{aligned}\right\}\qquad (4.1)$$

Здесь для упрощения вычислений принято $\zeta = \dfrac{50\,g}{p^2}$.

Частоты и формы собственных колебаний будем определять методом последовательных приближений в форме, описанной в приложении 1 настоящей Инструкции.

Сначала определяем первую частоту и форму собственных колебаний. Для этого полученную систему (4.1) приводим к виду (1.29)

$$\left.\begin{aligned}
y_{11} &= \frac{1}{\zeta_1}\,(0{,}3980\,y_{11}+0{,}4612\,y_{12}+0{,}4638\,y_{13}+0{,}2904)\\
y_{12} &= \frac{1}{\zeta_1}\,(0{,}4692\,y_{11}+0{,}9711\,y_{12}+1{,}041\,y_{13}+0{,}6530)\\
y_{13} &= \frac{1}{\zeta_1}\,(0{,}4712\,y_{11}+1{,}043\,y_{12}+2{,}283\,y_{13}+1{,}483)\\
\zeta_1 &= 0{,}4712\,y_{11}+1{,}045\,y_{12}+2{,}368\,y_{13}+2{,}279\,.
\end{aligned}\right\}\qquad (4.2)$$

Положим в качестве первого приближения $y_{11}^{(1)} = y_{12}^{(1)} = y_{13}^{(1)} = 1$ и по принятым значениям неизвестных из последнего уравнения системы (4.2) найдем значения $\zeta_1^{(1)} = 6{,}1637$ (первое приближение в табл. 43).

Далее по тем же значениям $y_{11}^{(1)} = y_{12}^{(1)} = y_{13}^{(1)} = 1$ и найденному $\zeta_1 = 6{,}1637$ из первых трех уравнений системы (4.2) определяем зна-

чения неизвестных ($y_{11}^{(2)}=0{,}2620$; $y_{12}^{(2)}=0{,}5086$; $y_{13}^{(2)}=0{,}8567$) следующего приближения (второе приближение в табл. 43).

Затем по найденным значениям $y_{11}^{(2)}$, $y_{12}^{(2)}$ и $y_{13}^{(2)}$ опять из последнего уравнения системы (4.2) находим значение $\zeta_1^{(2)}=4{,}9629$ следующего приближения и т. д., пока значения искомых неизвестных в очередной итерации не совпадут в третьей значащей цифре со значениями предыдущей итерации.

Вычисления сведены в табл. 43.

Таблица 43

Номер приближения	y_{11}	y_{12}	y_{13}	ζ_1
1	1	1	1	6,1637
2	0,262	0,5086	0,8567	4,9629
3	0,207	0,4356	0,8246	4,7849
4	0,2	0,4246	0,8187	4,7561
5	0,199	0,423	0,8177	4,7515
6	0,1988	0,4227	0,8176	4,7508

Окончательно принимаем $\zeta_1=4{,}751$:

$$y_{11}=0{,}1988;\ y_{12}=0{,}4227;\ y_{13}=0{,}8176;\ y_{14}=1.$$

Произведем нормировку первой формы.

Для этого находим нормирующий множитель по формуле (1.26)

$$c_1=\frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^{4} m_j y_{1j}^2}}=$$

$$=\frac{1}{\sqrt{\frac{1923}{5g}\,0{,}1988^2+\frac{1897}{5g}\,0{,}4227^2+\frac{1893}{5g}\,0{,}8176^2+\frac{1185}{5g}\,1^2}}=13{,}08\cdot10^{-2}.$$

Умножив теперь на этот множитель все амплитуды первой формы, получим

$$\varphi_{11}=2{,}601\cdot10^{-2};\ \varphi_{12}=5{,}530\cdot10^{-2};\ \varphi_{13}=10{,}70\cdot10^{-2};$$
$$\varphi_{14}=13{,}08\cdot10^{-2}.$$

Первая круговая частота собственных колебаний

$$p_1=\sqrt{\frac{50g}{\zeta_1}}=\sqrt{\frac{50g}{4{,}751}}=10{,}16\ \textit{рад/сек}.$$

Для определения второй частоты и формы собственных колебаний составляем условие ортогональности первой и второй формы по формуле (1.31):

$$\sum_{j=1}^{4} m_j y_{1j} y_{2j}=$$

$=1923\cdot 0,1988\, y_{21} + 1897\cdot 0,4227\, y_{22} + 1893\cdot 0,8176\, y_{23} + 1185\cdot 1\, y_{24}=0,$

из которого находим

$$y_{24} = -0,3225\, y_{21} - 0,6765\, y_{22} - 1,3059\, y_{23}\,. \qquad (4.3)$$

Подставляя значения y_{24} и $y_{23}=1$ в первые три уравнения системы (4.2), получаем

$$y_{21} = \frac{1}{\zeta_2}\,(0,3044\, y_{21} + 0,2664\, y_{22} + 0,0846)$$

$$y_{22} = \frac{1}{\zeta_2}\,(0,2586\, y_{21} + 0,5294\, y_{22} + 0,1885)$$

$$\zeta_2 = -0,007048\, y_{21} + 0,04026\, y_{22} + 0,3470\,.$$

Эту систему уравнений также решаем методом последовательных приближений. В результате получаем

$$\zeta_2 = 0,7188;\ y_{21} = 6,920;\ y_{22} = 10,446.$$

Значение y_{24} определяется из уравнения (4.3):

$$y_{24} = -10,604.$$

Произведем нормировку второй формы. Для этого находим нормирующий множитель:

$$c_2 = \frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^{4} m_j y_{2j}^2}} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\frac{1923}{5g}\,6,920^2 + \frac{1897}{5g}\,10,446^2 + \frac{1893}{5g}\,1^2 + \frac{1185}{5g}\,10,604^2}} = 1,063\cdot 10^{-2}.$$

Умножив теперь на этот множитель все амплитуды второй формы, получим

$$\varphi_{21} = 7,355\cdot 10^{-2};\ \varphi_{22} = 11,10\cdot 10^{-2};\ \varphi_{23} = 1,063\cdot 10^{-2};$$
$$\varphi_{24} = -11,27\cdot 10^{-2}.$$

Вторая круговая частота собственных колебаний

$$p_2 = \sqrt{\frac{50\,g}{\zeta_2}} = \sqrt{\frac{50\,g}{0,7188}} = 26,12 \ \textit{рад/сек}\,.$$

Для определения третьей частоты и формы собственных колебаний составляем условия оротогональности первой и третьей, второй и третьей форм:

$$1923\cdot 0,1988\, y_{31} + 1897\cdot 0,4227\, y_{32} + 1893\cdot 0,8175\, y_{33} + 1185\cdot 1\, y_{34} = 0;$$
$$1923\cdot 6,920\, y_{31} + 1897\cdot 10,446\, y_{32} + 1893\cdot 1\, y_{33} - 1185\cdot 10,604\, y_{34} = 0$$

Выражая y_{33} и y_{34} через y_{31} и y_{32}, полагая при этом $y_{32}=1$, найдем

$$\left.\begin{aligned} y_{33} &= -0,9485\, y_{31} - 1,5468 \\ y_{34} &= 0,9161\, y_{31} + 1,3435\,. \end{aligned}\right\} \qquad (4.4)$$

Тогда первые два уравнения системы (4.2) приводятся к виду

$$\left.\begin{aligned} y_{31} &= \frac{1}{\zeta_3}\,(0{,}2242\,y_{31} + 0{,}1355) \\ \zeta_3 &= 0{,}07987\,y_{31} + 0{,}2379\,. \end{aligned}\right\} \qquad (4.5)$$

Из решения системы (4.5) получим

$$\zeta_3 = 0{,}3353 \text{ и } y_{31} = 1{,}2192,$$

а из (4.4) — $y_{33} = -2{,}7032$ и $y_{34} = 2{,}4604$.

После нормировки получаем

$$\varphi_{31} = 5{,}320\cdot 10^{-2};\ \varphi_{32} = 4{,}363\cdot 10^{-2};\ \varphi_{33} = -11{,}80\cdot 10^{-2};$$
$$\varphi_{34} = 10{,}73\cdot 10^{-2}.$$

Третья круговая частота собственных колебаний

$$p_3 = \sqrt{\frac{50\,g}{\zeta_3}} = \sqrt{\frac{50\,g}{0{,}3353}} = 38{,}25 \text{ } рад/сек\,.$$

По формуле (22) настоящей Инструкции определяем границы частотных зон с учетом величины возможной погрешности $\varepsilon_0 = 0{,}25$, принятой по табл. 15:

$$p_1' = (1 - \varepsilon_0)\ p_1^0 = (1 - 0{,}25)\ 10{,}161 = 7{,}621 \text{ } рад/сек$$
$$p_1'' = (1 + \varepsilon_0)\ p_1^0 = (1 + 0{,}25)\ 10{,}161 = 12{,}7 \text{ } »$$
$$p_2' = (1 - \varepsilon_0)\ p_2^0 = (1 - 0{,}25)\ 26{,}12 = 19{,}59 \text{ } »$$
$$p_3' = (1 - \varepsilon_0)\ p_3^0 = (1 - 0{,}25)\ 38{,}25 = 28{,}69 \text{ } »$$

Таким образом, частота вынужденных колебаний $\omega = 18{,}84$ *рад/сек* попадает в первую межрезонансную зону.

е) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТ И ФОРМ СОБСТВЕННЫХ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Расчетная схема рамного каркаса при вращательных колебаниях изображена на рис. 23.

В соответствии с п. 4.4 определяем две первые частоты и формы собственных вращательных колебаний.

Для системы с четырьмя степенями свободы уравнения собственных вращательных колебаний по аналогии с поступательными записываем в следующем виде:

$$\left.\begin{aligned} &(\Theta_1\,\delta_{11} - \zeta)\ \theta_1 + \Theta_2\,\delta_{12}\,\theta_2 + \Theta_3\,\delta_{13}\,\theta_3 + \Theta_4\,\delta_{14}\,\theta_4 = 0 \\ &\Theta_1\,\delta_{21}\,\theta_1 + (\Theta_2\,\delta_{22} - \zeta)\ \theta_2 + \Theta_3\,\delta_{23}\,\theta_3 + \Theta_4\,\delta_{24}\,\theta_4 = 0 \\ &\Theta_1\,\delta_{31}\,\theta_1 + \Theta_2\,\delta_{32}\,\theta_2 + (\Theta_3\,\delta_{33} - \zeta)\ \theta_3 + \Theta_4\,\delta_{34}\,\theta_4 = 0 \\ &\Theta_1\,\delta_{41}\,\theta_1 + \Theta_2\,\delta_{42}\,\theta_2 + \Theta_3\,\delta_{43}\,\theta_3 + (\Theta_4\,\delta_{44} - \zeta)\ \theta_4 = 0\,. \end{aligned}\right\} \qquad (4.6)$$

где Θ ($i = 1, 2, 3, 4$) — моменты инерции масс перекрытий;

δ_{ik} — угол поворота, на который поворачивается

k-е перекрытие от действия единичного момента, приложенного к i-му перекрытию;

θ_i $(i=1, 2, 3, 4)$ — амплитуды вращательных колебаний.

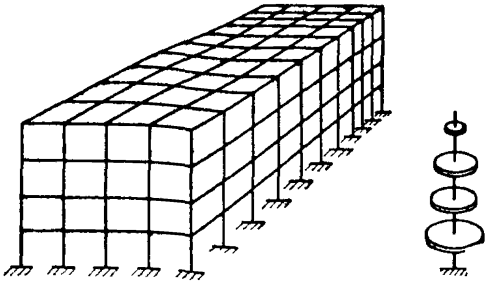


Рис. 23. Схема каркаса при рассмотрении вращательных колебаний

Момент инерции масс перекрытия первого этажа относительно вертикальной оси, проходящей через центр жесткости каркаса, равен:

$$\Theta_1 = m_0 \frac{a^2+b^2}{12} + m_a \frac{a^2+3b^2}{12} + m_b \frac{b^2+3a^2}{12} +$$

$$+ m_{mn}(\lambda_m a^2 + \lambda_n b^2) = \frac{1606,4}{g} \cdot \frac{24^2+60^2}{12} + \frac{103,68}{g} \cdot \frac{24^2+3\cdot 60^2}{12} +$$

$$+ \frac{41,47}{g} \cdot \frac{60^2+3\cdot 24^2}{12} + \frac{171,6}{g}\left(\frac{1}{8}24^2 + \frac{1}{10}60^2\right) =$$

$$= 76\,438\ T\cdot сек^2\cdot м,$$

где $m_0 = \frac{1606,4}{g}$ — суммарная масса первого перекрытия;

$m_a = \frac{103,68}{g}$ и $m_b = \frac{41,47}{g}$ — суммарные массы стенового заполнения соответственно поперечных стен длиной $a=24$ $м$ и продольных стен длиной $b=60$ $м$;

$m_{mn} = \frac{171,6}{g}$ — половина суммарной массы всех стоек первого и второго этажа;

$$\lambda_m = \frac{m+1}{12\,(m-1)} = \frac{5+1}{12\,(5-1)} = \frac{1}{8};$$

$$\lambda_n = \frac{n+1}{12\,(n-1)} = \frac{11+1}{12\,(11-1)} = \frac{1}{10}.$$

Моменты инерции масс остальных перекрытий имеют следующие значения:

для перекрытия второго этажа . . . $\Theta_2 = 75\,276$ $T \cdot сек^2/м$
» » третьего » . . . $\Theta_3 = 74\,922$ »
» покрытия . . . $\Theta_4 = 45\,925$ »

Единичные углы поворота δ_{ik} определяем по формуле (1.67) приложения 1.

Значения упругих коэффициентов δ_{ik} (умноженные на 10^8) приведены в табл. 44.

Таблица 44

i \ k	1	2	3	4
1	2,049	2,288	2,292	2,292
2	2,288	4,829	5,075	5,077
3	2,292	5,075	9,267	9,543
4	2,292	5,077	9,543	13,518

Подставляя значения Θ_i и коэффициентов δ_{ik} в систему (4.6), получаем

$$\left.\begin{aligned}
(1567 - \zeta)\ \theta_1 + 1756\,\theta_2 + 1751\,\theta_3 + 1074\,\theta_4 &= 0\\
1783\,\theta_1 + (3635 - \zeta)\ \theta_2 + 3831\,\theta_3 + 2350\,\theta_4 &= 0\\
1787\,\theta_1 + 3849\,\theta_2 + (6943 - \zeta)\ \theta_3 + 4391\,\theta_4 &= 0\\
1787\,\theta_1 + 3852\,\theta_2 + 7164\,\theta_3 + (6208 - \zeta)\ \theta_4 &= 0\,.
\end{aligned}\right\} \qquad (4.7)$$

Здесь $\zeta = \dfrac{10^6}{p^2}$.

Дальнейшие вычисления аналогичны приведенным в настоящем примере при расчете на поступательные колебания.

Для определения первой формы и частоты запишем систему уравнений (4.7) в виде, удобном для последовательных приближений, полагая при этом $\theta_{14} = 1$:

$$\left.\begin{aligned}
\theta_{11} &= \frac{1}{\zeta_1}\,(1567\,\theta_{11} + 1756\,\theta_{12} + 1751\,\theta_{13} + 1074)\\
\theta_{12} &= \frac{1}{\zeta_1}\,(1783\,\theta_{11} + 3635\,\theta_{12} + 3831\,\theta_{13} + 2350)\\
\theta_{13} &= \frac{1}{\zeta_1}\,(1787\,\theta_{11} + 3849\,\theta_{12} + 6943\,\theta_{13} + 4391)\\
\zeta_1 &= 1787\,\theta_{11} + 3852\,\theta_{12} + 7164\,\theta_{13} + 6208\,.
\end{aligned}\right\} \qquad (4.8)$$

Положим в качестве первого приближения $\theta_{11}^{(1)} = \theta_{12}^{(1)} = \theta_{13}^{(1)} = 1$ и по принятым значениям неизвестных из последнего

уравнения системы (4.8) найдем значение $\zeta_1 = 19011$ (первое приближение в приводимой ниже табл. 45).

Далее по тем же значениям $\theta_{11}^{(1)} = \theta_{12}^{(1)} = \theta_{13}^{(1)} = 1$ и найденному ζ из первых трех уравнений системы (4.8) определяем значения неизвестных следующего (второго) приближения и т. д. до тех пор, пока значения θ_{11}, θ_{12} и θ_{13} и ζ_1 в одном из последующих приближений не совпадут в третьей значащей цифре со значениями предыдущего приближения.

Результаты вычислений сведены в табл. 45.

Таблица 45

Номер приближения	θ_{11}	θ_{12}	θ_{13}	ζ_1
1	1	1	1	19011
2	0,3233	0,6101	0,8926	15531
3	0,2714	0,5514	0,8702	15051
4	0,2651	0,5429	0,8664	14980
5	0,2643	0,5417	0,8658	14970
6	0,2642	0,5415	0,8657	14968

Окончательно принимаем $\zeta_1 = 14968$:

$$\theta_{11} = 0{,}2642;\ \theta_{12} = 0{,}5415;\ \theta_{13} = 0{,}8657;\ \theta_{14} = 1$$

или после нормировки

$$\varphi_{11} = 0{,}7373 \cdot 10^{-3};\quad \varphi_{12} = 1{,}511 \cdot 10^{-3};\quad \varphi_{13} = 2{,}416 \cdot 10^{-3};$$

$$\varphi_{14} = 2{,}791 \cdot 10^{-3}.$$

Первая круговая частота собственных вращательных колебаний

$$p_1 = \sqrt{\frac{10^6}{\zeta_1}} = 8{,}174 \ \textit{рад/сек}.$$

Для определения второй круговой частоты и второй формы собственных колебаний составляем условие ортогональности:

$$\sum_{j=1}^{4} \Theta_j \theta_{1j} \theta_{2j} = 76\,438 \cdot 0{,}2642\,\theta_{21} + 75\,276 \cdot 0{,}5415\,\theta_{22} +$$

$$+ 74\,922 \cdot 0{,}8657\,\theta_{23} + 45\,925 \cdot 1\,\theta_{24} = 0.$$

Принимаем $\theta_{23} = 1$ и выражаем θ_{24} через остальные координаты второй формы:

$$\theta_{24} = -0{,}4397\,\theta_{21} - 0{,}8876\,\theta_{22} - 1{,}4123. \qquad (4.9)$$

Подставляя значения θ_{24} и $\theta_{23} = 1$ в первые три уравнения системы (4.8), получаем

$$\theta_{21} = \frac{1}{\zeta_2}\,(1094\,\theta_{21} + 802{,}7\,\theta_{22} + 235{,}2)$$

$$\theta_{22} = \frac{1}{\zeta_2}\,(749{,}4\,\theta_{21} + 1549\,\theta_{22} + 511{,}6)$$

$$\zeta_2 = 144\,\theta_{21} - 48{,}85\,\theta_{22} + 741\,.$$

Эту систему уравнений также решаем методом последовательных приближений; в результате получаем

$$\theta_{21} = -6{,}485;\ \theta_{22} = -8{,}232;\ \zeta_2 = 2077.$$

Значение θ_{24} определяется из (4.9)

$$\theta_{24} = 8{,}746.$$

После нормировки получаем

$$\varphi_{21} = -1{,}879\cdot 10^{-3};\quad \varphi_{22} = -2{,}386\cdot 10^{-3};\quad \varphi_{23} = 0{,}2898\cdot 10^{-3};$$

$$\varphi_{24} = 2{,}534\cdot 10^{-3}\,.$$

Вторая круговая частота собственных вращательных колебаний

$$p_2 = \sqrt{\frac{10^6}{\zeta_2}} = 21{,}939\ \textit{рад/сек}.$$

По формуле (22) Инструкции определяем границы частотных зон с учетом возможной погрешности $\varepsilon_0 = 0{,}25$, принятой по табл. 15:

$$p_1'' = (1 + \varepsilon_0)\ p_1^0 = (1 + 0{,}25)\ 8{,}174 = 10{,}2174\,;$$

$$p_2' = (1 - \varepsilon_0)\ p_2^0 = (1 - 0{,}25)\ 21{,}939 = 16{,}4546.$$

Отсюда следует, что круговая частота вынужденных колебаний $\omega = 18{,}84$ совпадает со второй частотой собственных колебаний, т. е. имеем резонансный случай.

ж) ОПРЕДЕЛЕНИЕ АМПЛИТУД ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПОСТУПАТЕЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЗДАНИЯ

Определим амплитуды вынужденных поступательных колебаний с учетом трех форм свободных колебаний при действии силы с амплитудой $P = 1$ *т*, приложенной в уровнях перекрытий первого и третьего этажей.

Сначала определяем амплитуды от силы, приложенной к перекрытию первого этажа.

В соответствии с п. 4.8 настоящей Инструкции определяем расчетные значения частот собственных колебаний:

$$p_1 = p_1' = 7{,}621\ \textit{рад/сек}$$

$$p_2 = p_2' = 19{,}59\ \ »$$

$$p_3 = p_3' = 28{,}69\ \ »$$

По формулам приложения 2 получаем

$$b_1 = P\,\varphi_{11} = 1\cdot 2{,}601\cdot 10^{-2} = 2{,}601\cdot 10^{-2};$$

$$b_2 = P\,\varphi_{21} = 1\cdot 7{,}355\cdot 10^{-2} = 7{,}355\cdot 10^{-2};$$

$$b_3 = P\,\varphi_{31} = 1\cdot 5{,}320\cdot 10^{-2} = 5{,}320\cdot 10^{-2};$$

$$\chi_1 = 1 - \frac{\omega^2}{p_1^2} = 1 - \frac{18,84^2}{7,621^2} = -5,111;$$

$$\chi_2 = 1 - \frac{\omega^2}{p_2^2} = 1 - \frac{18,84^2}{19,59^2} = 0,07532;$$

$$\chi_3 = 1 - \frac{\omega^2}{p_3^2} = 1 - \frac{18,84^2}{28,69^2} = 0,5687;$$

$$\chi_1^2 + \gamma^2 = 5,111^2 + 0,1^2 = 26,14;$$

$$\chi_2^2 + \gamma^2 = 0,07532^2 + 0,1^2 = 0,01567;$$

$$\chi_3^2 + \gamma^2 = 0,5687^2 + 0,1^2 = 0,3334.$$

Значение коэффициента неупругого сопротивления γ, равное 0,1, принято из табл. 2 настоящей Инструкции:

$$B_1 = \frac{b_1}{p_1^2(\chi_1^2 + \gamma^2)} = \frac{2,601 \cdot 10^{-2}}{7,621^2 \cdot 26,14} = 0,1713 \cdot 10^{-4};$$

$$B_2 = \frac{b_2}{p_2^2(\chi_2^2 + \gamma^2)} = \frac{7,355 \cdot 10^{-2}}{19,59^2 \cdot 0,01567} = 122 \cdot 10^{-4};$$

$$B_3 = \frac{b_3}{p_3^2(\chi_3^2 + \gamma^2)} = \frac{5,320 \cdot 10^{-2}}{28,69^2 \cdot 0,3334} = 1,939 \cdot 10^{-4}.$$

Вычисляем амплитуду колебаний перекрытия первого этажа.

$$B_1 \varphi_{11} = 0,1713 \cdot 10^{-4} \cdot 2,601 \cdot 10^{-2} = 0,4456 \cdot 10^{-6};$$

$$B_2 \varphi_{21} = 122 \cdot 10^{-4} \cdot 7,355 \cdot 10^{-2} = 897,6 \cdot 10^{-6};$$

$$B_3 \varphi_{31} = 1,939 \cdot 10^{-4} \cdot 5,320 \cdot 10^{-2} = 10,31 \cdot 10^{-6};$$

$$z'_{11} = \sum_{r=1}^{3} B_r \chi_r \varphi_{r1} = -0,4456 \cdot 10^{-6} \cdot 5,111 + 897,6 \cdot 10^{-6} \times$$

$$\times 0,07532 + 10,31 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5687 = 71,19 \cdot 10^{-6};$$

$$z''_{11} = \gamma \sum_{r=1}^{3} B_r \varphi_{r1} = 0,1\ (0,4456 \cdot 10^{-6} + 897,6 \cdot 10^{-6} + 10,31 \cdot 10^{-6}) =$$

$$= 90,83 \cdot 10^{-6}.$$

Окончательно получаем

$$z_{11} = \sqrt{\left[\sum_{r=1}^{3} B_r \gamma_r \varphi_{r1}\right]^2 + \left[\gamma \sum_{r=1}^{3} B_r \varphi_{r1}\right]^2} =$$

$$= 10^{-6} \sqrt{71{,}19^2 + 90{,}83^2} = 115{,}4 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0{,}1154 \text{ мм}.$$

Вычисляем амплитуду колебаний перекрытия второго этажа:

$$B_1 \varphi_{12} = 0{,}1713 \cdot 10^{-4} \cdot 5{,}53 \cdot 10^{-2} = 0{,}9475 \cdot 10^{-6};$$

$$B_2 \varphi_{22} = 122 \cdot 10^{-4} \cdot 11{,}1 \cdot 10^{-2} = 1355 \cdot 10^{-6};$$

$$B_3 \varphi_{32} = 1{,}939 \cdot 10^{-4} \cdot 4{,}363 \cdot 10^{-2} = 8{,}459 \cdot 10^{-6};$$

$$z'_{21} = \sum_{r=1}^{3} B_r \gamma_r \varphi_{r2} = -0{,}9475 \cdot 10^{-6} \cdot 5{,}111 + 1355 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}07532 +$$

$$+ 8{,}459 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}5687 = 102 \cdot 10^{-6};$$

$$z''_{21} = \gamma \sum_{r=1}^{3} B_r \varphi_{r2} = 0{,}1 \cdot 10^{-6} \ (0{,}9475 + 1355 + 8{,}459) =$$

$$= 136{,}4 \cdot 10^{-6}.$$

Окончательно получаем

$$z_{21} = 10^{-6} \sqrt{102^2 + 136{,}4^2} = 170{,}3 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0{,}1703 \text{ мм}.$$

Вычисляем амплитуду колебаний перекрытия третьего этажа:

$$B_1 \varphi_{13} = 0{,}1713 \cdot 10^{-4} \cdot 10{,}7 \cdot 10^{-2} = 1{,}833 \cdot 10^{-6};$$

$$B_2 \varphi_{23} = 122 \cdot 10^{-4} \cdot 1{,}063 \cdot 10^{-2} = 129{,}7 \cdot 10^{-6};$$

$$B_3 \varphi_{33} = -1{,}939 \cdot 10^{-4} \cdot 11{,}8 \cdot 10^{-2} = -22{,}87 \cdot 10^{-6};$$

$$z'_{31} = \sum_{r=1}^{3} B_r \gamma_r \varphi_{r3} = 10^{-6} \times$$

$$\times (-1{,}833 \cdot 5{,}111 + 129{,}7 \cdot 0{,}07532 - 22{,}87 \cdot 0{,}5687) = -12{,}60 \cdot 10^{-4};$$

$$z''_{31} = \gamma \sum_{r=1}^{3} B_r \varphi_{r3} = 0{,}1 \cdot 10^{-6} \ (1{,}833 + 129{,}7 - 22{,}87) = 10{,}87 \cdot 10^{-6}.$$

Окончательно получаем

$$z_{31} = 10^{-6} \sqrt{12{,}60^2 + 10{,}87^2} = 16{,}64 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0{,}01664 \text{ мм}.$$

Вычисляем амплитуду колебаний покрытия:

$$B_1\varphi_{14}=\frac{b_1}{p_1^2(\chi_1^2+\gamma^2)}\varphi_{14}=0{,}1713\cdot10^{-4}\cdot13{,}08\cdot10^{-2}=2{,}242\cdot10^{-6};$$

$$B_2\varphi_{24}=\frac{b_2}{p_2^2(\chi_2^2+\gamma^2)}\varphi_{24}=-122\cdot10^{-4}\cdot11{,}27\cdot10^{-2}=-1375\cdot10^{-6};$$

$$B_3\varphi_{34}=\frac{b_3}{p_3^2(\chi_3^2+\gamma^2)}\varphi_{34}=1{,}939\cdot10^{-4}\cdot10{,}73\cdot10^{-2}=20{,}81\cdot10^{-6};$$

$$z'_{41}=\sum_{r=1}^{3}B_r\chi_r\varphi_{r4}=-2{,}242\cdot10^{-6}\cdot5{,}111-1375\cdot10^{-6}\cdot0{,}07532+$$
$$+20{,}81\cdot10^{-6}\cdot0{,}5687=-103{,}2\cdot10^{-6};$$

$$z''_{41}=\gamma\sum_{r=1}^{3}B_r\varphi_{r4}=0{,}1\cdot10^{-6}(2{,}242-1375+20{,}81)=-135{,}2\cdot10^{-6};$$

$$z_{41}=10^{-6}\sqrt{103{,}2^2+135{,}2^2}=170{,}1\cdot10^{-6}\ м=0{,}1701\ мм.$$

Теперь определим амплитуды вынужденных колебаний (также с учетом трех форм свободных колебаний) от единичной динамической силы, приложенной к перекрытию третьего этажа:

$$b_1=P\varphi_{13}=1\cdot10{,}7\cdot10^{-2}=10{,}7\cdot10^{-2};$$

$$b_2=P\varphi_{23}=1\cdot1{,}063\cdot10^{-2}=1{,}063\cdot10^{-2};$$

$$b_3=P\varphi_{33}=-1\cdot11{,}8\cdot10^{-2}=-11{,}8\cdot10^{-2};$$

$$B_1=\frac{b_1}{p_1^2(\chi_1^2+\gamma^2)}=\frac{10{,}7\cdot10^{-2}}{7{,}621^2\cdot26{,}14}=0{,}7047\cdot10^{-4};$$

$$B_2=\frac{b_2}{p_2^2(\chi_2^2+\gamma^2)}=\frac{1{,}063\cdot10^{-2}}{19{,}59^2\cdot0{,}01567}=17{,}66\cdot10^{-4};$$

$$B_3=\frac{b_3}{p_3^2(\chi_3^2+\gamma^2)}=\frac{-11{,}8\cdot10^{-2}}{28{,}69^2\cdot0{,}3334}=-4{,}293\cdot10^{-4}.$$

Вычисляем амплитуду колебаний перекрытия первого этажа:

$$B_1\varphi_{11}=0{,}7047\cdot10^{-4}\cdot2{,}601\cdot10^{-2}=1{,}833\cdot10^{-6};$$

$$B_2\varphi_{21}=17{,}66\cdot10^{-4}\cdot7{,}355\cdot10^{-2}=129{,}9\cdot10^{-6};$$

$$B_3\varphi_{31}=-4{,}293\cdot10^{-4}\cdot5{,}320\cdot10^{-2}=-22{,}84\cdot10^{-6};$$

$$z'_{13}=\sum_{r=1}^{3}B_r\chi_r\varphi_{r1}=10^{-6}\times$$

$$\times (-1{,}833 \cdot 5{,}111 + 129{,}9 \cdot 0{,}07532 - 22{,}84 \cdot 0{,}5687) = -12{,}57 \cdot 10^{-6};$$

$$z''_{13} = \gamma \sum_{r=1}^{3} B_r \varphi_{r1} = 0{,}1 \cdot 10^{-6} (1{,}833 + 129{,}9 - 22{,}84) = 10{,}89 \cdot 10^{-6}.$$

Окончательно получаем

$$z_{13} = 10^{-6} \sqrt{12{,}57^2 + 10{,}89^2} = 16{,}63 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0{,}01663 \text{ мм}.$$

Вычисляем амплитуду колебаний перекрытия второго этажа:

$$B_1 \varphi_{12} = 0{,}7047 \cdot 10^{-4} \cdot 5{,}53 \cdot 10^{-2} = 3{,}897 \cdot 10^{-6};$$

$$B_2 \varphi_{22} = 17{,}66 \cdot 10^{-4} \cdot 11{,}1 \cdot 10^{-2} = 196{,}09 \cdot 10^{-6};$$

$$B_3 \varphi_{32} = -4{,}293 \cdot 10^{-4} \cdot 4{,}363 \cdot 10^{-2} = -18{,}73 \cdot 10^{-6};$$

$$z'_{23} = \sum_{r=1}^{3} B_r \chi_r \varphi_{r2} = 10^{-6} \times$$

$$\times (-3{,}897 \cdot 5{,}111 + 196{,}09 \cdot 0{,}07532 - 18{,}73 \cdot 0{,}5687) = -15{,}8 \cdot 10^{-6};$$

$$z''_{23} = \gamma \sum_{r=1}^{3} B_r \varphi_{r2} = 0{,}1 \cdot 10^{-6} (3{,}897 + 196{,}09 - 18{,}73) = 18{,}13 \cdot 10^{-6}.$$

Окончательно получаем

$$z_{23} = 10^{-6} \sqrt{15{,}8^2 + 18{,}13^2} = 24{,}05 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0{,}02405 \text{ мм}.$$

Вычисляем амплитуду колебаний перекрытия третьего этажа:

$$B_1 \varphi_{13} = 0{,}7047 \cdot 10^{-4} \cdot 10{,}7 \cdot 10^{-2} = 7{,}537 \cdot 10^{-6};$$

$$B_2 \varphi_{23} = 17{,}66 \cdot 10^{-4} \cdot 1{,}063 \cdot 10^{-2} = 18{,}77 \cdot 10^{-6};$$

$$B_3 \varphi_{33} = 4{,}293 \cdot 10^{-4} \cdot 11{,}8 \cdot 10^{-2} = 50{,}64 \cdot 10^{-6};$$

$$z'_{33} = \sum_{r=1}^{3} B_r \chi_r \varphi_{r3} = 10^{-6} \times$$

$$\times (-7{,}537 \cdot 5{,}111 + 18{,}77 \cdot 0{,}07532 + 50{,}64 \cdot 0{,}5687) = -8{,}315 \cdot 10^{-6};$$

$$z''_{33} = \gamma \sum_{r=1}^{3} B_r \varphi_{r3} = 0{,}1 \cdot 10^{-6} (7{,}537 + 18{,}77 + 50{,}64) = 7{,}694 \cdot 10^{-6}.$$

Окончательно получаем

$$z_{33} = 10^{-6} \sqrt{8{,}315^2 + 7{,}694^2} = 11{,}33 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0{,}01133 \text{ мм}.$$

Вычисляем амплитуду колебаний покрытия:

$$B_1 \varphi_{14} = 0{,}7047 \cdot 10^{-4} \cdot 13{,}08 \cdot 10^{-2} = 9{,}22 \cdot 10^{-6};$$

$$B_2 \varphi_{24} = -17{,}66 \cdot 10^{-4} \cdot 11{,}27 \cdot 10^{-2} = -199{,}1 \cdot 10^{-6};$$

$$B_3\,\varphi_{34} = -4{,}293\cdot10^{-4}\cdot10{,}73\cdot10^{-2} = -46{,}09\cdot10^{-6};$$

$$z'_{43} = \sum_{r=1}^{3} B_r\,\chi_r\,\varphi_{r4} = 10^{-6}\times$$

$$\times\,(-9{,}22\cdot5{,}111 - 199{,}1\cdot0{,}07532 - 46{,}09\cdot0{,}5687) = -88{,}33\cdot10^{-6};$$

$$z''_{43} = \gamma\sum_{r=1}^{3} B_r\,\varphi_{r4} = 0{,}1\cdot10^{-6}\,(9{,}22-199{,}1-46{,}09) = -23{,}59\cdot10^{-6}$$

Окончательно получаем

$$z_{43} = 10^{-6}\sqrt{88{,}33^2 + 23{,}59^2} = 91{,}42\cdot10^{-6}\ м = 0{,}09142\ мм.$$

Полученные значения амплитуд колебаний и их составляющих приведены в табл. 46.

Таблица 46

Конструкция	Динамическая нагрузка в уровне перекрытия первого этажа			Динамическая нагрузка в уровне перекрытия третьего этажа		
	z'_{i1}	z''_{i1}	z_{i1}	z'_{i3}	z''_{i3}	z_{i3}
Перекрытие:						
первое	0,07119	0,09083	0,1154	—0,01257	0,01089	0,01663
второе	0,102	0,1364	0,1703	—0,0158	0,01813	0,02405
третье	—0,0126	0,01087	0,01664	—0,00831	0,00769	0,01133
Покрытие	—0,1032	—0,1352	0,1701	—0,08833	—0,02359	0,09142

Сопоставление данных таблицы показывает, что наибольшие перемещения испытывает перекрытие второго этажа.

Общее перемещение перекрытия второго этажа

$$z = P\,z_{21} + P\,z_{23} = P\,(z_{21} + z_{23}) =$$

$$= 1{,}995\,(0{,}1703 + 0{,}02405) = 0{,}388\ мм < 1{,}85\ мм.$$

Таким образом, полученное значение амплитуды перемещения не превышает величину допустимой амплитуды.

и) ОПРЕДЕЛЕНИЕ АМПЛИТУД ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Амплитуды вынужденных вращательных колебаний от динамических моментов, приложенных в уровнях перекрытий первого и третьего этажей, определяются аналогично аплитудам поступательных колебаний с учетом двух форм свободных вращательных коле-

баний. Покажем последовательность вычислений на примере определения амплитуды θ_{41}.

В соответствии с п. 4.8 Инструкции определяем расчетные значения частот собственных колебаний:

$$p_1 = p_1^0 \frac{\omega}{p_2^0} = 8{,}174 \frac{18{,}84}{21{,}94} = 7{,}019 \ \textit{рад/сек};$$

$$p_2 = \omega = 18{,}84 \ \textit{рад/сек}.$$

По формулам приложения 2 получаем

$$b_1 = \sum_{j=1} M_j \varphi_{1j} = M_1 \varphi_{11} = 1 \cdot 0{,}7373 \cdot 10^{-3} = 0{,}7373 \cdot 10^{-3};$$

$$b_2 = \sum_{j=1} M_j \varphi_{2j} = M_2 \varphi_{21} = -1 \cdot 1{,}879 \cdot 10^{-3} = -1{,}879 \cdot 10^{-3};$$

$$\chi_1 = 1 - \frac{\omega^2}{p_1^2} = 1 - \frac{18{,}84^2}{7{,}019^2} = -6{,}205;$$

$$\chi_2 = 1 - \frac{\omega^2}{p_2^2} = 1 - \frac{18{,}84^2}{18{,}84^2} = 0;$$

$$\chi_1^2 + \gamma^2 = -6{,}205^2 + 0{,}1^2 = 38{,}51;$$

$$\chi_2^2 + \gamma^2 = 0^2 + 0{,}1^2 = 0{,}01;$$

$$B_1 = \frac{b_1}{p_1^2 (\chi_1^2 + \gamma^2)} = \frac{0{,}7373 \cdot 10^{-3}}{7{,}019^2 \cdot 38{,}51} = 0{,}3886 \cdot 10^{-6};$$

$$B_2 = \frac{b_2}{p_2^2 (\chi_2^2 + \gamma^2)} = \frac{-1{,}879 \cdot 10^{-3}}{18{,}84^2 \cdot 0{,}01} = -529{,}5 \cdot 10^{-6};$$

$$B_1 \varphi_{14} = 0{,}3886 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}791 \cdot 10^{-3} = 1{,}084 \cdot 10^{-9};$$

$$B_2 \varphi_{24} = -529{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}534 \cdot 10^{-3} = -1342 \cdot 10^{-9};$$

$$\theta'_{41} = \sum_{r=1}^{2} B_r \chi_r \varphi_{r4} = -1{,}084 \cdot 10^{-9} \cdot 6{,}205 = -6{,}73 \cdot 10^{-9};$$

$$\theta''_{41} = \gamma \sum_{r=1}^{2} B_r \varphi_{r4} = 1{,}084 \cdot 10^{-9} \cdot 0{,}1 - 1342 \cdot 10^{-9} \cdot 0{,}1 =$$

$$= -134{,}07 \cdot 10^{-9}.$$

Окончательно получаем

$$\theta_{41} = 10^{-9} \sqrt{(-6{,}73)^2 + (-134{,}07)^2} = 1{,}342 \cdot 10^{-7} \ \textit{рад}.$$

Опуская последующие вычисления, приведем окончательную

табл. 47 увеличенных в 10^7 раз амплитуд углов поворота и их составляющих от единичных динамических моментов.

Таблица 47

Конструкция	Динамическая нагрузка в уровне перекрытия первого этажа			Динамическая нагрузка в уровне перекрытия третьего этажа		
	θ'_{i1}	θ''_{i1}	θ_{i1}	θ'_{i3}	θ''_{i3}	θ_{i3}
Перекрытие:						
первое	—0,01778	0,9952	0,9954	—0,05826	—0,1525	0,1632
второе	—0,03644	1,264	1,264	—0,1194	—0,1929	0,2269
третье	—0,05826	—0,1525	0,1633	—0,1909	+0,02674	0,1928
Покрытие	—0,0673	—1,3407	1,3424	—0,2205	+0,2104	0,3048

Определим ту же амплитуду θ_{41} по формуле (2.16), учитывающей только вторую — резонансную форму:

$$\theta_{41} = \left| \frac{b_2 \varphi_{24}}{p_2^2 \gamma} \right| = \frac{1{,}879 \cdot 10^{-3} \cdot 2{,}534 \cdot 10^{-3}}{18{,}84^2 \cdot 0{,}1} = 1{,}342 \cdot 10^{-7} \ рад,$$

т. е. в этом случае формула (2.16) в сравнении с формулой (2.12) не дает никакой погрешности.

Из сопоставления элементов табл. 47 следует, что наибольшее закручивание получит перекрытие второго этажа (поворот покрытия не учитывается), равное:

$$M(\theta_{21} + \theta_{23}) = 55{,}36\ (1{,}264 + 0{,}2269)\ 10^{-7} = 82{,}54 \cdot 10^{-7} \ рад.$$

Амплитуда вращательных колебаний угловой точки здания на уровне перекрытия второго этажа:

$$a = \sqrt{30^2 + 12^2} \cdot 82{,}54 \cdot 10^{-7} = 2{,}667 \cdot 10^{-4} \ м = 0{,}2667 \ мм < 1{,}85 \ мм.$$

Таким образом, и при вращательных колебаниях наибольшие амплитуды перемещений не превосходят предельно допустимых.

к) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ

Так как динамические перемещения при поступательных колебаниях значительно больше, чем при вращательных, то усилия в продольной раме определяем при поступательных колебаниях вдоль здания. Из подсчетов, произведенных на основании данных табл. 46, видно, что разность горизонтальных динамических перемещений нижнего и верхнего концов колонны в пределах четвертого этажа имеет наибольшее значение по сравнению с тремя другими этажами и равняется:

$$\Delta = P \sqrt{(z'_{41} + z'_{43} - z'_{31} - z'_{33})^2 + (z''_{41} + z''_{43} - z''_{31} - z''_{33})^2} = 1{,}995 \times$$

$$\times\sqrt{(-0,1032-0,08833+0,0126+0,00831)^2+(-0,1352-0,02359-0,01087-0,00769)^2}=$$

$$=1,995\ \sqrt{(-0,17062)^2+(-0,17735)^2}=1,995\cdot0,2461=0,491\ \textit{мм}.$$

При расчетных значениях нагрузки разность перемещений будет

$$\Delta=0,491\cdot1,3=0,6383\ \textit{мм}.$$

Отношение разности перемещений концов колонны к высоте этажа

$$\frac{\Delta}{h}=\frac{0,6383}{4800}=\frac{1}{7520}>\frac{1}{50\,000},$$

где h — высота колонны.

Поэтому, согласно п. 2.7 Инструкции, требуется проверка несущей способности конструкций на динамические нагрузки. Здесь $k_д$ — коэффициент перегрузки, принимаемый из табл. 3 Инструкции равным 1,3.

В соответствии с п. 5.1 Инструкции расчет производим на расчетные динамические нагрузки.

Сначала строим эпюру моментов от действия динамической силы $k_д P=1,3\cdot1,995\ T=2,593\ T$, приложенной к перекрытию первого этажа. Для этого определяем инерционные силы по формулам (27) и (28) Инструкции. При этом используем значения составляющих $z'_{ik}=\sum_r B_r\chi_r\varphi_{ri}$ и $z''_{ik}=\gamma\sum_r B_r\varphi_{ri}$ амплитуд от единичных динамических сил, полученные в разделе «ж» по формуле (2.12) Инструкции:

$$P_1=k_д P+k_д P z'_{11} m_1\omega^2=2,593+2,593\cdot71,19\cdot10^{-6}\times$$

$$\times\,39,2\cdot18,84^2=5,163\ T$$

$$P''_1=k_д P z''_{11} m_1\omega^2=2,593\cdot90,83\cdot10^{-6}\cdot39,2\cdot18,84^2=3,278\ T$$

$$P'_2=k_д P z'_{21} m_2\omega^2=2,593\cdot102\cdot10^{-6}\cdot38,67\cdot18,84^2=3,632\ »$$

$$P''_2=k_д P z''_{21} m_2\omega^2=2,593\cdot136,4\cdot10^{-6}\cdot38,67\cdot18,84^2=4,857\ »$$

$$P'_3=k_д P z'_{31} m_3\omega^2=-2,593\cdot12,6\cdot10^{-6}\cdot38,59\cdot18,84^2=-0,4477\ T$$

$$P''_3=k_д P z''_{31} m_3\omega^2=2,593\cdot10,87\cdot10^{-6}\cdot38,59\cdot18,84^2=0,3860\ T$$

$$P'_4=k_д P z'_{41} m_4\omega^2=-2,593\cdot103,2\cdot10^{-6}\cdot24,16\cdot18,84^2=-2,295\ T$$

$$P''_4=k_д P z''_{41}\cdot m_4\omega^2=-2,593\cdot135,2\cdot10^{-6}\cdot24,16\cdot18,84^2=-3,007\ T$$

От системы сил P'_j с помощью единичных эпюр (см. рис. 31—34) строим эпюру M'_1 (рис. 24), а от системы сил P''_j — эпюру M''_1 (рис. 25).

После этого в соответствии с формулой (25) Инструкции строится окончательная эпюра амплитудных значений моментов M_1 (рис. 26) от динамической силы, приложенной к перекрытию первого этажа.

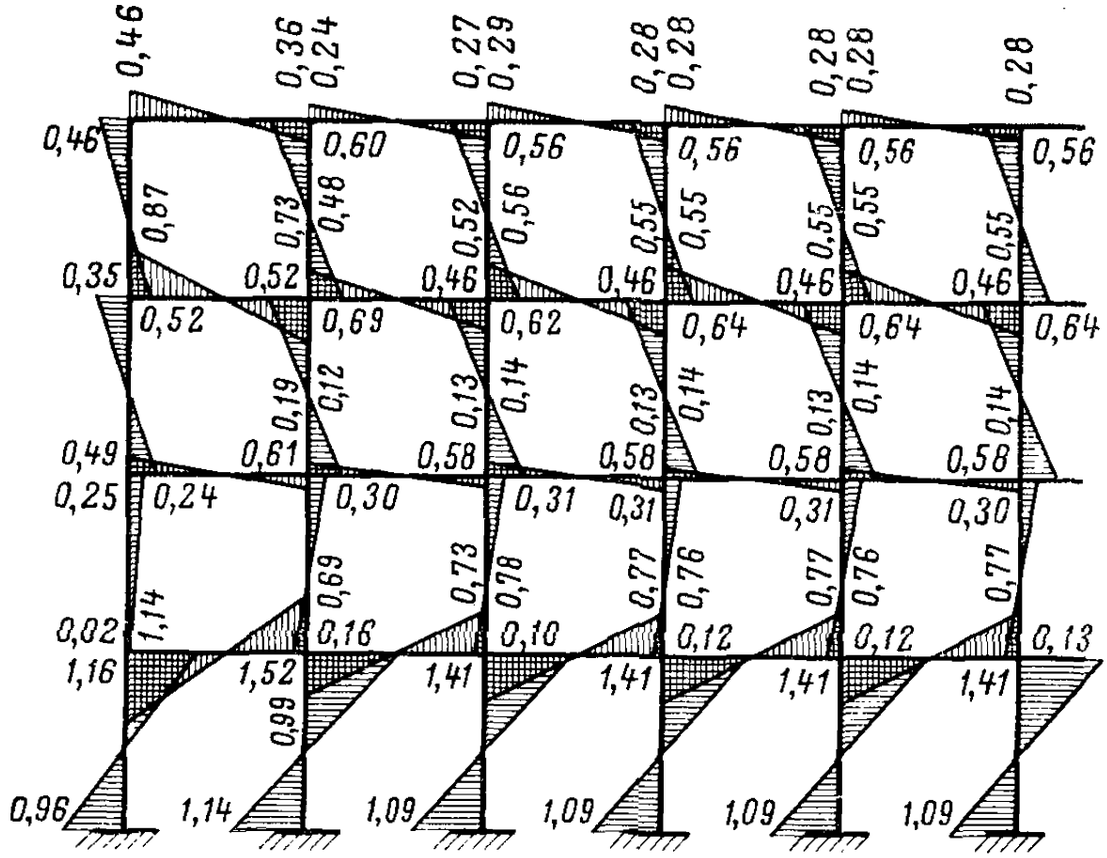


Рис. 24. Эпюра M_1'

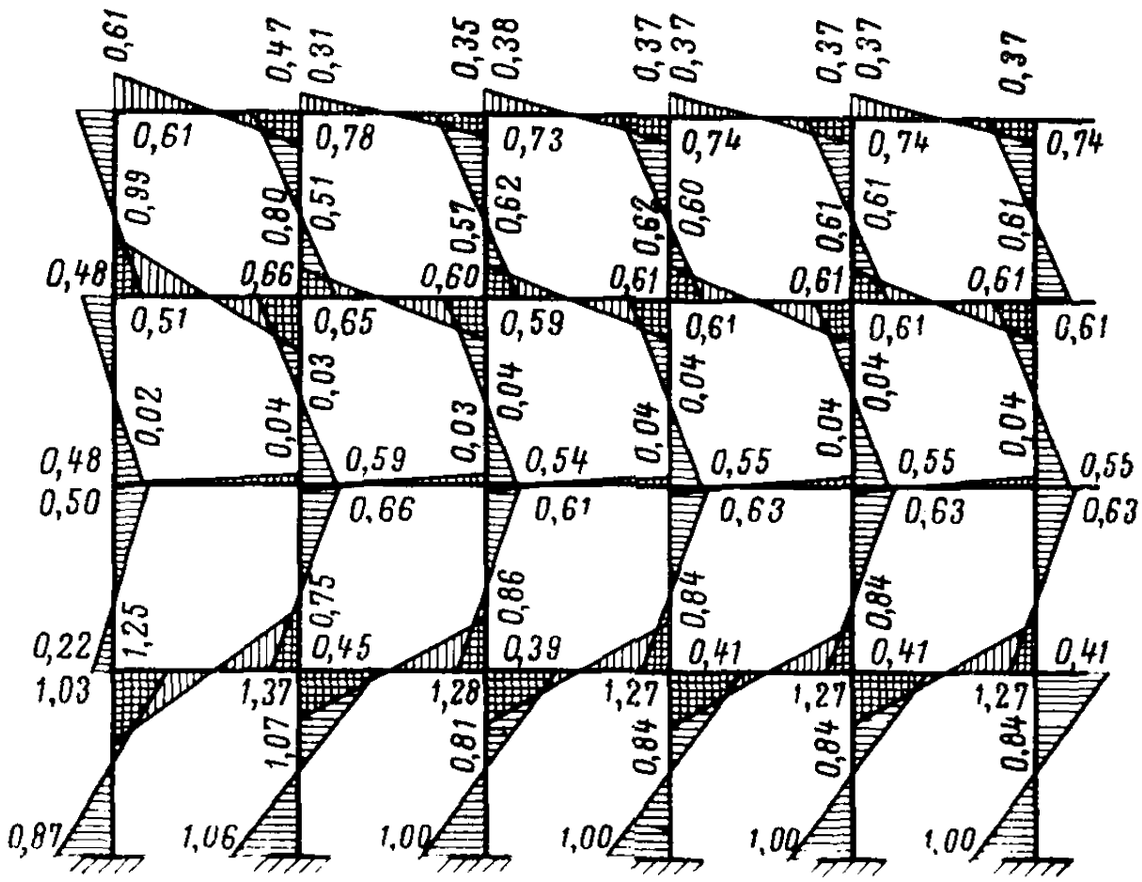


Рис. 25. Эпюра M_1''

Теперь строим эпюры моментов от действия динамической силы $k_д\ P=1{,}3\cdot 1{,}995\ T=2{,}593\ T$, приложенной к перекрытию третьего этажа. Значения инерционных сил

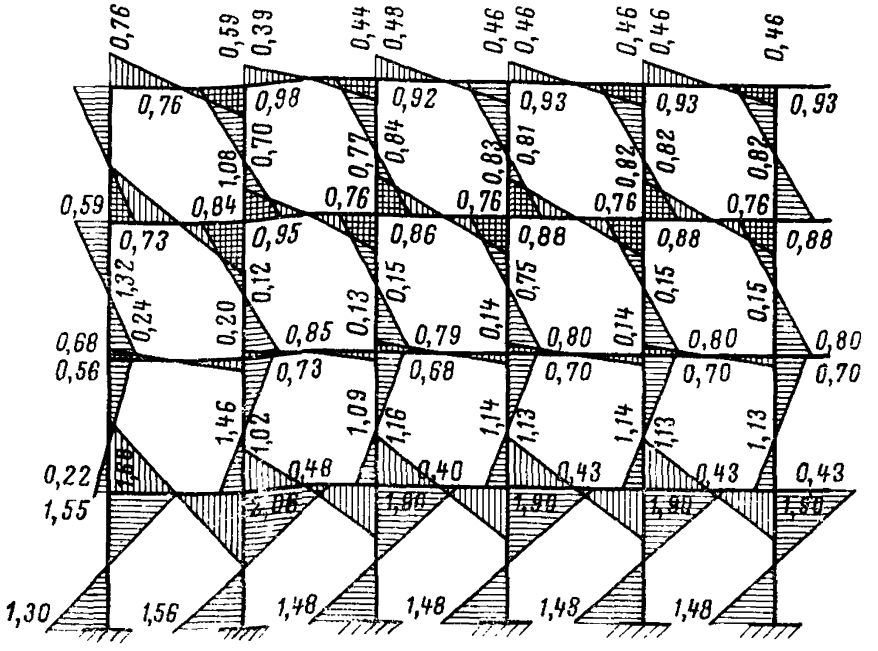


Рис. 26. Эпюра M_1

$$P_1' = k_д\, P\, z_{13}'\, m_1\, \omega^2 = -2{,}593\cdot 12{,}57\cdot 10^{-6}\cdot 39{,}2\cdot 18{,}84^2 = -0{,}4536\ T$$

$$P_1'' = k_д\, P\, z_{13}''\, m_1\, \omega^2 = 2{,}593\cdot 10{,}89\cdot 10^{-6}\cdot 39{,}2\cdot 18{,}84^2 = 0{,}393\ T$$

$$P_2' = k_д\, P\, z_{23}'\, m_2\, \omega^2 = -2{,}593\cdot 15{,}8\cdot 10^{-6}\cdot 38{,}67\cdot 18{,}84^2 = -0{,}5626\ T$$

$$P_2'' = k_д\, P\, z_{23}''\, m_2\, \omega^2 = 2{,}593\cdot 18{,}13\cdot 10^{-6}\cdot 38{,}67\cdot 18{,}84^2 = 0{,}6453\ T$$

$$P_3' = k_д\, P + k_д\, P\, z_{33}'\, m_3\, \omega^2 = 2{,}593 - 2{,}593\cdot 8{,}315\cdot 10^{-6}\cdot 38{,}59\times$$
$$\times\ 18{,}84^2 = 2{,}2981\ T$$

$$P_3'' = k_д\, P\, z_{33}''\, m_3\, \omega^2 = 2{,}593\cdot 7{,}694\cdot 10^{-6}\cdot 38{,}59\cdot 18{,}84^2 = 0{,}273\ T$$

$$P_4' = k_д\, P\, z_{43}'\, m_4\, \omega^2 = -2{,}593\cdot 88{,}33\cdot 10^{-6}\cdot 24{,}16\cdot 18{,}84^2 = -1{,}964\ T$$

$$P_4'' = k_д\, P\, z_{43}''\, m_4\, \omega^2 = -2{,}593\cdot 23{,}59\cdot 10^{-6}\cdot 24{,}16\cdot 18{,}84^2 = -0{,}5247\ T$$

От системы сил P_j' с помощью единичных эпюр (см. рис. 31—34) строим эпюру M_2' (рис. 27), а от системы сил P_j'' — эпюру M_2'' (рис. 28).

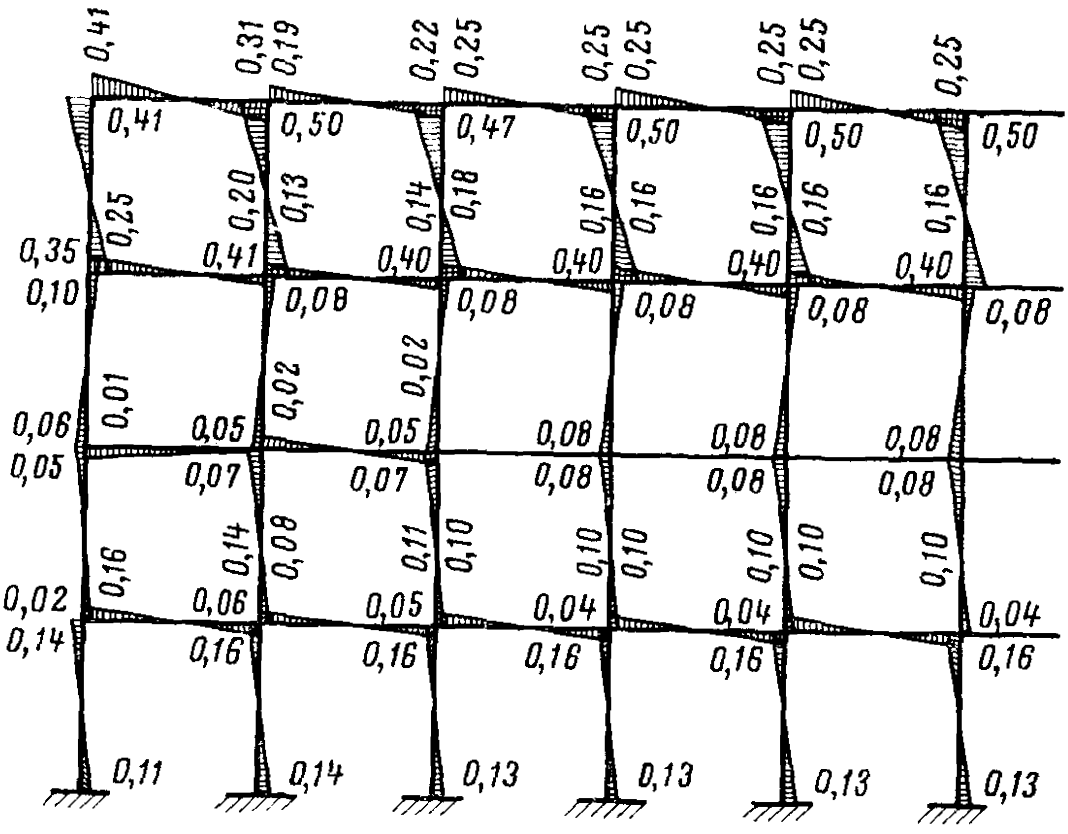


Рис. 27. Эпюра M_2'

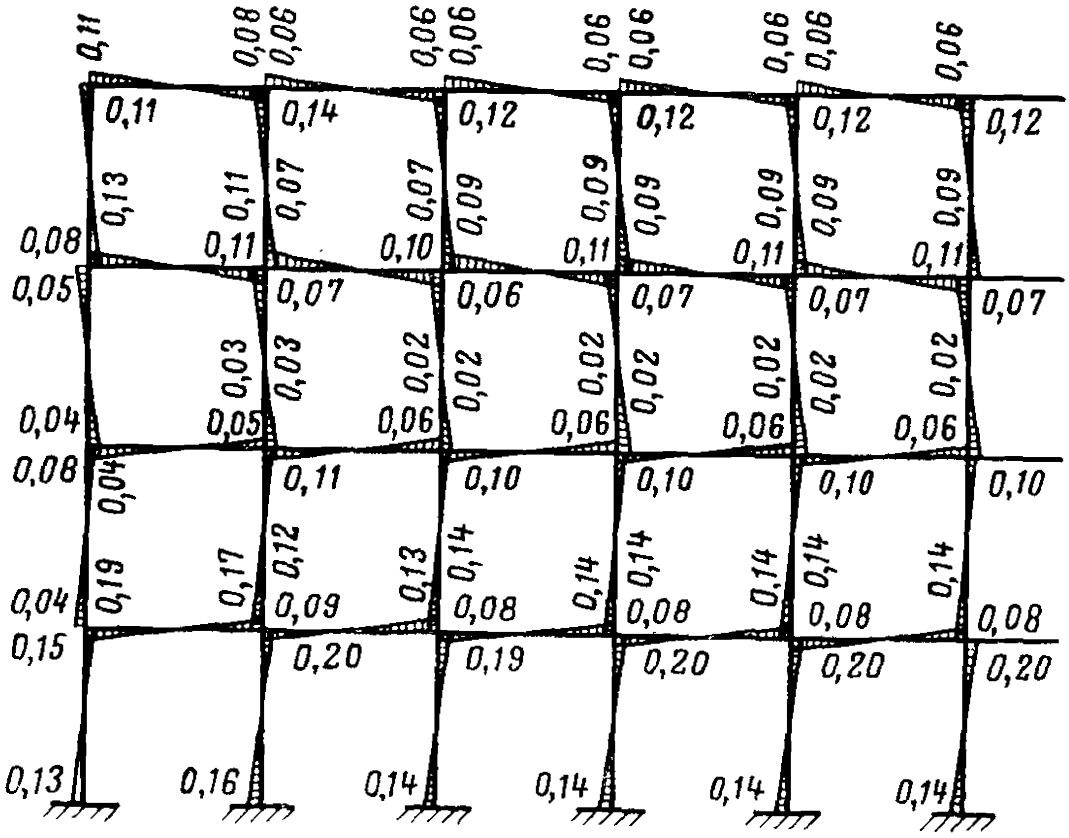


Рис. 28. Эпюра M_2''

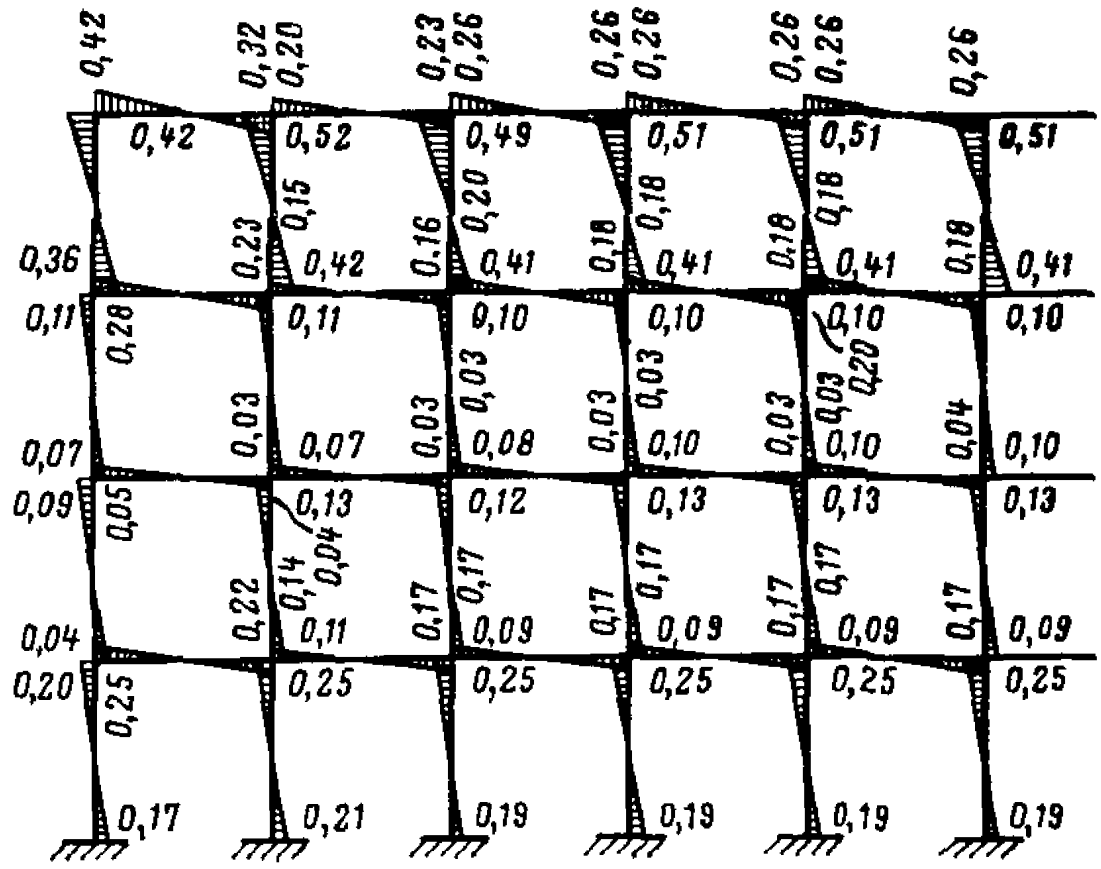


Рис. 29. Эпюра M_2

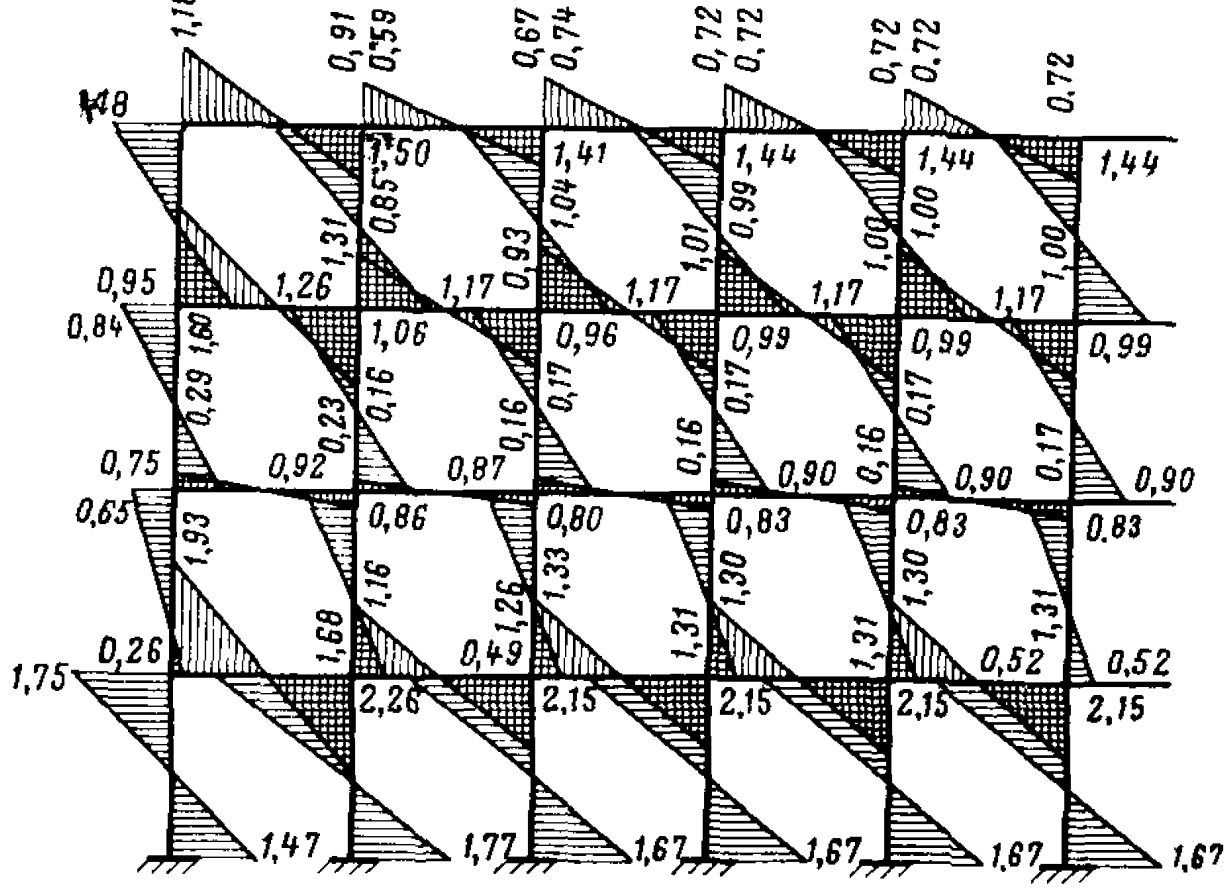


Рис. 30. Эпюра M

После этого в соответствии с формулой (25) Инструкции строится окончательная эпюра амплитудных значений моментов M_2 (рис. 29) от динамической силы, приложенной к перекрытию третьего этажа.

В результате сложения эпюр M_1 (см. рис. 26) и M_2 (рис. 29) получена «огибающая» эпюра M (рис. 30).

л) ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

Несущая способность элементов конструкций, подвергаемых воздействию статических и динамических нагрузок, в соответствии с п. 2.2 Инструкции проверяется по прочности с учетом выносливости.

Проверка на прочность. Из рассмотрения эпюр, приведенных на рис. 30 и 35, видно, что наибольшего значения момент достигает на правой опоре ригеля AB:

$$M_{\text{с}}^{\text{р}} = 31{,}5 \ T \cdot м; \quad M_{\text{д}}^{\text{р}} = 1{,}31 \ T \cdot м;$$

$$M_{\text{с}}^{\text{р}} + M_{\text{д}}^{\text{р}} = 31{,}5 + 1{,}31 = 32{,}81 \ T \cdot м.$$

По этому сечению (принимая его для упрощения прямоугольным шириной $b = 30$ *см* и высотой $h = 80$ *см* и не учитывая влияния сил сухого трения, так как амплитуда перемещений больше 0,1 *мм*) произведем проверку прочности согласно СНиП II-В.1-62. Ригели приняты из серии типовых многоэтажных зданий. Характеристики сечения приведены на рис. 20. Марка бетона 200. Арматура из горячекатаной стали класса А-III марки 25Г2С; $a = a' = 7{,}5$ *см*; $F_{\text{а}} = 18{,}46$ *см*^{2}; $F'_{\text{а}} = 13{,}61$ *см*^{2}.

Определим высоту сжатой зоны бетона из уравнения равновесия:

$$R_{\text{и}} bx - R_{\text{а}} F_{\text{а}} + R_{\text{а.с}} F'_{\text{а}} = 100 \cdot 30 \, x - 3400 \cdot 18{,}46 + 3400 \cdot 13{,}61 = 0,$$

откуда $x = 5{,}50$ *см*. Так как $x < 2a' = 15$ *см*, момент, который может воспринять сечение, равен:

$$M = R_{\text{а}} F_{\text{а}} (h_0 - a') = 3400 \cdot 18{,}46 \ (72{,}5 - 7{,}5) = 4\,079\,660 \ кГ \cdot см =$$
$$= 40{,}8 \ T \cdot м > 32{,}83 \ T \cdot м,$$

т. е. прочность обеспечена.

Проверка на выносливость. Расчет ригелей на выносливость, выполняемый по «Инструкции по проектированию железобетонных конструкций» (Госстройиздат, 1968), заключается в следующем.

1. Производится расчет на выносливость сечений, нормальных к продольной оси ригеля.

Для этого определяем наибольший и наименьший изгибающие моменты в сечении E (рис. 30, 35), как наиболее опасном. При этом пользуемся формулой (13) настоящей Инструкции.

$$M_{\text{с}}^{\text{н}} + M_{\text{д}}^{\text{р}} \leqslant M_{\text{вын}}$$

$$M_{\text{д}}^{\text{р}} = 1{,}18 \ \ T \cdot м$$

$$M_{\text{с}}^{\text{н}} = \frac{5{,}27}{1{,}15} = 4{,}58 \ \ T \cdot м$$

$$M_{\max} = 4{,}58 + 1{,}18 = 5{,}76 \ \ »$$

$$M_{\min} = 4{,}58 - 1{,}18 = 3{,}4 \ \ »$$

Высоту сжатой зоны бетона определим из уравнения

$$\frac{bx^2}{2} = n' F_{\text{а}} (h_0 - x) - n' F_{\text{а}}' (x - a'),$$

считая при этом для простоты сечение прямоугольным и принимая коэффициент n' по табл. 8.1 «Инструкции по проектированию железобетонных конструкций» равным 25

$$\frac{30 x^2}{2} = 25 \cdot 18{,}46 \ (72{,}5 - x) - 25 \cdot 13{,}61 \ (x - 7{,}5);$$

$$x = 29{,}09 \ \ см.$$

Центр тяжести приведенного сечения расположен на уровне нейтральной линии. Момент инерции приведенного сечения без учета площади растянутого бетона

$$J_{\text{п}} = J_{\text{б}} + n' J_{\text{а}} + n' J_{\text{а}}' = \frac{bx^3}{3} + n' F_{\text{а}} (h_0 - x)^2 + n' F_{\text{а}}' (x - a')^2 =$$

$$= \frac{30 \cdot 29{,}09^3}{3} + 25 \cdot 18{,}46 \ (72{,}5 - 29{,}09)^2 + 25 \cdot 13{,}61 \ (29{,}09 - 7{,}5)^2 =$$

$$= 1\,274\,461 \ \ см^4.$$

Проверяем выносливость растянутой арматуры. Характеристики цикла напряжений в арматуре и бетоне

$$\rho_{\text{а}} = \rho_{\text{б}} = \frac{M_{\min}}{M_{\max}} = \frac{3{,}4}{5{,}76} = 0{,}59.$$

По табл. 8.3 «Инструкции по проектированию железобетонных конструкций» при $\rho_{\text{а}} = 0{,}59$ находим $k_{\rho a} = 0{,}77$. По табл. 8.4 той же Инструкции при ванной сварке находим $k_{\text{с}} = 0{,}8$. Тогда расчетное сопротивление арматуры

$$R_{\text{а}}' = k_{\text{с}} k_{\rho\,\text{а}} R_{\text{а}} = 0{,}8 \cdot 0{,}77 \cdot 3400 = 2094 \ \ кГ/см^2.$$

Определяем наибольшее напряжение в растянутой арматуре, принимая

$$y_{\text{а}} = h - 7{,}5 - x = 43{,}41 \ \ см;$$

$$\sigma_{\text{а. max}} = n' \frac{M_{\max}}{J_{\text{п}}} y_{\text{а}} = 25 \frac{576\,000}{1\,274\,461} 43{,}41 = 490 \ \ кГ/см^2,$$

что меньше $R_{\text{а}}' = 2094 \ кГ/см^2$, и выносливость растянутой арматуры обеспечена.

Проверяем выносливость сжатого бетона. Так как $\rho_{\text{б}} = 0{,}59 < 0{,}6$

(см. п. 8.9 «Инструкции по проектированию железобетонных конструкций»), проверка на выносливость сжатого бетона необходима. По табл. 8.2 той же Инструкции при $\rho_б = 0{,}59$ находим $k_{\rho б} = 0{,}995$. Расчетное сопротивление бетона при расчете на выносливость равно:

$$R'_и = k_{\rho\, б} R_и = 0{,}995 \cdot 100 - 99{,}5 \ \ кГ/см^2.$$

Краевое сжимающее напряжение в бетоне при $y = x = 29{,}09$ *см*:

$$\sigma_{б.\,max} = \frac{M_{max}}{J_п} y = \frac{576\,000 \cdot 29{,}09}{1\,274\,461} = 13{,}1 \ \ кГ/см^2,$$

что меньше $R'_и = 99{,}5 \ кГ/см^2$, и выносливость сжатого бетона обеспечена.

2. Производим расчет на выносливость наклонных сечений.

В том же сечении E, считая его наиболее опасным, определяем значения наибольшей и наименьшей поперечной силы путем дифференцирования эпюр, приведенных на рис. 30 и 35:

$$Q_{max} = \frac{ql}{2} - \frac{M_F^c - M_E^c}{1{,}15\,l} + \frac{M_F^д + M_E^д}{l} =$$

$$= \frac{2{,}56 \cdot 6}{2} - \frac{19{,}7 - 5{,}27}{1{,}15 \cdot 6} + \frac{1{,}18 + 1{,}05}{6} =$$

$$= 7{,}68 - 2{,}09 + 0{,}37 = 5{,}95 \ \ T;$$

$$Q_{min} = 7{,}68 - 2{,}09 - 0{,}37 = 5{,}23 \ \ T.$$

Проверяем условие $\sigma_{г.р\,max} \leqslant R'_т$.

Для этого определяем главные растягивающие напряжения бетона. Поскольку для изгибаемых элементов без предварительного напряжения наибольшие главные растягивающие напряжения $\sigma_{г.р}$ равны скалывающим напряжениям τ на уровне центра тяжести приведенного сечения (местными сжимающими напряжениями пренебрегаем), то величину $\sigma_{г.р}$ определяем по формуле для скалывающих напряжений в бетоне, учитывая полное сечение бетона (наличием арматуры пренебрегаем):

$$\sigma_{г.р} = \tau = \frac{Q S_п}{J_п b} = \frac{Q \cdot 0{,}5\, b\, (0{,}5\, h)^2}{\frac{bh^3}{12} b} = \frac{1{,}5\, Q}{bh} =$$

$$= \frac{1{,}5 \cdot 5950}{30 \cdot 80} = 3{,}72 \ \ кГ/см^2.$$

Характеристика цикла главных растягивающих напряжений бетона

$$\rho_б = \frac{Q_{мин}}{Q_{макс}} = \frac{5{,}23}{5{,}95} = 0{,}88.$$

По табл. 8.2 «Инструкции по проектированию железобетонных конструкций» при $\rho_б > 0{,}6$ находим $k_{сб} = 1$.

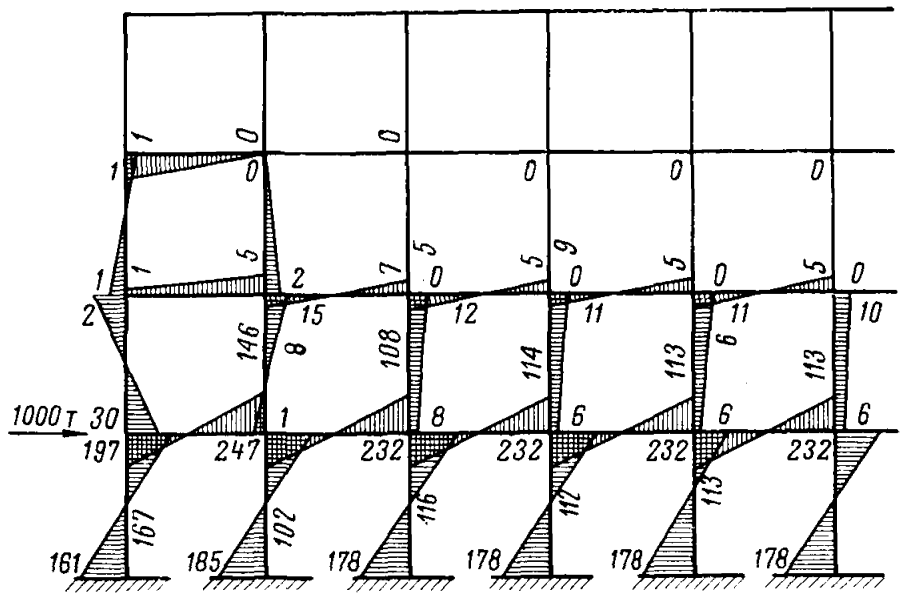


Рис. 31. Эпюра M_1 при действии единичной силы

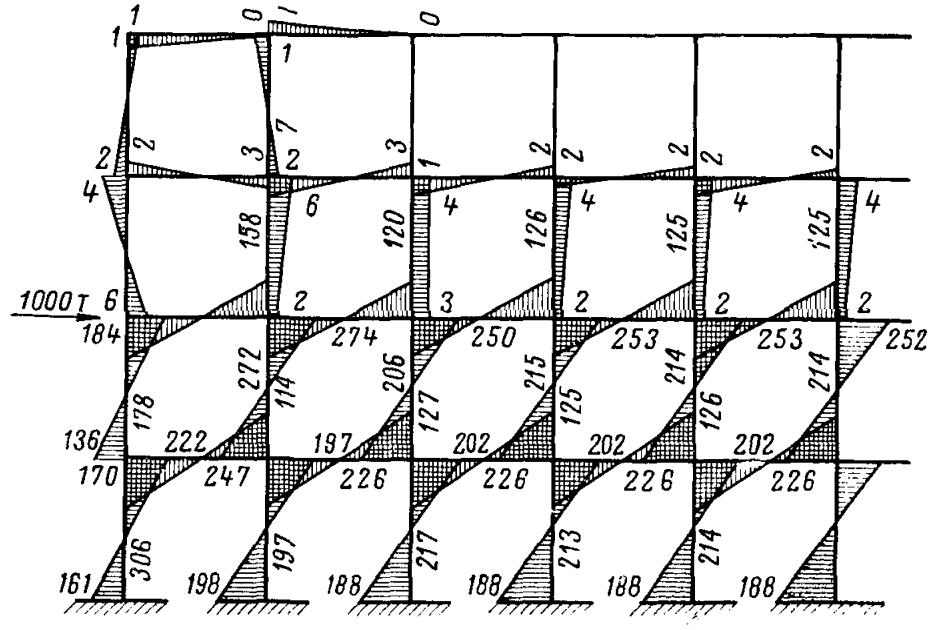


Рис. 32. Эпюра M_2 при действии единичной силы

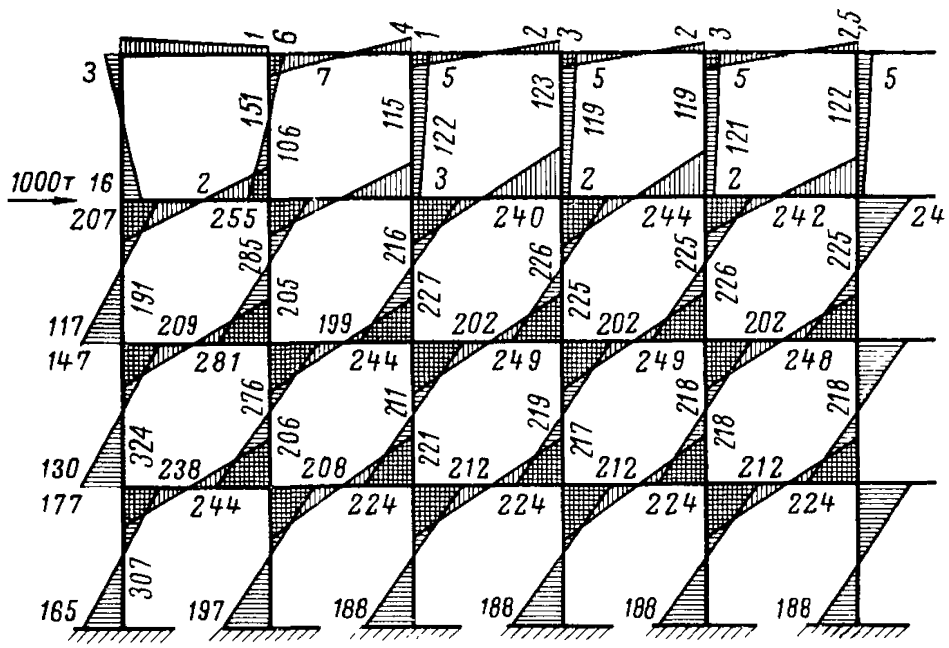


Рис. 33. Эпюра M_3 при действии единичной силы

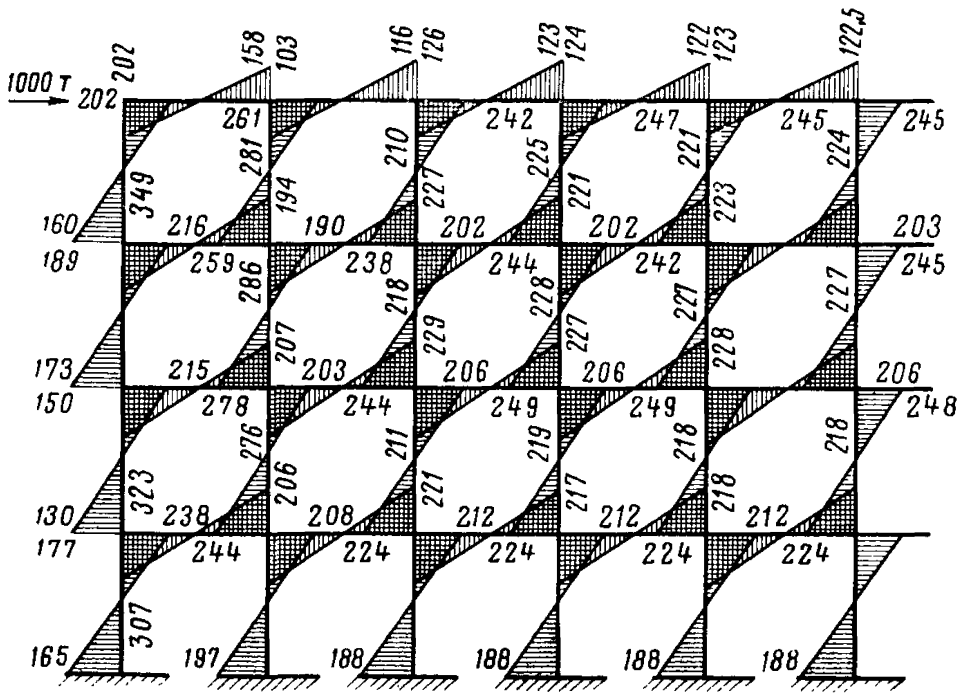


Рис. 34. Эпюра M_4 при действии единичной силы

Расчетное сопротивление бетона растяжению $R_т'$ равно:

$$R_т' = k_{р\,б}\, R_т = 1 \cdot 10 = 10 \ кГ/см^2 > \sigma_{г.р} = 3{,}72 \ кГ/см^2,$$

т. е. наклонные трещины не образуются.

Аналогично производится проверка на прочность и выносливость при изгибе колонн.

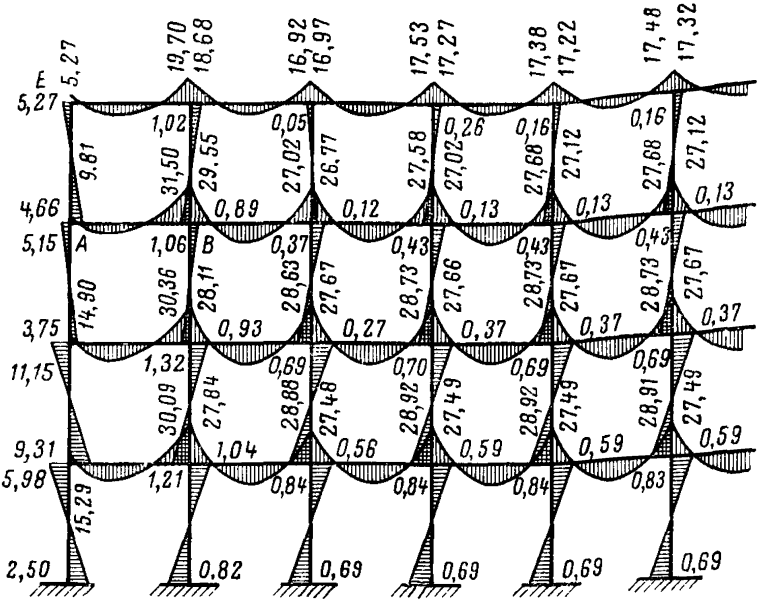


Рис. 35. Эпюра изгибающих моментов $M_с^{р}$ от статических расчетных нагрузок

Пример 2. Расчет железобетонного ригеля перекрытия здания углеобогатительной фабрики

а) ЗАДАНИЕ

Требуется рассчитать ригель перекрытия здания углеобогатительной фабрики на действие вертикальных динамических нагрузок от молотковых дробилок, расположение которых указано на рис. 36.

Постоянная нагрузка $q = 400 \ кГ/м^2$.

Временная длительная нагрузка:

между рядами *1—2, 4—5* — $p = 800 \ кГ/м^2$

» » *2—4* в пролете *А—Б* — $p = 2000 \ кГ/м^2$

» » *2—4* в пролете *Б—В* — $p = 600 \ кГ/м^2$

Вес одной дробилки $P_0 = 7200 \ кг$. Число оборотов $n_0 = 985 \ об/мин$ или $n_0 = \dfrac{985}{60} = 16{,}417 \ об/сек$.

Амплитуда вертикальной инерционной силы одной молотковой дробилки $R_0 = 1800 \ кГ$.

Пребывание обслуживающего персонала на перекрытии не превышает 15% рабочего времени.

Величина амплитуд перемещений по технологическим требованиям не ограничивается.

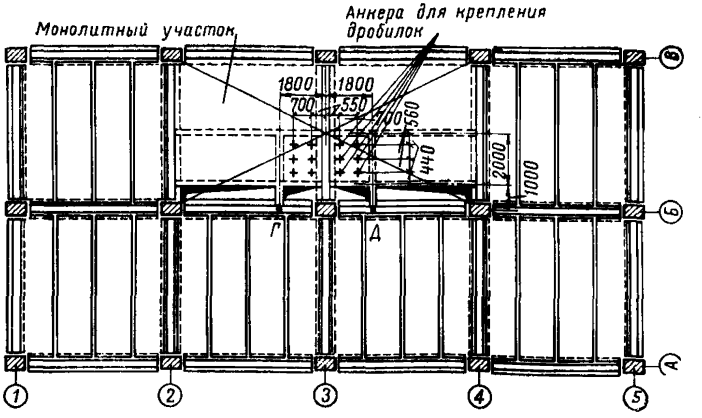


Рис. 36. План расположения дробилок

Сечение ригеля приведено на рис. 37; бетон марки 300; продольная арматура из горячекатаной стали класса А-III с $F_a = F_a' = 14{,}73$ *см*² (3Ø25).

Жесткость поперечного сечения ригеля $E_б J$ равна 46 620 *Тм*².

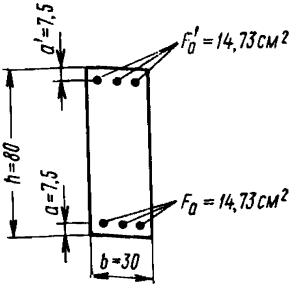


Рис. 37. Поперечное сечение ригеля

б) ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК

Статические нагрузки, действующие на ригель, определяются обычным путем в соответствии со схемой перекрытия (см. рис. 36).

По характеру динамического воздействия данная молотковая дробилка относится к I типу (табл. 5 Инструкции), по характеру продолжительности динамической нагрузки — ко 2-й группе (табл. 6

Инструкции), а по динамичности — к IV категории (табл. 8 Инструкции).

Динамические нагрузки от дробилок передаются на ригель через второстепенные балки в точках *Г* и *Д* (см. рис. 36). При этом динамические реакции, действующие в этих точках, подсчитываем по правилу рычага:

$$R = \frac{R_0}{2} \cdot \frac{3-2}{3} = \frac{1{,}8}{2} \cdot \frac{1}{3} = 0{,}3\ T.$$

Коэффициент синфазности λ ввиду малого числа машин принят равным единице. Круговая частота вынужденных колебаний равна $\omega = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 16{,}417 = 103{,}1$ *рад/сек*.

в) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ РИГЕЛЯ

В качестве расчетной схемы ригеля принята неразрезная четырехпролетная балка со свободно опертыми концами (рис. 38).

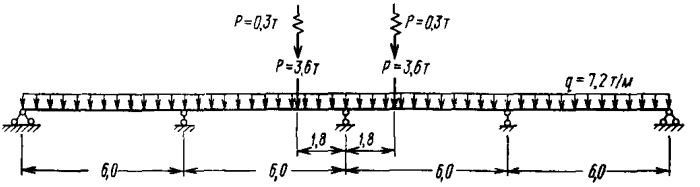


Рис. 38. Расчетная схема ригеля

Для определения круговых частот p_i по формуле (1.38) приложения 1 подсчитываем значения приведенных погонных масс:

$$\mu_1 = \frac{q_0}{g} + \frac{1}{l} \sum_{k=1}^{2} X_1^2(\alpha_k) \qquad \frac{P_k}{g} = \frac{q_0}{g} + \frac{P}{lg} \sum_{k=1}^{2} X_1^2(\alpha_k) =$$

$$= \frac{7{,}2}{9{,}81} + \frac{3{,}6}{6 \cdot 9{,}81}\, 2\,(-0{,}5721)^2 = 0{,}774\ T \cdot сек^2/м;$$

$$\mu_2 = \frac{q_0}{g} + \frac{P}{lg} \sum_{k=1}^{2} X_2^2(\alpha_k) =$$

$$= \frac{7{,}2}{9{,}81} + \frac{3{,}6}{6 \cdot 9{,}81}\, 2 \cdot 0{,}2111^2 = 0{,}7394\ T \cdot сек^2/м;$$

$$\mu_3 = \frac{q_0}{g} + \frac{P}{lg} \sum_{k=1}^{2} X_3^2(\alpha_k) =$$

$$= \frac{7,2}{9,81} + \frac{3,6}{6 \cdot 9,81} 2 \cdot 0,6825^2 = 0,7909 \; T \cdot сек^2/м;$$

$$\mu_4 = \frac{q_0}{g} + \frac{P}{lg} \sum_{k=1}^{2} X_4^2 (\alpha_k) =$$

$$= \frac{7,2}{9,81} + \frac{3,6}{6 \cdot 9,81} 2 \cdot 0,6399^2 = 0,784 \; T \cdot сек^2/м;$$

$$\mu_5 = \frac{q_0}{g} + \frac{P}{lg} \sum_{k=1}^{2} X_5^2 (\alpha_k) =$$

$$= \frac{7,2}{9,81} + \frac{3,6}{6 \cdot 9,81} 2 \cdot 0,6725^2 = 0,7893 \; T \cdot сек^2/м.$$

По формуле (1.37) определяем значения круговых частот:

$$p_r = \frac{\lambda_r^2}{l^2} \sqrt{\frac{D}{\mu_r}};$$

$$p_1 = \frac{9,87}{6^2} \sqrt{\frac{46\,620}{0,774}} = 67,29 \quad рад/сек$$

$$p_2 = \frac{11,52}{6^2} \sqrt{\frac{46\,620}{0,7394}} = 80,35 \quad »$$

$$p_3 = \frac{15,42}{6^2} \sqrt{\frac{46\,620}{0,7909}} = 103,99 \quad »$$

$$p_4 = \frac{19,91}{6^2} \sqrt{\frac{46\,620}{0,784}} = 134,85 \quad »$$

$$p_5 = \frac{39,48}{6^2} \sqrt{\frac{46\,620}{0,7893}} = 266,5 \quad »$$

Согласно табл. 14 Инструкции величину погрешности в определении частот принимаем $\varepsilon = 0,3$. Границы частотных зон будут

$$p_2'' = (1 + \varepsilon) \; p_2 = (1 + 0,3) \; 80,35 = 104,5 \quad рад/сек$$

$$p_3' = (1 - \varepsilon_0) \; p_3 = (1 - 0,3) \; 103,99 = 72,79 \quad »$$

$$p_3'' = (1 + \varepsilon_0) \; p_3 = (1 + 0,3) \; 103,99 = 135,19 \quad »$$

$$p_4' = (1 - \varepsilon_0) \; p_4 = (1 - 0,3) \; 134,85 = 94,395 \quad »$$

Таким образом, возможно совпадение частоты вынужденных колебаний со второй, третьей и четвертой частотами собственных колебаний, поэтому следует рассмотреть три расчетных случая, соответствующих трем возможным резонансам.

г) ОПРЕДЕЛЕНИЕ АМПЛИТУД КОЛЕБАНИЙ

Сначала определяем амплитуды для второго резонанса от динамической силы, приложенной во втором пролете, в сечениях, расположенных друг от друга на расстоянии 0,2 длины пролета, а также в сечениях под силами.

По формулам (2.26) и (2.30) приложения 2:

$$b_2 = \frac{R X_2(\alpha_0)}{\mu_2 l} = -\frac{0{,}3 \cdot 0{,}2111}{0{,}7394 \cdot 6} = -0{,}01418;$$

$$\frac{b_2}{\omega^2 \gamma} = \frac{-0{,}01418}{103{,}1^2 \cdot 0{,}1} = -0{,}1334 \cdot 10^{-4}.$$

Значение коэффициента неупругого сопротивления γ, равное 0,1, принято из табл. 2 Инструкции.

Вычисляем по формуле (2.30) амплитуды для первого пролета:

$$z(0,2) = \frac{b_2}{\omega^2 \gamma} X_2^I(0,2) = -0{,}1334 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}5729 = -0{,}00765 \text{ мм}$$

$$z(0,4) = \frac{b_2}{\omega^2 \gamma} X(0,4) = -0{,}1334 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}902 = -0{,}01204 \text{ »}$$

$$z(0,6) = \frac{b_2}{\omega^2 \gamma} X(0,6) = -0{,}1334 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}8566 = -0{,}01142 \text{ »}$$

$$z(0,8) = \frac{b_2}{\omega^2 \gamma} X(0,8) = -0{,}1334 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}4835 = -0{,}00646 \text{ »}$$

По той же формуле вычисляем амплитуды для второго пролета:

$$z(0,2) = \frac{b_2}{\omega^2 \gamma} X(0,2) = +0{,}1334 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}3268 = 0{,}00437 \text{ мм}$$

$$z(0,4) = \frac{b_2}{\omega^2 \gamma} X(0,4) = 0{,}1334 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}4192 = 0{,}00559 \text{ »}$$

$$z(0,6) = \frac{b_2}{\omega^2 \gamma} X(0,6) = +0{,}1334 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}3093 = 0{,}00412 \text{ »}$$

$$z(0,7) = \frac{b_2}{\omega^2 \gamma} X(0,7) = 0{,}1334 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}2111 = 0{,}00281 \text{ »}$$

$$z(0,8) = \frac{b_2}{\omega^2 \gamma} X(0,8) = 0{,}1334 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}1107 = 0{,}00147 \text{ »}$$

Для третьего пролета:

$$z(0,2) = \frac{b_2}{\omega^2 \gamma} X(0,2) = 0{,}1334 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}1107 = 0{,}00147 \text{ мм}$$

$$z(0,3) = \frac{b_2}{\omega^2 \gamma} X(0,3) = 0{,}1334 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}2111 = 0{,}00281 \text{ »}$$

$$z\,(0{,}4) = \frac{b^2}{\omega^2\gamma}\,X\,(0{,}4) = 0{,}1334\cdot 10^{-4}\cdot 0{,}3093 = 0{,}00412 \text{ мм}$$

$$z\,(0{,}6) = \frac{b_2}{\omega^2\gamma}\,X\,(0{,}6) = 0{,}1334\cdot 10^{-4}\cdot 0{,}4192 = 0{,}00559 \text{ »}$$

$$z\,(0{,}8) = \frac{b_2}{\omega^2\gamma}\,X\,(0{,}8) = 0{,}1334\cdot 10^{-4}\cdot 0{,}3268 = 0{,}00437 \text{ »}$$

По той же формуле — для четвертого пролета:

$$z\,(0{,}2) = \frac{b_2}{\omega^2\gamma}\,X\,(0{,}2) = -0{,}1334\cdot 10^{-4}\cdot 0{,}4835 = -0{,}00646 \text{ мм}$$

$$z\,(0{,}4) = \frac{b_2}{\omega^2\gamma}\,X\,(0{,}4) = -0{,}1334\cdot 10^{-4}\cdot 0{,}8566 = -0{,}01142 \text{ »}$$

$$z\,(0{,}6) = \frac{b_2}{\omega^2\gamma}\,X\,(0{,}6) = -0{,}1334\cdot 10^{-4}\cdot 0{,}902 = -0{,}01204 \text{ »}$$

$$z\,(0{,}8) = \frac{b_2}{\omega^2\gamma}\,X\,(0{,}8) = -0{,}1334\cdot 10^{-4}\cdot 0{,}5729 = -0{,}00765 \text{ »}$$

Теперь рассматриваем действие инерционной силы, приложенной в третьем пролете.

Для сил, расположенных симметрично, амплитуды колебаний совпадают, так как для таких сил множители $\frac{b_2}{\omega^2\gamma}$ равны.

Поэтому для получения амплитуд вынужденных вертикальных колебаний балки от совместного действия двух сил следует удвоить полученные значения амплитуд.

Эпюра амплитуд колебаний балки по второму резонансу показана на рис. 39.

Аналогичным образом подсчитываются амплитуды колебаний балки по третьему и четвертому резонансам, эпюры которых показаны на рис. 40 и 41.

В соответствии с табл. 10 настоящей Инструкции и с учетом продолжительности пребывания людей на их рабочих местах, не превышающей 15% рабочего времени, для частоты 16,4 *гц* допускаемая амплитуда колебаний равна $a_0 = 0{,}084$ *мм*.

Рассмотрение эпюр показывает, что амплитуды колебаний балки не превышают величину предельно допустимой.

д) ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ (МОМЕНТОВ И ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ)

Наибольшая амплитуда от расчетных динамических нагрузок (см. рис. 41) равна:

$$a_р = k_д\,a_н = 4\cdot 0{,}07276 = 0{,}29104 \text{ мм}.$$

При этом коэффициент перегрузки $k_д$ для молотковой дробилки принят по «Инструкции по определению динамических нагрузок от

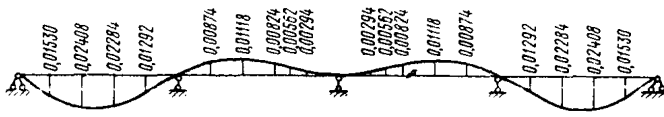


Рис. 39. Эпюра амплитуд колебаний при $\omega = p_2$

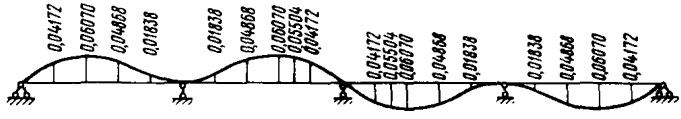


Рис. 40. Эпюра амплитуд колебаний при $\omega = p_3$

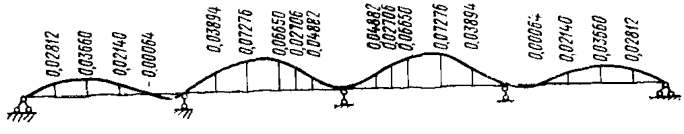


Рис. 41. Эпюра амплитуд колебаний при $\omega = p_4$

машин, устанавливаемых на перекрытиях промышленных зданий», равным 4.

Величина

$$\frac{a_p}{l} = \frac{0{,}29104}{6000} = \frac{1}{20\,616} > \frac{1}{50\,000},$$

где l — длина пролета.

Поэтому, согласно п. 2.7 Инструкции, требуется проверка несущей способности ригеля.

Сначала находим усилия при втором резонансе от силы, приложенной во втором пролете. В соответствии с п. 5.1 усилия определяем от расчетных динамических нагрузок с коэффициентом перегрузки $k_д = 4$.

По формулам (2.26) и (2.30) приложения 2 получаем

$$b_2 = \frac{k_д R X_2(a_0)}{\mu_2 l} = -\frac{4 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}2111}{0{,}7394 \cdot 6} = -0{,}05672;$$

$$E_б J \frac{b_2}{\omega^2 \gamma l^2} = -46\,620 \frac{0{,}05672}{103{,}1^2 \cdot 0{,}1 \cdot 6^2} = -0{,}0691;$$

$$E_б J \frac{b_2}{\omega^2 \gamma l^3} = -46\,620 \frac{0{,}05672}{103{,}1^2 \cdot 0{,}1 \cdot 6^3} = -0{,}01152.$$

Теперь вычисляем по формулам (2.30) значения моментов и поперечных сил в сечениях, для которых выше были определены амплитуды колебаний. При этом вычисления проводим для двух левых пролетов, так как симметрия эпюры M и обратная симметрия эпюры Q позволяют построить эти эпюры на всей длине балки.

Для первого пролета

$$M(0,2) = E_б J \frac{b_2}{\omega^2 \gamma l^2} X_2''(0,2) = 0{,}0691 \cdot 6{,}343 = 0{,}4383 \ Т \cdot м$$

$$M(0,4) = E_б J \frac{b_2}{\omega^2 \gamma l^2} X_2''(0,4) = 0{,}0691 \cdot 9{,}759 = 0{,}6743 \ »$$

$$M(0,6) = E_б J \frac{b_2}{\omega^2 \gamma l^2} X_2''(0,6) = 0{,}0691 \cdot 8{,}562 = 0{,}5916 \ »$$

$$M(0,8) = E_б J \frac{b_2}{\omega^2 \gamma l^2} X_2''(0,8) = 0{,}0691 \cdot 2{,}973 = 0{,}2054 \ »$$

$$M(1) = E_б J \frac{b_2}{\omega^2 \gamma l^2} X_2''(1,0) = -0{,}0691 \cdot 5{,}128 = -0{,}3543 \ »$$

$$Q(0) = E_б J \frac{b_2}{\omega^2 \gamma l^3} X_2'''(0) = 0{,}01152 \cdot 34{,}38 = 0{,}4061 \ Т$$

$$Q(0,2) = E_б J \frac{b_2}{\omega^2 \gamma l^3} X_2'''(0.2) = 0{,}01152 \cdot 26{,}5 = 0{,}3058 \ Т$$

$$Q\,(0,4) = E_б\,J\,\frac{b_2}{\omega^2\,\gamma\,l^3}\,X_2'''\,(0,4) = 0{,}01152 \cdot 6{,}2 = 0{,}0714\ \ T$$

$$Q\,(0,6) = E_б\,J\,\frac{b_2}{\omega^2\,\gamma\,l^3}\,X_2'''\,(0,6) = -\,0{,}01152 \cdot 17{,}96 = -\,0{,}2069\ \ T$$

$$Q\,(0,8) = E_б\,J\,\frac{b_2}{\omega^2\,\gamma\,l^3}\,X_2'''\,(0,8) = -\,0{,}01152 \cdot 36{,}26 = -\,0{,}4177\ \ »$$

$$Q\,(1) = E_б\,J\,\frac{b_2}{\omega^2\,\gamma\,l^3}\,X_2'''\,(1) = -\,0{,}1152 \cdot 42{,}59 = -\,0{,}4906\ \ »$$

Для второго пролета

$$M\,(0,2) = E_б\,J\,\frac{b_2}{\omega^2\,\gamma\,l^2}\,X_2''\,(0,2) = -\,0{,}0691 \cdot 6{,}002 = -\,0{,}4147\ \ T \cdot м$$

$$M\,(0,4) = E_б\,J\,\frac{b_2}{\omega^2\,\gamma\,l^2}\,X_2''\,(0,4) = -\,0{,}0691 \cdot 5{,}241 = -\,0{,}3622\ \ »$$

$$M\,(0,6) = E_б\,J\,\frac{b_2}{\omega^2\,\gamma\,l^2}\,X_2''\,(0,6) = -\,0{,}0691 \cdot 2{,}349 = -\,0{,}1623\ \ »$$

$$M\,(0,7) = E_б\,J\,\frac{b_2}{\omega^2\,\gamma\,l^2}\,X_2''\,(0,7) = -\,0{,}0691 \cdot 0{,}2428 = -\,0{,}0168\ \ »$$

$$M\,(0,8) = E_б\,J\,\frac{b_2}{\omega^2\,\gamma\,l^2}\,X_2''\,(0,8) = 0{,}0691 \cdot 2{,}142 = 0{,}148\ \ »$$

$$M\,(1) = E_б\,J\,\frac{b_2}{\omega^2\,\gamma\,l^2}\,X_2''\,(1) = 0{,}0691 \cdot 7{,}26 = 0{,}5017\ \ »$$

$$Q\,(0) = E_б\,J\,\frac{b_2}{\omega^2\,\gamma\,l^3}\,X_2'''\,(0) = -\,0{,}01152 \cdot 6{,}026 = -\,0{,}0694\ \ T$$

$$Q\,(0,2) = E_б\,J\,\frac{b_2}{\omega^2\,\gamma\,l^3}\,X_2'''\,(0,2) = -\,0{,}01152 \cdot 1{,}193 = -\,0{,}0137\ \ »$$

$$Q\,(0,4) = E_б\,J\,\frac{b_2}{\omega^2\,\gamma\,l^3}\,X_2'''\,(0,4) = 0{,}001152 \cdot 9{,}212 = 0{,}1061\ \ »$$

$$Q\,(0,6) = E_б\,J\,\frac{b_2}{\omega^2\,\gamma\,l^3}\,X_2'''\,(0,6) = 0{,}01152 \cdot 19{,}22 = 0{,}2214\ \ »$$

$$Q\,(0,7) = E_б\,J\,\frac{b_2}{\omega^2\,\gamma\,l^3}\,X_2'''\,(0,7) = 0{,}01152 \cdot 22{,}68 = 0{,}2613\ \ »$$

$$Q\,(0,8) = E_б\,J\,\frac{b_2}{\omega^2\,\gamma\,l^3}\,X_2'''\,(0,8) = 0{,}01152 \cdot 24{,}81 = 0{,}2858\ \ »$$

$$Q\,(1) = E_б\,J\,\frac{b_2}{\omega^2\,\gamma\,l^3}\,X_2'''\,(1) = 0{,}01152 \cdot 25{,}86 = 0{,}2979\ \ »$$

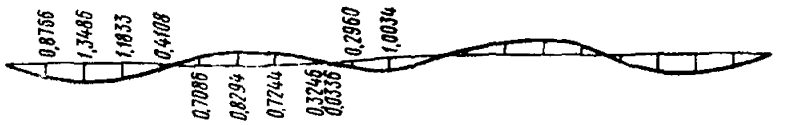


Рис. 42. Эпюра изгибающих моментов $M_д^р$ от расчетных динамических нагрузок при $\omega = p_2$

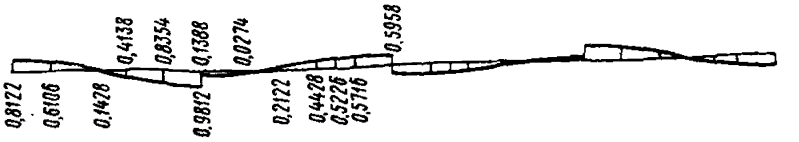


Рис. 43. Эпюра поперечных сил $Q_д^р$ от расчетных динамических нагрузок при $\omega = p_2$

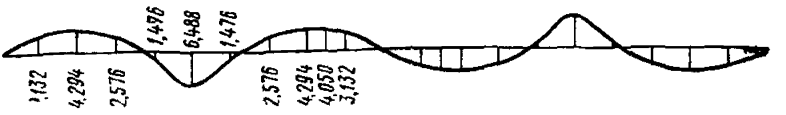


Рис. 44. Эпюра изгибающих моментов $M_д^р$ от расчетных динамических нагрузок при $\omega = p_3$

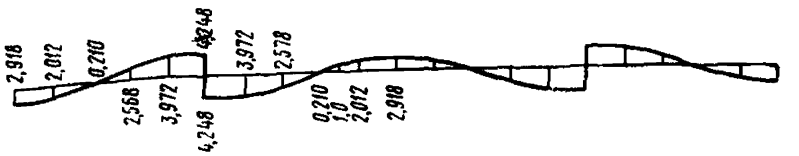


Рис. 45. Эпюра поперечных сил $Q_д^р$ от расчетных динамических нагрузок при $\omega = p_3$

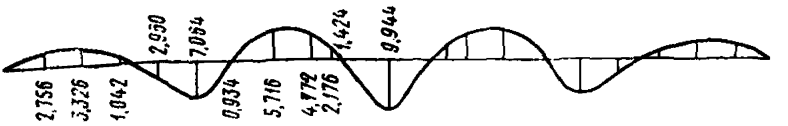


Рис. 46. Эпюра изгибающих моментов $M_д^р$ от расчетных динамических нагрузок при $\omega = p_4$

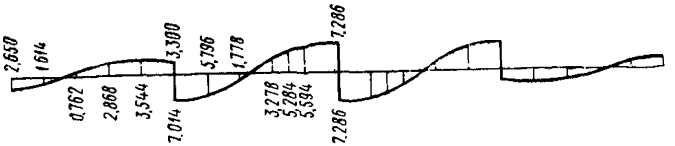


Рис. 47. Эпюра поперечных сил $Q_д^р$ от расчетных динамических нагрузок при $\omega = p_4$

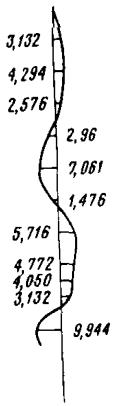


Рис. 48. Огибающая эпюра изгибающих моментов от расчетных динамических нагрузок $M_д^р$

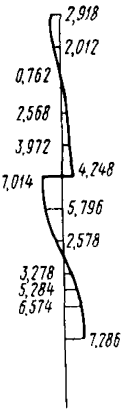


Рис. 49. Огибающая эпюра поперечных сил от расчетных динамических нагрузок $Q_д^р$

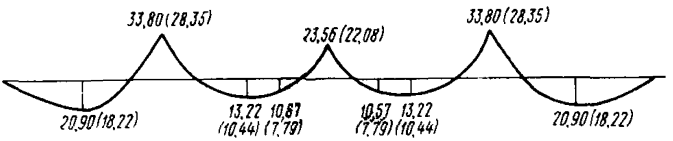


Рис. 50. Эпюра моментов от статических расчетных $M_c^р$ (нормативных $M_c^н$) нагрузок

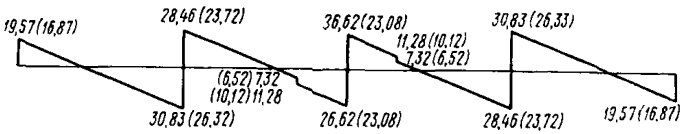


Рис. 51. Эпюра поперечных сил от статических расчетных $Q_c^р$ (нормативных $Q_c^н$) нагрузок

Чтобы определить моменты и поперечные силы от совместного действия двух сил, следует удвоить полученные значения (по соображениям, изложенным в предыдущем параграфе при вычислении амплитуд колебаний).

Эпюры моментов и поперечных сил при втором резонансе показаны на рис. 42 и 43.

Аналогичным образом подсчитываются усилия при третьем и четвертом резонансах, эпюры которых показаны на рис. 44—47.

На рис. 48 и 49 показаны огибающие эпюр моментов (рис. 42, 44 и 46) и эпюр поперечных сил (рис. 43, 45 и 47).

На рис. 50 и 51 показаны эпюры моментов и поперечных сил от статических (расчетных и нормативных) нагрузок.

е) ПРОВЕРКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

Проверка несущей способности, согласно п. 2.2 Инструкции, включает в себя проверку на прочность и выносливость. Проиллюстрируем последовательность операций при проведении этих проверок на примере какого-нибудь произвольного сечения ригеля, например сечения под силой во втором пролете.

Проверка на прочность. Расчет производим в соответствии с п. 2.3 по формуле (12) настоящей Инструкции:

$$M_{\text{с}}^{\text{р}} + M_{\text{д}}^{\text{р}} \leqslant M^{\text{р}}.$$

Из эпюр, приведенных на рис. 48 и 50, для принятого сечения имеем

$$M_{\text{с}}^{\text{р}} = 10{,}57 \quad T \cdot м$$

$$M_{\text{с}}^{\text{н}} = 7{,}79 \quad »$$

$$M_{\text{д}}^{\text{р}} = 4{,}05 \quad »$$

$$M_{\text{с}}^{\text{р}} + M_{\text{д}}^{\text{р}} = 10{,}57 + 4{,}05 = 14{,}62 \quad T \cdot м$$

Дальнейший расчет выполняем согласно СНиП II-В.1-62.

Определяем высоту сжатой зоны бетона из уравнения равновесия:

$$R_{\text{а}} F_{\text{а}} - R_{\text{а.с}} F_{\text{а}}' = R_{\text{и}} bx.$$

Поскольку $F_{\text{а}} = F_{\text{а}}'$, $x = 0$. Так как $x < 2a' = 15$ *см*, момент, который может воспринять сечение, равен:

$$M = R_{\text{а}} F_{\text{а}} (h_0 - a') = 3400 \cdot 14{,}73\ (72{,}5 - 7{,}5) = 3\,255\,330 \quad кГ \cdot см =$$
$$= 32{,}55 \quad T \cdot м > 14{,}62 \quad T \cdot м,$$

так что прочность обеспечена.

Проверка на выносливость. Расчет на выносливость выполняем согласно «Инструкции по проектированию железобетонных конструкций». Коэффициент перегрузки $k_{\text{д}}$ при расчете на выносливость принимаем равным 1 (см. п. 1.34 настоящей Инструкции).

1. Расчет на выносливость сечений, нормальных к продольной оси ригеля.

Для этого определяем наибольший и наименьший изгибающие моменты в принятом сечении:

$$M_{\max} = M_{\text{с}}^{\text{н}} + M_{\text{д}}^{\text{р}} = 7{,}79 + 1{,}01 = 8{,}80 \ \ T \cdot м$$

$$M_{\min} = M_{\text{с}}^{\text{н}} - M_{\text{д}}^{\text{р}} = 7{,}79 - 1{,}01 = 6{,}78 \ \ »$$

Высоту сжатой зоны бетона определим из уравнения

$$\frac{bx^2}{2} = n' F_{\text{а}} (h_0 - x) - n' F_{\text{а}}' (x - a'),$$

принимая при этом коэффициент n' по табл. 8.1 «Инструкции по проектированию железобетонных конструкций» равным 20:

$$\frac{30 x^2}{2} = 20 \cdot 14{,}73 \ (72{,}5 - x) - 20 \cdot 14{,}73 \ (x - 7{,}5);$$

$$x = 24{,}60 \ \ см.$$

Центр тяжести приведенного сечения расположен на уровне нейтральной линии. Момент инерции приведенного сечения без учета площади растянутого бетона

$$J_{\text{п}} = J_{\text{б}} + n' J_{\text{а}} + n' J_{\text{а}}' = \frac{bx^3}{3} + n' F_{\text{а}} (h_0 - x)^2 + n' F_{\text{а}}' (x - a')^2 =$$

$$= \frac{30 \cdot 24{,}6^3}{3} + 20 \cdot 14{,}73 \ (72{,}5 - 24{,}6)^2 + 20 \cdot 14{,}73 \ (24{,}6 - 7{,}5)^2 =$$

$$= 910\,976 \ \ см^4.$$

Проверяем выносливость растянутой арматуры. Характеристики цикла напряжений в арматуре и бетоне

$$\rho_{\text{а}} = \rho_{\text{б}} = \frac{M_{\min}}{M_{\max}} = \frac{6{,}78}{8{,}80} = 0{,}77.$$

Так как $\rho_{\text{а}} = 0{,}77 < 0{,}9$ (см. п. 8.11 названной Инструкции), проверка на выносливость арматуры необходима.

По табл. 8.3 той же Инструкции при $\rho_{\text{а}} = 0{,}77$ находим $k_{\rho\text{а}} = 0{,}95$. По табл. 8.4 при ванной сварке находим $k_{\text{с}} = 0{,}8$. Тогда расчетное сопротивление арматуры равно:

$$R_{\text{а}}' = k_{\text{с}} k_{\rho\,\text{а}} R_{\text{а}} = 0{,}8 \cdot 0{,}95 \cdot 3400 = 2584 \ \ кГ/см^2.$$

Определяем наибольшее напряжение в растянутой арматуре, принимая

$$y = h - a - x = 80 - 7{,}5 - 24{,}60 = 47{,}9 \ \ см:$$

$$\sigma_{\text{а. max}} = n' \frac{M_{\max}}{J_{\text{п}}} y_{\text{а}} = 20 \ \frac{880\,000}{910\,976} \ 47{,}90 = 925 \ \ кГ/см^2$$

что меньше $R_{\text{а}}' = 2584 \ кГ/см^2$, и выносливость растянутой арматуры обеспечена.

Так как $\rho_{\text{б}} = 0{,}77 > 0{,}6$ (см. п. 8.9 «Инструкции по проектиро-

ванию железобетонных конструкций»), проверка на выносливость сжатого бетона не требуется.

2. Расчет на выносливость наклонных сечений.

Из эпюр, приведенных на рис. 49 и 51, для принятого сечения имеем

$$Q_{\text{с}}^{\text{н}} = 10{,}12 \quad T$$

$$Q_{\text{д}}^{\text{н}} = \frac{5{,}28}{k_{\text{д}}} = 1{,}32 \quad »$$

Значения наибольшей и наименьшей поперечной силы

$$Q_{\max} = Q_{\text{с}}^{\text{н}} + Q_{\text{д}}^{\text{р}} = 10{,}12 + 1{,}32 = 11{,}44 \quad T$$

$$Q_{\min} = Q_{\text{с}}^{\text{н}} - Q_{\text{д}}^{\text{р}} = 10{,}12 - 1{,}32 = 8{,}80 \quad »$$

Проверяем условие $\sigma_{\text{г.р max}} \leqslant R_{\text{т}}'$.

Для этого определяем по той же формуле, что и в примере 1, главные растягивающие напряжения бетона:

$$\sigma_{\text{г.р}} = \frac{1{,}5\,Q}{bh} = \frac{1{,}5 \cdot 11\,440}{30 \cdot 80} = 7{,}15 \ \text{кГ/см}^2.$$

Характеристика цикла главных растягивающих напряжений бетона

$$\rho_{\text{б}} = \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}} = \frac{8{,}80}{11{,}44} = 0{,}77.$$

По табл. 8.2 той же Инструкции при $\rho_{\text{б}} > 0{,}60$ находим $k_{\rho\text{б}} = 1$.

Расчетное сопротивление бетона растяжению $R_{\text{т}}'$ равно:

$$R_{\text{т}}' = k_{\rho\,\text{б}}\, R_{\text{т}} = 1 \cdot 10 = 10 \ \text{кГ/см}^2 > \sigma_{\text{г.р}} = 7{,}15 \ \text{кГ/см}^2,$$

т. е. наклонные трещины не образуются.

СОДЕРЖАНИЕ Стр.

1. Общие указания 3
Основные положения 3
Объемно-планировочные и конструктивные решения 5
Динамические характеристики материалов и конструкций 10
Динамические нагрузки 12
2. Основные расчетные положения 25
3. Расчетные схемы 33
4. Частоты и формы собственных колебаний несущих конструкций 38
5. Перемещения и внутренние усилия 41
6. Способы уменьшения колебаний несущих конструкций . . 44
Приложение 1. Определение частот и форм собственных колебаний конструкций 48
Приложение 2. Определение наибольших перемещений и внутренних усилий при колебаниях конструкций . . 87
Приложение 3. Таблицы форм собственных колебаний однопролетных и неразрезных балок (балочных функций) и их производных 102
Приложение 4. Примеры расчета 242

ЦНИИСК
ИНСТРУКЦИЯ ПО РАСЧЕТУ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

* * *

Стройиздат
Москва, К-31, Кузнецкий мост, дом 9

* * *

Редактор издательства *Т. А. Дрозд*
Технический редактор *А. А. Михеева*
Корректоры *Л. П. Атавина, Е. Н. Кудрявцева*

Сдано в набор 9/II—1970 г. Подписано к печати 20/V—1970 г.
Формат 84×108 1/32— 4,5 бум. л.
15,12 усл. печ. л. (уч.-изд. 21,4 л.)
Тираж 27.000 экз. Изд. XII-2427 Зак. 145 Цена 1 р. 17 к.

Подольская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
г. Подольск, ул. Кирова, 25

gost.e-ecolog.ru