ЦНИИСК
им. В. А. КУЧЕРЕНКО
ГОССТРОЯ СССР

ЛЕНЗНИИЭП
ГОСГРАЖДАНСТРОЯ
ПРИ ГОССТРОЕ СССР

ПОСОБИЕ ПО РАСЧЕТУ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

Выпуск 4

РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

МОСКВА 1976

gost.e-ecolog.ru

ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ
ИМ. В. А. КУЧЕРЕНКО
ГОССТРОЯ СССР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ЗОНАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ
ТИПОВОГО
И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖИЛЫХ
И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ
ГОСГРАЖДАНСТРОЯ
ПРИ ГОССТРОЕ СССР

ПОСОБИЕ ПО РАСЧЕТУ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

Выпуск 4

РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

МОСКВА СТРОЙИЗДАТ 1976

УДК 624.042.5+697.13:69.057.12—413

Рекомендовано к изданию решением научно-технического совета ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко.

Пособие по расчету крупнопанельных зданий. М., Стройиздат, 1976, 116 с. (Центр. науч.-исслед. ин-т строит. конструкций им. В. А. Кучеренко Госстроя СССР и Ленингр. зон. науч.-исслед. и проектный ин-т типового и эксперим. проектирования жилых и обществ. зданий Госгражданстроя при Госстрое СССР).

Выпуск IV пособия включает методику и примеры статического расчета крупнопанельных бескаркасных зданий на температурные воздействия как однослойных и многослойных квазиизотропных пластинок и как системы горизонтальных составных стержней. Даются рекомендации по выбору расчетных значений температур конструкций зданий.

Пособие рассчитано на инженеров-проектировщиков и научных работников.

Табл. 45, рис. 29.

П $\frac{30213-396}{047(01)-76}$ Инструкт.-нормат., I—II вып. — 24—76

© Стройиздат, 1976

ПРЕДИСЛОВИЕ

Конструкции крупнопанельных зданий представляют собой сочетание бетонных и железобетонных элементов, которые помимо температурных деформаций испытывают также деформации, связанные с изменениями их влажности (периодические сорбционные деформации и усадка).

При колебаниях температуры, влажности и усадке в стенах и перекрытиях крупнопанельных зданий могут возникать большие усилия и деформации, которые часто являются причиной различного рода повреждений (трещины, разрывы панелей и связей, сколы опор и т. п.). Эти повреждения могут быть причиной снижения несущей способности, долговечности и эксплуатационной пригодности конструкций крупнопанельных зданий. В целях предотвращения указанных повреждений конструкции крупнопанельных зданий следует рассчитывать на температурно-влажностные воздействия и усадку.

Расчетный метод позволяет путем рационального выбора конструкций элементов стен, перекрытий и их соединений возводить здания большой длины без разрезки их температурными швами. Последнее дает возможность уменьшить число типоразмеров сборных элементов, улучшить конструктивно-планировочное решение здания и снизить стоимость строительной части здания на 1—2%.

Методика расчета крупнопанельных зданий на температурно-влажностные воздействия до настоящего времени отсутствовала Специальные исследования, проведенные в последние годы в ЦНИИСК им. Кучеренко, ЛенЗНИИЭП и других организациях, позволили разработать методику выбора расчетных значений температур, влажности и усадки, а также определения усилий и деформаций, которые возникают при этом в конструкциях зданий.

В целях упрощения расчетов конструкции зданий рассчитываются на действие так называемой приведенной температуры, учитывающей совместное действие температуры, влажности и усадки бетона.

В настоящем выпуске пособия излагаются два способа расчета крупнопанельных зданий на действие приведенной температуры:

а) как однослойных или многослойных квазиизотропных пластинок;

б) как горизонтальных составных стержней.

Расчет зданий как пластинок (разделы 1, 2, 4 и приложения 1, 2, 3) разработан в отделении прочности крупнопанельных и каменных зданий ЦНИИСК им. Кучеренко канд. техн. наук А. А. Емельяновым.

Расчет зданий как составных стержней (раздел 3 и приложение 4) разработан на основе теории составных стержней проф. А. Р. Ржаницына в отделе конструкций ЛенЗНИИЭП инж. И. Н. Сидько. Изложенные в пособии методы расчета иллюстрируются примерами.

Пособие выпущено под общей редакцией д-ра техн. наук проф. С. В. Полякова, д-ра техн. наук проф. А. Р. Ржаницына, д-ра техн. наук проф. С. А. Семенцова, д-ра техн. наук проф. Н. В. Морозова.

1. РАСЧЕТ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ НА ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И УСАДКУ

Основные положения

1.1. Конструкции крупнопанельных зданий в связи с типизацией и унификацией строительных деталей представляют собой регулярные (примерно равное членение по длине и высоте) статически неопределимые пространственные системы, состоящие из сборных железобетонных элементов типа пластин (панелей, плит), соединенных между собой точечными или непрерывными связями. При изменении температуры, влажности и усадке в конструкциях зданий вследствие заделки стен в основание, а также вследствие взаимодействия наружных и внутренних конструкций, имеющих разные температурно-влажностные деформации, возникают температурные усилия и деформации как в плоскости (осевые), так и из плоскости конструкций.

Продольные температурные усилия и деформации, возникающие в плоскости несущих и ограждающих конструкций, вызываются изменением приведенной средней температуры сечения Δt. Температурные усилия и деформации из плоскости конструкций возникают при изменении перепада приведенной температуры по толщине $\Delta\theta$.

Расчет зданий на температуры Δt и $\Delta\theta$ производится раздельно. При совместном действии этих температур (наружные стены отапливаемых зданий) температурные усилия, а также деформации при расчете в упругой стадии суммируются на основе принципа независимости действия сил.

Примечание. Под приведенной температурой понимается условная температура, учитывающая совместное действие годовых и суточных колебаний температуры наружного и внутреннего воздуха и эквивалентных температур солнечной радиации, годовых колебаний относительной влажности воздуха и усадки.

1.2. Расчетные значения приведенных средних температур Δt и $\Delta\theta$ для различных климатических районов СССР принимаются в соответствии с рекомендациями приложения 1, которые в развитие СНиП по нагрузкам и воздействиям учитывают также влияние периодических влажностных воздействий и усадки.

Расчет производится на наиболее неблагоприятные

сочетания летних (июльских) и зимних (январских) приведенных температур, которые могут быть как в период строительства, так и в период эксплуатации зданий.

В строительный период расчет производится как для неотапливаемых зданий без учета влияния усадки.

В период эксплуатации расчет ведется на совместное действие приведенных температур и усадки при наиболее неблагоприятном их сочетании зимой (понижение температуры плюс усадка).

1.3. Расчет усилий и деформаций конструкций на изменение температур Δt и $\Delta\theta$ выполняется в упругой стадии. Влияние неупругих деформаций (ползучести, пластичности и т. п.) и трещинообразования учитывается в соответствии с указаниями главы СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций.

1.4. Расчет усилий и деформаций стен и перекрытий на действие температуры Δt производится с учетом податливости сборных элементов, их стыковых соединений и основания.

Податливыми основаниями могут рассматриваться как искусственные (свайные или рамные фундаменты, встроенные первые этажи зданий и т. п.), так и естественные основания (грунты), способные деформироваться или смещаться в горизонтальном направлении под действием температурных сил (рис. 1).

Примечание. Податливостью грунтового основания зданий на сплошных ленточных фундаментах можно пренебречь.

1.5. В зависимости от конструктивного решения здания, физико-механических характеристик применяемых материалов и распределения температуры в плоскости стен и пе-

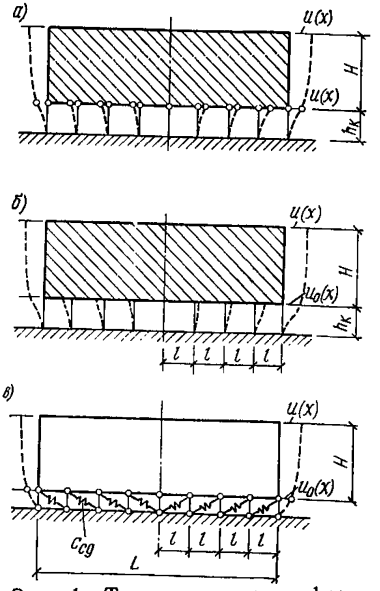


Рис. 1. Температурные деформации зданий $u(x)$ на податливом основании

а — стойки с шарнирным сопряжением со стенами; *б* — то же, при жестком сопряжении; *в* — при упругой заделке стен в основание

рекрытий расчет крупнопанельных зданий на действие температуры Δt может выполняться.

а) как однослойных или многослойных квазиизотропных пластинок (см. раздел 2);

б) как плоских или пространственных горизонтальных составных стержней (см. раздел 3).

Расчет крупнопанельных зданий как квазиизотропных пластинок производится в случаях когда средние температуры Δt и коэффициенты температурного расширения стен или перекрытий α по высоте и длине здания одинаковые. В случаях когда значения Δt и α для стен или перекрытий по высоте здания различные, расчет здания выполняется как системы горизонтальных составных стержней.

1.6. Расчет ограждающих конструкций отапливаемых зданий (наружные стены, покрытия) на изменение перепада температуры $\Delta 0$ по толщине (см. раздел 4) производится с учетом изгибной жесткости и податливости стыков и условий закрепления панелей по контуру.

Для многослойных стен с гибкими связями, обеспечивающими свободное смещение наружных слоев относительно внутренних, этот расчет может не производиться.

Изгибная и продольная жесткости элементов конструкций и их стыков определяются в соответствии с указаниями главы СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций как для армированных бетонных сечений с учетом трещин, пластических свойств и ползучести бетона.

2. РАСЧЕТ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ КАК ОДНОСЛОЙНЫХ И МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАСТИНОК НА ДЕЙСТВИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Выбор расчетной схемы

2.1. Бескаркасные крупнопанельные здания в зависимости от способа опирания перекрытий на стены подразделяются на здания с продольными и поперечными несущими стенами (рис. 2).

В поперечном направлении такие здания представляют собой коробчатые брусья, образованные системой вертикальных (стены) и горизонтальных (перекрытия) диафрагм, которые состоят из сборных элементов, соединенных друг с другом с помощью связей.

Для выбора расчетной схемы зданий при расчете их на действие температуры основное значение имеет величина продольной и сдвиговой жесткостей перекрытий,

которые зависят от разрезности перекрытий, способа опирания их на стены и степени монолитности. При этом возможны два основных типа расчетных схем зданий.

2.2. К первому типу относятся здания с монолитными, сборно-монолитными перекрытиями, а также здания со сборными перекрытиями и платформенным опиранием плит на поперечные стены по схемам *А* (плиты-настилы) и *Б* (плиты «на комнату»), показанным на рис. 2,*б*. Такие перекрытия обладают большой сдвиговой жесткостью и могут воспринимать значительные растягивающие и сжимающие усилия по линии действия температурных сил (вдоль здания).

При наличии связей с продольными стенами такие перекрытия взаимодействуют со стенами как жесткие диафрагмы и при определении жесткостных характеристик здания их сечение следует учитывать полностью.

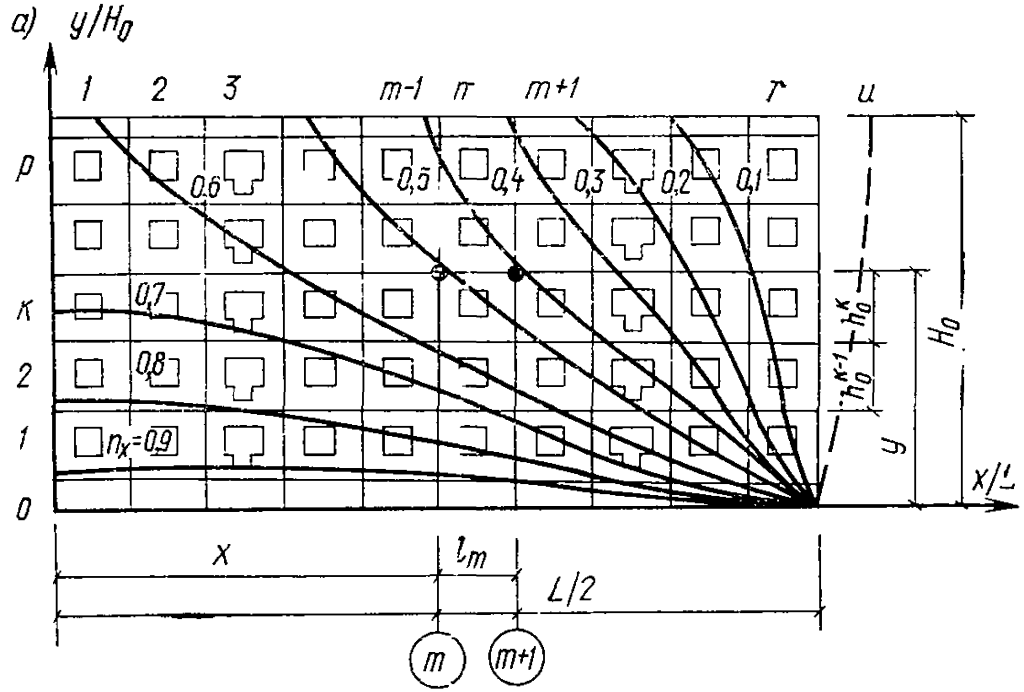
Таким образом, здание I типа можно рассматривать или как коробчатый брус, поперечное сечение которого включает элементы наружных и внутренних продольных стен и перекрытий (рис. 2, *д*), или как многослойную пластинку, слоями которой являются наружные и внутренние продольные стены, а связями (или жесткими распорками), обеспечивающими совместную работу слоев,— перекрытия и поперечные стены.

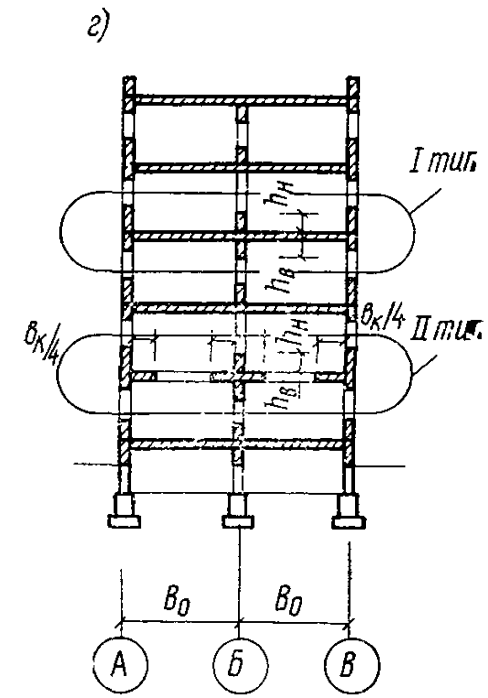
2.3. Ко второму типу относятся здания с продольными несущими стенами и сборными незамоноличенными перекрытиями или с перекрытиями, имеющими частую разрезку поперечными швами (рис. 2,*в*). Такие перекрытия в продольном направлении не работают на растяжение, а их сдвиговая жесткость бывает небольшая или отсутствует.

Небольшая сдвиговая жесткость перекрытий позволяет не учитывать совместную работу наружных и внутренних продольных стен. В этом случае пространственная система здания (коробчатый брус) распадается на несколько плоских систем пластин по числу продольных стен.

Такие системы могут рассматриваться как однослойные пластинки, заделанные в основание.

Зона взаимодействия плит перекрытий с продольными стенами ограничивается областью заделки (рис. 2, *в* штриховка). Глубина зоны зависит от ширины плиты перекрытия $b_к$ на опоре и равна примерно $b_к/2$. Очертание зоны условно принимается треугольным, а расчетная длина плиты перекрытия, вовлекаемая в работу со стенами, принимается равной $b_к/4$.


а) y/H0
1
2
3
m-1
m
m+1
r
u
p
к
2
1
0
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,7
0,8
nx=0,9
x/L
y
H0
x
lm
L/2
m
m+1


г)
I тип
II тип
hн
hв
bк/4
bк/4
B0
B0
А
Б
В

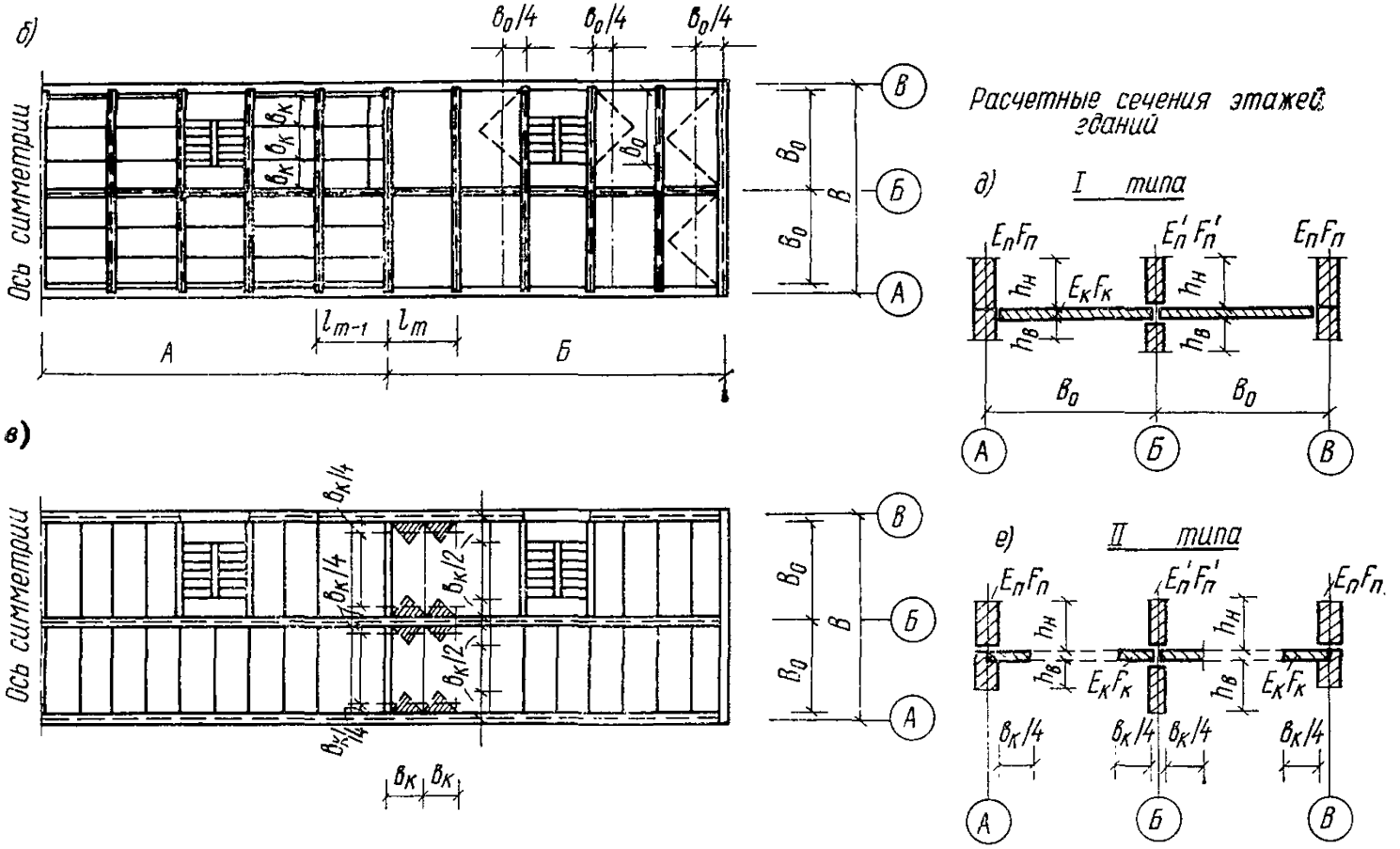


Рис. 2. Расчетные схемы крупнопанельных зданий

а — изолинии температурных напряжений (n_x) наружной стены; *б* — план стен и перекрытий здания I типа с поперечными несущими стенами (*А* — мелкие плиты-настилы, *Б* — плиты «на комнату»); *в* — план стен и перекрытий здания II типа с продольными несущими стенами; *г, д, е* — расчетные сечения этажа зданий I и II типа

С увеличением ширины плиты эта длина возрастает и при $b_к \geqslant 2B_0$ (где B_0 — длина плиты между опорами) она становится равной ширине перекрытия B_0, что характерно для здания I типа.

Таким образом, конструкции крупнопанельных зданий могут рассчитываться как плоские системы (т. е. как здания II типа) при

$$b_к < 2B_0. \qquad (1)$$

2.4. Наружные и внутренние стены крупнопанельных зданий в связи с наличием проемов и частой разрезкой горизонтальными и вертикальными швами обладают конструктивной анизотропией (ортотропией).

Точный расчет таких систем представляет большие трудности. Для упрощения расчетов целесообразно расчетные схемы зданий с помощью соответствующих преобразований привести к сплошным квазиизотропным однослойным и многослойным пластинкам, заделанным по одной стороне и имеющим однородные физико-механические показатели слоев.

Для таких пластинок имеются готовые решения, которые могут быть использованы для определения температурных усилий и перемещений стен и перекрытий зданий (см. табл. 1).

При этом определяются:

а) приведенные значения жесткостных характеристик однослойного сечения (продольная, изгибная и сдвиговая жесткости в пределах рассматриваемого этажа);

б) приведенные геометрические характеристики однослойного и многослойного сечения (приведенные высоты этажей h_0 и здания H_0);

в) приведенные значения средних температур $t_{ср}$ и коэффициентов линейного расширения $\alpha_{ср}$ для многослойных сечений с учетом жесткостных характеристик отдельных слоев.

Жесткостные характеристики

2.5. Жесткостные характеристики конструкций крупнопанельных зданий при растяжении, сжатии, изгибе и сдвиге вычисляются с учетом неупругих деформаций, трещинообразования и податливости соединений.

Для элементов стен и перекрытий (панели, плиты) с отверстиями (оконными, дверными и т. п.) продольная, изгибная и сдвиговая жесткость определяется с учетом трещин. Для сплошных элементов (без отверстий) про-

дольная жесткость определяется с учетом трещин, а изгибная и сдвиговая жесткости определяются без учета трещин, как для целого сечения.

Длительное действие нагрузки учитывается путем умножения начальных модулей упругости бетона $E_б$ и $G_б$ на коэффициенты: для тяжелого и легкого бетонов $\nu = 0{,}5$, для ячеистого бетона $\nu = 0{,}4$.

2.6. Стены и перекрытия крупнопанельных зданий состоят из сборных элементов (плит, панелей) и их соединений (стыки, опоры, связи), которые обладают различными жесткостями при растяжении, сжатии, изгибе и сдвиге.

В связи с этим для сборных элементов стен, перегородок и перекрытий вводится понятие «приведенной» жесткости или податливости, которая в обобщенном виде учитывает деформативные свойства как отдельных элементов, так и их соединений (связей).

При этом считается, что продольные усилия от одного элемента к другому передаются только посредством связей.

Продольная жесткость (податливость) составных стержней

Конструкции крупнопанельных зданий (стены, перекрытия) представляют собой составные стержни с параллельным или последовательным соединением элементов (панелей, плит и т. п., рис. 3). Продольную жесткость таких стержней удобно привести к условной эквивалентной жесткости $[EF]$ сплошного однородного стержня.

2.7. Приведенная продольная жесткость составного стержня длиной l при параллельном соединении элементов (рис. 3,*а*) равна:

$$[EF] = \sum_{1}^{n} E_i F_i, \tag{2}$$

где $E_i F_i$ — продольная жесткость i-го элемента;

n — число элементов в стержне.

Соответствующая приведенная податливость составного стержня равна:

$$\lambda = \frac{1}{\sum_{1}^{n} E_i F_i} = \frac{1}{\sum_{1}^{n} 1/\lambda_i}. \tag{3}$$

Приведенный коэффициент податливости (абсолютная деформация на длине l от единичной силы) определяется

$$c = \lambda l = \frac{l}{\sum_1^n E_i F_i} = \frac{l}{\sum_1^n 1/\lambda_i}; \qquad (4)$$

$$\lambda_i = \frac{1}{E_i F_i},$$

где λ_i — податливость i-го однослойного элемента.

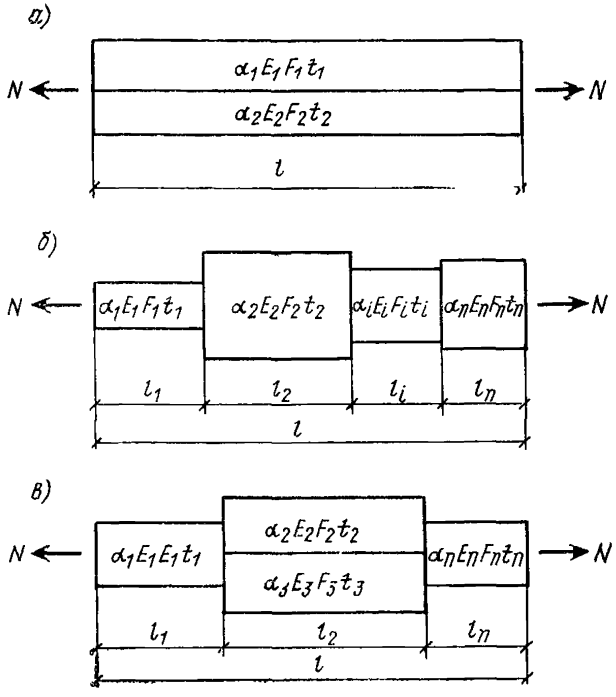


Рис. 3. Схемы составных стержней

а — с параллельным соединением элементов; *б* — с последовательным соединением; *в* — со смешанным соединением

2.8. Приведенная продольная жесткость составного стержня длиной l с последовательным соединением однослойных элементов (рис. 3,*б*) равна:

$$[EF] = \frac{l}{\sum_1^n c_i}; \qquad (5)$$

$$c_i = \frac{l_i}{E_i F_i} = \lambda_i l_i, \qquad (6)$$

где c_i — коэффициент податливости i-го однослойного элемента.

Приведенный коэффициент податливости составного стержня длиной l равен:

$$c = \sum_1^n c_i, \tag{7}$$

а соответствующая приведенная податливость равна:

$$\lambda = c/l = \frac{1}{l} \sum_1^n c_i. \tag{8}$$

2.9. Приведенная продольная жесткость составного стержня длиной l со смешанным соединением элементов (последовательное соединение однослойных и многослойных элементов с параллельным соединением слоев, рис. 3, *в*) определяется по формуле (5).

где

$$\sum_1^n c_i = \Sigma c_i' + \Sigma c_i''; \tag{9}$$

c_i' — коэффициент податливости i-го однослойного элемента определяется по формуле (6);

c_i'' — приведенный коэффициент податливости многослойного элемента с параллельным соединением слоев, определяется по формуле (4).

Продольная жесткость элементов стен и перекрытий

2.10. Стены и перекрытия состоят из панелей или плит и их соединений (стыков), которые можно рассматривать как составные стержни с последовательным соединением элементов (панелей и стыков), обладающих разными продольными податливостями (жесткостями). Наиболее часто встречающиеся типы соединений стен и перекрытий показаны на рис. 4 (индексы: стены — «п», перекрытия — «к», стыки — «с»).

2.11. Коэффициент приведенной податливости элементов стен и перекрытий на длине l_m (расстояние между осями стыков, стен и т. п.) в соответствии с формулой (7) равен:

$$c_{\text{п (к)}} = c'_{\text{п (к)}} + c_{\text{с}}, \tag{10}$$

где $c'_{\text{п(к)}}$ — коэффициент податливости панели (плиты перекрытия);

$c_{\text{с}}$ — коэффициент податливости стыка (связей).

2.12. Коэффициент податливости $c_{п(к)}$ панели (плиты) определяется по формулам:
при наличии трещин в бетоне

$$c_{п\,(к)} = \frac{\psi_а l_{п\,(к)}}{E_а F_а}; \qquad (11)$$

при отсутствии трещин

$$c'_{п\,(к)} = \frac{l_{п\,(к)}}{\nu E_б \left(F_б + \frac{n}{\nu} F_а\right)}, \qquad (12)$$

где $\psi_а = 0{,}7$ — коэффициент, учитывающий работу бетона между трещинами; $E_а$, $E_б$ — модули упругости арматуры и бетона;

$$n = E_а / E_б; \qquad (13)$$

$\nu = 0{,}5$ — коэффициент упругости; $F_а$, $F_б$ — расчетная площадь сечения арматуры и бетона.

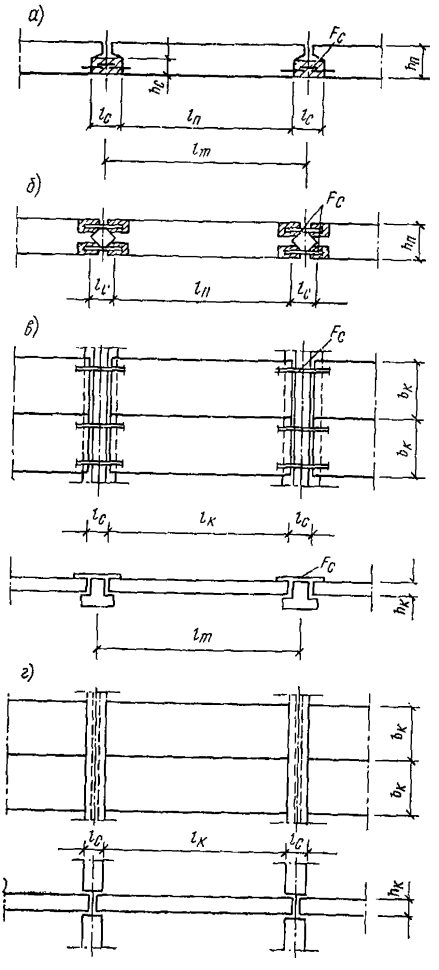


Рис. 4. Типы соединений панельных стен и сборных перекрытий

а — наружные стены; *б* — внутренние стены; *в* — перекрытия при опирании на ригели (балки); *г* — то же, при платформенном опирании

2.13. В формулах (11) и (12) расчетные площади сечения арматуры $F_а$ и бетона $F_б$ учитываются только в пределах зоны влияния связей и проемов.

Примеры построения зон влияния связей и проемов для сплошных панелей, а также для панелей и плит перекрытий с проемами показаны на рис. 5 (пунктир).

При равномерном армировании сплошных панелей и плит треугольную зону влияния связей рекомендуется заменять равнове-

ликой по площади прямоугольной зоной (штрихпунктир) высотой $h_в$ и $h_н$ (рис. 5, *а*, *б*, *в*, заштриховано).

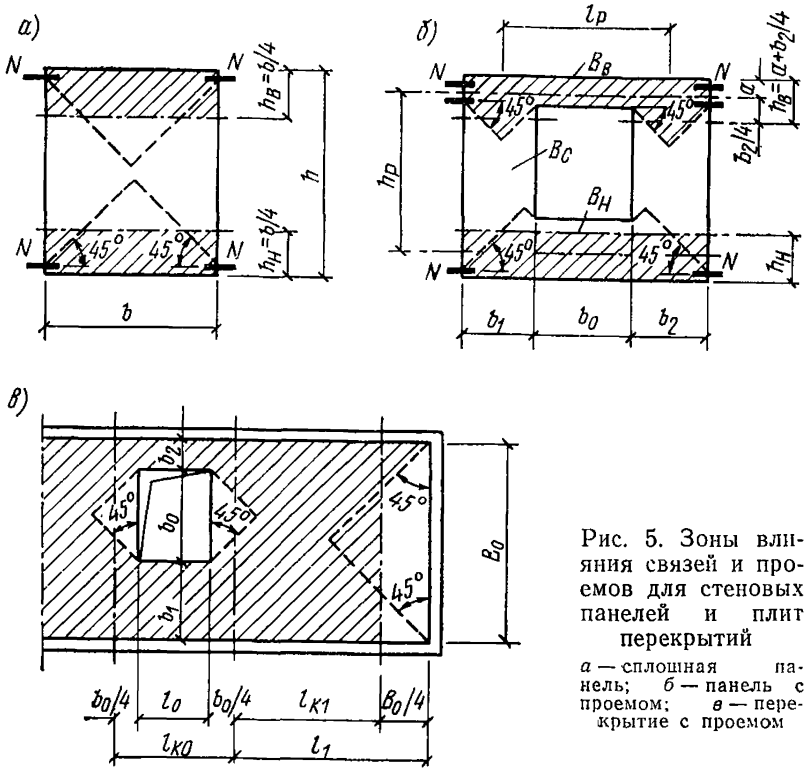


Рис. 5. Зоны влияния связей и проемов для стеновых панелей и плит перекрытий

а — сплошная панель; *б* — панель с проемом; *в* — перекрытие с проемом

Для сплошных прямоугольных панелей шириной b и высотой h высота зоны влияния связей принимается равной (рис. 5,*а*):

$$\text{при } b < 2h \quad h_в = h_н = b/4; \tag{14}$$
$$\text{при } b \geqslant 2h \quad h_в = h_н = b/2.$$

Для монолитных и сборных замоноличенных перекрытий с проемами (отверстиями, рис. 2, *б*; 5, *в*) при вычислении коэффициента c_i по формуле (4) расчетная длина перекрытия в зоне отверстия принимается равной

$$l_{к,0} = l_0 + b_0/2, \tag{15}$$

где l_0, b_0 — длина и ширина проема;
расчетная длина перекрытия у торца (рис. 5, *в*) равна

$$l_{к,1} = l_1 - B_0/4, \tag{16}$$

где B_0 — ширина перекрытия.

2.14. Коэффициенты податливости соединения (стыка) определяются по следующим формулам:
при наличии в стыке связей одного вида (например, петлевых связей)

$$c_c = \frac{\lambda_c}{m_c}; \tag{17}$$

при наличии в стыке связей нескольких k видов (сварных стержневых, петлевых и т. п.)

$$c_c = \frac{1}{\sum_1^k \frac{m_{cj}}{\lambda_{cj}}}, \tag{18}$$

где m_{cj} — число связей данного j-го вида;
λ_{cj} — коэффициент податливости одной связи, который определяется:
для накладных связей с петлевыми выпусками — по СН 321-65 или опытным данным; для стержневых связей и выпусков — по формуле

$$\lambda_c = \frac{l_c + 5}{E_a F_a}, \tag{19}$$

где F_a — площадь сечения одной связи.

При платформенном опирании плит перекрытий на стены (рис. 4,*г*) можно принять $\lambda_c \approx 0$.

Средняя жесткость расчетного сечения стены или перекрытия в пределах этажа

2.15. Коэффициент приведенной податливости расчетного сечения (пояса) стены или перекрытия на длине этажа при известных значениях коэффициента $c_{п(к)}$ для отдельных элементов находится по формуле

$$c^{эт}_{п(к)} = \sum_1^n c_i. \tag{20}$$

Соответствующие средние значения жесткости и податливости расчетного сечения стены или перекрытия в пределах этажа находятся по формулам:

$$A^{эт}_{п(к)} = [EF]^{эт}_{п(к)} = L \Big/ \sum_1^n c_i; \tag{21}$$

$$\lambda^{эт}_{п(к)} = \frac{1}{L} \sum_1^n c_i. \tag{22}$$

Средняя жесткость расчетного сечения этажа

2.16. Средняя жесткость расчетного сечения этажа зданий I и II типа (рис. 2,*д, е*) определяется по формуле

$$A_{эт} = [E\,F]_{эт} = \sum_{1}^{n} A_i^{эт}, \qquad (23)$$

соответствующая средняя податливость этажа равна:

$$\lambda_{эт} = 1/\sum_{1}^{n} A_i^{эт}, \qquad (24)$$

где $A_i^{эт}$ для стен и перекрытий вычисляется по формуле (21). Соответствующие средние жесткости расчетного сечения этажей зданий I и II типа (рис. 2,*д*) равны:

для зданий I типа

$$A_{эт} = A_{п\,(А)}^{эт} + A_{п\,(Б)}^{эт} + A_{п\,(В)}^{эт} + A_{к}^{эт}, \qquad (25)$$

где буквы в скобках соответствуют обозначению осей стен;

для зданий II типа

$$A_{эт\,(А)} = A_{п\,(А)}^{эт} + A_{к\,(А)}^{эт};\ A_{эт\,(Б)} = A_{п\,(Б)}^{эт} + A_{к\,(Б)}^{эт} \qquad (26)$$

и т. п.

Изгибная жесткость

2.17. Изгибная жесткость сплошных железобетонных сечений при отсутствии трещин определяется по формуле

$$B = \nu E_б J_{пр}, \qquad (27)$$

где $\nu = 0{,}85$—при кратковременном действии нагрузки;
$\nu = 0{,}5$ —при длительном действии;
$J_{пр}$ — приведенный момент инерции армированного бетонного сечения.

2.18. Изгибная жесткость железобетонных элементов с трещинами определяется в соответствии с указаниями СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций.

Для приближенных расчетов изгибную жесткость элементов с трещинами рекомендуется определять по приближенной формуле

$$B = 0{,}5 E_б \left[0{,}1 d h_0^3 + 1{,}1 h_0 \left(h_0 - a'\right) n F'_а, \right. \quad (28)$$

где $h_0 = h - a$;

a, a' — толщина защитного слоя бетона;

$F'_а$ — площадь сечения арматуры в сжатой зоне.

Сдвиговая жесткость

2.19. Сдвиговая жесткость сплошных железобетонных элементов типа стержней определяется по формуле

$$D = \nu G_б F_{пр} = 0{,}4 \nu E_б \left(F_б + n F_а\right), \quad (29)$$

где $F_{пр} = F_б + nF_а$ — приведенная площадь бетона.

2.20. Приведенная горизонтальная сдвиговая жесткость сплошных железобетонных элементов типа пластин (панелей, рис. 5,*а*) с учетом жесткого поворота при обмятии растворных швов вычисляется по формуле

$$D_п = \frac{\nu E_б d l}{3 + \left(11 + \dfrac{0{,}03 \nu E_б}{h}\right)\left(\dfrac{h}{l}\right)^2}. \quad (30)$$

2.21. Приведенная горизонтальная сдвиговая жесткость панелей с симметричным проемом (рис. 5,*б*) равна:

$$D_п = \frac{12}{h_р n}, \quad (31)$$

где для панели с оконным проемом

$$n = i_в m^2 + i_н (1 - m)^2 + 2 i_с (1 - 3m + 3m^2); \quad (32)$$

$$m = \frac{3 i_с + i_н}{6 i_с + i_н + i_в}; \quad (33)$$

$$i_в = \frac{l_р}{B_в}; \quad i_н = \frac{l_р}{B_н}; \quad i_с = \frac{h_р}{B_с}; \quad (34)$$

для панели с дверным проемом

$$m = 1; \quad n = i_в + 2 i_с, \quad (35)$$

$h_р$, $l_р$ — расстояние между осями простенков и перемычек;

$B_н$, $B_в$, $B_с$ — изгибные жесткости нижней, верхней перемычек и простенков с учетом наличия трещин.

2.22. Средняя горизонтальная сдвиговая жесткость одной обобщенной панели наружной или внутренней стены рассматриваемого этажа определяется по формуле

$$D_{ср} = \frac{1}{n} \sum_{1}^{n} D_i, \qquad (36)$$

где n — число панелей в стене на длине этажа L;

D_i — горизонтальная сдвиговая жесткость одной панели (с проемом или сплошной).

2.23. Суммарная горизонтальная сдвиговая жесткость обобщенных панелей наружных и внутренних стен расчетного сечения этажа в общем случае равна:

$$D_{эт} = \Sigma D_{ср,i}; \qquad (37)$$

для здания I типа (рис. 2,*б*)

$$D_{эт} = D_{ср\,(А)} + D_{ср\,(Б)} + D_{ср\,(В)}, \qquad (38)$$

где в скобках показаны буквенные обозначения осей стен;

для здания II типа (рис. 2, *в*)

$$D_{эт\,(А)} = D_{ср\,(А)}; \quad D_{эт\,(Б)} = D_{ср\,(В)} \text{ и т. д.} \qquad (39)$$

Приведенные высоты этажей и здания

2.24. При приведении жесткостных характеристик стен и перекрытий крупнопанельных зданий в пределах каждого этажа к соответствующим характеристикам однослойной квазиизотропной пластинки предварительно находятся приведенные (или эквивалентные) высоты этажей h_0 и всего здания H_0.

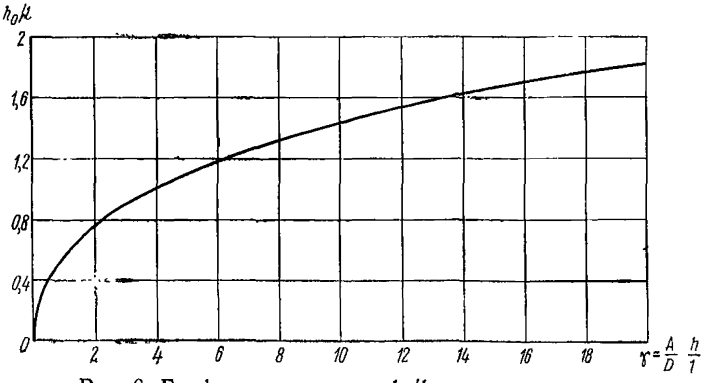


Рис. 6. График зависимости h_0/l от параметра γ

Приведенные высоты этажей определяются из условия равенства деформаций реальных конструкций и эквивалентной однослойной пластинки в рассматриваемом уровне.

2.25. Приведенная высота этажа находится по формуле

$$h_0 = l_{ср}\sqrt{-1{,}5+\sqrt{2{,}25+\gamma}} \qquad (40)$$

или по графику на рис. 6,

$$\text{где}\quad \gamma = \frac{A_{эт}}{D_{эт}}\frac{h}{l_{ср}}; \qquad (41)$$

h — фактическая высота этажа;

$l_{ср}$ — средняя длина одного элемента (панели) определяется по формуле

$$l_{ср} = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} l_i, \qquad (42)$$

где l_i — длина одной панели;

n — число панелей в ряду (на длине этажа);

$A_{эт}$ — средняя жесткость расчетного сечения этажа по формулам (23), (25) или (26);

$D_{эт}$ — средняя сдвиговая жесткость поперечного сечения этажа по формуле (37).

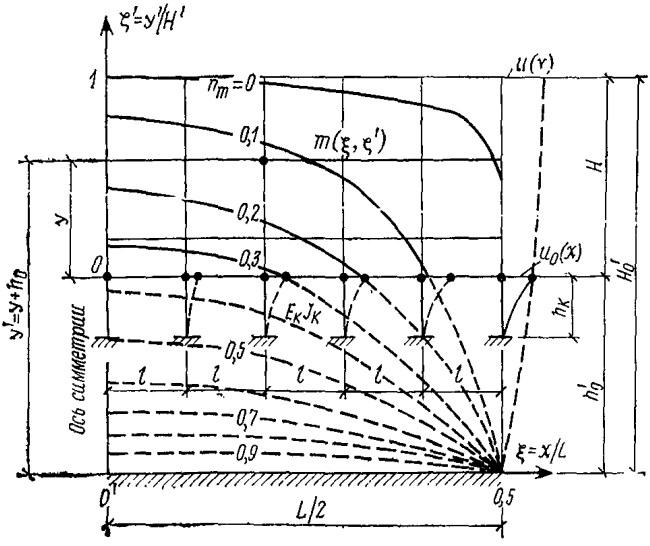


Рис. 7. Определение приведенной высоты H_0' и коэффициентов n_m для здания на податливом основании (стойках)

2.26. Приведенная (эквивалентная) высота податливого при сдвиге основания (рис. 7) находится из решения уравнения

$$\left(h_0'\right)^3 + 3\,l_{ср}^2\,h_0' - q = 0, \tag{43}$$

где q вычисляется по формулам:
при шарнирном сопряжении стен со стойками

$$q = \frac{\nu\,E\,d_0\,l^3\,h_к^3}{3\,E_к\,J_к}; \tag{44}$$

то же, при жесткой заделке стоек

$$q = \frac{\nu\,E\,d_0\,l^3\,h_к^3}{12\,E_к\,J_к}; \tag{45}$$

при податливой заделке стен в основание

$$q = \frac{\nu\,E\,d_0\,l^3\,c_{сд}}{n_{сд}}, \tag{46}$$

где E, $E_к$ — модули деформаций стены (пластинки) и стойки основания;
$h_к$ — высота стойки основания;
$J_к$ — приведенный момент инерции стойки;

$$d_0 = \frac{1}{\nu\,E\,p}\sum_{1}^{p}\frac{A_{эт,i}}{h_{0,i}}; \tag{47}$$

d_0 — средняя приведенная толщина стены (пластинки);
$c_{сд}$ — коэффициент упругой податливости связи-сдвига;
p — число этажей;
$n_{сд}$ — число связей сдвига на расчетной длине $l_{ср}$.

2.27. Приведенная высота здания при жесткой заделке стен в основание определяется по формуле (рис. 2,*г*)

$$H_0 = h_{0,ц} + \sum_{1}^{p-1} h_{0,i} + h_{0,фр}, \tag{48}$$

где $h_{0,ц}$, $h_{0,фр}$ — приведенные высоты цоколя и фриза здания;
$h_{0,i}$ — то же, i-го этажа;
при податливом основании (см. рис. 7)

$$H_0' = h_0' + \sum_{1}^{p-1} h_{0,i} + h_{0,фр}, \tag{49}$$

где h'_0 — эквивалентная высота податливого основания определяется в соответствии с указаниями п. 2.26.

Для приближенных расчетов крупнопанельных жилых домов с регулярной конструктивной схемой (примерно равное членение по длине и высоте) или зданий сходной конструкции приведенные (эквивалентные) высоты этажей и здания могут приниматься равными их фактическим высотам.

Температурные усилия и перемещения стен и перекрытий при действии температуры Δt

а) Расчетные значения коэффициентов температурных усилий n_m и перемещений k_m

2.28. При определении температурных усилий и перемещений в конструкциях крупнопанельных зданий как

Таблица 1

Отношение сторон $\frac{L}{H}$	$\xi = \frac{x}{L}$	Коэффициенты n_x для точек с относительными координатами $\zeta = y/H$						
		0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1	0	0,903	0,685	0,468	0,182	0,047	—0,030	—0,124
	0,1	0,902	0,673	0,451	0,172	0,044	—0,029	—0,119
	0,2	0,898	0,632	0,399	0,144	0,036	—0,025	—0,101
	0,3	0,886	0,540	0,301	0,101	0,025	—0,018	—0,074
	0,4	0,845	0,339	0,159	0,051	0,012	—0,010	—0,039
	0,5	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0,888	0,796	0,675	0,457	0,282	0,148	0,047
	0,1	0,887	0,790	0,664	0,442	0,269	0,139	0,039
	0,2	0,885	0,769	0,625	0,391	0,229	0,113	0,020
	0,3	0,876	0,716	0,535	0,297	0,164	0,077	0,001
	0,4	0,840	0,558	0,336	0,156	0,083	0,038	—0,006
	0,5	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0,904	0,853	0,777	0,632	0,511	0,422	0,372
	0,1	0,902	0,849	0,768	0,617	0,492	0,400	0,344
	0,2	0,896	0,833	0,738	0,567	0,433	0,334	0,267
	0,3	0,882	0,793	0,666	0,461	0,326	0,234	0,159
	0,4	0,843	0,672	0,475	0,265	0,172	0,116	0,062
	0,5	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0,925	0,900	0,852	0,760	0,686	0,634	0,611
	0,1	0,921	0,894	0,843	0,744	0,663	0,606	0,578
	0,2	0,910	0,876	0,814	0,692	0,593	0,519	0,475
	0,3	0,891	0,839	0,749	0,585	0,463	0,375	0,308
	0,4	0,846	0,736	0,576	0,364	0,255	0,189	0,125
	0,5	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение табл. 1

Отношение сторон $\frac{L}{H}$	$\xi = \frac{x}{L}$	Коэффициенты n_x для точек с относительными координатами $\zeta = y/H$						
		0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
6	0	0,953	0,955	0,941	0,906	0,879	0,861	0,854
	0,1	0,948	0,948	0,931	0,890	0,857	0,836	0,827
	0,2	0,933	0,927	0,900	0,839	0,788	0,752	0,735
	0,3	0,905	0,887	0,839	0,736	0,649	0,584	0,542
	0,4	0,850	0,798	0,696	0,513	0,393	0,312	0,241
	0,5	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0,968	0,982	0,987	0,986	0,983	0,980	0,979
	0,1	0,965	0,979	0,983	0,980	0,974	0,970	0,969
	0,2	0,954	0,966	0,965	0,952	0,938	0,929	0,926
	0,3	0,927	0,930	0,917	0,877	0,840	0,813	0,802
	0,4	0,858	0,845	0,801	0,688	0,588	0,513	0,460
	0,5	0	0	0	0	0	0	0

для однослойных или многослойных пластинок, заделанных по одной стороне, предварительно по табл. 1 и 2 для рассматриваемой точки m с относительными координатами $\xi = x/L$ и $\zeta = y/H$ находятся соответствующие значения коэффициентов температурных усилий n_m и перемещений k_m. Эти коэффициенты представляют собой относительные значения нормальных напряжений

$$n_m = n_x = \frac{\sigma_{xx}}{\alpha E \Delta t} \tag{50}$$

и горизонтальных перемещений

$$k_m = \frac{u}{\alpha \Delta t l}, \tag{51}$$

где $l = L/2$ — половина длины здания (см. рис. 1). Коэффициенты n_m и k_m зависят от отношения длины здания L к высоте H.

В табл. 1 и 2 приведены численные значения n_m и k_m для пластинок с отношением сторон L/H от 1 до 10.

Для коротких и высоких зданий при $L/H \leqslant 1$ (т. е. когда $H \geqslant L$) влияние заделки стен в основание учитывается только для нижних этажей как для пластинок с отношением сторон $L/H = 1$. Для вышележащих этажей, расположенных на высоте $y \geqslant 0{,}6\ L$ от уровня отмостки или пола подвала, влияние заделки стен в основание не учитывается. Соответствующие значения коэффициентов

Таблица 2

Отношение сторон $\frac{L}{H}$	$\xi = \frac{x}{L}$	Коэффициенты k_x для точек с относительными координатами $\zeta = y/H$						
		0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,1	0	0,057	0,106	0,167	0,193	0,207	0,224
	0,2	0	0,120	0,219	0,338	0,388	0,413	0,447
	0,3	0	0,197	0,349	0,516	0,584	0,618	0,664
	0,4	0	0,305	0,503	0,703	0,781	0,821	0,875
	0,5	0	0,452	0,669	0,879	0,961	1,003	1,059
2	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,1	0	0,028	0,056	0,104	0,142	0,171	0,191
	0,2	0	0,060	0,117	0,216	0,291	0,345	0,385
	0,3	0	0,099	0,193	0,344	0,451	0,525	0,583
	0,4	0	0,161	0,300	0,498	0,626	0,714	0,783
	0,5	0	0,277	0,446	0,664	0,798	0,891	0,964
3	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,1	0	0,018	0,036	0,069	0,096	0,116	0,127
	0,2	0	0,039	0,076	0,145	0,201	0,242	0,265
	0,3	0	0,065	0,127	0,237	0,323	0,384	0,422
	0,4	0	0,106	0,204	0,362	0,472	0,548	0,600
	0,5	0	0,200	0,334	0,516	0,636	0,718	0,775
4	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,1	0	0,012	0,024	0,045	0,062	0,074	0,080
	0,2	0	0,026	0,051	0,097	0,134	0,160	0,173
	0,3	0	0,044	0,087	0,164	0,226	0,270	0,294
	0,4	0	0,074	0,145	0,264	0,352	0,412	0,451
	0,5	0	0,152	0,259	0,408	0,507	0,574	0,620
6	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,1	0	0,005	0,010	0,018	0,025	0,029	0,031
	0,2	0	0,012	0,023	0,043	0,058	0,069	0,073
	0,3	0	0,022	0,043	0,081	0,112	0,133	0,144
	0,4	0	0,040	0,080	0,149	0,203	0,241	0,263
	0,5	0	0,098	0,171	0,275	0,344	0,391	0,422
10	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,1	0	0,001	0,001	0,003	0,004	0,005	0,005
	0,2	0	0,002	0,005	0,009	0,012	0,014	0,015
	0,3	0	0,006	0,012	0,023	0,032	0,037	0,040
	0,4	0	0,016	0,032	0,060	0,083	0,100	0,108
	0,5	0	0,053	0,095	0,157	0,200	0,228	0,247

для вышележащих этажей принимаются равными $n_m=0$; $k_m=1$.

2.29. Расчетная высота здания в зависимости от степени заделки стен в основание (фундаменты) принимается равной:

а) при жесткой заделке

$$H = H_0; \quad y_m = \sum_1^m h_{0,j}, \tag{52}$$

где h_0, H_0 — приведенные высоты этажей и здания вычисляются по формулам (40) и (48);
m — число этажей до рассматриваемого уровня (точки m);

б) при податливой заделке (рис. 7)

$$H = H_0' = H_0 + h_0'; \tag{53}$$

$$y' = y_m + h_0'; \tag{54}$$

$$\zeta' = \frac{y'}{H_0'}, \tag{55}$$

где h_0' — эквивалентная высота податливого основания определяется из решения уравнения (43);

H_0' — приведенная высота здания определяется по формуле (49). При податливой заделке расчетные значения относительной координаты ζ' рассматриваются в пределах

$$\zeta_0' \leqslant \zeta \leqslant 1, \tag{56}$$

где $$\zeta_0' = \frac{h_0'}{H_0'} = \frac{h_0'}{H_0 + h_0'}. \tag{57}$$

б) Температурные усилия в стенах и перекрытиях

2.30. Температурные усилия и перемещения в стенах и перекрытиях крупнопанельных зданий I типа при наличии внутренних продольных стен (рис. 2, *д*) с жесткой или податливой заделкой в основание (фундаменты) определяются по следующим формулам (индексы: наружные стены — «п», внутренние стены — «в», перекрытия — «к»):

а) наружные стены

$$N_{m,\text{п}} = \frac{n_m \alpha_\text{п} \Delta t_\text{п}}{\lambda_\text{п}^{\text{эт}}} + \Delta N_m; \tag{58}$$

б) внутренние продольные стены при приведении к физико-механическим показателям перекрытий

$$N_{m,в} = \left(\frac{n_m \alpha_к \Delta t_к^{пр}}{\lambda_к^{пр}} - 2 \Delta N_m \right) \frac{\lambda_к^{эт}}{\lambda_в^{эт} + \lambda_к^{эт}}; \qquad (59)$$

в) перекрытия

$$N_{m,к} = \left(\frac{n_m \alpha_к \Delta t_к^{пр}}{\lambda_к^{пр}} - 2 \Delta N_m \right) \frac{\lambda_в^{эт}}{\lambda_в^{эт} + \lambda_к^{эт}}; \qquad (60)$$

соответствующее погонное усилие в перекрытии

$$q_{m,к} = N_{m,к}/B, \qquad (61)$$

где n_m — коэффициент температурных напряжений в стенах или перекрытиях в точке m с относительными координатами $\xi = x/L$ и $\zeta = y/H$, определяется по табл. 1 в соответствии с указаниями п. 2.28;

$$\Delta N = \frac{1 - n_m}{\lambda_п^{эт} + 2\lambda_к^{пр}} \left(\alpha_п \Delta t_п - \alpha_к \Delta t_к^{пр} \right), \qquad (62)$$

где ΔN — дополнительное усилие в стенах и перекрытиях, вызванное их взаимодействием при различии температурных деформаций;

$\lambda_к^{пр}$ — приведенная податливость продольной стены и перекрытия,

$$\lambda_к^{пр} = \frac{1}{A_в^{эт} + A_к^{эт}} = \frac{1}{1/\lambda_в^{эт} + 1/\lambda_к^{эт}}; \qquad (63)$$

$\Delta t_к^{пр}$ — приведенная к физико-механическим показателям перекрытия средняя температура внутренней продольной стены и перекрытия этажа,

$$\Delta t_к^{пр} = \frac{\frac{\alpha_в}{\alpha_к} \lambda_к^{эт} + \lambda_в^{эт}}{\lambda_в^{эт} + \lambda_к^{эт}} \Delta t_к. \qquad (64)$$

2.31. Продольные силы в наружных стенах и перекрытиях зданий I типа (рис. 2,*д*) при отсутствии внутренней продольной стены определяются по формулам (58), (60) и (62), полагая

$$\Delta t_к^{пр} = \Delta t_к \text{ и } \lambda_к^{пр} = \lambda_к^{эт}. \qquad (65)$$

2.32. Продольные силы в наружных («п») и внутренних («в») стенах зданий II типа определяются по формуле

$$N_{m,\,п\,(в)} = n_m \frac{\alpha_{п\,(в)} \Delta t_{п\,(в)}}{\lambda_{п\,(в)}^{эт}} + \frac{\alpha_к \Delta t_к}{\lambda_к^{эт}}. \qquad (66)$$

Рис. 8. Температурные усилия, действующие на стеновые панели и плиты перекрытий m-го столбца

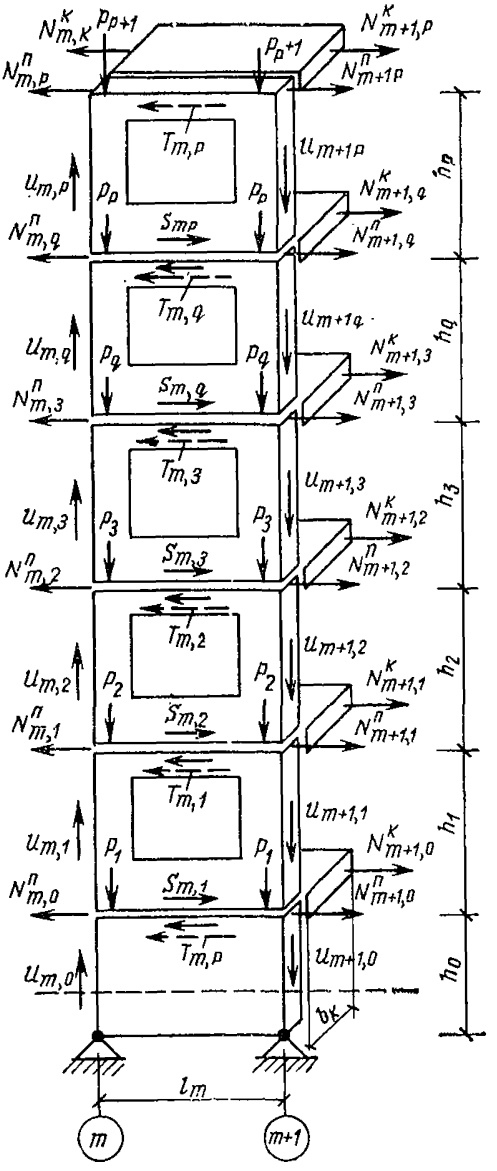
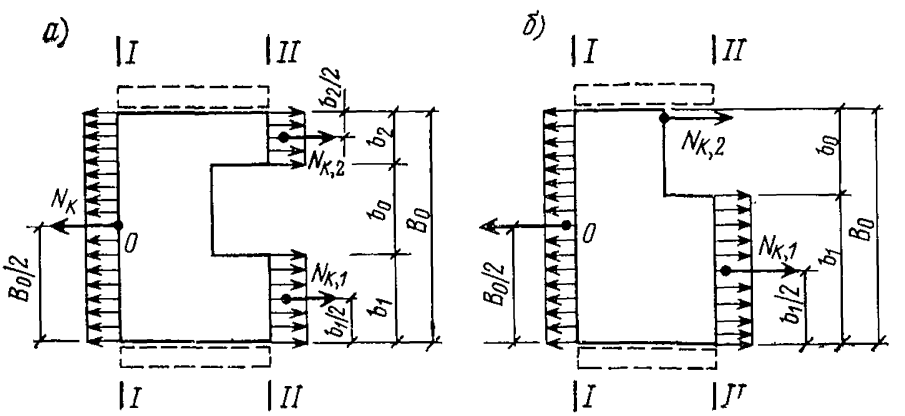


Рис. 9. К определению продольных температурных сил в монолитном перекрытии в местах ослабления отверстиями

а — отверстие посередине перекрытия; *б* — отверстие у края перекрытия



2.33. Сдвигающее усилие в горизонтальных швах стеновых панелей q-го этажа m-го столбца (рис. 8) зданий I типа

$$S^{\text{п}}_{m,q} = \sum_{j=q+1}^{p} [(N_{m,\text{п}} - N_{m+1,\text{п}})_j + (N^{(i)}_{m,\text{к}} - N^{(i)}_{m+1,\text{к}})_j]; \quad (67)$$

$$N^{(i)}_{m,\text{к}} = N_{m,\text{к}}\,\psi = N_{m,\text{к}}\,\frac{D_{\text{ср}\,(i)}}{D_{\text{эт}}}, \quad (68)$$

где $N^{(i)}_{m,\text{к}}$ — доля температурного усилия в перекрытии, которая воспринимается стеновой панелью при работе на сдвиг или перекос в плоскости стены по оси i;

$D_{\text{ср}(i)}$, $D_{\text{эт}}$ — средняя по оси i и суммарная горизонтальная сдвиговая жесткость обобщенных панелей расчетного сечения этажа, определяется по формулам (36) и (37).

2.34. Сдвигающее усилие, действующее на панель q-го этажа m-го столбца здания I типа

$$Q^{\text{п}}_{m,q} = \sum_{j=q}^{p} [(N_{m,\text{п}} - N_{m+1,\text{п}})_j + (N^{(i)}_{m,\text{к}} - N^{(i)}_{m+1,\text{к}})_j]. \quad (69)$$

2.35. Сдвигающие силы $S^{\text{п}}_m$ и $Q^{\text{п}}_m$ для зданий II типа определяются по формулам (67) и (69) при $N_{m,\text{к}}=0$, $N_{m+1,\text{к}}=0$.

2.36. Изгибающие моменты в перемычках и простенках стеновых панелей с проемом при перекосе в плоскости стены:

в верхней перемычке

$$M_{m,\text{в}} = \frac{m\,Q^{\text{п}}_m\,h_{\text{р}}}{2}; \quad (70)$$

в нижней перемычке

$$M_{m,\text{н}} = \frac{(1-m)\,Q^{\text{п}}_m\,h_{\text{р}}}{2}, \quad (71)$$

где m вычисляется по формуле (33);

$h_{\text{р}}$ — расчетная высота панели с проемом (рис. 5,*б*).

в) Влияние отверстий и проемов

2.37. В местах устройства в монолитных или замоноличенных перекрытиях проемов и отверстий наблюдается концентрация температурных усилий.

Расчетные значения продольных сил в местах ослабления перекрытия отверстием (рис. 9) определяются по формулам:

$$N_{\text{к},1} = N_{\text{к}}\,\frac{B_0 - b_2}{B_0 + b_0}; \quad (72)$$

$$N_{к,2} = N_к \frac{B_0 - b_1}{B_0 + b_0}, \qquad (73)$$

где $N_{к,1}$, $N_{к,2}$ — продольные усилия по ослабленному сечению перекрытия на длине участков b_1 и b_2;

$N_к$ — продольное усилие по неослабленному сечению, вычисляется по формуле (60);

B_0, b_0 — ширина перекрытия и отверстия.

2.38. В местах устройства лестничных клеток в зданиях I типа продольное усилие в наружных стенах лестничных клеток находится из условия равновесия сил, действующих на поперечные стены (рис. 10), по формуле

$$N_{л,п} = n_m \alpha_п \left(\frac{\Delta t_п}{\lambda_п^{эт}} + \frac{\Delta t_л}{\lambda_{л,п}} \right) + \Delta N_{л,к}, \qquad (74)$$

где $\Delta N_{л,к}$ — дополнительное усилие в стенах лестничной клетки, вызываемое действием перекрытий, определяется по формулам:

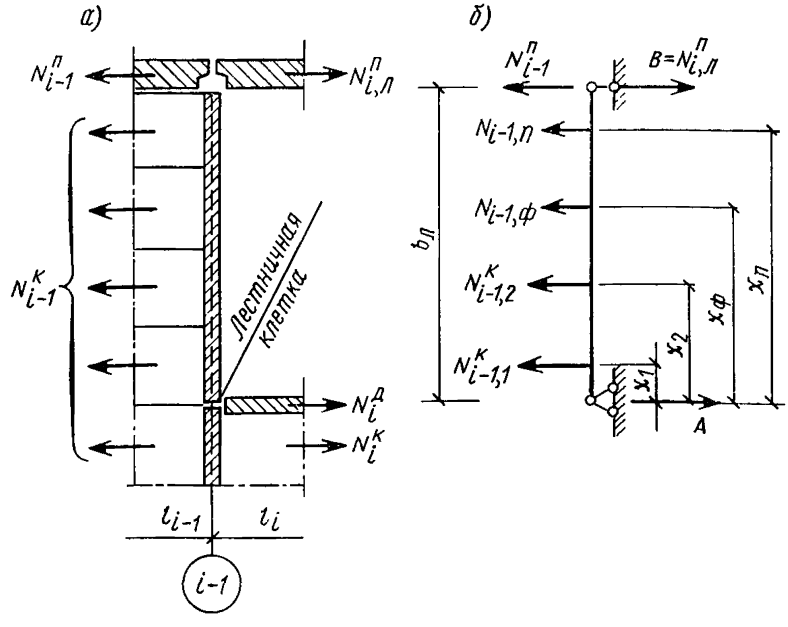


Рис. 10 Температурные усилия в стенах и перекрытиях лестничной клетки

а — схема усилий; *б* — расчетная схема

для сборных перекрытий из плит-настилов (рис. 2, *б*, зона *А* и рис. 10)

$$\Delta N_{л,к} = \frac{1}{b_л} \sum_{ф=1}^{n} N^к_{i-1,ф}\, x_ф; \qquad (75)$$

для монолитных или сборных перекрытий с плитами «на комнату» (рис. 2,*б*, зона *Б*)

$$\Delta N_{л,к} = N_{m,к} \frac{b_л}{2B}, \qquad (76)$$

где $$\Delta t_л = 0{,}5\left(0{,}3\, t^{мин}_{ср.сут} - 0{,}3\, t^н_в + 5\right); \qquad (77)$$

$\Delta t_л$ — разница средних температур наружных стен лестничной клетки и жилых помещений зимой;

$\lambda_{л,п}$ — приведенная податливость наружной стены лестничной клетки по формулам (8) и (10);

$b_л$, B — длина (глубина) лестничной клетки и ширина здания;

$N^к_{i-1}$ — расчетное усилие в сборных плитах перекрытий;

$N_{m,к}$ — усилие в перекрытии по формуле (60);

$t^{мин}_{ср.сут}$ — минимальная (январская) среднесуточная температура наружного воздуха (холодная однодневка) по СНиП по строительной климатологии и геофизике;

$t^н_в$ — нормативная температура внутреннего воздуха (для жилых помещений $t^н_в = 18°C$).

г) Горизонтальные перемещения стен и перекрытий

2.39. Горизонтальные перемещения стен и перекрытий в рассматриваемой точке m с относительными координатами $\xi = x/L$ и $\zeta = y/H$ находятся по следующим формулам:
для зданий I типа

$$u_m = k_m \frac{L}{2} \frac{\lambda^{пр}_к \alpha_п \Delta t_п + \lambda_п \alpha_к \Delta t^{пр}_к}{\lambda_п + \lambda^{пр}_к}, \qquad (78)$$

где $\Delta t^{пр}_к$ и $\lambda^{пр}_к$ определяются по формулам (64) и (63);

для зданий II типа

$$u_m = k_m \frac{L}{2} \frac{\lambda_к \alpha_п \Delta t_п + \lambda_п \alpha_к \Delta t_к}{\lambda_п + \lambda_к}. \qquad (79)$$

3. РАСЧЕТ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ КАК ПЛОСКИХ ИЛИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СОСТАВНЫХ СТЕРЖНЕЙ

Выбор расчетной схемы. Обозначения

3.1. Здание рассматривается как плоская или пространственная система горизонтальных стержней (ветвей) постоянной по длине жесткости, соединенных между собой в продольном направлении непрерывными распределенными связями сдвига конечной жесткости, а в поперечном направлении связями бесконечной жесткости (рис. 11).

3.2. В горизонтальных системах в качестве ветвей рассматриваются перемычечные пояса или сплошные участки наружных и внутренних продольных стен в пределах этажа, сопряженные с ними перекрытия, ленточные фундаменты, цоколи, рандбалки, парапеты и т. п. В качестве поперечных связей и связей сдвига в этом случае принимаются простенки, свайные или рамные фундаменты или грунты основания при их достаточной податливости на сдвиг. При этом основание рассматривается как непрерывная продольная связь сдвига конечной жесткости.

3.3. Здания с поперечными несущими стенами, с самонесущими или навесными наружными стенами и сборными железобетонными перекрытиями рекомендуется рассчитывать как плоскую систему горизонтальных стержней (рис. 11,*д*).

Здания с продольными несущими стенами и сборными железобетонными перекрытиями, имеющими жесткую заделку в продольные стены, рекомендуется рассчитывать как пространственную систему горизонтальных стержней (рис. 11,*е*). При нежесткой заделке концов плит перекрытий наружные и внутренние продольные стены рассчитываются как плоские системы горизонтальных стержней (рис. 11,*д*).

3.4. При расчете зданий как систем горизонтальных стержней приняты следующие обозначения:

k — порядковый номер ветви (стержня);

n — количество ветвей в системе ($k = 1, 2, 3, ..., r, ..., l, ..., n$);

$A_k = [EF]_k$ — приведенная продольная жесткость k-й ветви, кг;

$\varepsilon_{k,\,k+1}$ — погонная жесткость распределенной связи сдвига, соединяющей k-ю и $k+1$-ю ветви, кг/см^2;

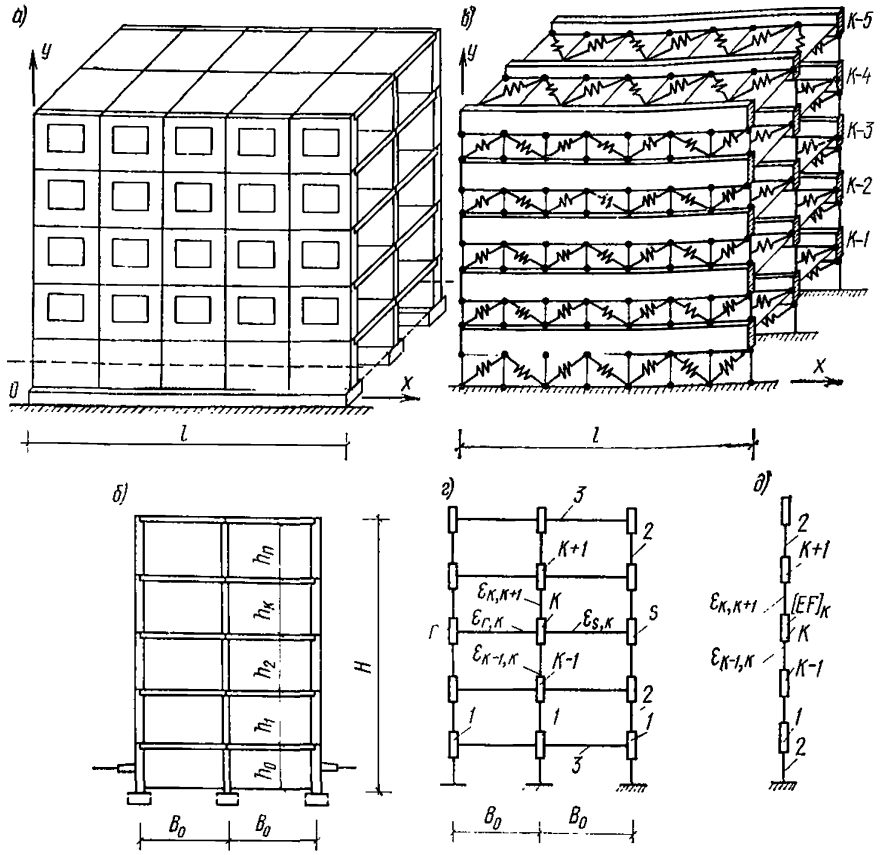


Рис. 11. Крупнопанельное здание с продольными несущими стенами как горизонтальный пространственный составной стержень

а — общий вид здания; *б* — поперечный разрез; *в* — расчетная схема здания как пространственной системы горизонтальных стержней; *г* — поперечное сечение здания как пространственной системы стержней; *д* — то же, как плоской системы; *1* — ветвь составного стержня; *2* — вертикальная связь сдвига; *3* — горизонтальная связь сдвига

L — длина здания;

N_k — продольное усилие в k-й ветви, кг;

$\tau_{k,\,k+1}$ — погонное сдвигающее усилие в k, $k+1$-й связи, кг/см;

α_k — коэффициент линейного расширения материала k-й ветви в 1/°С;

Δt_k — расчетное изменение средней температуры k-й ветви, °С.

Жесткостные характеристики составных стержней

3.5. Приведенная продольная жесткость k-й ветви $A_k = [EF]_k$ вычисляется в соответствии с рекомендациями (пп. 2.7—2.14) с учетом проемности конструкций и податливости стыков и соединений.

3.6. Погонная сдвиговая жесткость панелей стен и перекрытий определяется по формулам (рис. 11,*г, д*):

для стен

$$\varepsilon_{k,k+1} = \frac{1}{L h_{эт}} \sum_{1}^{n} D_i; \tag{80}$$

для перекрытий

$$\varepsilon_{r,k} = \frac{1}{L B_0} \sum_{1}^{n} D_i, \tag{81}$$

где n — общее количество панелей рассматриваемого этажа на длине здания L;

$h_{эт}$ — высота этажа;

B_0 — пролет перекрытия;

D_i — приведенная сдвиговая жесткость панелей стен и перекрытий, определяется в зависимости от конструкции элемента в соответствии с указаниями пп. 2.20 и 2.21.

3.7. Погонная жесткость распределенной связи сдвига грунта в основании здания на ленточных фундаментах вычисляется по формуле

$$\varepsilon_{0,k} = 0{,}7\, c_{пр}, \tag{82}$$

где $c_{пр}$ — жесткостная характеристика грунта в основании; вычисляется по формуле (25) приложения IV СН 321-65.

3.8. Погонная жесткость распределенной связи сдвига свайного основания определяется по формулам:

для свай со свободной головой (шарнирное соединение с рандбалкой)

$$\varepsilon_{0,k} = \frac{3}{L} \sum_{p=1}^{n} \frac{B_{св}}{l_0^3}; \tag{83}$$

для свай с жестко заделанной головой (жесткое соединение с ростверком)

$$\varepsilon_{0,k} = \frac{12}{L} \sum_{p=1}^{n} \frac{B_{св}}{l_0^3}, \tag{84}$$

где $B_{св}$ — изгибная жесткость сваи, определяемая по формуле (27);

l_0 — расчетная глубина заделки сваи, определяемая в зависимости от вида грунта и поперечного размера сваи d (диаметра или стороны прямоугольного сечения) по табл. 3.

Таблица 3

Вид грунтов, залегающих от подошвы ростверка до глубины l_0	Расчетное значение l_0	
	при защемленной голове сваи	при свободной голове сваи
Пески средней плотности, суглинки и глины тугопластичные	$6d$	$4{,}5d$
Пески рыхлые и пылеватые, супеси пластичные, суглинки и глины мягкопластичные	$7d$	$5d$
Илы, суглинки и глины текучепластичные	$8d$	$6d$

Примечание. Для зданий с проветриваемым подпольем величину l_0 следует принимать равной высоте подполья.

Дифференциальные уравнения для горизонтального составного стержня и их решение

3.9. Продольные усилия N в ветвях здания, рассчитываемого как пространственная система горизонтальных стержней (рис. 11,*г*), определяются из решения системы дифференциальных уравнений

$$a_{rk} N_r + a_{k-1,k} N_k'' - a_{k,k} N_k + \\ + a_{k,k+1} N_{k+1} + a_{k,s} N_s + a_{t,k} = 0, \qquad (85)$$

Коэффициенты a определяются по формулам:
где $k = 1, 2, 3, \ldots, n$.

$$a_{r,k} = \frac{\varepsilon_{r,k}}{[EF]_r}; \quad a_{k-1,k} = \frac{\varepsilon_{k-1,k}}{[EF]_{k-1}};$$

$$a_{k,k} = \frac{\varepsilon_{r,k} + \varepsilon_{k-1,k} + \varepsilon_{k.k+1} + \varepsilon_{k,s}}{[EF]_k};$$

$$a_{k,k+1} = \frac{\varepsilon_{k.k+1}}{[EF]_{k+1}}; \quad a_{k,s} = \frac{\varepsilon_{k,s}}{[EF]_s}; \qquad (86)$$

$$a_{t,k} = \varepsilon_{r,k}\alpha_r \Delta t_r + \varepsilon_{k-1,k}\alpha_{k-1}\Delta t_{k-1} - (\varepsilon_{r,k} + \varepsilon_{k-1,k} + \varepsilon_{k,k+1} + \varepsilon_{k,l})\alpha_k \Delta t_k + \varepsilon_{k,k+1}\alpha_{k+1}\Delta t_{k+1} + \varepsilon_{k,s}\alpha_l \Delta t_s . \quad (86а)$$

Примечание. r и s — номера ветвей, примыкающих к рассматриваемой ветви.

3.10. Продольные усилия в ветвях стены, рассчитываемой как плоская система горизонтальных стержней (рис. 11,*д*), определяются из решения системы дифференциальных уравнений:

$$a_{k,k-1} N_{k-1} + N''_k - a_{k,k} N_k + a_{k,k+1} N_{k+1} + a_{t,k} = 0, \quad (87)$$

где $k = 1, 2, 3, \ldots, n$.

Коэффициенты a определяются по формулам:

$$a_{k-1,k} = \frac{\varepsilon_{k-1,k}}{[EF]_{k-1}}; \quad a_{k,k} = \frac{\varepsilon_{k-1,k} + \varepsilon_{k,k+1}}{[EF]_k};$$

$$a_{k,k+1} = \frac{\varepsilon_{k,k+1}}{[EF]_{k+1}}; \quad (88)$$

$$a_{t,k} = \varepsilon_{k-1,k}\alpha_{k-1}\Delta t_{k-1} - (\varepsilon_{k-1,k} + \varepsilon_{k,k+1})\alpha_k \Delta t_k + \varepsilon_{k,k+1}\alpha_{k+1}\Delta t_{k+1}. \quad (88а)$$

Примечание. Вычисление коэффициентов a_{tk} ведется в предположении, что основание также представляет собой ветвь, продольная жесткость которой $[EF]_0 = \infty$, а коэффициент линейного расширения материала $\alpha_0 = 0$.

3.11. Решение систем дифференциальных уравнений (85) и (87) рекомендуется искать в виде ряда

$$N_k = \sum_{i=1}^{m} b_{ik} \sin \lambda_i x, \quad (89)$$

где i — порядковый номер члена ряда;

m — общее число членов ряда; рекомендуется принимать $m \geqslant 3$;

b_{ik} — коэффициенты, определяемые из решения системы вспомогательных уравнений (см. п. 3.12);

λ_i — постоянная, определяемая номером члена ряда $i = 1, 2, \ldots, m$.

$$\lambda_i = \frac{(2i-1)\pi}{L}. \quad (90)$$

3.12. Система вспомогательных уравнений для пространственного составного стержня, полученная подста-

новкой выражения (89) в уравнения (85), при $i=1, 2, ..., m$ имеет вид

$$a_{r,k}\,b_{ir}+a_{k-1,k}\,b_{i,k-1}-(\lambda_i^2+a_{k,k})b_{i,k}+ \\ +a_{k+1,k}\,b_{i,k+1}+a_{k,l}\,b_{i,s}+\gamma_{i,k}=0. \qquad (91)$$

Для плоского составного стержня система вспомогательных уравнений имеет вид:

$$a_{k-1,k}\,b_{i,k-1}-(\lambda_i^2+a_{k,k})\,b_{i,k}+a_{k,k+1}\,b_{i,k+1}+\gamma_{i,k}=0. \qquad (92)$$

Значение γ_{ik} находится по формуле

$$\gamma_{ik}=\frac{4\,a_{ik}}{(2\,i-1)\,\pi}. \qquad (93)$$

3.13. Горизонтальные перемещения сечения ветвей составного стержня в точке x определяются по формуле

$$u_{k\,(x)}=0{,}5\,L\,\alpha_k\,\Delta\,t_k\,x+\frac{1}{[E\,F]_k}\sum_{i=1}^{m}\frac{b_{ik}}{\lambda_i}\cos\lambda_i\,x, \qquad (94)$$

где $0\leqslant x\leqslant 0{,}5\,L$.

3.14. Сдвигающее усилие между ветвями k и $k+1$ в точке x определяется по формуле

$$\tau_{k,k+1}\,(x)=\varepsilon_{k,k+1}\left[(\alpha_{k+1}\,\Delta\,t_{k+1}-\alpha_k\,\Delta\,t_k)\left(\frac{L}{2}-x\right)-\right. \\ \left.-\frac{1}{[E\,F]_{k+1}}\sum_{i=1}^{m}\frac{b_{i,k+1}}{\lambda_i}\cos\lambda_i\,x+\frac{1}{[E\,F]_k}\sum_{i=1}^{m}\frac{b_{i,k}}{\lambda_i}\cos\lambda_i\,x\right]. \qquad (95)$$

3.15. Поперечная сила в простенке, координата оси которого $x=a$, определяется по формуле

$$Q_{x=a}=\tau_{k,k+1}\,(a)\,d, \qquad (96)$$

где d — расстояние между осями простенков.

3.16. Продольные усилия в стенах $N_{\text{п},k}$ и перекрытиях $N_{\text{к},k}$ зданий с поперечными несущими стенами и сборными железобетонными перекрытиями (см. п. 3.3) при известном суммарном усилии в стержне N_k определяются пропорционально их жесткости по формулам: в стенах

$$N_{\text{п},k}=N_k\,\frac{[E\,F]_{\text{п},k}}{\sum_{1}^{n}[E\,F]_i}; \qquad (97)$$

в перекрытиях

$$N_{к,k} = N_k \frac{[EF_{к,k}]}{\sum_{1}^{n} [EF]_i}, \qquad (98)$$

где $[EF]_{п,k}$; $[EF]_{к,k}$ — продольная жесткость стены и перекрытия в пределах k-го этажа (стержня);

$\sum_{1}^{n} [EF]_i$ — суммарная продольная жесткость этажа (стержня).

4. РАСЧЕТ НАРУЖНЫХ СТЕН ПРИ НАЛИЧИИ ПЕРЕПАДА ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ТОЛЩИНЕ

4.1. Стены крупнопанельных зданий состоят из несущих или навесных панелей с замоноличенными или незамоноличенными стыками. Панели крепятся к внутренним конструкциям (стенам, перекрытиям, колоннам) с помощью поперечных связей, в которых при перепаде температуры по толщине $\Delta\theta$ могут возникать реактивные усилия, а в панелях — изгибающие моменты. Реактивные усилия в связях, изгибающие моменты в панелях, а также прогибы панелей, углы поворотов сечений панели и раскрытие стыков определяются из рассмотрения панельной стены как многопролетной статически-неопределимой балки переменной жесткости.

Расчетная схема такой балки при отсутствии или наличии (пунктир) в пролете промежуточных опор (закреплений) показана на рис. 12 (индексы: панель — «п», стык — «с»).

При этом принимаются следующие допущения:

1) замоноличенные стыки панелей (рис. 12,*б*) работают на изгиб как армированные балочки на двух опорах;

2) расчетная длина стыка $l_с$ принимается равной ширине поддерживающей конструкции $h_к$ (стена, рама и т. п.);

3) расчетная длина панели $l_п$ соответственно равна:

$$l_п = l_i - l_с, \qquad (99)$$

где l_i — расстояние между осями поддерживающих конструкций, служащих опорами панелей (поперечных стен, колонн).

4.2. Изгибная жесткость панелей $B_п$ и стыков $B_с$ определяется как для армированных бетонных сечений с учетом пластических свойств бетона и трещин (СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций).

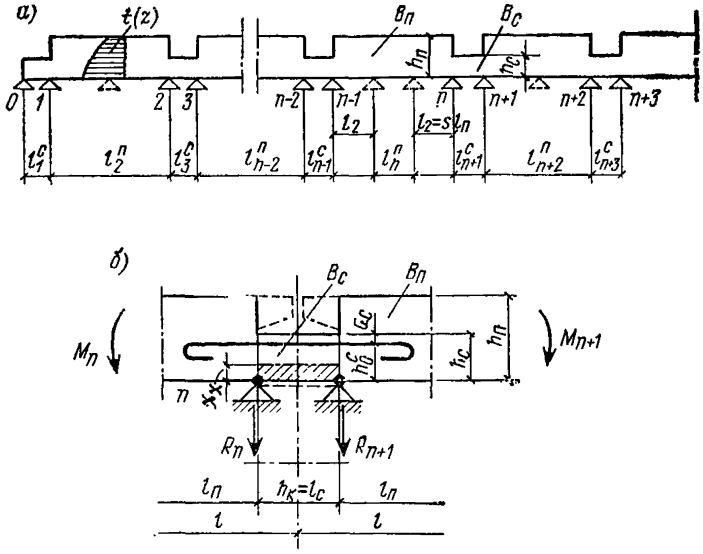


Рис. 12. Расчет крупнопанельной стены на перепад температуры по толщине $\Delta\theta$

а — расчетная схема крупнопанельной стены; *б* — схема вертикального замоноличенного стыка

Сопряженные со стенами поддерживающие конструкции и поперечные связи обладают определенной упругой податливостью, которую следует учитывать в расчетах.

Температурные усилия в панелях и связях

4.3. В наиболее общем случае, т. е. когда все опоры неразрезной балки обладают различной податливостью, температурные усилия при изменении $\Delta\theta$ находятся из решения системы k уравнений вида (для n-й опоры, рис. 12)

$$\frac{c_{n-1}}{l_{n-1}\,l_n}M_{n-2}+\left[\frac{l_n}{6\,B_n}-\frac{c_{n-1}}{l_n}\left(\frac{1}{l_{n-1}}+\frac{1}{l_n}\right)-\right.$$

$$\left.-\frac{c_n}{l_n}\left(\frac{1}{l_n}+\frac{1}{l_{n+1}}\right)\right]M_{n-1}+\left[\frac{l_n}{3\,B_n}+\frac{l_{n+1}}{3\,B_{n+1}}+\right.$$

$$+\frac{c_{n-1}}{l_n^2}+c_n\left(\frac{1}{l_n}+\frac{1}{l_{n+1}}\right)^2+\frac{c_{n+1}}{l_{n+1}^2}\Bigg]M_n+$$

$$+\left[\frac{l_{n+1}}{6\,B_{n+1}}-\frac{c_n}{l_{n+1}}\left(\frac{1}{l_n}+\frac{1}{l_{n+1}}\right)-\frac{c_{n+1}}{l_{n+1}}\left(\frac{1}{l_{n+1}}+\frac{1}{l_{n+2}}\right)\right]\times$$

$$\times M_{n+1}+\frac{c_{n+1}}{l_{n+1}\,l_{n+2}}M_{n+2}=$$

$$=-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_n\,\Delta\,\theta^{(n)}}{h_n}\,l_n+\frac{\alpha_{n+1}\,\Delta\,\theta^{(n+1)}}{h_{n+1}}\,l_{n+1}\right),$$

$$(n=1,\ 2,\ 3,\ \ldots,\ k), \qquad (100)$$

где c_{n-1}; c_n; c_{n+1} — упругая податливость опор, определяется по опытным данным или СН 321-65;
α_n; α_{n+1}; h_n; h_{n+1} — коэффициенты температурного расширения и толщина балки в n и $n+1$ пролетах;
M_{n-2}; M_{n-1}; M_n; M_{n+1}; M_{n+2} — искомые опорные моменты.

Для случая жестких опор температурные моменты определяются из решения системы уравнений (100), полагая в них c_{n-1}; c_n и т. д. равными нулю, что приводит к решению системы трехчленных уравнений:

$$l'_n\,M_{n-1}+2\,(l'_n+l'_{n+1})\,M_n+l'_{n+1}\,M_{n+1}=$$

$$=-3\,(M_{t,n}\,l'_n+M_{t,n+1}\,l'_{n+1}), \qquad (101)$$

где
$$l'_n=l_n/B_n;\quad l'_{n+1}=l_{n+1}/B_{n+1}; \qquad (102)$$

l'_n, l'_{n+1} — приведенные пролеты;

$$M_{t,n}=\frac{\alpha_n\,\Delta\,\theta_n}{h_n}\,B_n;\quad M_{t,n+1}=\frac{\alpha_{n+1}\,\Delta\,\theta_{n+1}}{h_{n+1}}; \qquad (103)$$

$M_{t,n}$, $M_{t,n+1}$ — эквивалентные температурные моменты n и $n+1$ пролетов.

4.4. Поперечные силы Q и опорные реакции R определяются по формулам:

$$Q_n=\frac{M_n-M_{n-1}}{l_n};\quad R_n=Q_{n+1}-Q_n. \qquad (104)$$

4.5. Стены крупнопанельных зданий с регулярной конструктивной схемой состоят из панелей одинаковых геометрических размеров и жесткости.

Температурные градиенты таких панелей и стыков примерно одинаковые, что позволяет принять приближенно

$$M_{t,\text{п}} = \frac{\alpha_\text{п}\,\Delta\,\theta_\text{п}}{h_\text{п}}\,B_\text{п};\quad M_{t,\text{с}} = \frac{\alpha_\text{с}\,\Delta\,\theta_\text{п}}{h_\text{п}}\,B_\text{с}. \qquad (105)$$

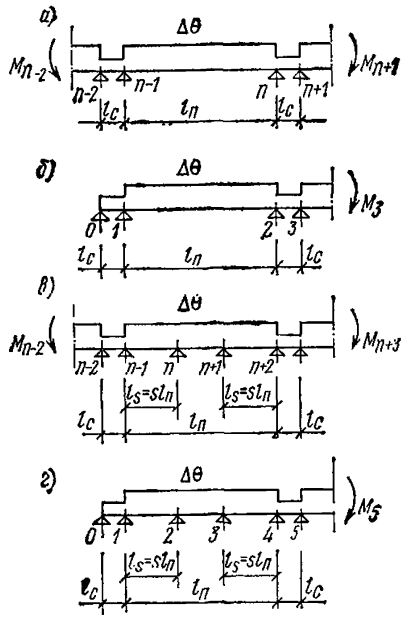


Рис. 13. Схемы закрепления наружных стеновых панелей

а, б — средняя и крайняя панели без промежуточных опор в пролете; *в, г* — то же, с одной или двумя симметричными опорами в пролете

Представляют интерес два наиболее характерных вида закрепления панелей (рис. 13): при отсутствии промежуточных опор панели в пролете (*а*, *б*) и при наличии одной или двух опор, симметрично расположенных в пролете (*в*, *г*) и находящихся на расстоянии $sl_\text{п}$ от стыков панелей, где $0 > s \geqslant 0{,}5$.

При жестком закреплении температурные моменты в панелях и стыках определяются из решения системы уравнений (101) с учетом выражения (105). Формулы для вычисления температурных моментов на опорах средних панелей имеют следующий вид:

при отсутствии промежуточных опор в пролете (рис. 13, *а*)

$$M_{n-1} = M_n = -\,M_{t,\text{п}}\,\frac{\xi\,\eta + 1}{\eta\,\zeta + 1}; \qquad (106)$$

при одной или двух симметричных опорах в пролете (рис. 13, *в*)

$$M_{n-1} = M_{n+2} = -\,M_{t,\text{п}}\,\frac{3\,s^2 + 2\,(2\,\eta\,\xi - 1)\,s - 3\,\eta\,\xi}{3\,s^2 + 2\,(2\,\eta\,\zeta - 1)\,s - 3\,\eta\,\zeta}; \qquad (107)$$

$$M_n = M_{n+1} = -\,M_{t,\text{п}}\,\frac{3\,s^2 + (3\,\eta\,\zeta + \eta\,\xi - 2)\,s - 3\,\eta\,\zeta}{3\,s^2 + 2\,(2\,\eta\,\zeta - 1)\,s - 3\,\eta\,\zeta}, \qquad (108)$$

где $\xi = \alpha_\text{с}/\alpha_\text{п};\ \zeta = B_\text{п}/B_\text{с};\ \eta = l_\text{с}/l_\text{п}$ (109)

— относительные значения коэффициентов темпера-

турного расширения, жесткости и длины панелей и стыков.

При решении конкретных задач в формулах (106)—(108) можно принять $\xi \approx 1$.

Для этого случая в табл. 4 приводятся расчетные формулы для вычисления температурных моментов M, поперечных сил Q и опорных реакций R, возникающих в средних и крайних панелях при жестком закреплении панелей по схемам, приведенным на рис. 13.

Практический интерес представляет случай закрепления панелей по схеме, показанной на рис. 13,*в*, когда крайние опоры n—1 и n+2 упругоподатливые ($c_{n-1} = c_{n+2} = c$), а промежуточные n и n+1 жесткие ($c_n = c_{n+1} = 0$).

В этом случае температурные моменты вычисляются по формулам:

$$M_{n-1} = M_{n+2} = -M_{t,\text{п}} \times$$

$$\times \frac{3s^4 + 2(2\eta\xi - 1)s^3 - 3\eta\xi s^2 - 6(\eta\xi + 1)\varepsilon}{3s^4 + 2(2\eta\zeta - 1)s^3 - 3\eta\zeta s^2 - 6(\eta\zeta + 1)\varepsilon}; \quad (110)$$

$$M_n = M_{n+1} = -M_{t,\text{п}} \times$$

$$\times \frac{3s^4 + (3\eta\zeta + \eta\xi - 2)s^3 - 3\eta\xi s^2 - 6(\eta\xi + 1)\varepsilon}{3s^4 + 2(2\eta\zeta - 1)s^3 - 3\eta\zeta s^2 - 6(\eta\zeta + 1)\varepsilon}, \quad (111)$$

где

$$\varepsilon = c\, B_{\text{п}}/l_{\text{п}}^3. \quad (112)$$

Прогибы и углы поворота панелей и стыков

4.6. Температурные прогибы посередине панели V_n и углы поворотов на опорах ψ_n (рис. 14,*а*) при перепаде температуры по толщине находятся по формулам:

$$V_n = \left(\frac{\alpha_n \Delta\theta_n}{h_n} + \frac{M_{n-1} + M_n}{2B_{\text{п}}}\right)\frac{l_n^2}{8}; \quad (113)$$

$$\psi_{n-1} = \frac{\alpha_n \Delta\theta_n l_n}{2h_n} + \frac{l_n}{6B_n}(2M_{n-1} + M_n); \quad (114)$$

$$\psi_n = -\frac{\alpha_n \Delta\theta_n l_n}{2h_n} - \frac{l_n}{6B_n}(M_{n-1} - 2M_n), \quad (115)$$

где M_{n-1} и M_n определяются из решения системы уравнений (100)—(101) или по формулам (106)—(112).

Раскрытие стыков и панелей

4.7. Раскрытие стыка двух панелей при действии температуры $\Delta\theta$ в общем случае равно (рис. 14,*в*):

$$u_\theta - u'_\theta + u''_\theta = (h_{n-1} - x_a)\psi' + (h_{n+1} - x_a)\psi'', \quad (116)$$

Таблица 4

Опорные моменты, перерезывающие силы и опорные реакции панелей с замоноличенными стыками при действии температуры $\Delta\theta_{\text{п}}$ ($\zeta = B_{\text{п}}/B_{\text{с}}$; $\eta = l_{\text{с}}/l_{\text{п}}$)

Расчетная схема	Панель	Моменты	Поперечные силы	Опорные реакции
Без промежуточных опор в пролете	Средняя, рис. 13,*а*	$M_{n-1} = M_n = -M_{t,\text{п}} \dfrac{\eta+1}{\eta\zeta+1}$	$Q_{n-1,\ n} = 0$	$R_{n-1} = R_n = 0$
	Крайняя, рис. 13,*б*	$M_0 = 0$ $M_1 = M_{t,\text{п}} \dfrac{(\eta+1)(3\eta\zeta+2)}{2(\eta\zeta+1)^2}$ $M_2 = -M_{t,\text{п}} \dfrac{\eta+1}{\eta\zeta+1}$	$Q_{0-1} = -\dfrac{M_{t,\text{п}}}{l_{\text{с}}} \times \dfrac{(\eta+1)(3\eta\zeta+2)}{2(\eta\zeta+1)^2}$ $Q_{1-2} \dfrac{M_{t,\ \text{п}}}{l_{\text{п}}} \times \dfrac{(\eta+1)\cdot\eta\cdot\zeta}{2\cdot(\eta\zeta+1)^2}$	$R_0 = -\dfrac{M_{t,\text{п}}}{l_{\text{с}}} \times \dfrac{(\eta+1)(3\eta\zeta+2)}{2(\eta\zeta+1)^2}$ $R_1 = \dfrac{M_{t,\ \text{п}}}{l_{\text{п}}} \times \dfrac{(\eta+1)(\eta^2\zeta+3\eta\zeta+2)}{2\eta(\eta\zeta+1)^2}$

Продолжение

асчетная схема	Панель	Моменты	Поперечные силы	Опорные реакции
С одной или двумя промежуточными опорами в пролете	Средняя, рис. 13,*в*	$M_{n-1} = M_{n+2} = -M_{t,\text{п}}\dfrac{m_1\eta+1}{m_1\eta\zeta+1}$, $M_n = M_{n+1} = -M_{t,\text{п}}\left[\dfrac{m_2\eta(\zeta-1)}{m_1\eta\zeta+1}+1\right]$	$Q_{n-2,\,n-1}=0$, $Q_{n,\,n+1}=0$, $Q_{n-1,\,n}=-\dfrac{M_{t,\text{п}}}{l_\text{п}}\times\dfrac{m_3\eta(\zeta-1)}{m_1\eta\zeta+1}$	$R_{n-1}=R_{n+2}=-\dfrac{M_{t,\,\text{п}}}{l_\text{п}}\dfrac{m_3\eta(\zeta-1)}{m_1\eta\zeta+1}$, $R_n=R_{n+1}=-R_{n-1}$
	Крайняя, рис. 13,*г*	$M_0=0$, $M_1=-m_{t,\text{п}}\dfrac{m_1\eta+1}{\frac{2}{3}m_1\eta\zeta+1}$, $M_2=-M_{t,\text{п}}\dfrac{m_4\eta+1}{\frac{2}{3}m_1\eta\zeta+1}$	$Q_{0-1}=-\dfrac{M_{t,\text{п}}}{l_\text{с}}\times\dfrac{m_1\eta+1}{\frac{2}{3}m_1\eta\zeta+1}$, $Q_{1-2}=-\dfrac{M_{t,\text{п}}}{l_\text{п}}\times\dfrac{\eta(m_4-m_1)}{s\left(\frac{2}{3}m_1\eta\zeta+1\right)}$	$R_0=-\dfrac{M_{,\text{п}}}{l_\text{с}}\times\dfrac{m_1\eta+1}{\frac{2}{3}m_1\eta\zeta+1}$, $R_1=\dfrac{M_{t,\text{п}}}{l_\text{п}}\times\dfrac{m_1 s\eta+s-\eta^2(m_4-m_1)}{s\eta\left(\frac{2}{3}m_1\eta\zeta+1\right)}$

$M_{t,\text{п}}=\dfrac{\alpha\Delta\theta_\text{п}}{h_\text{п}}B_\text{п}$; $s=l_s/l_\text{п}$; $m_1=\dfrac{3-4s}{s(2-3s)}$; $m_2=\dfrac{1}{2-3s}$; $m_3=\dfrac{3(1-s)}{s^2(2-3s)}$; $m_4=\dfrac{\zeta(1-s)-s}{s(2-3s)}$

где ψ', ψ'' — углы поворотов опорных сечений панелей слева и справа от стыка;

x_a — высота сжатой зоны бетона стыка.

При одинаковой высоте панелей $h_п$, полагая приближенно $x_a \approx 0{,}3\, h_c$, находим

$$u_\theta = (h_п - x_a)\,\psi_c = (h_п - 0{,}3\,h_c)\,\psi_c, \qquad (117)$$

где $$\psi_c = |\psi'| + |\psi''|. \qquad (118)$$

Для стен, у которых α, $\Delta\theta$, h, B и l для всех панелей и стыков одинаковые, угол раскрытия стыка равен:

$$\psi_c = \frac{\alpha\,\Delta\theta\,l}{h} + \frac{l}{6\,B}\,(M_{n-2} + 2\,M_{n-1} + 2\,M_n + M_{n+1}), \qquad (119)$$

или, используя выражения для моментов по формулам (106)—(109) или табл. 4, получим при $\xi = 1$:
для панелей без промежуточных опор в пролете

$$\psi_c = \frac{\alpha\,\Delta\theta\,l_п}{h_п}\,\frac{\eta\,(\zeta - 1)}{\eta\,\zeta + 1}; \qquad (120)$$

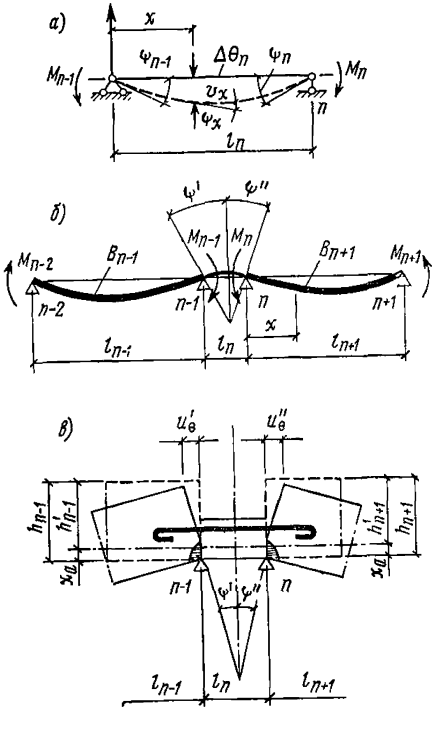


Рис. 14. Расчет прогибов и углов поворота опор панелей (*а*) и раскрытия их стыков (*б* и *в*)

то же, при наличии одной или двух симметричных опор

$$\psi_c = \frac{\alpha\,\Delta\theta\,l_п\,s}{h_п} \times \frac{\eta\,(\zeta - 1)\,(2\,m_1 - m_2)}{3\,(m_1\,\eta\,\zeta + 1)}, \qquad (121)$$

где $$m_1 = \frac{3 - 4\,s}{s\,(2 - 3\,s)};$$

$$m_2 = \frac{1}{2 - 3\,s}. \qquad (122)$$

Для незамоноличенных стыков ψ_c находится при $\zeta = \infty$ (так как $B_c = 0$).

4.8. Раскрытие снаружи $\delta_н$ вертикальных замоноличенных стыков панелей наружных стен с учетом удлинений связей при действии продольной силы N_m определяется по формулам:

при несквозном раскрытии стыка (рис. 15, *а*), когда

$$c_c N < (h_c - a_c)\,\psi_c;$$

$$\delta_н = u'_t + u''_t + u'_{\theta\,н} + u''_{\theta\,н} = c_c N_m + (h_п - 0{,}3\,h_c)\,\psi_c;$$

при сквозном раскрытии (рис. 15, *б*), когда:

$$c_c N \geqslant (h_c - a_c)\,\psi_c;$$

$$\delta_н = c_c N_m + (h_п - h_c + a_c)\,\psi_c, \qquad (123)$$

где для симметричных стыков

$$u'_t = u''_t = \frac{1}{2}\,c_c N_m = \frac{1}{2}\,\frac{\lambda_c}{m_c}\,N_m; \qquad (124)$$

u'_t, u''_t — продольные удлинения связей стыка при действии силы N_m, которая вычисляется по формуле (58) или (66).

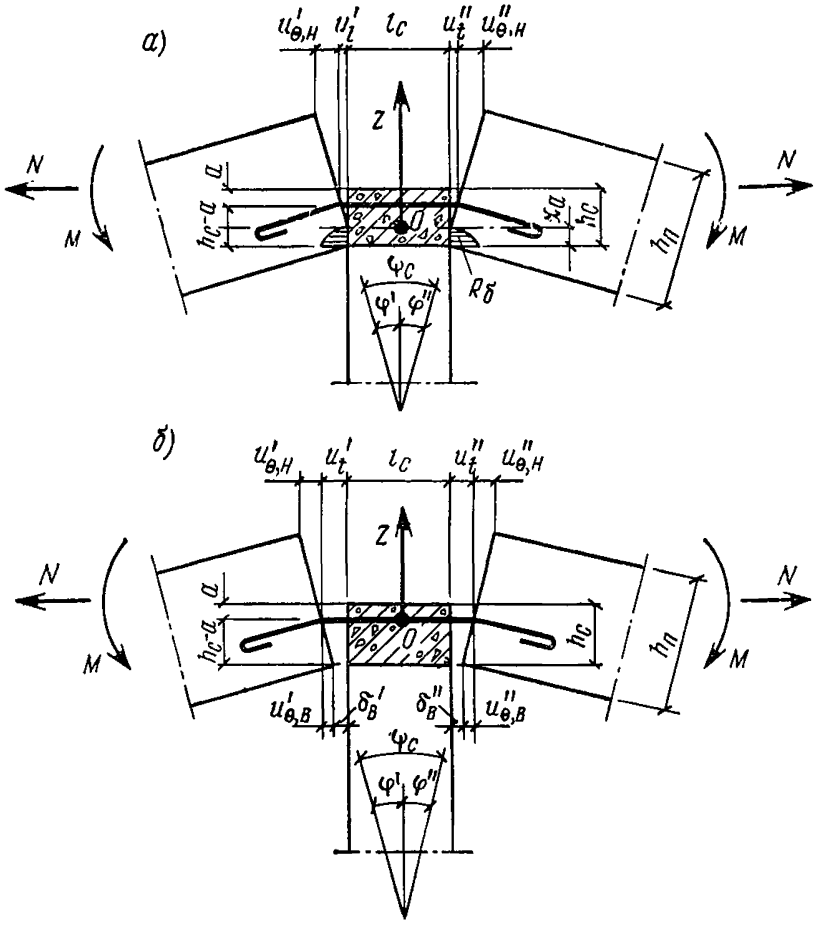


Рис. 15. Температурные деформации замоноличенных стыков панелей

а — при отсутствии сквозной трещины; *б* — при наличии сквозной трещины

Для обеспечения длительной сохранности воздухо- и водозащитных свойств наружной герметизации раскрытие вертикальных стыков снаружи не должно превышать следующих размеров:

для нетвердеющих мастик $[\delta_н] = 0{,}1\ \Delta$ мм;

для вулканизующихся мастик $[\delta_н] = 0{,}2\ \Delta$ мм,

где Δ — расчетная величина зазора между панелями, принимается 10 мм.

4.9. Раскрытие замоноличенных стыков на внутренней поверхности стены (рис. 15,*б*) определяется по формуле

$$\delta_в = \frac{1}{2}\,[c_c N_m - (h_c - a_c)\,\psi_c]. \qquad (125)$$

Раскрытие стыков изнутри помещения $\delta_в$ не должно превышать: для районов с суровым и холодным климатом и частыми и сильными ветрами в зимний период $[\delta_в] \leqslant 0$; для остальных районов $[\delta_в] \leqslant 0{,}2$ мм.

Пример 1. Определить опорные моменты и реакции в средней и крайней панелях наружной стены, состоящей из равнопролетных панелей $l_i = 3{,}2$ м толщиной $h_п = 32$ см без промежуточных опор в пролетах (рис. 13,*а*, *б*) при перепаде температуры $\Delta\theta = 60°$ и следующих показателях:

$$l_п = 306 \text{ см}; \quad l_c = 14 \text{ см}; \quad \alpha = 10^{-5}\ 1/°C;$$

$$B_п = 3{,}94 \cdot 10^9 \text{ кг}\cdot\text{см}^2; \quad B_c = 0{,}096 \cdot 10^9 \text{ кг}\cdot\text{см}^2.$$

По формулам (109):

$$\zeta = 41; \quad \eta = 0{,}046;$$

по формуле (105)

$$M_{t,п} = 7{,}35 \cdot 10^4 \text{ кг}\cdot\text{см}.$$

а) Средняя панель (табл. 4, рис. 13,*а*)

$$M_{n-1} = M_n = -M_{t,п}\,\frac{\eta + 1}{\eta\zeta + 1} = -7{,}35 \cdot 10^4\,\frac{0{,}046 + 1}{0{,}046 \cdot 41 + 1} =$$

$$= -267 \text{ кг}\cdot\text{м}.$$

б) Крайняя панель (табл. 4, рис. 13,*б*)

$$M_1 = -M_{t,п}\,\frac{(\eta + 1)\,(3\eta\zeta + 2)}{2\,(\eta\zeta + 1)^2} = -7{,}35 \cdot 10^4 \times$$

$$\times\,\frac{(0{,}046 + 1)\,(3 \cdot 0{,}046 \cdot 41 + 2)}{2\,(0{,}046 \cdot 41 + 1)^2} = -357 \text{ кг}\cdot\text{м};$$

$$R_0 = -\frac{M_{t,п}}{l_0}\,\frac{(\eta + 1)\,(3\eta\zeta + 2)}{2\,(\eta\zeta + 1)^2} = -2550 \text{ кг};$$

$$R_1 = \frac{M_{t,\text{п}}}{l_\text{п}} \frac{(\eta+1)(\eta^2\zeta+3\eta\zeta+2)}{2\eta(\eta\zeta+1)^2} =$$

$$= \frac{7{,}35\cdot10^4}{306} \frac{(0{,}046+1)(0{,}046^2\cdot41+3\cdot0{,}046\cdot41+2)}{2\cdot0{,}046(0{,}046\cdot41+1)^2} = 2539 \text{ кг}.$$

Пример 2. Определить раскрытие снаружи и изнутри помещения вертикальных замоноличенных стыков наружных стеновых панелей, геометрические и физико-механические характеристики которых приведены в примере 1, при действии продольной силы $N=3000$ кг и расчетного перепада температуры по толщине стены $\Delta\theta=50°$С. Стыки имеют три петлевых связи ∅10 и замоноличены бетоном марки 150 толщиной $h_\text{с}=10$ см, $a_\text{с}=2$ см. По СН 321-65 коэффициент податливости одной связи $\lambda_\text{с}=3\cdot10^{-5}$ см/кг; по формуле (17) коэффициент податливости стыка $c_\text{с}=3\cdot10^{-5}/3=10^{-5}$ см/кг.

По формуле (120)

$$\psi_\text{с} = \frac{\alpha\Delta\theta l_\text{п}}{h_\text{п}} \frac{\eta(\zeta-1)}{\eta\zeta+1} = \frac{10^{-5}\cdot50\cdot306}{32} \frac{0{,}046(41-1)}{0{,}046\cdot41+1} =$$

$$= 3{,}04\cdot10^{-3} \text{ рад}.$$

Вначале определяем раскрытие стыка со стороны помещения по формуле

$$\delta_\text{в} = \frac{1}{2}[c_\text{с}N - (h_\text{с}-a_\text{с})\psi_\text{с}] = \frac{1}{2}[10^{-5}\cdot3000 - (10-2)\times$$

$$\times3{,}04\cdot10^{-3}] = \frac{1}{2}(0{,}03-0{,}024) = 0{,}03 \text{ мм},$$

что меньше допустимого $[\delta_\text{в}]=0{,}2$ мм.

В связи с тем что в рассматриваемом случае имеет место сквозное раскрытие стыка ($\delta_\text{в}>0$), раскрытие его снаружи вычисляем по формуле (123)

$$\delta_\text{н} = c_\text{с}N + (h_\text{п}-h_\text{с}+a_\text{с})\psi_\text{с} =$$

$$= 10^{-5}\cdot3000 + (32-10+2)\,3{,}04\cdot10^{-3} = 0{,}103 \text{ см} = 1{,}03 \text{ мм},$$

что примерно равно допустимому раскрытию $[\delta_\text{н}]=0{,}1\times$ $\times10=1$ мм.

РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПРИВЕДЕННЫХ СРЕДНИХ ТЕМПЕРАТУР ОДНОСЛОЙНЫХ И МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ РАДИАЦИИ, ВЛАЖНОСТИ И УСАДКИ

Основные положения и расчетные формулы

1. Наружные (ограждающие) и внутренние крупнопанельные конструкции зданий испытывают усилия, деформации и перемещения, связанные с колебаниями температуры, относительной влажности воздуха, радиации и усадки.

Для упрощения и унификации расчетов конструкции зданий рассчитываются на приведенные значения температур, которые учитывают влияние всех перечисленных видов воздействий и являются суммой их эквивалентных температур (с учетом фаз колебаний).

Эквивалентные температуры вычисляются по формулам:

для усадки

$$t_{\text{у}} = \varepsilon_{\text{у}}/\alpha;$$

для влажности воздуха

$$t_{\text{вл}} = \varepsilon_{\text{вл}}/\alpha;$$

для солнечной радиации

$$t_{\text{рад}}(\tau) = \frac{\rho\, q(\tau)}{\alpha_{\text{н}}},$$

где $\varepsilon_{\text{у}}$, $\varepsilon_{\text{вл}}$ — расчетные значения усадки и влажностных (сорбционных) деформаций при колебаниях относительной влажности воздуха;

$q(\tau)$ — суточный ход суммарной солнечной радиации (τ—время);

α — коэффициент температурного расширения;

$\alpha_{\text{н}}$ — коэффициент теплоперехода на наружной поверхности, равный 20 ккал/м^2·ч·град;

ρ — коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью конструкции.

2. Наружные и внутренние конструкции зданий рассчитываются раздельно:

а) на расчетное отклонение средней температуры сечения Δt, которое вызывает продольные (осевые) деформации и перемещения конструкций (рис. 16, *а*);

б) на расчетный средний перепад температуры по толщине элемента $\Delta\theta$, который вызывает искривление и изгиб конструкций из плоскости (рис. 16, *б*).

3. Расчетные отклонения средней температуры Δt находятся:

а) в период строительства (монтажа) здания как разности максимальных (июльских) и минимальных (январских) значений приведенных средних температур $t_{ср}$ в рассматриваемые моменты времени от соответствующих начальных температур t_0 («замыкания») (рис. 17,*а*) по формулам:

$$\Delta t_{макс} = 0{,}9\ (t_{ср}^{макс} - t_0^{мин}); \qquad (126)$$

$$\Delta t_{мин} = 0{,}9\ (t_{ср}^{мин} - t_0^{макс}), \qquad (127)$$

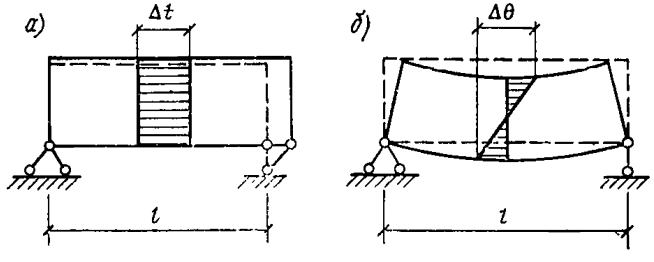


Рис. 16. Температурные деформации бруса

а — продольные при изменении средней температуры $t_{ср}$; *б* — поперечные при изменении средней температуры $\theta_{ср}$

где коэффициент 0,9 учитывает вероятность несовпадения $t_{ср}^{макс}$ и $t_{ср}^{мин}$ в течение года;

б) в период эксплуатации (рис. 17,*б*) по формулам:

$$\Delta t_{макс} = 0{,}45\ (t_{ср}^{макс} - t_{ср}^{мин}); \qquad (128)$$

$$\Delta t_{мин} = -0{,}45\ (t_{ср}^{макс} - t_{ср}^{мин}) - t_у, \qquad (129)$$

где $t_{ср}^{макс}$, $t_{ср}^{мин}$ — максимальные и минимальные значения средних температур сечения конструкций; определяются в соответствии с указаниями пп. 5—8; на стадии проектирования $t_{ср}^{макс}$ и $t_{ср}^{мин}$ принимаются равными соответственно средним температурам сечения июля и января;

$t_0^{макс}$, $t_0^{мин}$ — начальные температуры, принимаются в соответствии с указаниями п. 10,

$t_у$ — температурный эквивалент расчетной усадки, определяется в соответствии с указаниями п. 9.

4. Расчетные значения среднего перепада температуры по толщине конструкций $\Delta\theta$ (рис. 17, *б*) определяются по формулам:

$$\Delta\theta^{\text{макс}} = 0{,}9\,\theta_{\text{ср}}^{\text{макс}};$$

$$\Delta\theta^{\text{мин}} = 0{,}9\,\theta_{\text{ср}}^{\text{мин}}, \qquad (130)$$

где $\theta_{\text{ср}}^{\text{макс}}$, $\theta_{\text{ср}}^{\text{мин}}$ — максимальные (июльские) и минимальные (январские) значения средних перепадов температур по толщине конструкций, определяются в соответствии с указаниями пп. 5—8.

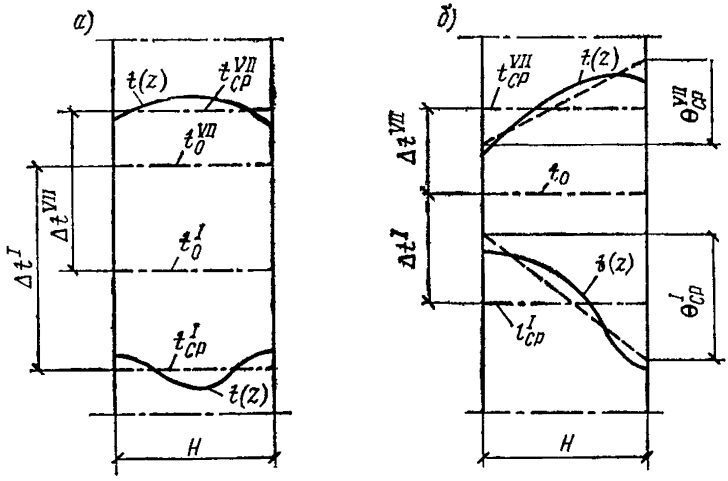


Рис. 17. Определение расчетных отклонений средних температур $t_{\text{ср}}$ и $\theta_{\text{ср}}$ конструкций
а — в строительный период; *б* — в период эксплуатации

Приведенные средние температуры $t_{\text{ср}}$ и $\theta_{\text{ср}}$ однослойных и многослойных конструкций

5. Приведенные средние температуры $t_{\text{ср}}$ и $\theta_{\text{ср}}$ в январе и июле для однослойного и многослойного сечения вычисляются с учетом колебаний температур наружного и внутреннего воздуха, солнечной радиации и относительной влажности воздуха (сорбционного увлажнения) по формулам табл. 5.

Таблица 5

Здания	Конструкции	Средняя температура констр.	Месяц	Формулы для конструкций: однослойных	Формулы для конструкций: многослойных
Отапливаемые	Наружные	$t_{ср}$	июль (VII)	$t^{макс}_{ср.\,сут} + A_{сут}\,\xi_1 + 15\,\rho + A_{вл}$ (131)	$t^{(k)}_{ср} + A_{вл}$ (131а)
			январь (I)	$0{,}5\,(t^{мин}_{ср.сут} + t^{н}_{в} - 5) + A_{сут}\,\xi_1 - A_{вл}$ (132)	$t^{(k)}_{ср} - A_{вл}$ (132а)
		$\theta_{ср}$	июль (VII)	$(-A_{сут}\,\xi_2 - 25\,\rho)\,0{,}9$ (133)	$0{,}9\,\theta^{(k)}_{ср}$ (133а)
			январь (I)	$(-t^{мин}_{ср.сут} + A_{сут}\,\xi_2 + t^{н}_{в} + 5)\,0{,}9$ (134)	$0{,}9\,\theta^{(k)}_{ср}$ (134а)
	Внутренние	$t_{ср}$	июль (VII)	$t^{макс}_{ср.сут}$ (135)	
			январь (I)	$t_{в} - 5$ (136)	
Неотапливаемые	Наружные	$t_{ср}$	июль (VII)	По формуле (131)	
			январь (I)	$t^{мин}_{ср.сут} - 0{,}5\,A_{сут} - A_{вл}$ (137)	
	Внутренние	$t_{ср}$	июль (VII)	$t^{макс}_{ср.\,сут} + A_{вл}$ (138)	
			январь (I)	$t^{мин}_{ср.сут} - A_{вл}$ (139)	

Таблица 6

Эквивалентная температура сорбционного увлажнения бетона $A_{вл}$, °С

Бетон	Объемный вес, кг/м³	Побережье и острова Ледовитого и Тихого океанов	Континентальные районы СССР
Цементный	2000—2400	4	—5
Силикатный	1600—2000	4	—7
Легкий и ячеистый	300—1000	8	—10

В формулах табл. 5 эквивалентная температура сорбционного увлажнения $A_{вл}$ для однослойных и многослойных конструкций принимается по табл. 6.

Для многослойных ограждающих конструкций отапливаемых зданий $A_{вл}$ принимается по материалу наружного слоя, для неотапливаемых зданий — как среднее значение $A_{вл}$ всех слоев.

Для внутренних конструкций (однослойных и многослойных) отапливаемых зданий $A_{вл}=0$, неотапливаемых зданий: для однослойных конструкций — по табл. 6, для многослойных — как среднее значение $A_{вл}$ всех слоев.

6. Средняя температура сечения конструкции $t_{ср}$ определяется из равенства площадей действительной $t(z)$ и приведенной прямоугольной температурных эпюр (рис. 18, штрихпунктир).

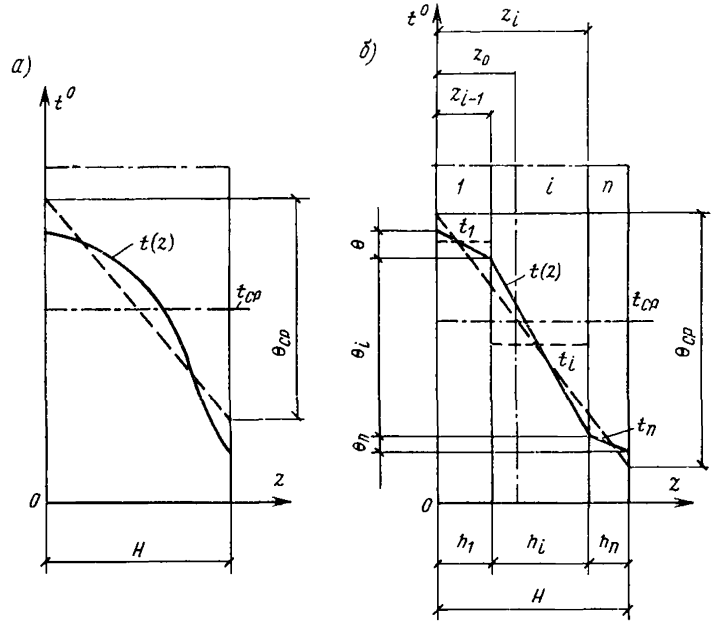


Рис. 18. Определение средних температур $t_{ср}$ и $\theta_{ср}$ для однослойных (*а*) и многослойных (*б*) конструкций при заданном распределении по сечению температуры $t(z)$

Средний перепад температуры по толщине конструкции $\theta_{ср}$ определяется из равенства статистических моментов действительной $t(z)$ и приведенной трапецеидальной температурных эпюр (рис. 18, пунктир).

Средние температуры $t_{ср}$ и $\theta_{ср}$ однослойных конструкций

7. Расчетные значения средних температур $t_{ср}$ и $\theta_{ср}$ в январе и июле для однослойных сечений вычисляются по формулам (131)—(139) табл. 5. В формулах табл. 5 приняты следующие обозначения:

$t^{макс}_{ср.сут}$, $t^{мин}_{ср.сут}$ — максимальная (июльская) и минимальная (январская) среднесуточные температуры, принимаются по главе СНиП по строительной климатологии и геофизике;

$$A_{сут} = A^{ср}_{сут} + 3^{\circ} \qquad (140)$$

— расчетная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха;

$A^{ср}_{сут}$ — средняя амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха, принимается по главе СНиП по строительной климатологии и геофизике в половинном размере от указанной величины;

$t^{н}_{в}$ — нормативная температура внутреннего воздуха (для жилых помещений $t^{н}_{в} = 18°C$);

ξ_1, ξ_2 — коэффициенты приведения амплитуды температуры наружного воздуха к амплитудам средних температур сечения $t_{ср}$ и перепадов по толщине $\theta_{ср}$ принимаются по табл. 7;

Таблица 7

Коэффициент	Конструкции из тяжелого, легкого и ячеистого бетонов и каменной кладки толщиной, см				
	до 5	5—15	16—25	26—40	41—60
ξ_1	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2
ξ_2	0,4	0,6	0,8	0,8	0,65

Примечание. При двустороннем тепловом воздействии (открытые конструкции, балконы, лоджии, карнизы, парапеты и т. п.) коэффициент ξ_1 увеличивается в 1,5 раза, но принимается не более единицы.

ρ — коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью конструкций, принимается по табл. 8.

Таблица 8

Материал	Цвет	ρ
Панели и плиты из тяжелого, легкого и ячеистого бетонов без облицовки	Белый	0,3
	Серый	0,6
То же, с облицовкой или штукатуркой	Белый	0,3
	Серый	0,6
	Красный	0,7
Рулонная кровля	Черный	0,8

Средние температуры $t_{ср}$ и $\theta_{ср}$ многослойных конструкций

8. Расчетные значения средних температур $t_{ср}$ и $\theta_{ср}$ многослойных конструкций при наличии конструктивной связи между слоями определяются:

а) при отсутствии перепада температуры по толщине (внутренние стены и перекрытия, а также наружные стены неотапливаемых зданий зимой и т. п.) — как для однослойных конструкций по формулам (135)—(139) табл. 5;

б) при наличии перепада температуры по толщине (наружные стены и покрытия отапливаемых зданий и т. п.) при приведении многослойного сечения к физико-механическим показателям одного из слоев (k-го слоя) по формулам (131а)—(134а), где

$$t_{ср}^{(k)} = \frac{\alpha_{ср}}{\alpha_k} t_{ср}^{*}; \quad \theta_{ср}^{(k)} = \frac{\alpha_{ср}}{\alpha_k} \theta_{ср}^{*}; \tag{141}$$

$$\alpha_{ср} = \frac{\sum_{1}^{n} a_i}{\sum_{1}^{n} a_i/\alpha_i}; \tag{142}$$

$\alpha_{ср}$ — средний (приведенный) коэффициент температурного расширения многослойного сечения;

$_k$ — коэффициент температурного расширения слоя, к которому приводится многослойное сечение (рекомендуется приводить к несущему слою);

$$t^*_{ср} = \frac{\sum_1^n a_i t_i}{\sum_1^n a_i} = \frac{a_1 t_1 + a_2 t_2 + \ldots + a_n t_n}{a_1 + a_2 + \ldots + a_n}; \qquad (143)$$

$t^*_{ср}$ — средняя температура многослойного сечения (рис. 18,*б*);

$$\theta^*_{ср} = \frac{H}{2} \frac{\sum_1^n a_i \left[6 \left(2 z_{i-1} + h_i\right) \left(t_i - t_{ср}\right) - h_i \theta_i\right]}{\sum_1^n a_i \left[3 \left(2 z_{i-1} + h_i\right) \left(z_0 - z_i\right) + h_i \left(3 z_{i-1} + h_i\right)\right]}; \qquad (144)$$

$\theta^*_{ср}$ — средний перепад температуры по толщине;

n — число слоев.

В формулах (142)—(144) приняты обозначения (рис. 18,*б*)

$$a_i = \alpha_i E_i F_i; \qquad (144а)$$

a_i — коэффициент термоупругой жесткости i-го слоя;

α_i, E_i — коэффициент температурного расширения и модуль упругости i-го слоя; принимаются по табл. 9;

h_i, F_i — толщина и площадь сечения i-го слоя;

H — толщина многослойного сечения;

z_{i-1}, z_i — координаты поверхности i-го слоя;

$$z_0 = \frac{\sum_1^n a_i \left(2 z_{i-1} + h_i\right)}{2 \sum_1^n a_i}; \qquad (145)$$

z_0 — координаты центра тяжести многослойного сечения;

$$t_i = t_в - \left(t_в - t^*_н\right) \frac{0{,}133 + \sum_1^{i-1} R_j + 0{,}5 R_i}{0{,}183 + \sum_1^n R_j}; \qquad (146)$$

t_i — средняя температура i-го слоя;

$$\theta_i = \left(t_в - t_н^*\right) \frac{R_i}{0{,}183 + \sum_1^n R_j}; \qquad (147)$$

θ_i — перепад температуры по толщине i-го слоя.

В формулах (146), (147) обозначены:

$$R_i = h_i/\lambda_i; \qquad (148)$$

R_i — термическое сопротивление i-го слоя;

λ_i — коэффициент теплопроводности, принимается по табл. 9 или по главе СНиП по строительной теплотехнике;

$t_н^*$ — приведенная температура наружного воздуха;

в июле

$$t_н^* = t_{ср.сут}^{макс} + A_{сут} + 30\rho; \qquad (149)$$

в январе

$$t_н^* = t_{ср.сут}^{мин} - A_{сут}; \qquad (150)$$

$t_в$ — расчетная температура внутреннего воздуха;

в июле

$$t_в = t_{ср.сут}^{макс}; \qquad (151)$$

в январе

$$t_в = t_в^н \pm 5, \qquad (152)$$

где знак «плюс» принимается при вычислении θ_i по формуле (147), знак «минус» — при вычислении t_i по формуле (146);

$t_в^н$ — нормативная температура внутреннего воздуха.

Усадка

9. Усадка развивается при постепенном высыхании бетонных конструкций от высокой начальной (строительной или монтажной) влажности до равновесной с окружающей средой. Усадка учитывается только при определении продольных (осевых) деформаций. Расчетные значения усадки ε_y для некоторых видов неармированного бетона и кладки приводятся в табл. 9.

Эквивалентная температура расчетной усадки t_y для армированных и неармированных однослойных и многослойных бетонных конструкций определяется по формулам:

а) для однослойных конструкций

$$t_y = (1 - m\mu)\,\varepsilon_y/\alpha, \qquad (153)$$

где $m = 0{,}2$ — принимается для бетона марки 100 и выше;

Таблица 9

Материал	Объемный вес, кг/м³	E, кг/см²	λ, ккал / м·ч·град	$\alpha \cdot 10^6$, 1/град	ε_y, мм/м
Бетон цементный	2000—2400	СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций	1,25	1	0,4
Бетон силикатный	1600—2000	То же	0,75	1	0,4
Легкие и ячеистые бетоны	600—1000	»	СНиП по строительной теплотехнике	0,8	0,35
То же	300—500	5000—8000	0,12	0,8	0,35
Кладка из силикатного кирпича	1800	СНиП по проектированию каменных и армокаменных конструкций	0,75	1	0,3
То же, из красного	1800	То же	0,7	0,5	—
Пеностекло, пенокерамит	300—400	7500—10 000	0,1	0,6	—
Цементный фибролит	300—400	2500	0,12	0,6	—
Минераловатные плиты	200—300	—	0,05—0,08	—	—

$m = 0{,}5$ — принимается для бетона марки 75 и ниже;

μ — процент армирования бетона;

б) для многослойных конструкций (приведенное значение)

$$t_y^{пр} = \frac{\sum_1^n a_i t_{y,i}}{\sum_1^n a_i} = \frac{a_1 t_{y,1} + a_2 t_{y,2} + \ldots + a_n t_{y,n}}{a_1 + a_2 + \ldots + a_n}, \quad (154)$$

где $t_{y,i}$ — эквивалентная температура усадки i-го слоя, определяется по формуле (153).

Начальная температура t_0

10. Начальная температура конструкций крупнопанельных зданий (температура «замыкания») t_0 прини-

мается равной средней температуре наружного воздуха за период монтажа стен и перекрытий первого и второго этажей.

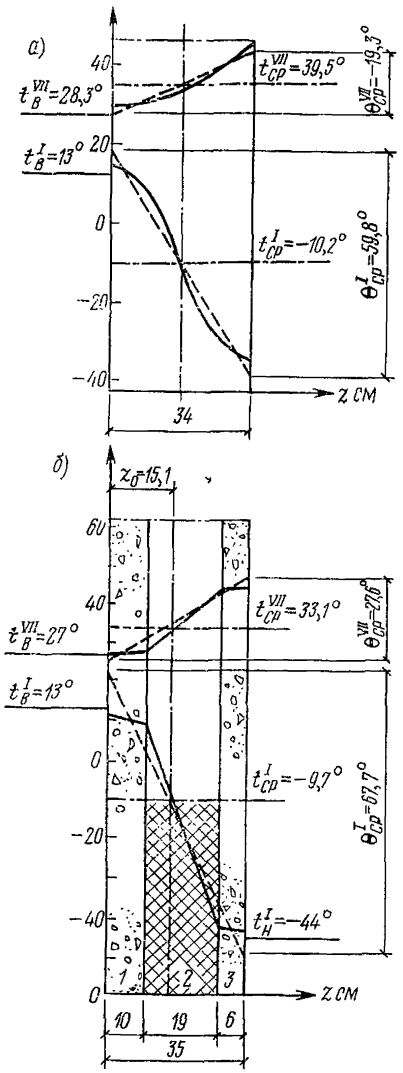


Рис. 19. Средние температуры сечения $t_{ср}$ и перепады температур по толщине $\theta_{ср}$ в июле и январе для однослойной (*а*) и трехслойной (*б*) стеновых панелей

На стадии проектирования, когда сроки и температура монтажа заранее неизвестны, начальная температура принимается в соответствии с указаниями главы СНиП по нагрузкам и воздействиям.

В случае, когда продолжительность монтажа нижних этажей здания не превосходит трех месяцев, начальная температура в соответствии с примечанием к п. 8.6 главы СНиП по нагрузкам и воздействиям может определяться по формулам (155) и (156):

при монтаже зимой

$$t_0^{мин} = 0{,}9\, t_{ср.м}^{I}; \qquad (155)$$

при монтаже летом

$$t_0^{макс} = 0{,}9\, t_{ср.м}^{VII}, \qquad (156)$$

где $t_{ср.м}^{I}$ и $t_{ср.м}^{VII}$ — среднемесячные температуры января и июля, принимаются по главе СНиП по строительной климатологии и геофизике.

Пример 1. Определить эквивалентную температуру усадки однослойной армированной керамзитобетонной панели (рис. 19,*а*). Панель изготовляется из керамзитобетона марки 50, процент армирования продольной (го-

ризонтальной) арматуры $\mu=0{,}2\%$, расчетная усадка $\varepsilon_y=0{,}35$ мм/м ($35\cdot10^{-5}$ мм/мм), коэффициент температурного расширения $\alpha=0{,}8\cdot10^{-5}$ 1/°С (табл. 9). Эквивалентная температура расчетной усадки панели по формуле (153) равна:

$$t_y=(1-m\mu)\,\varepsilon_y/\alpha=(1-0{,}5\cdot0{,}2)\,35\cdot10^{-5}/0{,}8\cdot10^{-5}=39\ ^\circ\text{С}.$$

Пример 2. Определить эквивалентную температуру усадки трехслойной панели (рис. 19,*б*). Наружный *3* и внутренний *1* слои из бетона марки 200 толщиной 6 и 10 см, процент армирования $\mu_1=0{,}4\%$; $\mu_3=0{,}2\%$; $E_б=265\,000$ кг/см²; расчетная усадка $\varepsilon_y=0{,}4$ мм/м (40×10^{-5} мм/мм); $\alpha=10^{-5}$ 1/°С (табл. 9). Утеплитель *2* из минераловатных плит толщиной 19 см. По формуле (144а), $a_1=10^{-5}\cdot265\,000\cdot10\cdot1=26{,}5$ кг/град; $a_2=0$; $a_3=10^{-5}\cdot265\,000\cdot6\cdot1=15{,}9$ кг/град. По формуле (153):

$$t_{y,1}=(1-0{,}2\cdot0{,}4)\,40\cdot10^{-5}=37\ ^\circ\text{С};$$

$$t_{y,2}=(1-0{,}2\cdot0{,}2)\,40\cdot10^{-5}=38\ ^\circ\text{С}.$$

По формуле (154) эквивалентная температура усадки панели равна:

$$t_{y,i}=\frac{26{,}5\cdot37+15{,}9\cdot38}{26{,}5+15{,}9}=38\ ^\circ\text{С},$$

Пример 3. Определить приведенные средние температуры $t_{ср}$ и $\theta_{ср}$ в июле и январе в период эксплуатации для крупнопанельной наружной стены жилого дома в Москве (рис. 19,*а*). Панели из керамзитобетона, толщиной 34 см, наружная поверхность стены серого цвета. По табл. 6 для керамзитобетона $A_{вл}=-10$°С, по табл. 7 для стены толщиной 34 см $\xi_1=0{,}3$; $\xi_2=0{,}8$; по табл. 8 $\rho=0{,}6$.

По главе СНиП по строительной климатологии и геофизике для Москвы $t^{макс}_{ср.сут}=28{,}3$°С; $t^{мин}_{ср.сут}=-32$°С; амплитуда суточных колебаний температуры в июле $A^{ср}_{сут}=5{,}2$°С; в январе $A^{ср}_{сут}=3{,}1$°С; по формуле (140) в июле $A_{сут}=5{,}2+3\approx8$°С; в январе $A^{ср}_{сут}=3{,}1+3=6$°С.

Нормативная температура внутреннего воздуха $t^{н}_{в}=18$°С.

1. Средняя температура сечения панели $t^{*}_{ср}$ без учета влажности воздуха в июле по формуле (131) равна:

$$t^{*(VII)}_{ср}=t^{макс}_{ср.сут}+A_{сут}\,\xi_1+15\,\rho=28{,}3+8\cdot0{,}3+15\cdot0{,}6=39{,}5\ ^\circ\text{С}$$

(рис. 19,*а*);

в январе по формуле (132)

$$t^{*(I)}_{ср} = 0{,}5\,(t^{мин}_{ср.сут} + t^{н}_{в} - 5) - A_{сут}\,\xi_1 = 0{,}5\,(-32 + 18 - 5) - \\ - 6 \cdot 0{,}3 = -11{,}2\ °C.$$

2. Средняя температура сечения панели с учетом влажности воздуха по формулам (131) и (132):

в июле

$$t^{VII}_{ср} = t^{*(VII)}_{ср} + A_{вл} = 39{,}5 - 10 = 29{,}5\ °C;$$

в январе

$$t^{I}_{ср} = t^{*(I)}_{ср} - A_{вл} = -11{,}2 - (-10) = -1{,}2\ °C.$$

3. Средний перепад температуры по толщине панели: в июле по формуле (133)

$$\theta^{VII}_{ср} = 0{,}9\,(-A_{сут}\,\xi_2 - 25\rho) = 0{,}9\,(-8 \cdot 0{,}8 - 25 \cdot 0{,}6) = \\ = 0{,}9\,(-21{,}4) = -19{,}3\ °C;$$

в январе по формуле (134)

$$\theta^{I}_{ср} = 0{,}9\,(-t^{мин}_{ср.сут} + A_{сут}\,\xi_2 + t^{н}_{в} + 5) = \\ = 0{,}9\,[-(-32) + 6 \cdot 0{,}8 + 18 + 5] = 0{,}9 \cdot 59{,}8 = 54\ °C.$$

Пример 4. Определить приведенные средние температуры $t_{ср}$ и $\theta_{ср}$ в июле и январе в период эксплуатации для трехслойной панели толщиной 35 см (рис. 19,*б*) наружной стены крупнопанельного жилого дома в Красноярске с учетом влияния влажности. Стена белого цвета. Наружный *1* и внутренний *3* бетонные слои толщиной 10 и 6 см выполняются из тяжелого бетона марки 200, утеплитель *3* из минераловатных плит толщиной 19 см. Физико-механические показатели материала слоев приведены в табл. 10.

Таблица 10

№ слоя	Материал слоя	$\alpha_i \times 10^6$, 1/град	E_i, кг/см²	h_i, см	λ_i, ккал/м·ч·град	$R_i = h_i/\lambda_i$, м²·ч·град/ккал	a_i по формуле (144а), кг/г·ч
1	Бетон марки 200	1	265 000	10	1,25	0,08	26
2	Минераловатные плиты	0	0	19	0,05	3,8	0
3	Бетон марки 200	1	265 000	6	1,25	0,05	15

По табл. 5 для бетона $A_{вл}$=—5, по табл. 8 ρ=0,3. По главе СНиП по строительной климатологии и геофизике для г. Красноярска $t^{макс}_{ср.сут}$= 25,7 °С, $t^{мин}_{ср.сут}$ = —44 °С, амплитуда суточных колебаний температуры в июле $A^{ср}_{сут}$ = 5,5°, , в январе $A^{ср}_{сут}$ = 4°.

По формуле (140) в июле $A_{сут}$=5,5+3=8,5°С; в январе

$$A_{сут} = 4 + 3 = 7\ °C.$$

Нормативная температура внутреннего воздуха зимой $t^{н}_{в}$ =18°С.

1. Приведенная температура наружного воздуха в июле и январе по формулам (149) и (150):
в июле

$$t^{*}_{н} = t^{макс}_{ср.сут} + A_{сут} + 30\rho = 25,7 + 8,5 + 30 \cdot 0,3 = 44\ °C;$$

в январе

$$t^{*}_{н} = t^{мин}_{ср.сут} - A_{сут} = -44 - 7 = -51\ °C.$$

2. Приведенная температура для внутреннего воздуха по формулам (151) и (152):
в июле

$$t_{в} = t^{макс}_{ср.сут} = 25,7\ °C;$$

в январе

$$t_{в} = t^{н}_{в} - 5 = 18 - 5 = 13\ °C.$$

3. Средняя температура и перепады температуры по толщине каждого слоя находятся по формулам (146) и (147):
1-й слой (внутренний) в июле

$$t_1 = 25,7 - (25,7 - 44)\ \frac{0,133 + 0,5 \cdot 0,08}{0,183 + 0,08 + 0,8 + 0,05} = 26,5\ °C;$$

$$\theta_1 = (25,7 - 44)\ \frac{0,08}{4,113} = -0,3\ °C,$$

где R принимается по табл. 10;
в январе

$$t_1 = 13 - (13 + 44)\ \frac{0,133 + 0,5 \cdot 0,08}{4,113} = 10,6\ °C;$$

$$\theta_1 = (13 + 44)\ \frac{0,08}{4,113} = 1,1\ °C.$$

Для второго слоя температуры t_2 и θ_2 не вычисляются, так как этот слой в работе панели не участвует.

3-й слой в июле

$$t_3 = 25{,}7 - (25{,}7 - 44)\,\frac{0{,}133 + 0{,}08 + 3{,}8 + 0{,}5 \cdot 0{,}05}{4{,}113} = 44\ ^\circ\text{C};$$

$$\theta_3 = (25{,}7 - 44)\,\frac{0{,}05}{4{,}113} = -0{,}2\ ^\circ\text{C};$$

в январе

$$t_3 = 13 - (13 + 44)\,\frac{0{,}133 + 0{,}08 + 3{,}8 + 0{,}5 \cdot 0{,}05}{4{,}113} = -43{,}6\ ^\circ\text{C};$$

$$\theta_3 = (13 + 44)\,\frac{0{,}05}{4{,}113} = 0{,}7\ ^\circ\text{C}.$$

4. Средняя температура трехслойной панели по формуле (143):
в июле

$$t^*_{\text{ср}}{}^{(\text{VII})} = \frac{26{,}5 \cdot 26{,}5 + 15{,}9 \cdot 44}{26{,}5 + 15{,}9} = 33{,}1\ ^\circ\text{C};$$

в январе

$$t^*_{\text{ср}}{}^{(\text{I})} = \frac{26{,}5 \cdot 10{,}6 + 15{,}9\ (-43{,}6)}{26{,}5 + 15{,}9} = -9{,}7\ ^\circ\text{C}.$$

5. Средний перепад температуры по толщине трехслойной панели по формуле (144)
в июле

$$\theta^*_{\text{ср}}{}^{(\text{VII})} = \frac{35}{2}\,\frac{26{,}5 \cdot 6 \cdot 10\ (26{,}5 - 33{,}1) - 10\ (-0{,}3) +}{26{,}5 \cdot 3 \cdot 10\ (15{,}1 - 10) + 10 \cdot 10 + 15{,}9 \times} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{+\ 15{,}9 \cdot 6\ (2 \cdot 29 + 6)\ (44 - 33{,}1) - 6\ (-0{,}2)}{\times 3\ (2 \cdot 29 + 6)\ (15{,}1 - 35) + 6\ (3 \cdot 29 + 6)} = -27{,}6\ ^\circ\text{C};$$

в январе

$$\theta^*_{\text{ср}}{}^{(\text{I})} = \frac{35}{2}\,\frac{26{,}5 \cdot 6 \cdot 10\ (10{,}6 + 9{,}7) - 10 \cdot 1{,}1 +}{26{,}5 \cdot 3 \cdot 10\ (15{,}1 - 10) + 10 \cdot 10 +} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{+\ 15{,}9 \cdot 6\ (2 \cdot 29 + 6)\ (-43{,}6 + 9{,}7) - 6 \cdot 0{,}7}{+\ 15{,}9\ (2 \cdot 29 + 6)\ (15{,}1 - 35) + 6\ (3 \cdot 29 + 6)} = 67{,}7\ ^\circ\text{C},$$

где по формуле (145)

$$z_0 = \frac{26{,}5 \cdot 10 + 15{,}9\ (2 \cdot 29 + 6)}{2\ (26{,}5 + 15{,}9)} = 15{,}1\ \text{см}.$$

6. Приведенные средние температуры $t_{\text{ср}}$ и $\theta_{\text{ср}}$ трехслойной панели при приведении к показателям первого слоя находятся по формулам (141) и (131а)—(134а).

в июле

$$t_{ср}^{VII\ (1)} = \frac{\alpha_{ср}}{\alpha_1} t_{ср}^{*\,(VII)} + A_{вл} = \frac{10^{-5}}{10^{-5}} 33,1 - 5 = 28,1\ °C;$$

$$\theta_{ср}^{VII\ (1)} = 0,9 \frac{\alpha_{ср}}{\alpha_1} \theta_{ср}^{*\,(VII)} = 0,9 \frac{10^{-5}}{10^{-5}} (-27,6) = -25\ °C;$$

в январе

$$t_{ср}^{I\ (1)} = \frac{\alpha_{ср}}{\alpha_1} \times t_{ср}^{*\,(I)} - A_{вл} = \frac{10^{-5}}{10^{-5}} (-9,7) - (-5) = -4,7\ °C;$$

$$\theta_{ср}^{I\ (1)} = 0,9 \frac{\alpha_{ср}}{\alpha_1} \theta_{ср}^{*\,(I)} = 0,9 \frac{10^{-5}}{10^{-5}} 67,7 = 61\ °C,$$

где по формуле (142)

$$\alpha_{ср} = \frac{(26,5 + 15,9)\ 10^{-5}}{26,5 + 15,9} = 10^{-5}\ 1/°C.$$

Пример 5. Определить расчетные значения средних температур Δt и $\Delta\theta$ для наружных однослойных стен из керамзитобетонных панелей и сборных железобетонных перекрытий крупнопанельного жилого дома в Москве.

Наружные стеновые панели из керамзитобетона марки 60, процент армирования $\mu = 0,16\%$; $\alpha = 0,8 \cdot 10^{-5}$ 1/°C; усадка $\varepsilon_у = 0,35$ мм/м (табл. 9).

Плиты перекрытий из бетона марки 300; $\mu = 0,6\%$; $\alpha = 10^{-5}$ 1/°C; усадка $\varepsilon_у = 0,4$ мм/м (табл. 9).

Наружная стена серого цвета толщиной 34 см. По табл. 7 коэффициенты $\xi_1 = 0,3$; $\xi_2 = 0,8$; по табл. 8 $\rho = 0,6$.

Температура

а) Температура наружного воздуха в июле (VII) и январе (I) для Москвы по главе СНиП по строительной климатологии и геофизике:

среднемесячная:

$$t_{ср.м}^{(VII)} = 19,3\ °C;\ t_{ср.м}^{I} = -9,4\ °C;$$

среднесуточная:

$$t_{ср.сут}^{макс} = 28,3\ °C;\ t_{ср.сут}^{мин} = -32°\ C;$$

средние амплитуды суточных колебаний:

$$A_{сут}^{ср\ (VII)} = 5,2\ °C;\quad A_{сут}^{ср\ (I)} = 3,1\ °C.$$

Расчетная амплитуда суточных колебаний по формуле (140):

$$A_{сут}^{VII} = 5{,}2+3 \approx 8\ °C;\quad A_{сут}^{I} = 3{,}1 + 3 \approx 6\ °C.$$

б) Нормативная температура внутреннего воздуха зимой $t_в^н = 18°C$.

в) По табл. 6 эквивалентная температура сорбционного увлажнения керамзитобетона $A_{вл} = -10°C$, тяжелого бетона $A_{вл} = -5°C$.

г) По формуле (153) эквивалентная температура: усадки керамзитобетонных панелей

$$t_у = (1 - 0{,}5\,\mu)\,\varepsilon_у/\alpha = (1 - 0{,}5 \cdot 0{,}16)\ 35 \cdot 10^{-5}/0{,}8 \cdot 10^{-5} = 40\ °C;$$

плит перекрытий

$$t_у = (1 - 0{,}2\,\mu)\,\varepsilon_у/\alpha = (1 - 0{,}2 \cdot 0{,}6)\ 40 \cdot 10^{-5}/10^{-5} = 35\ °C.$$

Приведенные средние температуры $t_{ср}$ и $\theta_{ср}$

Строительный период

а) $t_{ср}$ стены в июле по формуле (131)

$$t_{ср} = t_{ср.сут}^{макс} + A_{сут}\,\xi_1 + 15\,\rho + A_{вл} =$$
$$= 28{,}3 + 8 \cdot 0{,}3 + 15 \cdot 0{,}6 - 10 = 29{,}7\ °C;$$

в январе по формуле (137)

$$t_{ср} = t_{ср.сут}^{мин} - 0{,}5\,A_{сут} - A_{вл} = -32 - 05 \cdot 6 - (-10) = -25\ °C;$$

б) $t_{ср}$ перекрытия в июле по формуле (138)

$$t_{ср} = t_{ср.сут}^{макс} + A_{вл} = 28{,}3 + (-5) = 23{,}3\ °C;$$

в январе по формуле (139)

$$t_{ср} = t_{ср.сут}^{мин} - A_{вл} = -32 - (-5) = -27\ °C.$$

Период эксплуатации

а) $t_{ср}$ стены в июле: по формуле (131)

$$t_{ср} = 29{,}7\ °C\ (см.\ выше);$$

по формуле (133)

$$\theta_{ср} = (-A_{сут}\,\xi_2 - 25\,\rho)\ 0{,}9 = (-8 \cdot 0{,}8 - 25 \cdot 0{,}6)\ 0{,}9 = -19{,}3\ °C;$$

в январе: по формуле (132)

$$t_{ср} = 0{,}5\ (t_{ср.сут}^{мин} + t_в^н - 5) + A_{сут}\,\xi_1 - A_{вл} =$$
$$= 0{,}5\ (-32 + 18 - 5) - 6 \cdot 0{,}3 - (-10) = -1{,}3\ °C;$$

по формуле (134)

$$\theta_{ср} = 0{,}9\,(-t_{ср.сут}^{мин} + A_{сут}\,\xi_2 + t_в^н + 5) = 0{,}9[-(-32) +$$
$$+ 6 \cdot 0{,}8 + 18 + 5] = 54\ °C;$$

б) $t_{ср}$ перекрытия в июле по формуле (135)

$$t_{ср} = t^{макс}_{ср.сут} = 28{,}3\ °C;$$

в январе по формуле (136)

$$t_{ср} = t^{н}_{в} - 5 = 18 - 5 = 13\ °C.$$

Начальные температуры

для стен и перекрытий определяются по формулам (155) и (156):

при монтаже летом

$$t_0^{макс} = 0{,}9\, t^{VII}_{ср.м} = 0{,}9 \cdot 19{,}3 = 17{,}4\ °C;$$

при монтаже зимой

$$t_0^{мин} = 0{,}9\, t^{I}_{ср.м} = 0{,}9\,(-9{,}4) = -8{,}5\ °C.$$

Расчетные отклонения средних температур Δt *и* $\Delta\theta$ Δt в строительный период по формулам (126) и (127):

а) стены в июле

$$\Delta t^{макс} = 0{,}9\,(t_{ср}^{макс} - t_0^{мин}) = 0{,}9[29{,}7 - (-8{,}5)] = 34{,}4\ °C;$$

в январе

$$\Delta t^{мин} = 0{,}9\,(t_{ср}^{мин} - t_0^{макс}) = 0{,}9\,(-25 - 17{,}4) = -38{,}2\ °C;$$

б) перекрытия в июле

$$\Delta t^{макс} = 0{,}9\,[23{,}3 - (-8{,}5)] = 28{,}6\ °C;$$

в январе

$$\Delta t^{мин} = 0{,}9\,(-27 - 17{,}4) = -40\ °C.$$

Δt и $\Delta\theta$ в период эксплуатации

а) стены в январе по формуле (129)

$$\Delta t^{мин} = -0{,}45\,(t_{ср}^{макс} - t_{ср}^{мин}) - t_{у} =$$

$$= -0{,}45\,[29{,}7 - (-1{,}3)] - 40 = -54\ °C;$$

по формуле (130)

$$\Delta\theta^{мин} = 0{,}9\,\theta_{ср}^{мин} = 0{,}9 \cdot 54 = 49°\ C;$$

б) перекрытия в январе по формуле (129)

$$\Delta t^{мин} = -0{,}45\ (28{,}3 - 13) - 35 = -42\ °C;$$

за расчетные значения принимаются (с округлением):

а) стены:

$$\Delta t^{макс} = 34\ °C;\ \Delta t^{мин} = -54\ °C;\ \Delta\theta^{мин} = 49\ °C;$$

б) перекрытия:

$$\Delta t^{макс} = 29\ °C,\ \Delta t^{мин} = -42\ °C,\ \Delta\theta^{мин} = 0.$$

Таблица 11

Климатические районы	Климат (основные территории)	Среднесуточные температуры наружного воздуха по СНиП по строит. климатологии и геофизике, °С (однодневные)		Расчетные температуры, °С				
				наружные стены			перекрытия, внутренние стены	
		макс.	мин.	$\Delta t^{макс}$	$\Delta t^{мин}$	$\Delta \theta^{мин}$	$\Delta t^{макс}$	$\Delta t^{мин}$
I (А, В, Д)	Континентальный теплый, умеренный и холодный (северные и центральные районы европейской части СССР, Урал, Сибирь, Дальний Восток, Кавказ)	20—30	—1 до —10	20	—40	30	20	—45
II В		20—30	—11 до —25	25	—40	40	25	—45
III Б		20—30	—26 до —35	30	—45	55	30	—45
IV Б		20—30	—36 до —50	45	—50	65	45	—50
		20—30	—51 до —65	55	—60	80	55	—60
III (А. В) IV (А, В, Г)	Континентальный сухой и жаркий (Средняя Азия, Казахстан, Кавказ)	30—35 и более	—11 до —25	30	—45	40	30	—45
I (Б, Г) II (А, Б, Г)	Приморский влажный (острова и побережье Ледовитого и Тихого океанов)	20—25	—26 до —35	40	—60	50	40	—45

Рекомендации по назначению расчетных температур при приближенных расчетах зданий на температурно-влажностные воздействия

11. Для приближенных расчетов на температурно-влажностные воздействия крупнопанельных жилых домов с наружными однослойными стенами из легких и ячеистых бетонов, сборными железобетонными перекрытиями и внутренними бетонными стенами можно воспользоваться расчетными температурами Δt и $\Delta\theta$ для стен и перекрытий, которые приведены в табл. 11.

Табл. 11 составлена по данным расчетов температур Δt и $\Delta\theta$, выполненных для характерных климатических районов СССР с учетом колебаний температуры и влажности наружного воздуха, солнечной радиации и усадки.

Таблица не распространяется на многослойные наружные стены, для которых требуется специальный расчет в соответствии с указаниями п.8.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПРИМЕР РАСЧЕТА НА ДЕЙСТВИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КРУПНОПАНЕЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА С ПОПЕРЕЧНЫМИ НЕСУЩИМИ СТЕНАМИ

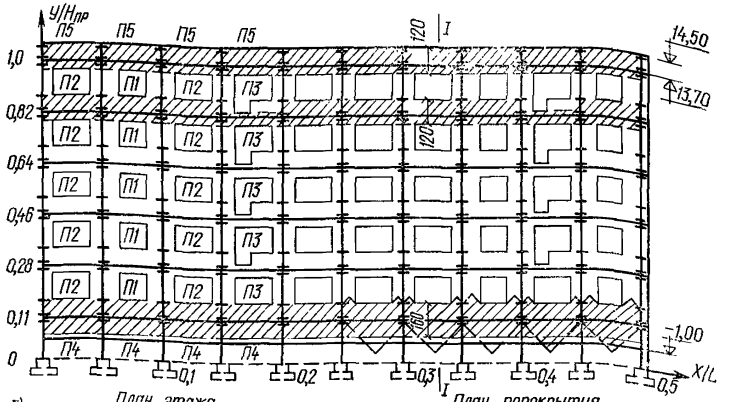
Конструкции здания

Здание пятиэтажное с поперечными несущими стенами I типа длиной 64 м, шириной 9,6 м и высотой 15,5 м (рис. 20) строится в Москве. Наружные стены и цоколь из керамзитобетонных панелей марки 50 ($\alpha = 0{,}8 \cdot 10^{-5}$ 1/°С) толщиной 32 см, внутренние из тяжелого бетона марки 200 ($\alpha = 10^{-5}$ 1/°С) толщиной 14 см. Конструкция, размеры, армирование и зоны влияния связей (штриховка) наружных (П1—П5) и внутренних (П6—П9) стеновых панелей показаны на рис. 21.

Панели наружных стен и цоколя соединяются 2—3-петлевыми связями ∅10 с замоноличиванием стыков бетоном марки 150. Панели внутренней стены соединены двумя сварными связями ∅12.

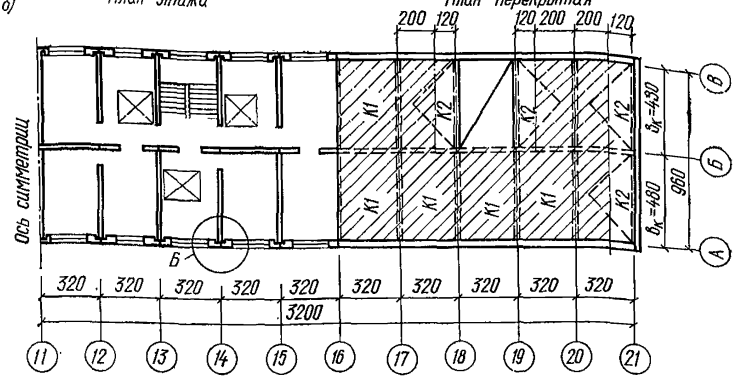
Плиты перекрытий сборные железобетонные размером «на комнату» толщиной 14 см из бетона марки 200, армирование на 1 м ширины = 2,52 см². Опирание плит перекрытий на поперечные стены платформенное. Плиты чердачного перекрытия соединены друг с другом сварными связями 2∅12.

а) Стена по оси А

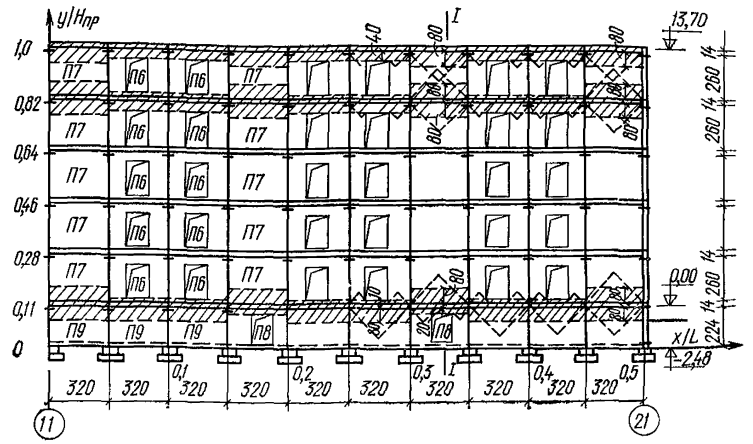


б) План этажа

План перекрытия



в) Стена по оси Б



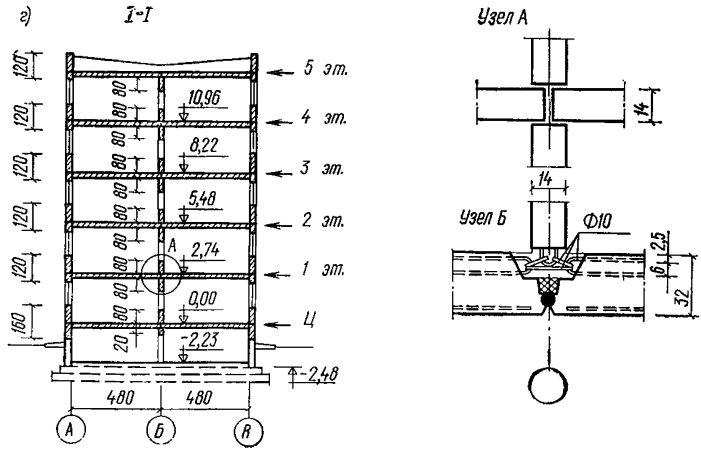


Рис. 20. Расчетная схема крупнопанельного жилого дома I типа с поперечными стенами

Расчетные температуры конструкций

Конструкции здания рассчитываются на наиболее неблагоприятные условия работы конструкций — растяжение, которое имеет место в период эксплуатации зимой, когда понижение их температуры сопровождается развитием усадки стен и перекрытий.

За расчетные значения приведенной средней температуры сечения Δt принимаются:

для наружных стен $\Delta t = -50°C$;

для перекрытий и внутренних стен $\Delta t = -35°C$.

Жесткостные характеристики

1. Продольная податливость стен и перекрытий (индексы: стены «п», *перекрытия* «к», *связи* «с»)

Размеры, армирование расчетных сочетаний стеновых панелей, плит перекрытий и их стыков в пределах каждого этажа приводятся в табл. 12.

Примеры сочетаний стеновых панелей расчетного сечения этажа (пояса) для наружной стены по оси *А* и внутренней по оси *Б* показаны на рис. 20, *а, в* (заштриховано).

Значения коэффициентов приведенной податливости элементов стен $c_п$ и перекрытий $c_к$ вычислялись по формуле (10) с учетом выражений (11) и (17).

Результаты вычислений $c_{п(к)}$ приводятся в табл. 12.

Таблица 12

Конструкция (рис. 20)	Этаж	Сочетание элементов на длине l_m	l_m, см	Панель (п), плита (к)				Связи (с)			$c_{п(к)} \cdot 10^5$ по формуле (10), см/кг	К-во элементов на этаж n_i	$A^{эт}_{п(к)} \times 10^{-7}$	$\lambda^{эт}_{п(к)} \times 10^{-7}$
				$l_{п(к)}$, см	$n\varnothing$, мм	F_a, см²	$\frac{0{,}7\, l_{п(к)} \cdot 10^5}{E_a F_a}$, см/кг	$m_c \varnothing$, мм	$\lambda_c \times 10^5$, см/кг	$\frac{\lambda_c}{m_c}$, см/кг			по формуле	
													(21)	(22)
													кг	1/кг
Стена по оси *А*	5 (фриз)	П1—П5, П2—П5 П3—П5	320	306	8Ø10	6,28	1,70	3Ø10	3	1	2,7	20	1,18	0,85
	2—4	П1—П1,	320	306	8Ø10	6,28	1,70	3Ø10	3	1	2,7	16		
		П2—П2	320	306	6Ø10	4,71	2,26	2Ø10	3	1,5	3,76	4	1,1	0,91
		П3—П3												
	1	П1—П1,	320	306	8Ø10	6,28	1,70	3Ø10	3	1	2,70	4		
		П2—П2	320	306	6Ø10	4,71	2,16	2Ø10	3	1,5	3,66	16	0,92	1,09
		П2—П3												
	Цоколь (ц)	П1—П4, П2—П4	320	306	6Ø10	4,71	2,16	3Ø10	3	1	3,16	20	1,01	0,99
Стена по оси *Б*	5	П6	320	315	4Ø12	4,52	2,32	2Ø12	0,42	0,21	2,53	12		
		П7	320	316	2Ø12	2,26	4,64	2Ø12	0,42	0,21	4,85	8	0,93	1,08
	1—4	П6—П6	320	315	6Ø12	6,78	1,54	2Ø12	0,42	0,21	1,75	12		
		П7—П7	320	315	4Ø12	4,52	2,32	2Ø12	0,42	0,21	2,53	8	1,55	0,65
		П7—П9	320	315	4Ø12	4,52	2,32	2Ø12	0,42	0,21	2,53	4		
	Цоколь (ц)	П6—П9	320	315	4Ø12	4,52	2,32	2Ø12	0,42	0,21	2,53	12	1,27	0,79
		П7—П8	320	315	4Ø12	4,52	2,32	2Ø12	0,42	0,21	2,53	4		
Перекрытия	5	К1—К1	320	315	48Ø8	24,2	0,43	4Ø12	0,42	0,11	0,54	18	6,1	0,16
		К2—К2	320	200	48Ø8	24,2	0,28	4Ø12	0,42	0,11	0,39	2		
	1—4, цоколь (ц)	К1—К1	320	315	48Ø8	24,2	0,43	—	0	0	0,43	6		
		К2—К2	320	200	48Ø8	24,2	0,28	—	0	0	0,28	2	5,35	0,18
		К1—К2	320	200	48Ø8	24,2	0,28	—	0	0	0,28	8		
		К1+0	320	560	24Ø8	12,1	1,54	—	0	0	1,54	4		

При вычислении коэффициентов $c_п$ и $c_к$ принимались:

а) для наружной стены: $l_п=306$ см; $l_с=14$ см; для петлевых связей (СН 321-65) $\lambda_с=3\cdot10^{-5}$ см/кг;

б) для внутренней стены: $l_п=315$ см; $l_с=5$ см; для сварных связей по формуле (19) $\lambda_с=0{,}42$ см/кг;

в) для перекрытий: расчетная длина плиты для сплошных участков $l_к=315$ см; у отверстий (лестничные клетки) по формуле (15) $l_{к,о}=560$ см; у торцов по формуле (16) $l_{к,1}=200$ см; податливость сварных стыков плит чердачного перекрытия при $l_с=15$ см; по формуле (19) $\lambda_с=0{,}42$ см/кг; при платформенном опирании перекрытий на стены $\lambda_с\approx0$.

Расчетные значения средней жесткости и податливости расчетного сечения стен каждого этажа $A_п^{эт}$, $\lambda_п^{эт}$ и перекрытий $A_к^{эт}$, $\lambda_к^{эт}$ вычислялись по формулам (21) и (22) с учетом полученных значений $c_{п(к)}$.

Результаты вычислений приводятся в табл. 12.

2. Средняя жесткость расчетного сечения этажа

Средняя жесткость расчетного сечения этажа $A_{эт}$ определяется как для здания I типа по формуле (25). В связи с конструктивной симметрией здания продольные жесткости стен по осям A и B примерно одинаковые. Поэтому в формуле (25) принято $A_{п(A)}^{эт}=A_{п(B)}^{эт}$.

Результаты вычислений приводятся в табл. 13.

Таблица 13

Этаж	По таблице 12				$A_{эт}\cdot10^{-7}$ по формуле (25), кг
	$A_{п(A)}^{эт}\times10^{-7}$, кг	$A_{в(Б)}^{эт}\times10^{-7}$, кг	$A_{п(B)}^{эт}\times10^{-7}$, кг	$A_к^{эт}\times10^{-7}$, кг	
5 (фриз)	1,18	0,93	1,18	6,1	9,39
2—4	1,1	1,55	1,1	5,55	9,30
1	0,92	1,55	0,92	5,55	8,94
Цоколь (Ц)	1,01	1,27	1,01	5,55	8,84

3. Сдвиговая жесткость стеновых панелей и этажа.

а) Сдвиговая жесткость стеновых панелей с проемом $D_п$ (П1, П2, П3, П.6, П.8, рис. 21) вычислялась по формуле (31).

Результаты вычислений приводятся в табл. 14.

Изгибная жесткость B перемычек и простенков панелей вычислялась по формуле (28) при следующих характеристиках бетона панелей:

Таблица 14

Панель (рис. 21)	$l_р$, см	$h_р$, см	По табл. 15 в кг·см²			По формулам (34)			m по формуле (33)	$n \cdot 10^8$ по формуле (32), 1/кг·см	$D_п \cdot 10^{-6}$ по формуле (31), кг
			$B_в \cdot 10^{-8}$	$B_н \cdot 10^{-8}$	$B_с \cdot 10^{-8}$	$i_в \cdot 10^8$	$i_н \cdot 10^8$	$i_с \cdot 10^8$			
						1/кг·см					
П1	230	214	61,8	485	707,8	3,73	0,475	0,302	0,23	0,762	7,34
П2	260	214	61,8	485	218	4,21	0,537	0,98	0,327	1,359	4,12
П3	260	243	61,8	—	218	4,21	—	1,12	1	6,45	0,75
П6	209	238	96	—	2175	2,18	—	0,11	1	2,4	2,1
П7	209	210	16	—	2175	13,06	—	0,1	1	13,26	0,43

керамзитобетонных (П1, П2, П3) $E_б = 50\,000$ кг/см²; $n = E_а/E_б = 42$; толщина защитного слоя $a = a' = 5$ см; $F_а = 1{,}57$ см²;

бетонных (П6, П8) — $E_б = 200\,000$ кг/см²; $n = E_а/E_б — 10{,}5$; $a = a' = 3$ см; $F_а = 2{,}26$ см².

Таблица 15

Панель (рис. 21)	Сечение, см		h_0, см²	$F_а'$, см²	$0{,}1\,d\,h_0^3 \cdot 10^{-6}$, см⁴	$1{,}1\,h_0(h_0 - a') \cdot n\,F_а' \times 10^{-6}$, см⁴	$B \cdot 10^{-8}$ по формуле (28), кг/см²
	d	h					
П1, П2, П3; $E_б = 0{,}5 \cdot 10^5$ кг/см²; $n = 42$; $a = a' = 5$ см	32	89	84	1,57	2,35	0,481	707,8
	32	59	54	1,57	0,68	0,192	218
	32	38	33	1,57	0,18	0,067	61,8
	32	78	73	1,57	1,58	0,36	435
П6, П8; $E_б = 2 \times \times 10^5 \frac{кг}{см^2}$; $n = 10{,}5$; $a = a' = 3$ см	14	109	106	2,26	1,89	0,285	2175
	14	36	33	2,26	0,07	0,026	96
	14	20	18	2,26	0,01	0,006	16

Таблица 16

Панель (рис. 21)	l, см	h, см	d, см	$\frac{h}{l}$	$m' = 11 - \frac{0{,}03\,\nu E_б}{h}$	$\nu E_б\, d\, l \cdot 10^{-6}$, кг	$3 + m'\left(\frac{h}{l}\right)^2$	$D_п \cdot 10^{-6}$ по формуле (30), кг
П4	318	240	32	0,75	14,13	254,4	10,92	23,23
П7	318	256	14	0,8	22,72	445,2	17,54	25,38
П9	318	220	14	0,7	24,64	442,2	15,07	29,54

Результаты вычислений изгибной жесткости B приведены в табл. 15.

б) Сдвиговая жесткость панелей $D_п$ без проемов (П4, П7, П9, рис. 21) вычислялась по формуле (30) при следующих характеристиках панелей: керамзитобетонных (П4) — $E_б = 50\,000$ кг/см^2; $\nu = 0{,}5$; бетонных (П7, П9) — $E_б = 200\,000$ кг/см^2; $\nu = 0{,}5$. Результаты вычислений приводятся в табл. 16. Сдвиговая жесткость фризовых панелей П5 в расчете не учитывается, так

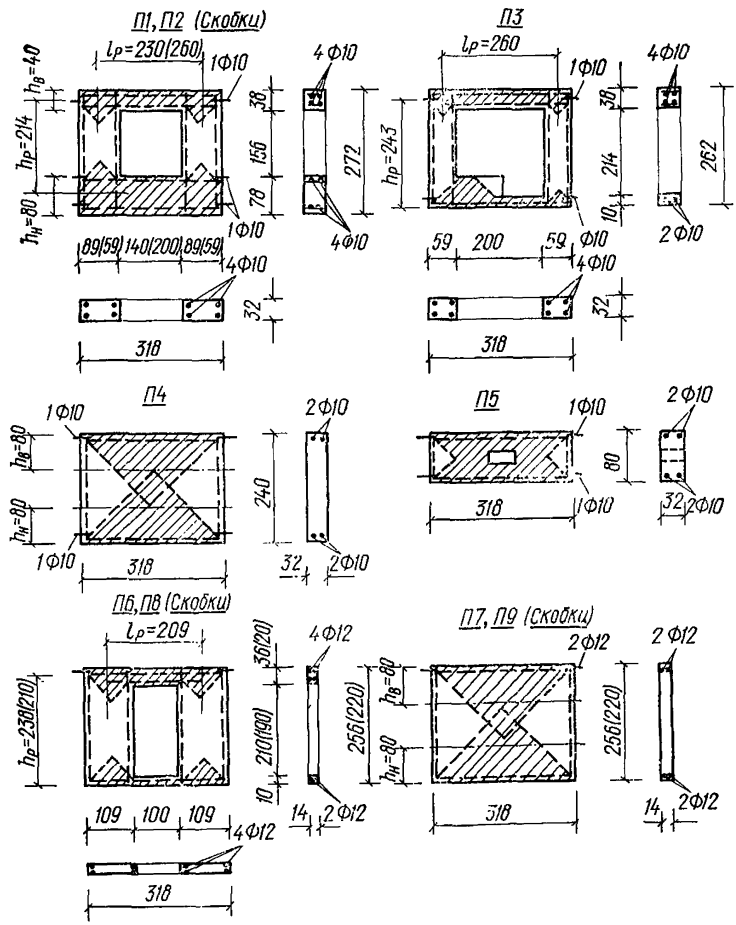


Рис. 21. Конструкция, армирование и зоны влияния связей (штриховка) панелей наружных (П1—П5) и внутренних (П6—П9) стен

как они не влияют на сдвиговую жесткость пятого этажа.

в) Средняя горизонтальная сдвиговая жесткость одной обобщенной панели $D_{ср}$ рассматриваемого этажа наружной по оси *А* и внутренней по оси *Б* стен вычислялась по формуле (36).

Результаты вычислений приведены в табл 17.

Таблица 17

Стена по оси	Этаж	Панель	n_i, ед.	$D_п \cdot 10^{-6}$, кг	$D_п n_i \cdot 10^{-6}$, кг	$D_{ср} \cdot 10^{-6}$ по формуле (36), кг
А	2—5	П1	6	7,34	44,04	4,41
		П2	10	4,12	41,2	
		П3	4	0,75	3,0	
	1	П1	6	7,34	44,04	5,09
		П2	14	4,12	57,68	
	Цоколь	П4	20	23,23	464,6	23,23
Б	1—5	П6	12	2,1	25,2	11,4
		П7	8	25,38	203,04	
	Цоколь	П8	16	0,43	6,88	6,3
		П9	4	29,54	118,16	

г) Суммарная горизонтальная сдвиговая жесткость обобщенных панелей стен по осям *А*, *Б* и *В* рассматриваемого этажа определялась по формуле (38), где по указанной выше причине принимается $D_{ср(А)}=D_{ср(В)}$.

Результаты вычислений приводятся в табл. 18.

Таблица 18

Этаж	По табл. 17			$D_{эт} \cdot 10^{-6}$ по формуле (38), кг
	$D_{ср\,(А)} \cdot 10^{-6}$, кг	$D_{ср\,(Б)} \cdot 10^{-6}$, кг	$D_{ср\,(В)} \cdot 10^{-6}$, кг	
5	4,41	11,4	4,41	20,21
2—4	4,41	11,4	4,41	20,21
1	5,02	11,4	5,09	20,57
Цоколь	23,23	6,3	23,23	52,75

4. Приведенные высоты этажей и здания

Приведенная высота этажа h_0 определялась по формуле (40), где $A_{эт}$ и $D_{эт}$ принимались по табл. 13 и 18, $l_{ср}=318$ см вычислялась по формуле (42).

Приведенная высота здания H_0 вычислялась по формуле (48).

Результаты вычислений h_0 и H_0 приводятся в табл. 19.

Таблица 19

Этаж	h, см	$\frac{h}{l_{ср}}$	$A_{эт} \cdot 10^{-7}$ (табл. 13), кг	$D_{эт} \cdot 10^{-6}$ (табл. 18), кг	$\gamma = \frac{A_{эт}}{D_{эт}} \frac{h}{l_{ср}}$	h_0 по формуле (40), см	H_0 по формуле (48), см
5	272	0,85	9,39	20,21	3,95	318	1753
2—4	272	0,85	9,30	20,21	3,91	315	
1	272	0,85	8,94	21,57	3,52	302	
Цоколь	240	0,7	8,84	52,76	1,17	188	

Расчетное отношение длины к высоте здания равно $L/H_0 = 6400/1753 = 3{,}6$.

5. Расчет температурных усилий в стенах и перекрытиях здания как квазиизотропной пластинки

а) Температурные усилия в наружной (по оси $А$) и внутренней (по оси $Б$) продольных стенах и перекрытиях определялись по формулам (58) — (60) и (62). Расчетные значения коэффициентов n_m в формулах принимались по табл. 1 как для пластинки с отношением сторон $L/H = 3{,}5$. Промежуточные значения n_m находились интерполяцией.

Расчетные значения средней податливости этажа стен и перекрытий $\lambda_п^{эт}$, $\lambda_в^{эт} = \lambda_{п(Б)}^{т}$ и $\lambda_к^{эт}$ принимались по табл. 12; приведенная податливость перекрытий $\lambda_к^{пр}$ вычислялась по формуле (63).

Расчетные значения коэффициентов температурного расширения конструкции равны:

наружных стен $\alpha_п = 0{,}8 \cdot 10^{-5}$ 1/°С;

внутренних стен и перекрытий $\alpha_к = \alpha_в = 10^{-5}$ 1/°С.

Приведенная средняя температура внутренних конструкций (продольные стены и перекрытия) по формуле (64) при $\Delta t_к = \Delta t_в$ равна $\Delta t_к^{пр} = -35$°С.

Результаты вычислений температурных усилий в наружной $N_{п(А)}$ и внутренней $N_{п(Б)}$ стенах и перекрытиях $N_к$ посередине здания и в двух крайних столбцах панелей приведены в табл. 20.

Максимальные растягивающие усилия в стенах равны:

Таблица 20

Координаты точки $\frac{x}{L}$	Координаты точки $\frac{y}{H}$	Этаж	n_m	Податливость, 1/кг, по табл. 12: $\lambda_{п}^{эт}\cdot10^7$	$\lambda_{в}^{эт}\cdot10^7$	$\lambda_{к}^{эт}\cdot10^7$	$\lambda_{к}^{пр}\cdot10^7$ по формуле (63), 1/кг	$\frac{n_m \alpha_п \Delta t_п}{\lambda_п^{эт}}$ при $\Delta t_п = -50°C$, кг	$\frac{n_m \alpha_к \Delta t_к^{пр}}{\lambda_к^{пр}}$ при $\Delta t_к^{пр} = -35°C$, кг	ΔN_m по формуле (62), кг	Продольные усилия, кг: стены по осям $N_п(А)$ по формуле (58)	стены по осям $N_в(Б)$ по формуле (59)	перекрытия $N_к$ по формуле (60)
0	1	5	0,491	0,85	1,08	0,16	0,147	2310	11691	224	2534	1450	9781
	0,82	4	0,52	0,91	0,65	0,18	0,141	2286	12908	201	2487	2714	9755
	0,64	3	0,585	0,91	0,65	0,18	0,141	2571	14521	174	2745	3076	11055
	0,46	2	0,665	0,91	0,65	0,18	0,141	2923	16507	140	3063	3521	12657
	0,28	1	0,765	1,09	0,65	0,18	0,141	2807	18990	86	2894	4084	14678
	0,11	Ц	0,87	0,99	0,79	0,18	0,146	3515	20856	51	3566	3860	16894
0,1	1	5	0,461	0,85	1,08	0,16	0,147	2169	10976	238	2407	1354	9135
	0,82	4	0,495	0,91	0,65	0,18	0,141	2176	12287	212	2388	2574	9253
	0,64	3	0,56	0,91	0,65	0,18	0,141	2461	13901	185	2646	2936	10554
	0,46	2	0,645	0,91	0,65	0,18	0,141	2835	16011	149	2984	3410	12256
	0,28	1	0,75	1,09	0,65	0,18	0,141	2752	18617	91	2843	4000	14379
	0,11	Ц	0,865	0,99	0,79	0,18	0,146	3495	20737	53	3548	3837	16794
0,4	1	5	0,094	0,85	1,08	0,16	0,147	442	2238	399	841	186	1253
	0,82	4	0,145	0,91	0,65	0,18	0,141	637	3599	359	996	625	2247
	0,64	3	0,2	0,91	0,65	0,18	0,141	879	4965	336	1215	932	3348
	0,46	2	0,275	0,91	0,65	0,18	0,141	1208	6826	304	1512	1349	4850
	0,28	1	0,425	1,09	0,65	0,18	0,141	1560	10550	209	1769	2199	7903
	0,11	Ц	0,69	0,99	0,79	0,18	0,146	2788	16541	121	2909	3032	13267
0,45	1	5	0,041	0,85	1,08	0,16	0,147	193	976	423	616	17	113
	0,82	4	0,075	0,91	0,65	0,18	0,141	330	1862	388	718	236	847
	0,64	3	0,1	0,91	0,65	0,18	0,141	439	2482	377	816	375	1348
	0,46	2	0,14	0,91	0,65	0,18	0,141	615	3475	361	976	597	2147
	0,28	1	0,235	1,09	0,65	0,18	0,141	862	5833	279	1141	1145	4114
	0,11	Ц	0,51	0,99	0,79	0,18	0,146	2060	12226	191	2251	2203	9641
0,5	1	5	0	0,85	1,08	0,16	0,147	0	0	441	441	—114	—767
	0,82	4	0	0,91	0,65	0,18	0,141	0	0	419	419	—182	—654
	0,64	3	0	0,91	0,65	0,18	0,141	0	0	419	419	—182	—654
	0,46	2	0	0,91	0,65	0,18	0,141	0	0	419	419	—182	—654
	0,28	1	0	1,09	0,65	0,18	0,141	0	0	364	364	—158	—568
	0,11	Ц	0	0,99	0,79	0,18	0,146	0	0	390	390	—145	—635

наружная стена по оси $А$ — $N_{щ(А)}=3566$ кг;
внутренняя по оси $Б$ — $N_{в\,(Б)}=4084$ кг.

Соответствующие максимальные растягивающие напряжения в арматуре стеновых панелей равны:

наружная стена ($F_{а,\,н}=4{,}71$ см^2, А-III, табл. 12)

$$\sigma_а = 3566/4{,}71 = 750 \text{ кг/см}^2 < R_а = 3400 \text{ кг/см}^2;$$

внутренняя стена ($F_{а,\,в}=4{,}52$ см^2, А-III, табл. 12);

$$\sigma_а = 4084/4{,}52 = 905 \text{ кг/см}^2 < R_а = 3400 \text{ кг/см}^2.$$

Допустимые усилия в связях стыков панели:

наружная стена (3 петлевые связи $\varnothing$ 10 с неприваренными скобами) по СН 321-65, табл. 10

$$N^{св}_{доп} = 3 \cdot 1100 \cdot 1{,}1 = 3 \cdot 1210 = 3630 \text{ кг} > N_{п\,(А)} = 3566 \text{ кг};$$

внутренняя стена (2 сварные стержневые связи $\varnothing$ 12, Ст3)

$$N^{св}_{доп} = 2\ (2100 \cdot 1{,}13) = 2 \cdot 2370 = 4740 \text{ кг} > N_{в\,(Б)} = 4084 \text{ кг}.$$

Таким образом, принятое армирование панелей и стыков является достаточным и усиления панелей и стыков наружных и внутренних стен не требуется.

Максимальное растягивающее усилие в плитах перекрытий равно: $N_к=16\,894$ кг или $q_к=N_к/B=16\,894:9{,}6=1760$ кг/м.

Максимальное растягивающее напряжение в арматуре плит ($F_а=2{,}52$ см^2/м, А-III)

$$\sigma_а = 1760/2{,}52 \approx 700 \text{ кг/см}^2 < R_а = 3400 \text{ кг/см}^2.$$

Усиления армирования плит не требуется.

б) Сдвигающие усилия в горизонтальных швах S_m и в стеновых панелях Q_m двух крайних столбцов наружной стены, где они достигают наибольших значений, определяются по формулам (67)—(69). Значения $N_{m,\,п}$ и $N_{m,\,к}$ приняты по табл. 20, коэффициенты $\psi=D_{ср(i)}/D_{эт}$ вычислены по данным табл. 18.

Результаты вычисления S_m и Q_m приводятся в табл. 21.

в) Максимальные изгибающие моменты в верхней $M_{m,\,в}$ и нижней $M_{m,\,н}$ перемычках стеновых панелей с проемом определялись по формулам (70) и (71), для которых было принято (табл. 15):

панель П1 $m=0{,}23$; $h_р=214$ см;
панель П2 $m=0{,}327$; $h_р=214$ см;
панель П3 $m=1$; $h_р=243$ см.

Результаты вычислений приводятся в табл. 21.

Таблица 21

Столбец панелей x/L	Этаж	Панель	$\psi = \frac{D_{ср\,(A)}}{D_{эт}}$ (табл. 17,18)	Продольные усилия по табл. 20, кг						$S^{п}_{m}$, кг	$Q^{п}_{m}$, кг	$M_{m,\,в}$, кгм	$M_{m,\,н}$, кгм
				стены			перекрытия						
				$N_{m,\,п}$	$N_{m+1,\,п}$	$N_{m,\,п} - N_{m+1,\,п}$	$N_{m,\,к}$	$N_{m+1,\,к}$	$(N_{m,\,к} - N_{m+1,\,к})\,\psi$				
0,4—0,45	5	П3	0,22	841	616	225	125	113	273	0	498	605	0
	4	П3	0,22	966	718	248	2247	847	309	498	1055	1282	0
	3	П3	0,22	1215	816	399	3348	1348	440	1055	1894	2301	0
	2	П3	0,22	1512	976	536	4850	2147	594	1894	3024	3674	0
	1	П2	0,25	1769	1141	628	7903	4114	947	3024	4599	1955	2966
	Ц	—	0,44	2909	2251	658	13267	9641	1595	4599	6852	—	—
0,45—0,5	5	П1	0,22	616	441	175	113	—767	194	0	369	91	304
	4	П1	0,22	718	419	299	847	—654	330	369	998	245	822
	3	П1	0,22	816	419	397	1348	—654	440	998	1835	451	1512
	2	П1	0,22	976	419	557	2147	—654	616	1835	3008	740	2479
	1	П1	0,25	1141	364	777	4114	—568	1170	3008	4955	1219	4083
	Ц	—	0,44	2251	390	1861	9641	—635	4521	4955	11337	—	—

г) Усилие в наружной стене лестничной клетки $N_{л,п}$, расположенной в осях *13—14* ($x/L=0{,}1$, рис. 20), определяется по формуле (74), в которой принято: $\alpha_п=0{,}8\cdot10^{-5}$1/°C; $\Delta t_п=-50$°C.

Значения n_m, $\lambda_п^{эт}$ приведены в табл. 22.

$t_{ср.сут}^{мин}=-32$ °C; $t_в^н=18$ °C по формуле (77):

$$\Delta t_л=0{,}5\,[0{,}3\,(-32)-0{,}3\cdot18+5]=-5\ °C;$$

$$b_л=480\ см;\quad B=960\ см.$$

Результаты вычисления $N_{л,п}$ приводятся в табл. 22. Вычисление производится в двух приближениях.

В первом приближении полагаем $\lambda_{л,п}=\lambda_п^{эт}$. В этом случае усилия $N_{л,п}$ для 1—3 этажей (табл. 22) оказались больше предельно допустимого усилия на 3 петлевые связи стыка ($N_{доп}^{св}=3630$ кг) Армирование стыков наружных панелей лестничной клетки необходимо усилить.

Усиление достигается укладкой в горизонтальных швах панелей 1—3 этажей арматуры 3Ø8, А-II ($F_а=1{,}51$ см^2) с заводкой концов арматуры на 60 см в швы соседних панелей (анкеровка).

Во втором приближении находим усилия $N_{л,п}$ при новых значениях $\lambda_{л,п}$. Новые значения $\lambda_{л,п}$ вычисляются по формуле (3)

$$\lambda_{л,п}=\frac{1}{1/\lambda_п^{эт}+E_а F_{а\ (ус)}}=\frac{1}{1/\lambda_п^{эт}+21\cdot10^5\cdot1{,}51}.$$

Результаты вычисления приводятся в табл. 22.

Предельно допустимое усилие на стык после усиления равно:

$$N_{доп}^{св}=3630+1{,}51\cdot2400=7250\ кг,$$

что удовлетворяет требованиям прочности.

6. *Температурные перемещения торцов здания*

Температурные перемещения торцов здания u_m определялись по формуле (78) при $\Delta t_п=-50$°C и $\Delta t_к^{пр}=-35$°C.

Соответствующие значения коэффициентов k_m для 1—5 этажей определялись по табл. 2 для точек с относительной координатой $x/L=0{,}5$ пластинки с отношением сторон $L/H=3{,}5$.

Результаты вычисления перемещений торцов приводятся в табл. 23.

Таблица 22

Приближение	$\frac{y}{H}$	Этаж	n_m	$\lambda_{п}^{эт} \cdot 10^7$, 1/кг	$\lambda_{л,\ п} \cdot 10^7$, 1/кг	$A = \left(\frac{\Delta t_{п}}{\lambda_{п}^{эт}} + \frac{\Delta t_{л}}{\lambda_{л,\ п}}\right) \times 10^{-7}$, кг·°С	$n_m \alpha_{п} A$, кг	N_{m}, к (табл. 20), кг	$\Delta N_{л,\ п} = N_{m,к} \frac{b_{л}}{2B}$, кг	Расчетные усилия $N_{л,\ п}$ по формуле (74), кг	Допустимые усилия $N_{доп}^{св}$, кг
I	1	5	0,461	0,85	0,85	64,71	2933	9 135	5267	4670	3630
	0,82	4	0,495	0,91	0,91	63,74	3155	9 253	5468	4837	
	0,64	3	0,56	0,91	0,91	63,74	3569	10 554	6207	5493	
	0,46	2	0,645	0,91	0,91	63,74	4111	12 256	7175	6353	
	0,28	1	0,75	1,09	1,09	50,46	3784	14 379	7482	6726	
II	1	5	0,461	0,85	0,67	66,26	3054	9 135	5338	4728	7250
	0,82	4	0,495	0,91	0,71	62	3069	9 253	5382	4768	
	0,64	3	0,56	0,91	0,71	62	3472	10 554	6110	5416	
	0,46	2	0,645	0,91	0,71	62	3999	12 256	7063	6263	
	0,28	1	0,75	1,09	0,81	52	3900	14 379	7598	6818	

Таблица 23

Координаты точки $\frac{x}{L}$	Координаты точки $\frac{y}{H}$	Этаж	k_m по табл. 2	По табл. 20: $\lambda_п \cdot 10^2$, 1/кг	По табл. 20: $\lambda^{пр}_к \cdot 10^2$, 1/кг	$(\lambda_п + \lambda^{пр}_к) \cdot 10^2$, 1/кг	$a = \lambda^{пр}_к \alpha_п \Delta t_п \times 10^{12}$, 1/кг	$b = \lambda_п \alpha_к \Delta t^{пр}_к \times 10^{12}$, 1/кг	$\frac{L}{2} \frac{a+b}{\lambda_п + \lambda^{пр}_к}$, см	Перемещения торцов u_m по формуле (78), см
0,5	1	5	0,7	0,85	0,284	1,134	—11,36	—29,75	—1,16	—0,81
	0,82	4	0,65	0,91	0,282	1,192	—11,28	—31,85	—1,16	—0,75
	0,64	3	0,6	0,91	0,282	1,192	—11,28	—31,85	—1,16	—0,7
	0,46	2	0,5	0,91	0,282	1,192	—11,28	—31,85	—1,16	—0,58
	0,28	1	0,37	1,09	0,282	1,372	—11,28	—38,15	—1,16	—0,42

7. Расчет температурных усилий в стенах и перекрытиях здания как системы горизонтальных составных стержней

Произведем расчет рассмотренного выше крупнопанельного жилого дома с поперечными несущими стенами методом горизонтальных составных стержней, используя полученные выше жесткостные характеристики: среднюю продольную жесткость расчетного сечения этажа (стержня) $A_{эт}$ по табл. 13 и суммарную горизонтальную сдвиговую жесткость обобщенных панелей этажа $D_{эт}$ по табл. 18. Используя данные табл. 18, определим погонную сдвиговую жесткость стеновых панелей этажа по формуле (80), которая после преобразования имеет вид:

$$\varepsilon_{эт} = \frac{1}{L h_{эт}} \sum_{1}^{n} D_i = \frac{D_{эт}}{l_{ср} h_{эт}} .$$

Результаты вычислений $\varepsilon_{эт}$, а также ранее вычисленные значения продольных $A_{эт}$ и сдвиговых $D_{эт}$ жесткос-

Таблица 24

Этаж k	$A_{эт} \cdot 10^{-7}$ по табл. 13, кг	$\lambda_{эт} \cdot 10^7$ по формуле (24), 1/кг	$D_{эт} \cdot 10^{-6}$ по табл. 18, кг	$l_{ср}$, см	$h_{эт}$, см	$\varepsilon_{эт}$ по формуле (80), кг/см²
5 (фриз)	9,39	0,1064	20,21	318	272	233,64
2—4	9,30	0,1075	20,21	318	272	233,64
1	8,94	0,1118	20,57	318	272	237,80
0 (цоколь)	8,84	0,1131	52,76	318	240	694,48

тей расчетных сечений этажей приводятся в табл. 24. Расчетная схема жилого дома как горизонтального составного стержня приведена на рис. 22. Продольные усилия в стержнях (этажах) $N_к = N_{эт}$ находим из решения системы дифференциальных уравнений (87).

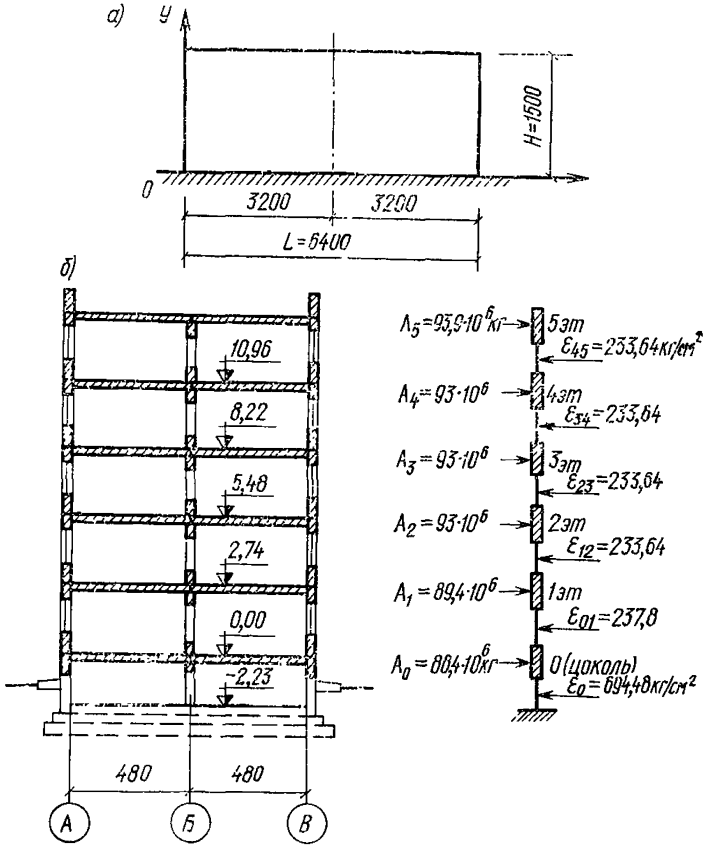


Рис. 22. Расчетная схема жилого дома с поперечными несущими стенами как горизонтального составного стержня

а — схема здания; *б* — расчетная схема здания как горизонтального составного стержня

Коэффициенты при неизвестных a_{ik} вычисляются по формулам (88), где $[EF]_k = A_k = A_{эт,k}$:

$$a_{54} = \frac{\varepsilon_{45}}{A_4} = \frac{233,64}{93\cdot10^6} = 2,51\cdot10^{-6}\ 1/см^2;$$

$$a_{55} = \frac{\varepsilon_{45}+\varepsilon_{56}}{A_5} = \frac{233,64+0}{93,9\cdot10^6} = 2,49\cdot10^{-6}\ 1/см^2;$$

$$a_{43}=\frac{\varepsilon_{34}}{A_3}=\frac{233,64}{93\cdot10^6}=2,51\cdot10^{-6}\ 1/\text{см}^2;$$

$$a_{44}=\frac{\varepsilon_{34}+\varepsilon_{45}}{A_4}=\frac{233,64+233,64}{93\cdot10^6}=5,02\cdot10^{-6}\ 1/\text{см}^2;$$

$$a_{45}=\frac{\varepsilon_{45}}{A_5}=\frac{233,4}{93,9\cdot10^6}=2,49\cdot10^{-6}\ 1/\text{см}^2;$$

$$a_{23}=\frac{\varepsilon_{23}}{A_2}=\frac{233,64}{93\cdot10^6}=2,51\cdot10^{-6}\ 1/\text{см}^2;$$

$$a_{33}=\frac{\varepsilon_{23}+\varepsilon_{34}}{A_3}=\frac{233,64+233,64}{93\cdot10^6}=5,02\cdot10^{-6}\ 1/\text{см}^2;$$

$$a_{34}=\frac{\varepsilon_{34}}{A_4}=\frac{233,64}{93\cdot10^6}=2,51\cdot10^{-6}\ 1/\text{см}^2;$$

$$a_{21}=\frac{\varepsilon_{12}}{A_1}=\frac{233,64}{89,4\cdot10^6}=2,61\cdot10^{-6}\ 1/\text{см}^2;$$

$$a_{22}=\frac{\varepsilon_{12}+\varepsilon_{23}}{A_2}=\frac{233,64+233,64}{93\cdot10^6}=5,02\cdot10^{-6}\ 1/\text{см}^2$$

$$a_{32}=\frac{\varepsilon_{23}}{A_3}=\frac{233,64}{93\cdot10^6}=2,51\cdot10^{-6}\ 1/\text{см}^2;$$

$$a_{10}=\frac{\varepsilon_{01}}{A_0}=\frac{237,8}{88,4\cdot10^6}=2,69\cdot10^{-6}\ 1/\text{см}^2;$$

$$a_{11}=\frac{\varepsilon_{01}+\varepsilon_{12}}{A_1}=\frac{237,8+233,64}{89,4\cdot10^6}=5,27\cdot10^{-6}\ 1/\text{см}^2;$$

$$a_{12}=\frac{\varepsilon_{12}}{A_2}=\frac{233,4}{93\cdot10^6}=2,51\cdot10^{-6}\ 1/\text{см}^2;$$

$$a_{00}=\frac{\varepsilon_0+\varepsilon_{01}}{A_0}=\frac{694,48+237,8}{88,4\cdot10^6}=10,55\cdot10^{-6}\ 1/\text{см}^2;$$

$$a_{01}=\frac{\varepsilon_{01}}{A_1}=\frac{237,8}{89,4\cdot10^6}=2,66\cdot10^{-6}\ 1/\text{см}^2.$$

Коэффициенты a_{tk} вычислялись по формуле (88а):

$$a_{t0}=-\varepsilon_0\,\alpha_{\text{п}}\,\Delta\,t_{\text{эт}}^{(\text{п})}=-694,48\cdot0,8\cdot10^{-5}\,(-45)=$$

$$=250\,013\cdot10^{-6}\ \text{кг/см}^2;$$

$$a_{t1}=a_{t2}=a_{t3}=a_{t4}=a_{t5}=0,$$

где $t_{\text{эт}}^{(\text{п})}=-45°\text{C}$ — приведенная к показателям наружных стен («п») средняя температура расчетного сечения этажа; определяется по формуле

$$\Delta t_{эт}^{(п)} = \frac{\lambda_к^{пр}\,\Delta t_п + \lambda_к^{пр}\,\frac{\alpha_к}{\alpha_п}\,\Delta t_к^{пр}}{\lambda_п^{пр} + \lambda_к^{пр}} =$$

$$= \frac{\lambda_к^{пр}\,(-50) + \lambda_к^{пр}\,\frac{1}{0{,}8}\,(-35)}{\lambda_п^{пр} + \lambda_к^{пр}} = -\frac{50\,\lambda_к^{пр} + 43{,}75\,\lambda_п^{пр}}{\lambda_п^{пр} + \lambda_к^{пр}}.$$

Результаты вычисления $t_{эт}^{п}$ с использованием $\lambda_п^{эт}$ и $\lambda_к^{пр}$ по табл. 20, принимая $\lambda_п^{пр} = \lambda_п^{эт}/2$ (две наружные стены), приводятся в табл. 25.

Таблица 25

Этаж	По табл. 20		$\lambda_п^{пр}\cdot 10^7$, 1/кг	$50\,\lambda_к^{пр}\cdot 10^7$, град/кг	$43{,}75\,\lambda_п^{пр}\times$ $\times 10^7$, град/кг	$\left(\lambda_п^{пр}+\lambda_к^{пр}\right)\times$ $\times 10^7$, 1/кг	$\Delta t_{эт}^{(п)}$, °С
	$\lambda_п^{эт}\cdot 10^7$, 1/кг	$\lambda_к^{пр}\cdot 10^7$, 1/кг					
5	0,85	0,147	0,42	7,35	18,38	0,567	—45,4
2—4	0,91	0,141	0,45	7,05	19,69	0,591	—45,2
1	1,09	0,141	0,55	7,05	24,06	0,691	—45
0 (цоколь)	0,99	0,146	0,5	7,30	21,88	0,646	—45,2

Система дифференциальных уравнений после подстановки численных значений коэффициентов a_{ik} и a_{tk} имеет вид:

$$10^6\,N_0'' - 10{,}55\,N_0 + 2{,}66\,N_1 = -250013$$

$$2{,}69\,N_0 + 10^6\,N_1'' - 5{,}27\,N_1 + 2{,}51\,N_2 = 0$$

$$2{,}61\,N_1 + 10^6\,N_2'' - 5{,}02\,N_2 + 2{,}51\,N_3 = 0$$

$$2{,}51\,N_2 + 10^6\,N_3'' - 5{,}02\,N_3 + 2{,}51\,N_4 = 0$$

$$2{,}51\,N_3 + 10^6\,N_4'' - 5{,}02\,N_4 + 2{,}49\,N_5 = 0$$

$$2{,}51\,N_4 + 10^6\,N_5'' - 2{,}49\,N_5 = 0$$

Решение этой системы ищем подстановкой трех членов ряда (89), т. е.

$$N_k = \sum_{i=1}^{3} b_{ik} \sin \lambda_i x.$$

По формуле (90):

$$\lambda_1 = \frac{(2i-1)\pi}{L} = \frac{\pi}{L} = \frac{3{,}14}{6400} = 4{,}9 \cdot 10^{-4}\ 1/\text{см};$$

$$\lambda_1^2 = 24{,}07 \cdot 10^{-8}\ 1/\text{см}^2;$$

$$\lambda_2 = \frac{3\pi}{L} = 14{,}7 \cdot 10^{-4}\ 1/\text{см};\quad \lambda_2^2 = 216{,}09 \cdot 10^{-8}\ 1/\text{см}^2;$$

$$\lambda_3 = \frac{5\pi}{L} = 24{,}5 \cdot 10^{-4}\ 1/\text{см};\quad \lambda_3^2 = 600{,}25 \cdot 10^{-8}\ 1/\text{см}^2.$$

Таблица 26

i	k	b_{i0}	b_{i1}	b_{i2}	b_{i3}	b_{i4}	b_{i5}	γ_{ik}
1	0	—10,79	2,66					—318488
	1	2,69	—5,51	2,51				0
	2		2,61	—5,26	2,51			0
	3			2,51	—5,26	2,51		0
	4				2,51	—5,26	2,49	0
	5					2,51	—2,73	0
2	0	—12,71	2,66					—106163
	1	2,69	—7,43	2,51				0
	2		2,61	—7,18	2,51			0
	3			2,51	—7,18	2,51		0
	4				2,51	—7,18	2,49	0
	5					2,51	—4,65	0
3	0	—16,55	2,66					—63698
	1	2,69	—11,27	2,51				0
	2		2,61	—11,02	2,51			0
	3			2,51	—11,02	2,51		0
	4				2,51	—11,02	2,49	0
	5					2,51	—8,49	0

Значения γ_{ik} по формуле (93) равны:
для $k=0$

$$\gamma_{10}=\frac{4\cdot 250\,013}{1\cdot 3,14}=318\,488 \text{ кг/см}^2;$$

$$\gamma_{20}=106\,163 \text{ кг/см}^2; \quad \gamma_{30}=63\,698 \text{ кг/см}^2;$$

для $k=1, 2, 3, 4, 5$

$$\gamma_{ik}=0.$$

При подстановке трех членов ряда (89) система дифференциальных уравнений преобразуется в три вспомо-

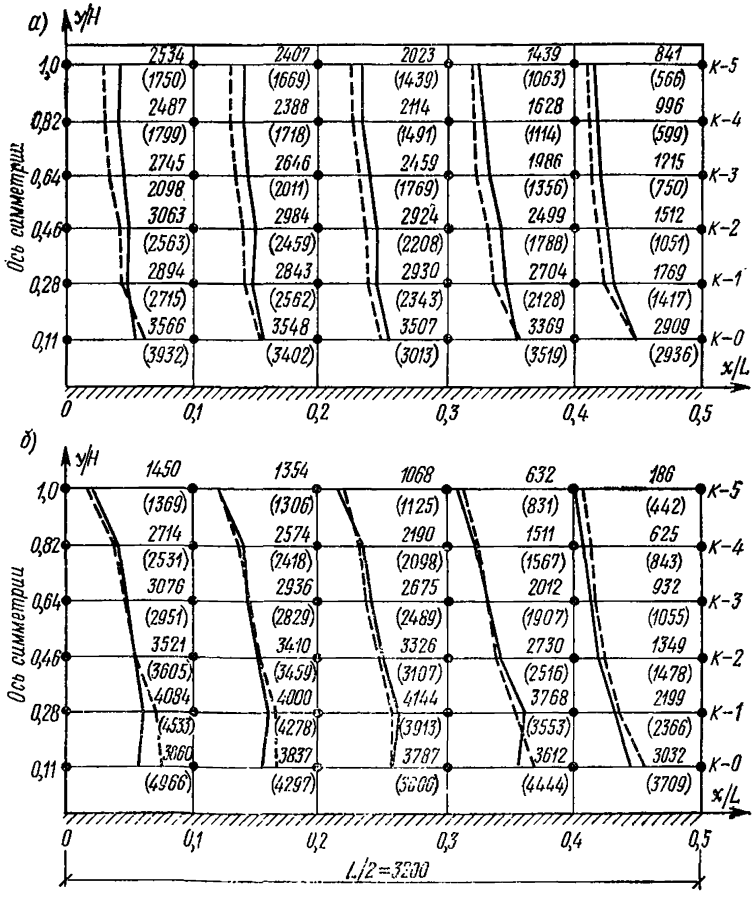


Рис. 23. Сопоставление результатов расчета крупнопанельного жилого дома с поперечными несущими стенами на температурные воздействия методом пластинки (сплошные линии) и методом горизонтальных составных стержней (пунктир, скобки)

а — стена по оси *А*; *б* — стена по оси *Б*

гательных системы алгебраических уравнений вида (92). Матрица коэффициентов b_{ik} и γ_{ik} приводится в табл. 26.

Результаты вычислений на ЭВМ коэффициентов b_{1k}, b_{2k}, b_{3k} и суммарной продольной силы в этажах (стержнях) $N_k(x)=N_{эт}(x)$ по формуле (89) для сечений с координатами $x_1=0{,}1L$; $x_2=0{,}2L$; $x_3=0{,}3L$; $x_4=0{,}4L$ и $x_5=0{,}5L$ приводятся в табл. 27.

В табл. 27 приводятся также продольные усилия в наружной стене по оси $А$—$N_{п(А)}$ и внутренней продольной стене по оси $Б$ — $N_{в(Б)}$, которые определялись по формуле (97):

$$N_{п(А)} = N_{эт}(x)\ \frac{A_{п(А)}}{A_{эт}};$$

$$N_{в(Б)} = N_{эт}(x)\ \frac{A_{в(Б)}}{A_{эт}},$$

где значения $A_{п(А)}$, $A_{в(Б)}$ и $A_{эт}$ принимались по данным табл. 13.

На рис. 23 показаны эпюры продольных сил N в наружной стене по оси $А$ и во внутренней по оси $Б$, вычисленные двумя разными способами: методом квазиизотропных пластинок (сплошные линии) и методом горизонтальных составных стержней (пунктир, скобки). Как видно, в обоих случаях для всех сечений были получены сходные результаты.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ПРИМЕР РАСЧЕТА НА ДЕЙСТВИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КРУПНОПАНЕЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА С ПРОДОЛЬНЫМИ НЕСУЩИМИ СТЕНАМИ

Конструкции

Здание пятиэтажное с продольными несущими стенами II типа длиной 72 м, шириной 12 м и высотой 15,9 м (рис. 24). Район строительства — г. Москва.

Наружные и внутренние стены и цоколь выполняются из керамзитобетонных панелей толщиной 32 см (наружные) и 27 см (внутренние). Марка керамзитобетона 50, $E_б=50\ 000$ кг/см^2, $\alpha=0{,}8\cdot10^{-5}$ 1/°С.

Конструкция, размеры, армирование и зоны влияния связей (штриховка) наружных (П1—П7) и внутренних (П8—П10) панелей и плиты перекрытия (К1) показаны на рис. 25.

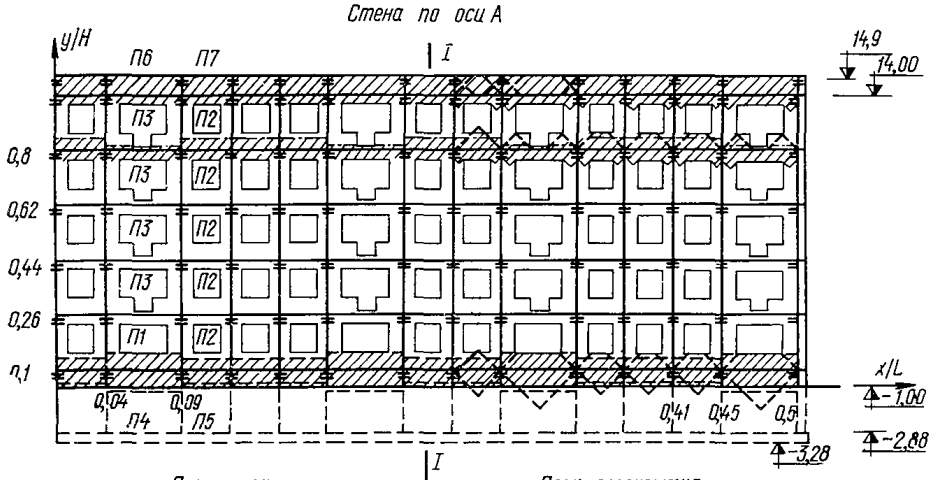
Таблица 27

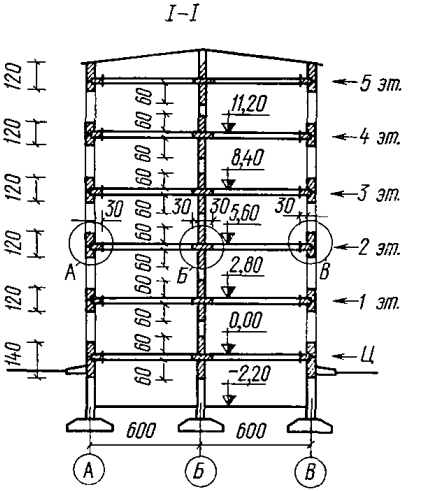
Стержень k	Точка x_j	$i=1$			$i=2$			$i=3$			$N_{эт}=N_k(x)=\Sigma n_i$	По формуле (97)	
		b_{1k}	$\sin \lambda_1 x_j$	n_1	b_{2k}	$\sin \lambda_2 x_j$	n_2	b_{3k}	$\sin \lambda_3 x_j$	n_3		$N_{п(А)}$, кг	$N_{в(Б)}$, кг
0	x_1	37 230	0,31	11 541	9367	0,81	7587	6627	1	6627	25 755	2936	3709
	x_2	37 230	0,59	21 966	9367	0,95	8899	6627	0	0	30 865	3519	4444
	x_3	37 230	0,81	30 156	9367	0,31	2904	6627	—1	—6627	26 433	3013	3806
	x_4	37 230	0,95	35 368	9367	—0,59	—5526	6627	0	0	29 842	3402	4297
	x_5	37 230	1	37 230	9367	—1	—9367	6627	1	6627	34 490	3932	4966
1	x_1	28 640	0,31	8 878	3959	0,81	3206	1675	1	1675	13 759	1417	2366
	x_2	28 640	0,59	16 898	3959	0,95	3761	1675	0	0	20 659	2128	3553
	x_3	28 640	0,81	23 198	3959	0,31	1227	1675	—1	—1675	22 750	2343	3913
	x_4	28 640	0,95	27 208	3959	—0,59	—2335	1675	0	0	24 873	2562	4278
	x_5	28 640	1	28 640	3959	—1	—3959	1675	1	1675	26 356	2715	4533
2	x_1	22 980	0,31	7 124	1681	0,81	1362	420	1	420	8 906	1051	1478
	x_2	22 980	0,59	13 558	1681	0,95	1597	420	0	0	15 155	1788	2516
	x_3	22 980	0,81	18 614	1681	0,31	521	420	—1	—420	18 715	2208	3107
	x_4	22 980	0,95	21 831	1681	—0,59	—992	420	0	0	20 839	2459	3459
	x_5	22 980	1	22 980	1681	—1	—1681	420	1	420	21 719	2563	3605

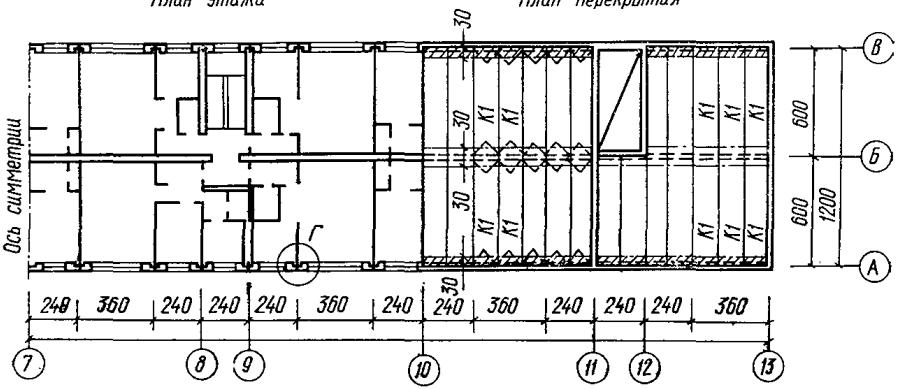
Продолжение табл. 27

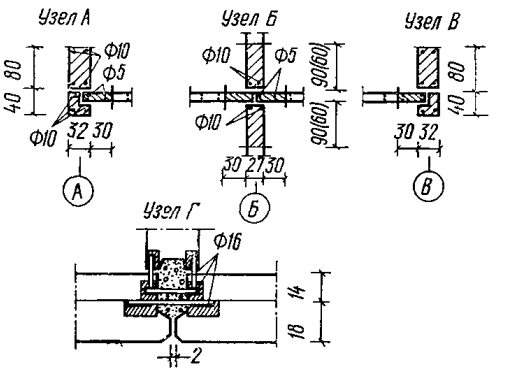
Стержень k	Точка x_j	$i=1$			$i=2$			$i=3$			$N_{эт}=N_k(x)=\Sigma n_i$	По формуле (97)	
		b_{1k}	$\sin \lambda_1 x_j$	n_1	b_{2k}	$\sin \lambda_2 x_j$	n_2	b_{3k}	$\sin \lambda_3 x_j$	n_3		$N_{п(А)}$, кг	$N_{в(Б)}$, кг
3	x_1	18 370	0,31	5 695	692	0,81	560	101	1	101	6 356	750	1055
	x_2	18 370	0,59	10 838	692	0,95	657	101	0	0	11 495	1356	1907
	x_3	18 370	0,81	14 880	692	0,31	214	101	—1	—101	14 993	1769	2489
	x_4	18 370	0,95	17 452	692	—0,59	—408	101	0	0	17 044	2011	2829
	x_5	18 370	1	18 370	692	—1	—692	101	1	101	17 779	2098	2951
4	x_1	15 520	0,31	4 811	297	0,81	240	25	1	25	5 076	599	843
	x_2	15 520	0,59	9 157	297	0,95	282	25	0	0	9 439	1114	1567
	x_3	15 520	0,81	12 571	297	0,31	92	25	—1	—25	12 638	1491	2098
	x_4	15 520	0,95	14 744	297	—0,59	—175	25	0	0	14 569	1719	2418
	x_5	15 520	1	15 520	297	—1	—297	25	1	25	15 248	1799	2531
5	x_1	14 270	0,31	4 424	160	0,81	130	7	1	7	4 561	566	442
	x_2	14 270	0,59	8 419	160	0,95	152	7	0	7	8 571	1063	831
	x_3	14 270	0,81	11 559	160	0,31	50	7	—1	—7	11 602	1439	1125
	x_4	14 270	0,95	13 556	160	—0,59	—94	7	0	0	13 462	1669	1306
	x_5	14 270	1	14 270	160	—1	—160	7	1	7	14 117	1750	1369

Примечание. $n_i = b_{ik} \sin i x_j$.


Стена по оси А
y/H
П6
П7
I
14,9
14,00
0,8
0,62
0,44
0,26
0,1
П3
П2
П1
0,04
0,09
П4
П5
0,41
0,45
0,5
x/L
1,00
2,88
3,28


I–I
5 эт.
4 эт.
3 эт.
2 эт.
1 эт.
Ц
11,20
8,40
5,60
2,80
0,00
-2,20
120
60
30
140
600
А
Б
В


План этажа
План перекрытия
Ось симметрии
Г
К1
30
600
1200
240
360
7
8
9
10
11
12
13


Узел А
Узел Б
Узел В
Узел Г
Ф10
Ф5
Ф16
80
40
32
30
27
90(60)
14
18
2

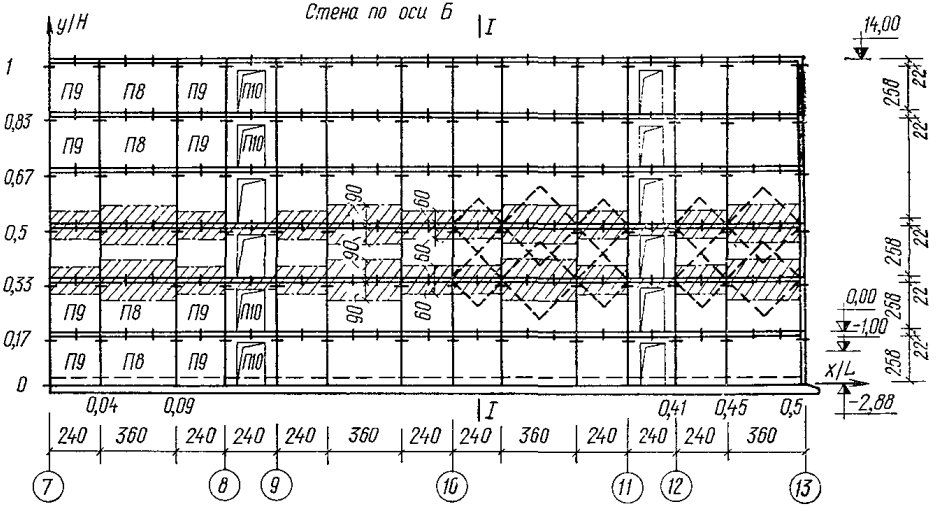


Рис. 24. Расчетная схема крупнопанельного жилого дома II типа с продольными несущими стенами

Цокольные панели проемов не имеют.

Продольные и поперечные связи стеновых панелей сварные ∅ 12 и 16 мм (рис. 24).

Плиты перекрытия сборные железобетонные. Настилы с круглыми пустотами шириной 120 см опираются на наружные и внутреннюю продольные стены. Марка бетона плит 200, $\alpha = 10^{-5}$ 1/°С.

Расчетные температуры конструкций

Расчет конструкций здания производится на наиболее неблагоприятный случай работы конструкций — растяжение, которое возникает при понижении их температуры в зимний период при одновременном действии усадки.

За расчетные значения приведенной средней температуры сечения конструкций принимаются:

для наружных стен $\Delta t_{\text{н}} = -50$°С;

внутренних стен и перекрытий $\Delta t_{\text{в}} = -35$°С.

Жесткостные характеристики

1. Продольная податливость стен и перекрытий (индексы: стены «п», *перекрытий* «к», *связи* «с»)

Размеры, армирование расчетных сочетаний стеновых панелей, плит перекрытий и их стыков в пределах каждого этажа приводятся в табл. 28. Примеры расчетных сочетаний стеновых панелей расчетного сечения этажа (пояса) для наружной стены по оси *А* и внутренней по оси *Б* показаны на рис. 24 (заштриховано).

Значения коэффициентов приведенной податливости элементов стен $c_{\text{п}}$ и перекрытий $c_{\text{к}}$ вычислялись по формуле (10) с учетом выражений (11) и (17).

Результаты вычислений $c_{\text{п(к)}}$ приводятся в табл. 28.

При вычислении коэффициентов $c_{\text{п}}$ и $c_{\text{к}}$ принимались:

а) для наружной стены: $l_{\text{п}} = 220$ и 340 см; $l_{\text{с}} = 20$ см; для сварных связей по формуле (19) $\lambda_{\text{с}} = 0{,}48 \cdot 10^{-5}$ см/кг;

б) для внутренней стены: $l_{\text{п}} = 230$ и 350 см; $l_{\text{с}} = 10$ см;

для сварных связей по формуле (19) $\lambda_{\text{с}} = 0{,}42 \cdot 10^{-5}$ см/кг;

в) для плит перекрытий: $l_{\text{к}} = 115$ см, $l_{\text{с}} = 0$ (продольные связи отсутствуют).

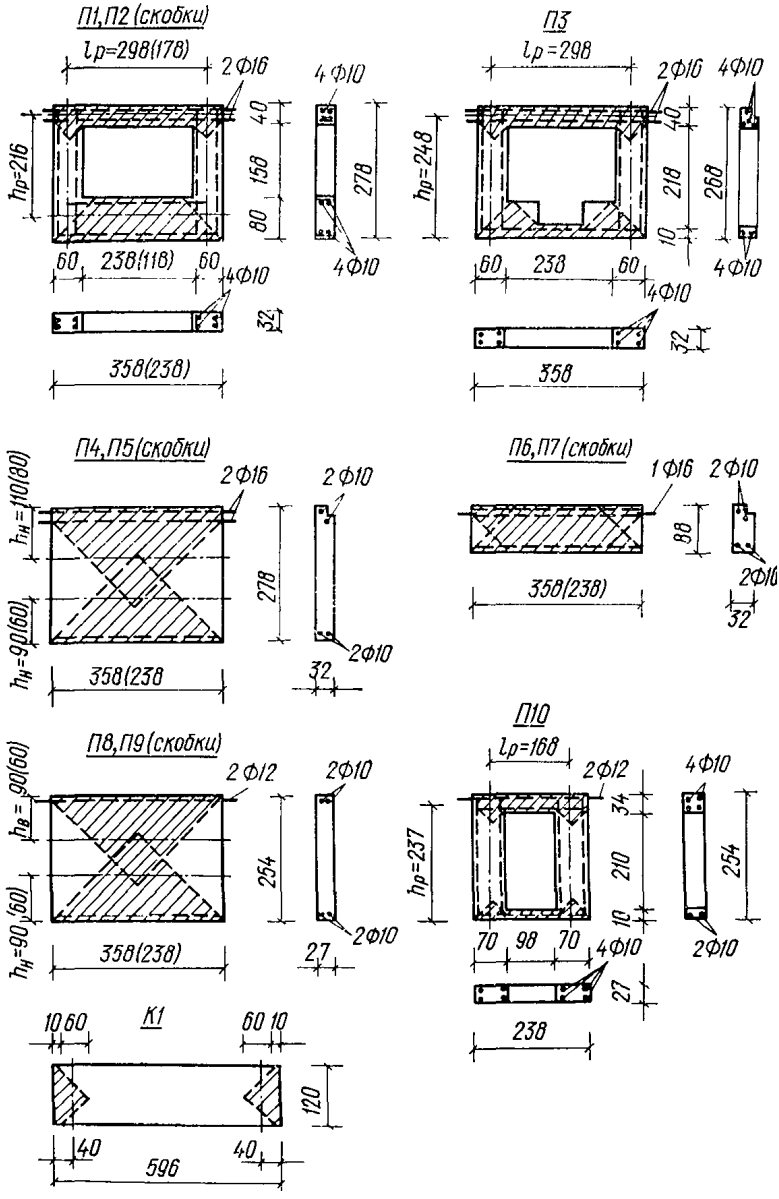


Рис. 25. Конструкция, армирование и зоны влияния связей (штриховка) панелей наружных (П1—П7) и внутренних (П8—П10) стен и плиты перекрытия (К1)

Таблица 28

Конструкция (рис. 24)	Этаж	Сочетание элементов на длине l_m	l_m, см	Панель (п) плита (к)				Связи (с)			$C_{п(к)} \cdot 10^5$ по формуле (10), см/кг	Количество элементов на этаж n_l	$A^{эт}_{п(к)} \cdot 10^{-7}$	$\lambda^{эт}_{п(к)} \cdot 10^7$
				$l_{п(к)}$, см	n Ø, мм	F_a, см²	$\frac{0{,}7\, l_{п(к)} \cdot 10^5}{E_a F_a}$, см/кг	m_c Ø, мм	$m_c F_a$, см²	$\frac{(l_c+5)\cdot 10^5}{m_c E_a F_a}$			по формуле	
													(21), кг	(22), 1/кг
Стена по оси *А*	5 (фриз)	П2—П7	240	220	8 Ø 10	6,28	1,17	3 Ø 16	6,03	0,16	1,33	18	1,817	0,55
		П3—П6	360	340	8 Ø 10	6,28	1,80	3 Ø 16	6,03	0,16	1,96	8		
	2—4	П2—П2	240	220	6 Ø 10	4,71	1,56	2 Ø 16	4,02	0,24	1,80	18	1,345	0,74
		П3—П3	360	340	6 Ø 10	4,71	2,40	2 Ø 16	4,02	0,24	2,64	8		
	1	П2—П2	240	220	6 Ø 10	4,71	1,56	2 Ø 16	4,02	0,24	1,80	18	1,345	0,74
		П1—П3	360	340	6 Ø 10	4,71	2,40	2 Ø 16	4,02	0,24	2,64	8		
	Цоколь (Ц)	П2—П5	240	220	6 Ø 10	4,71	1,56	2 Ø 16	4,02	0,24	1,80	18	1,141	0,88
		П1—П4	360	340	4 Ø 10	3,14	3,60	2 Ø 16	4,02	0,24	3,84	8		
Стена по оси *Б*	1—5, подвал	П8—П8	360	350	4 Ø 10	3,14	3,71	2 Ø 12	2,26	0,21	3,92	8	0,95	1,05
		П9—П9	240	230	4 Ø 10	3,14	2,44	2 Ø 12	2,26	0,21	2,65	14		
		П10—П10	240	230	6 Ø 10	4,71	1,63	2 Ø 12	2,26	0,21	1,84	4		
Перекрытие по оси *А*	Тс же	К1	120	115	4 Ø 5	0,79	4,86	—	—	—	4,86	60	0,247	4,05
Перекрытие по оси *Б*	»	К1	120	115	8 Ø 5	1,57	2,43	—	—	—	2,43	60	0,494	2,02

Расчетные значения средней жесткости и податливости расчетного сечения стен каждого этажа $A_{п}^{эт}$, $\lambda_{п}^{эт}$ и перекрытий $A_{к}^{эт}$, $\lambda_{к}^{эт}$ вычислялись по формулам (21) и (22) с учетом полученных значений $c_{п(к)}$.

Результаты вычислений приводятся в табл. 28.

2. *Средняя жесткость расчетного сечения этажа*

Средняя жесткость расчетного сечения этажа $A_{эт}$ для стен по осям *А* и *Б* вычислялась как для здания II типа по формуле (26).

Таблица 29

Стена по оси (рис. 24)	Этаж	По табл. 28		$A_{эт}\cdot10^{-7}$ по формуле (26), кг
		$A_{п}^{эт}\cdot10^{-7}$, кг	$A_{к}^{эт}\cdot10^{-7}$, кг	
А	5 (фриз)	1,817	0,247	2,064
	2—4	1,345	0,247	1,592
	1	1,345	0,247	1,592
	Цоколь (Ц)	1,141	0,247	1,388
Б	1—5, подвал	0,95	0,494	1,444

3. *Сдвиговая жесткость стеновой панели и этажа*

а) Сдвиговая жесткость стеновых панелей с проемом (П1, П2, П3 и П10, рис. 25) вычислялась по формуле (31). Результаты вычислений приводятся в табл. 30.

Таблица 30

Панель (рис. 25)	$l_р$, см	$h_р$, см	По табл. 31, кг·см²			По формуле (34)			m	$n\cdot10^{8}$	$\frac{D_п}{10^{-6}}\times$
			$B_в\cdot10^{-8}$	$B_н\cdot10^{-8}$	$B_с\cdot10^{-8}$	$i_в\cdot10^{8}$	$i_н\cdot10^{8}$	$i_с\cdot10^{8}$	по формуле		
						1/кг·см			(33)	(32) 1/кг·см	(31), кг
П1	298	216	53,3	432,8	182,8	5,6	0,69	1,63	0,35	2,018	2,77
П2	178	216	53,3	432,8	182,8	3,34	0,41	0,97	0,35	1,201	4,66
П3	298	248	53,3	—	182,8	5,6	—	1,63	1	8,86	0,54
П10	168	237	29	—	256	5,8	—	0,93	1	7,66	0,66

Изгибная жесткость *В* перемычек и простенков панелей вычислялась по формуле (28) при следующих характеристиках бетона панелей: $E_б=50\,000$ кг/см², $n=E_а/E_б=42$, толщина защитного слоя $a=a'=5$ см, $F_а=1{,}57$ см². Результаты вычислений изгибной жесткости *В* приведены в табл. 31.

Таблица 31

Панель (рис. 25)	Сечение, см		h_0, см	F'_a, см²	$0{,}1\,d\,h_0^3 \times \times 10^{-6}$, см⁴	$1{,}1\,h_0 \times (h_0 - a') \times nF_a \cdot 10^{-6}$, см⁴	$B \cdot 10^{-8}$ по формуле (28), кг·см²
	d	h					
П1, П2,	32	40	35	1,57	0,137	0,076	53,3
П3	32	60	55	1,57	0,532	0,199	182,8
	32	80	75	1,57	1,35	0,381	432,8
П10	27	34	29	1,57	0,066	0,050	29
	27	70	65	1,57	0,741	0,283	256

б) Сдвиговая жесткость панелей $D_п$ без проемов (П4, П5, П8, П9, рис. 25) вычислялась по формуле (30) при следующих характеристиках керамзитобетона $E_б = 50\,000$ кг/см²; $\nu = 0{,}5$.

Результаты вычислений приводятся в табл. 32.

Таблица 32

Панель (рис. 25)	l, см	h, см	d, см	$\frac{h}{l}$	$m' = 11 + \frac{0{,}03\,\nu E_б}{h}$	$\nu E_б d l \times \times 10^{-6}$, кг	$3 + m' \times \left(\frac{h}{l}\right)^2$	$D_п \cdot 10^{-6}$ по формуле (30), кг
П4	358	278	32	0,78	13,7	286	11,33	25,24
П5	238	278	32	1,17	13,7	190	21,75	8,74
П8	358	254	27	0,71	13,95	242	10,03	24,13
П9	238	254	27	1,07	13,95	161	18,97	8,49

Сдвиговые жесткости фризовых панелей П6 и П7 в расчете не учитываются, так как они не влияют на сдвиговую жесткость пятого этажа.

в) Средняя горизонтальная сдвиговая жесткость одной обобщенной панели $D_{ср}$ рассматриваемого расчетного сечения этажа (рис. 24, узлы *А*, *Б*, *В*) стен по осям *А* и *Б* вычислялась по формуле (36).

г) Суммарная горизонтальная сдвиговая жесткость обобщенных панелей рассматриваемых стен $D_{эт}$ для зданий II типа в соответствии с формулой (39) равна средней жесткости, т. е. для стен по осям *А*, *Б* и *В* соблюдается условие $D_{эт} = D_{ср}$.

Результаты вычисления $D_{ср} = D_{эт}$ по формулам (36) и (39) приводятся в табл. 33.

Таблица 33

Стена по оси	Этаж	Панель	n_i, ед.	$D_п \cdot 10^{-6}$, кг	$D_п n_i \times 10^{-6}$, кг	$D_{ср} \cdot 10^{-6}$ по формуле (36), кг	$D_{эт} \cdot 10^{-6}$ по формуле (39), кг
А	2—5	П2	18	4,66	83,88	3,39	3,39
		П3	8	0,54	4,32		
	1	П1	8	2,77	22,16	4,08	4,08
		П2	18	4,66	83,88		
	Цоколь (Ц)	П4	8	25,24	201,92	13,82	13,82
		П5	18	8,74	157,32		
Б	1—5, подвал	П8	8	24,13	193,04	12,1	12,1
		П9	14	8,49	118,86		
		П10	4	0,66	2,64		

4. Приведенная высота этажей и стены

Приведенная высота этажа h_0 для стен *А* и *Б* определялась по формуле (40), где $A_{эт}$ и $D_{эт}$ принимались по табл. 29 и 33. $l_{ср}$ определялось по формуле (42)

$$l_{ср} = \frac{1}{26}\,(370 \cdot 8 + 240 \cdot 18) = 277 \text{ см}.$$

Приведенная высота стены H_0 вычислялась по формуле (48).

Результаты вычислений h_0 и H_0 для стен *А* и *Б* приводятся в табл. 34.

Таблица 34

Стена при $l_{ср}$ = 277 см по оси	Этаж	h, см	$\frac{h}{l_{ср}}$	$A_{эт} \cdot 10^{-6}$, кг	$D_{эт} \cdot 10^{-6}$, кг	$\gamma = \frac{A_{эт}}{D_{эт}} \times \frac{h}{l_{ср}}$	h_0 по формуле (40), см	H_0 по формуле (48), см
А	5	278	1	2,064	3,39	6,09	327	1641
	2—4	278	1	1,592	3,39	4,7	296	
	1	278	1	1,592	4,08	3,9	274	
	Цоколь	278	1	1,388	13,82	1	152	
Б	5	254	0,915	1,444	12,1	1,19	163	978
	1—4, подвал	254	0,915	1,444	12,1	1,19	163	

Расчетные отношения длины к высоте стен:
по оси $А$ $L/H_0=7200/1641=4{,}4$;
по оси $Б$ $L/H_0=7200/978=7{,}4$.

5. Температурные усилия в стенах по осям А и Б

а) Температурные усилия в наружной по оси $А$ и внутренней оси $Б$ стенам определяются по формуле (66).

Расчетные значения коэффициентов n_m в формуле принимались по табл. 1 для наружной стены по оси $А$ как для пластинки с отношением сторон $L/H=4{,}5$; для внутренней стены по оси $Б$ как для пластинки с отношением $L/H=7{,}5$.

Численные значения коэффициентов приводятся в табл. 35 и 36.

Таблица 35

Координаты точки $\frac{x}{L}$	$\frac{y}{H}$	Этаж	n_m по табл. 1	Податливость $1/кг$ по табл. 28 $\lambda_п^{эт}\cdot 10^7$	$\lambda_к^{эт}\cdot 10^7$	$\frac{n_m \alpha_п \Delta t_п}{\lambda_п^{эт}}$; $\Delta t_п=-50°$, кг	$\frac{n_m \alpha_к \Delta t_к}{\lambda_к^{эт}}$; $\Delta t_к=-35°$, кг	$N_{п(А)}$ по формуле (66), кг
0	1	5	0,686	0,55	4,05	4988	593	5581
	0,8	4	0,705	0,74	4,05	3811	609	4420
	0,62	3	0,740	0,74	4,05	4000	640	4640
	0,44	2	0,790	0,74	4,05	4270	683	4953
	0,26	1	0,855	0,74	4,05	4622	739	5361
	0,1	Ц	0,915	0,88	4,05	4159	791	4950
0,09	1	5	0,654	0,55	4,05	4756	565	5321
	0,80	4	0,680	0,74	4,05	3676	588	4264
	0,62	3	0,720	0,74	4,05	3892	622	4514
	0,44	2	0,775	0,74	4,05	4189	670	4859
	0,26	1	0,845	0,74	4,05	4567	730	5297
	0,10	Ц	0,905	0,88	4,05	4114	782	5896
0,41	1	5	0,154	0,55	4,05	1120	133	1253
	0,80	4	0,220	0,74	4,05	1189	190	1379
	0,62	3	0,285	0,74	4,05	1540	246	1786
	0,44	2	0,375	0,74	4,05	2027	324	2351
	0,26	1	0,545	0,74	4,05	2946	471	3417
	0,10	Ц	0,755	0,88	4,05	3432	652	4084
0,45	1	5	0,067	0,55	4,05	487	58	545
	0,80	4	0,105	0,74	4,05	567	91	658
	0,62	3	0,140	0,74	4,05	756	121	877
	0,44	2	0,200	0,74	4,05	1081	173	1254
	0,26	1	0,320	0,74	4,05	1730	276	2006
	0,10	Ц	0,610	0,88	4,05	2772	527	3299

Таблица 36

Координаты точки $\frac{x}{L}$	$\frac{y}{H_0}$	Этаж	n_m по табл. 1	Податливость в 1/кг по табл. 28 $\lambda_в^{эт}\cdot 10^7$	$\lambda_к^{эт}\cdot 10^7$	$\frac{n_m \alpha_в \Delta t_в}{\lambda_в^{эт}}$, $\Delta t_в = -35°$, кг	$\frac{n_m \alpha_к \Delta t_к}{\lambda_к^{эт}}$, $\Delta t_к = -35°$, кг	$\Delta N_{в\,(Б)}$ по формуле (66)
0	1	5	0,88	1,05	2,02	2347	1525	3872
	0,83	4	0,89	1,05	2,02	2373	1542	3915
	0,67	3	0,90	1,05	2,02	2400	1559	3959
	0,5	2	0,91	1,05	2,02	2427	1577	4004
	0,33	1	0,93	1,05	2,02	2480	1611	4091
	0,17	Ц	0,96	1,05	2,02	2560	1663	4223
0,09	1	5	0,86	1,05	2,02	2293	1490	3783
	0,83	4	0,87	1,05	2,02	2320	1507	3827
	0,67	3	0,88	1,05	2,02	2347	1524	3874
	0,5	2	0,91	1,05	2,02	2427	1577	4004
	0,33	1	0,93	1,05	2,02	2480	1611	4091
	0,17	Ц	0,95	1,05	2,02	2533	1644	4177
0,45	1	5	0,12	1,05	2,02	320	208	528
	0,83	4	0,17	1,05	2,02	453	295	748
	0,67	3	0,22	1,05	2,02	587	381	968
	0,5	2	0,28	1,05	2,02	747	485	1232
	0,33	1	0,38	1,05	2,02	1013	658	1698
	0,17	Ц	0,58	1,05	2,02	1547	495	2042

Расчетные значения средней податливости этажа стен и перекрытий $\lambda_п^{эт}$, $\lambda_в^{эт}$ и $\lambda_к^{эт}$ принимались по табл. 28.

Расчетные значения коэффициентов температурного расширения стен $\alpha_{п(в)}=0{,}8\cdot 10^{-5}$ 1/град, перекрытий $\alpha_к=10^{-5}$ 1/град.

Результаты вычисления температурных усилий в наружной стене приведены в табл. 35, во внутренней — в табл. 36.

Максимальные растягивающие усилия в стенах равны:

наружная стена $N_{п(А)}=5361$ кг; внутренняя $N_{в(Б)}=4223$ кг.

Соответствующие максимальные растягивающие напряжения в арматуре стеновых панелей равны:

наружная стена ($F_{а,п}=4{,}71$ см^2, А-II, табл. 28)

$$\sigma_а = 5361/4{,}71 = 1130 \text{ кг/см}^2 < R_а = 2700 \text{ кг/см}^2;$$

внутренняя стена ($F_{а,п}=3{,}14$ см^2, А-II, табл. 28)

$$\sigma_а = 4223/3{,}14 = 1350 \text{ кг/см}^2 < R_а = 2700 \text{ кг/см}^2.$$

Допустимые усилия в сварных связях стыков панелей:

наружные стены (2∅16, Ст3)

$$N_{\text{доп}}^{\text{св}} = 2\ (2100 \cdot 2{,}01) = 2 \cdot 4200 = 8400\ \text{кг} > N_{\text{п}} = 5361\ \text{кг};$$

внутренние стены (2∅12, Ст3)

$$N_{\text{доп}}^{\text{св}} = 2\ (2100 \cdot 1{,}13) = 2 \cdot 2370 = 4740\ \text{кг} > N_{\text{в}} = 4223\ \text{кг}.$$

Таким образом, принятое в проекте армирование стыков и панелей наружных и внутренних стен является достаточным и усиление не требуется.

б) Сдвигающие усилия в горизонтальных швах S_m и в стеновых панелях Q_m двух крайних столбцов наружной стены, где эти силы достигают максимальных значений, определялись по формулам (67) и (69).

Значения N_m приняты по табл. 35 и показаны на рис. 26.

Результаты вычисления S_m и Q_m приводятся в табл. 37.

в) Максимальные изгибающие моменты в верхней $M_{m,\text{в}}$ и нижней $M_{m,\text{н}}$ перемычках стеновых панелей с проемом определялись по формулам (70) и (71), для которых было принято (табл. 30):

панель П1 $m = 0{,}35$; $h_{\text{р}} = 216$ см;
панель П2 $m = 0{,}35$; $h_{\text{р}} = 216$ см;
панель П3 $m = 1$; $h_{\text{р}} = 248$ см.

Результаты вычислений приводятся в табл. 37.

Таблица 37

Столбец панелей $\frac{x}{L}$	Этаж	Усилия по табл. 9			$S_m^{\text{п}}$, кг	$Q_m^{\text{п}}$, кг	$M_{m,\text{в}}$, кг·м	$M_{m,\text{н}}$, кг·м
		$N_{m,\text{п}}$, кг	$N_{m+1,\text{п}}$, кг	$N_{m,\text{п}} - N_{m+1,\text{п}}$, кг				
0,41—0,45	5	1253	545	708	0	708	268	497
	4	1379	658	721	708	1429	540	1003
	3	1786	877	909	1429	2338	884	1641
	2	2351	1254	1097	2338	3435	1298	2411
	1	3417	2006	1411	3435	4846	1832	3402
	Ц	4084	3299	785	4846	5631	—	—
0,45—0,5	5	545	0	545	0	545	676	0
	4	658	0	658	545	1203	1492	0
	3	877	0	877	1203	2080	2579	0
	2	1254	0	1254	2080	3334	4134	0
	1	2006	0	2006	3334	5340	2019	3749
	Ц	3299	0	2399	5340	8639	—	—

6. *Температурные перемещения торцов здания*

Температурные перемещения торцов наружных стен u_m определяются по формуле (79) при $\Delta t_п = -50°C$ и $\Delta t_к = -35°C$.

Соответствующие значения коэффициентов k_m для 1—5 этажей определялись по табл. 2 для точек с относительной координатой $x/L = 0{,}5$ пластинки с отношением сторон $L/H = 4{,}5$.

Результаты вычислений перемещений торцов приводятся в табл. 38.

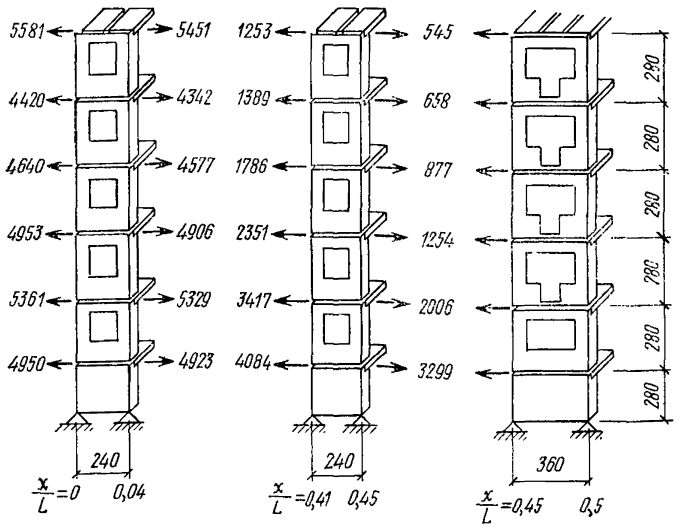


Рис. 26. Температурные усилия (*кг*) в стеновых панелях

Таблица 38

Координаты точки		Этаж	k_m по табл. 2	По табл. 35		$(\lambda_п + \lambda_к)\cdot 10^7$, 1/кг	$a = \lambda_к \alpha_п \Delta t_п \cdot 10^{12}$, 1/кг	$b = \lambda_п \alpha_к \Delta t_к \cdot 10^{12}$, 1/кг	$\frac{L}{2}\frac{a+b}{\lambda_п+\lambda_к}$, см	Перемещения торцов u_m по формуле (79), см
$\frac{x}{L}$	$\frac{y}{H}$			$\lambda_п \cdot 10^7$, 1/кг	$\lambda_к \cdot 10^7$, 1/кг					
0,5	1	5	0,57	0,55	4,05	4,6	162	—19,25	—1,42	—0,81
	0,80	4	0,53	0,74	4,05	4,79	162	—25,9	—1,41	—0,75
	0,62	3	0,47	0,74	4,05	4,79	162	—25,9	—1,41	—0,66
	0,44	2	0,39	0,74	4,05	4,79	162	—25,9	—1,41	—0,55
	0,28	1	0,29	0,74	4,05	4,79	162	—26,9	—1,41	—0,41

ПРИМЕР РАСЧЕТА НА ДЕЙСТВИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КРУПНОПАНЕЛЬНОГО ЗДАНИЯ С ПРОДОЛЬНЫМИ НЕСУЩИМИ СТЕНАМИ КАК ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СОСТАВНОГО СТЕРЖНЯ

Конструкции здания

В качестве примера рассматривается расчет 7-секционного 5-этажного жилого дома, длина которого составляет 168,7 м, высота 13,3 м (без парапета), а ширина в осях 11,8 м. Конструкции жилой секции дома и узлов сопряжения панелей см. на рис. 27.

Здание имеет три продольные несущие стены, сборные железобетонные перекрытия «на комнату», опертые на продольные стены.

Наружные стены состоят из панелей «на комнату» толщиной 40 см из керамзитобетона марки 50.

Внутренняя продольная стена состоит из панелей толщиной 25 см из керамзитобетона марки 75. Конструкции панелей наружных и внутренних стен показаны на рис. 28.

Фундаменты продольных стен свайные из железобетонных свай сечением 35×35 см и сборных железобетонных фундаментных балок из бетона марки 200.

Основанием служат пластичные супеси. Расчет здания ведется на понижение температуры конструкций, которое имеет место при строительстве зимой. Расчетное значение средней температуры сечения наружных и внутренних стен и перекрытий принято равным $\Delta t = -40{,}7°C$.

Жесткостные характеристики

В соответствии с п. 3.3 здание рассматривается как пространственная система горизонтальных стержней, состоящая из 18 ветвей, соединенных связями сдвига (рис. 29).

1. Приведенная продольная жесткость ветвей

Приведенная продольная жесткость ветвей $[EF]_k$ наружных и внутренней стен определяется по формуле (5) как для последовательно соединенных элементов. Жесткость отдельных панелей и их связей определяется по формулам (11) и (19).

Поскольку секции симметричны и одинаковы, за расчетную длину l для определения приведенных

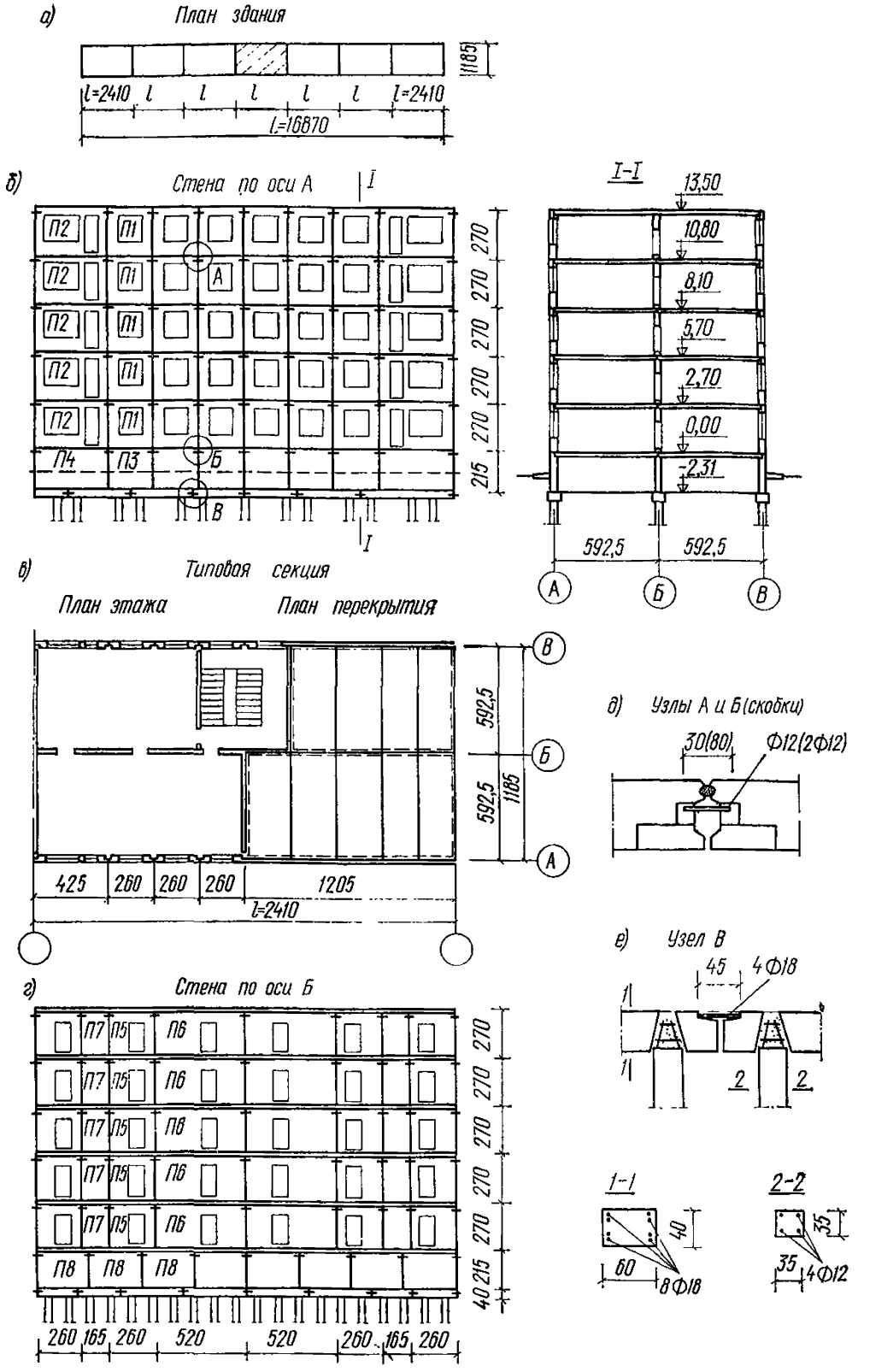


Рис. 27. Крупнопанельный жилой дом с продольными несущими стенами на свайном основании

а — схема блокировки типовых секций; *б* — стена типовой секции по оси *А*; *в* — планы этажа и перекрытия секции; *г* — стена типовой секции по оси *Б*; *д* — узлы *А* и *Б* (вертикальные стыки наружных стен); *е* — узел *В* (стык рандбалки)

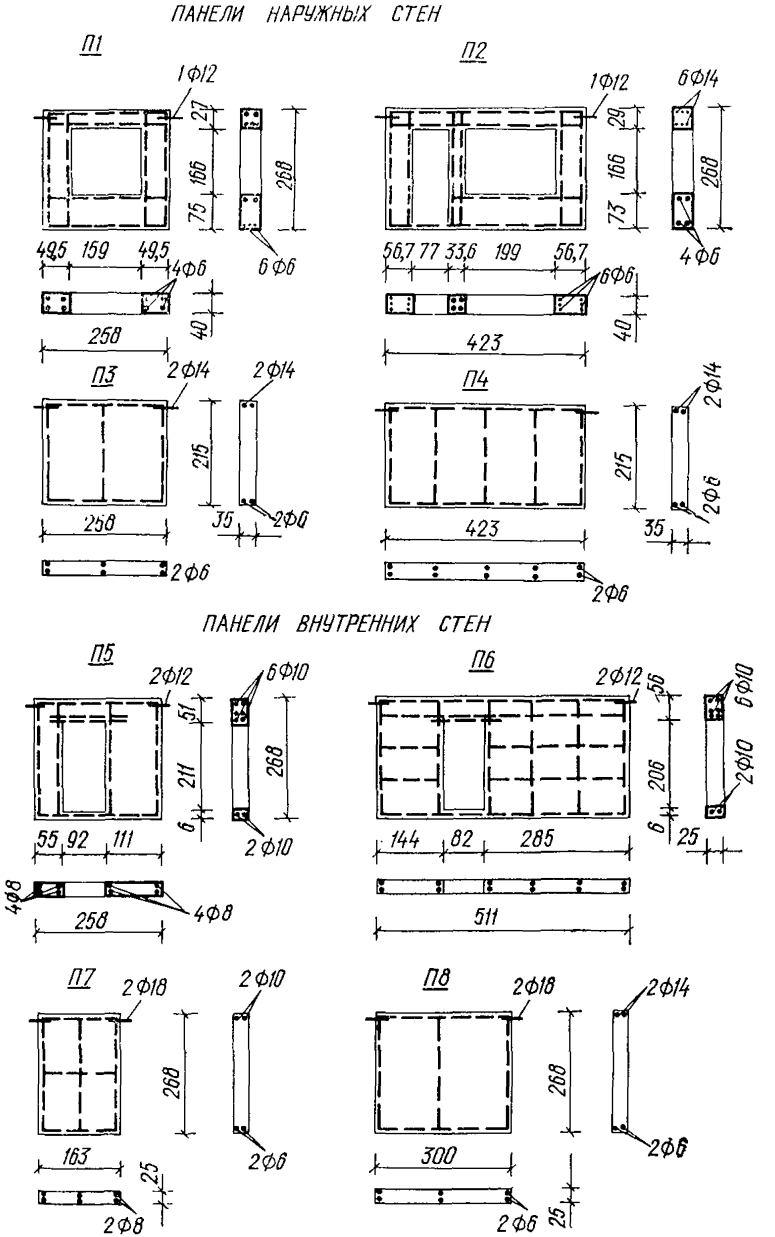


Рис. 28. Конструкция, армирование панелей наружных (П1—П4) и внутренних (П5—П8) стен

жесткостных характеристик принимаем длину типовой полусекции $l=1205$ см. Продольные жесткости ветвей приведены в табл. 39 и на расчетной схеме рис. 29.

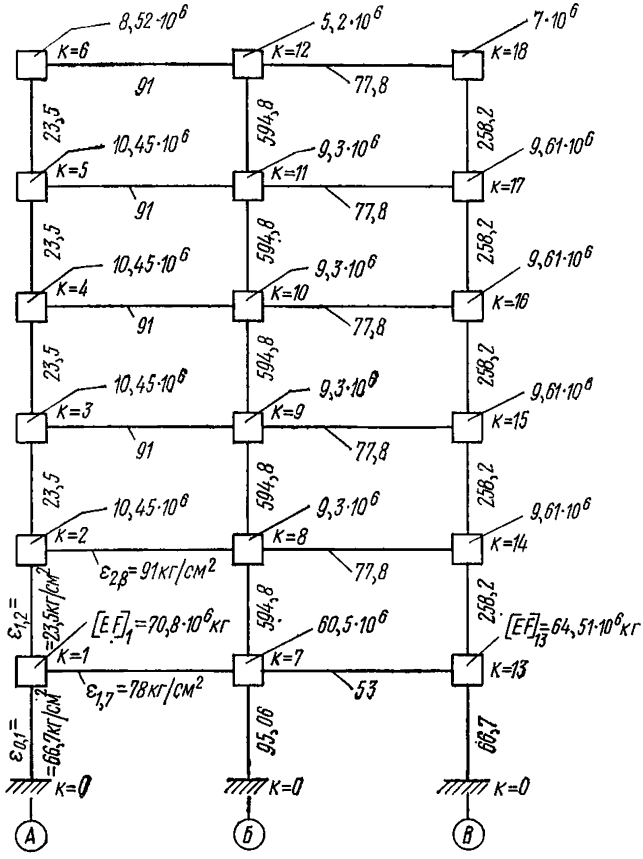


Рис. 29. Расчетная схема дома как пространственного горизонтального составного стержня

2. *Приведенная погонная жесткость связей сдвига*

Погонная жесткость $\varepsilon_{k,k+1}$ связей, образуемых наружными и внутренними стенами, вычисляется в соответствии с пп. 3.6 и 3.7. Вычисление сдвиговой жесткости отдельных панелей выполнялось по формулам (30) — (35).

Жесткость свайного основания наружной стены на сдвиг вычисляется с учетом податливого соединения сваи с ростверком по формуле (83). Предварительно

определим изгибную жесткость сваи $B_{св}$ и расчетную глубину ее заделки l_0.

По формуле (27)

$$B_{св} = 0{,}5 \cdot 3{,}15 \cdot 10^5 \cdot 13 \cdot 10^4 = 20{,}5 \cdot 10^9 \text{кг} \cdot \text{см}^2,$$

где $E_б = 3{,}15 \cdot 10^5$ кг/см^2; $J_п = 13 \cdot 10^4$ см^4; $\nu = 0{,}5$.

По табл. 3 для пластичных супесей

$$l_0 = 5d = 5 \cdot 35 = 175 \text{ см}.$$

На длине полусекции находится 7 свай. По формуле (83)

$$\varepsilon_{0,1} = \frac{3}{1205} \cdot \frac{20{,}5 \cdot 10^9 \cdot 7}{175^3} = 66{,}7 \text{ кг/см}^2.$$

Жесткость связей сдвига, образованных перекрытиями, вычислялась по формуле (81). Жесткостные характеристики здания приведены в табл. 39 и на расчетной схеме рис. 29.

Таблица 39

Стена по оси $А$			Стена по оси $Б$			Стена по оси $В$			Погонная сдвиговая жесткость плит перекрытий $\varepsilon_{r,k}$, кг/см^2	
Ветвь k	$[EF]_k \cdot 10^{-6}$, кг	$\varepsilon_{k,k+1}$, кг/см^2	Ветвь k	$[EF]_k \cdot 10^{-6}$, кг	$\varepsilon_{k,k+1}$, кг/см^2	Ветвь k	$[EF]_k \cdot 10^{-6}$, кг	$\varepsilon_{k,k+1}$, кг/см^2	между осями $А-Б$	между осями $Б-В$
0	∞	66,7	0	∞	95,06	0	∞	66,7	$\varepsilon_{17} = 78$	$\varepsilon_{7,13} = 53$
1	70,8	23,5	7	60,5	594,8	13	64,51	258,2	$\varepsilon_{28} = 91$	$\varepsilon_{8,14} = 77{,}8$
2	10,45	23,5	8	9,3	594,8	14	9,61	258,2	$\varepsilon_{39} = 91$	$\varepsilon_{9,15} = 77{,}8$
3	10,45	23,5	9	9,3	594,8	15	9,61	258,2	$\varepsilon_{4,10} = 91$	$\varepsilon_{10,16} = 77{,}8$
4	10,45	23,5	10	9,3	594,8	16	9,61	258,2	$\varepsilon_{5,11} = 91$	$\varepsilon_{11,17} = 77{,}8$
5	10,45	23,5	11	9,3	594,8	17	9,61	258,2	$\varepsilon_{6,12} = 91$	$\varepsilon_{12,18} = 77{,}8$
6	8,52	—	12	5,2	—	18	7,0	—	—	—

3. Составление и решение уравнений вида (85)

В качестве примера составим уравнение вида (85) применительно к стержню $k=1$. По формулам (86) вычислим коэффициенты a:

$k=1$, $[EF]_0 = \infty$ — основание дома,

$[EF]_1 = 70{,}8 \cdot 10^6$ кг; $\varepsilon_{0,1} = 66{,}7$ кг/см^2;

$[EF]_2 = 10{,}45 \cdot 10^6$ кг; $\varepsilon_{1,2} = 23{,}5$ кг/см^2;

$[EF]_7 = 60{,}5 \cdot 10^6$ кг; $\varepsilon_{1,7} = 78$ кг/см^2.

$$a_0 = 0, \quad \Delta t_0 = 0 — \text{ основание дома};$$

$$\alpha_1 = \alpha_7 = 10^{-5}\ 1/°C;$$

$$\alpha_2 = 0{,}8 \cdot 10^{-5}\ 1/°C;$$

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_7 = -40{,}7\ °C;$$

$$a_{0,1} = \frac{\varepsilon_{0,1}}{[EF]_0} = 0;$$

$$a_{1,1} = \frac{\varepsilon_{0,1} + \varepsilon_{1,2} + \varepsilon_{1,7}}{[EF]_1} = \frac{66{,}7 + 23{,}5 + 78}{70{,}8 \cdot 10^6} = 2{,}4 \cdot 10^{-6}\ 1/см^2;$$

$$a_{1,2} = \frac{\varepsilon_{1,2}}{[EF]_2} = \frac{23{,}5}{10{,}45 \cdot 10^6} = 2{,}2 \cdot 10^{-6}\ 1/см^2;$$

$$a_{1,7} = \frac{\varepsilon_{1,7}}{[EF]_7} = \frac{78}{60{,}5 \cdot 10^6} = 1{,}3 \cdot 10^{-6}\ 1/см^2;$$

$$a_{t,1} = \varepsilon_{0,1}\alpha_0 \Delta t_0 - (\varepsilon_{0,1} + \varepsilon_{1,2} + \varepsilon_{1,7})\alpha_1 \Delta t_1 +$$

$$+ \varepsilon_{1,2}\alpha_2 \Delta t_2 + \varepsilon_{1,7}\alpha_7 \Delta t_7 = -(66{,}7 + 23{,}5 + 78)\ 10^{-5}(-40{,}7) +$$

$$+ 23{,}5 \cdot 0{,}8 \cdot 10^{-5}(-40{,}7) + 78 \cdot 1 \cdot 10^{-5}(-40{,}7) =$$

$$= 29\,060 \cdot 10^{-6}\ кг/см^2.$$

Уравнение для 1-го стержня имеет вид

$$N'' \cdot 10^6 - 2{,}4\,N_1 + 2{,}2\,N_2 + 1{,}3\,N_7 + 29\,060 = 0.$$

Покажем, как составляется уравнение для среднего стержня, например для стержня *10*:

$k = 10$

$[EF]_9 = 9{,}3 \cdot 10^6$ кг; $\quad \varepsilon_{4,10} = 91$ кг/см²;

$[EF]_4 = 10{,}45 \cdot 10^6$ кг; $\quad \varepsilon_{9,10} = 594{,}8$ кг/см²;

$[EF]_{10} = 9{,}3 \cdot 10^6$ кг; $\quad \varepsilon_{10,11} = 594{,}8$ кг/см²;

$[EF]_{11} = 9{,}3 \cdot 10^6$ кг; $\quad \varepsilon_{10,16} = 77{,}8$ кг/см²;

$[EF]_{16} = 9{,}61 \cdot 10^6$ кг.

$$\alpha_4 = \alpha_9 = \alpha_{10} = \alpha_{11} = \alpha_{16} = 0{,}8 \cdot 10^{-5}\ 1/°C;$$

$$\Delta t_4 = \Delta t_9 = \Delta t_{10} = \Delta t_{11} = \Delta t_{16} = -40{,}7\ °C;$$

$$a_{4,10} = \frac{\varepsilon_{4,10}}{[EF]_4} = \frac{91}{10{,}45 \cdot 10^6} = 8{,}7 \cdot 10^{-6}\ 1/см^2;$$

$$a_{9,10} = \frac{\varepsilon_{9,10}}{[EF]_9} = \frac{594{,}8}{9{,}3 \cdot 10^6} = 64 \cdot 10^{-6}\ 1/см^2;$$

$$a_{10,10} = \frac{\varepsilon_{4,10} + \varepsilon_{9,10} + \varepsilon_{10,11} + \varepsilon_{10,16}}{[EF]_{10}} =$$

$$= \frac{91 + 594{,}8 \cdot 2 + 77{,}8}{9{,}3 \cdot 10^6} = 146 \cdot 10^{-6} \text{ 1/см}^2;$$

$$a_{10,11} = \frac{\varepsilon_{10,11}}{[EF]_{11}} = \frac{594{,}8}{9{,}3 \cdot 10^6} = 64 \cdot 10^{-6} \text{ 1/см}^2;$$

$$a_{10,16} = \frac{\varepsilon_{10,16}}{[EF]_{16}} = \frac{77{,}8}{9{,}61 \cdot 10^6} = 8{,}1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/см}^2;$$

$$a_{t\ 10} = \varepsilon_{4,10}\,\alpha_4\,\Delta t_4 + \varepsilon_{9,10}\,\alpha_9\,\Delta t_9 - (\varepsilon_{4,10} + \varepsilon_{9,10} + \varepsilon_{10,11} + \varepsilon_{10,16}) \times$$
$$\times\, \alpha_{10}\,\Delta t_{10} + \varepsilon_{10,11}\,\alpha_{11}\,\Delta t_{11} + \varepsilon_{10,16}\,\alpha_{16}\,\Delta t_{16} =$$
$$= 91 \cdot 0{,}8 \cdot 10^{-5}\,(-40{,}7) + 594{,}8 \cdot 0{,}8 \cdot 10^{-5}\,(-40{,}7) -$$
$$-\,(91 + 594{,}5 \cdot 2 + 77{,}8)\ 0{,}8 \cdot 10^{-5}\,(-40{,}7) + 594{,}8 \cdot 0{,}8 \cdot 10^{-5} \times$$
$$\times\,(-40{,}7) + 77{,}8 \cdot 0{,}8 \cdot 10^{-5}\ (-40{,}7) = 0.$$

Подставляя значения a в формулу (85), получаем уравнение для стержня *10*:

$$8{,}7\,N_4 + 64\,N_9 + 10^6\,N''_{10} - 146\,N_{10} + 64\,N_{11} + 8{,}1\,N_{16} = 0.$$

Аналогично составляем остальные уравнения системы:

$$10^6\,N''_1 - 2{,}4\,N_1 + 2{,}2\,N_2 + 1{,}3\,N_7 + 29\,060 = 0;$$

$$0{,}33\,N_1 + 10^6\,N''_2 - 13{,}2\,N_2 + 2{,}2\,N_3 + 9{,}8\,N_8 - 1913 = 0;$$

$$2{,}2\,N_2 + 10^6\,N''_3 - 13{,}2\,N_3 + 2{,}2\,N_4 + 9{,}8\,N_9 = 0;$$

$$2{,}2\,N_3 + 10^6\,N''_4 - 13{,}2\,N_4 + 2{,}2\,N_5 + 9{,}8\,N_{10} = 0;$$

$$2{,}2\,N_4 + 10^6\,N''_5 - 13{,}2\,N_5 + 2{,}8\,N_6 + 9{,}8\,N_{11} = 0;$$

$$2{,}2\,N_5 + 10^6\,N_6 - 13{,}4\,N_6 + 17{,}5\,N_{12} = 0;$$

$$1{,}1\,N_1 + 10^6\,N''_7 - 13{,}6\,N_7 + 64\,N_8 + 0{,}8\,N_{13} + 87082 = 0;$$

$$8{,}7\,N_2 + 9{,}8\,N_7 + 10^6\,N''_8 - 146\,N_8 + 64\,N_9 + 8{,}1\,N_{14} - 48\,417 = 0;$$

$$8{,}7\,N_3 + 64\,N_8 + 10^6\,N''_9 - 146\,N_9 + 64\,N_{10} + 8{,}1\,N_{15} = 0;$$

$$8{,}7\,N_4 + 64\,N_9 + 10^6\,N''_{10} - 146\,N_{10} + 64\,N_{11} + 8{,}1\,N_{16} = 0;$$

$$8{,}7\,N_5 + 64\,N_{10} + 10^6\,N''_{11} - 146\,N_{11} + 114\,N_{12} + 8{,}1\,N_{17} = 0;$$

$$10{,}7\,N_6 + 64\,N_{11} + 10^6\,N''_{12} - 147\,N_{12} + 11{,}1\,N_{18} = 0;$$

$$0{,}88\,N_7 + 10^6\,N''_{13} - 5{,}9\,N_{13} + 26{,}9\,N_{14} + 48\,164 = 0;$$

$$8{,}4\,N_8 + 4\,N_{13} + 10^6\,N''_{14} - 61{,}8\,N_{14} + 26{,}9\,N_{15} = 0;$$

$$8{,}4\,N_9 + 26{,}9\,N_{14} + 10^6\,N''_{15} - 61{,}8\,N_{15} + 26{,}9\,N_{16} = 0;$$

$$8{,}4\,N_{10} + 26{,}9\,N_{15} + 10^6\,N''_{16} - 61{,}8\,N_{16} + 26{,}9\,N_{17} = 0;$$

$$8{,}4\,N_{11} + 26{,}9\,N_{16} + 10^6\,N''_{17} - 61{,}8\,N_{17} + 36{,}9\,N_{18} = 0;$$

$$15\,N_{12} + 26{,}9\,N_{17} + 10^6\,N''_{18} - 48\,N_{18} = 0.$$

Решение этой системы будем искать в форме (89). Для этого по формуле (90) определим величины λ_i, приняв $i=1, 2, 3$ (т. е. $m=3$):

$$\text{Для } i=1\lambda_1 = \frac{(2i-1)}{L}\Pi = \frac{3{,}14158}{16\,870} = 1{,}8622\cdot 10^{-4}\ 1/\text{см};$$

$$\lambda_1^2 = 3{,}468\cdot 10^{-8}\ 1/\text{см}^2;$$

$$i=2\lambda_2 = \frac{3\cdot 3{,}14158}{16\,870} = 5{,}5867\cdot 10^{-4}\ 1/\text{см};$$

$$\lambda_2^2 = 31{,}2111\cdot 10^{-8}\ 1/\text{см}^2;$$

$$i=3\lambda_3 = \frac{5\cdot 3{,}14158}{16\,870} = 9{,}3111\cdot 10^{-4}\ 1/\text{см};$$

$$\lambda_3^2 = 86{,}6974\cdot 10^{-8}\ 1/\text{см}^2.$$

Значение γ_{ik} вычислим по формуле (93) для $k=1, 2,\ldots,18$ при $i=1$, 2 и 3. Например, для стержня 1 ($k=1$) при $i=1$ будет

$$\gamma_{11} = \frac{4\,a_{t\,1}}{(2i-1)\,\pi} = \frac{4\cdot 29\,060}{1\cdot 3{,}14158} = 37\,000\ \text{кг/см}^2.$$

Ниже приведены вычисленные по формуле (93) значения γ_{ik} (табл. 40).

Таблица 40

k	γ_{ik} при i, равном		
	1	2	3
1	37 000	12 333	7 400
2	—2436	—812	—487
7	110 877	36 958	22 175
8	—61 647	—20 549	—12 329
13	—61 325	20 441	12 265
14	—2 683	—894	—537

При остальных значениях k величина γ_{ik} равна нулю.

Далее преобразуем систему дифференциальных уравнений в три системы вспомогательных линейных

$b_{1,1}$	$b_{1,2}$	$b_{1,3}$	$b_{1,4}$	$b_{1,5}$	$b_{1,6}$	$b_{1,7}$	$b_{1,8}$	$b_{1,9}$
—2,4035	2,2					1,3		
0,33	—13,235	2,2					9,8	
	2,2	—13,235	2,2					9,8
		2,2	—13,235	2,2				
			2,2	—13,235	2,8			
				2,2	—13,435			
1,1						—13,635	64	
	8,7					9,8	—146,035	64
		8,7					64	—146,035
			8,7					64
				8,7				
					10,7			
						0,88		
							8,4	
								8,4

уравнений вида (85). Например, для 1-го уравнения при $i=1$ получим:

$$-(0{,}03468+2{,}4)\,b_{11}+2{,}2\,b_{12}+1{,}3\,b_{17}+37\,000=0$$

или

$$-2{,}4035\,b_{11}+2{,}2\,b_{12}+1{,}3\,b_{17}+37\,000=0.$$

Точно так же получим вспомогательное уравнение для 10-го стержня ($k=0$) при $i=3$:

$$8{,}7\,b_{34}+64\,b_{39}-(0{,}866974+146)\,b_{3,10}+64\,b_{3,11}+$$
$$+8{,}1\,b_{3,16}=0.$$

Матрицы коэффициентов и свободных членов вспомогательных систем приведены ниже (см. табл. 42—44).

Таблица 42

$b_{1,10}$	$b_{1,11}$	$b_{1,12}$	$b_{1,13}$	$b_{1,14}$	$b_{1,15}$	$b_{1,16}$	$b_{1,17}$	$b_{1,18}$	γ_{1k}
									37000
									—2436
9,8									
	9,8								
		17,5							
			0,8						110877
				8,1					—61647
64					8,1				
—146,035	64					8,1			
64	—146,035	114					8,1		
	64	—147,035						11,1	
			—5,935	26,9					61325
			4	—61,835	26,9				—2683
				26,9	—61,835	26,9			
8,4					26,9	—61,835	26,9		
	8,4					26,9	—61,835	36,9	
		15					26,9	—48,035	

Таблица 41

k	e_{tk} при t, равном		
	1	2	3
1	39 212	11 010	3936
2	5 092	1 181	354
3	5 220	1 158	338
4	5 281	1 143	324
5	5 335	1 139	315
6	4 357	928	256
7	35 419	9 102	3608
8	4 633	1 083	349
9	4 722	1 074	333
10	4 763	1 061	318
11	4 775	1 049	307
12	2 674	584	169
13	40 542	10 325	4184
14	5 506	1 325	479
15	5 283	1 221	405
16	5 161	1 159	360
17	5 095	1 123	335
18	3 688	806	236

$b_{2,1}$	$b_{2,2}$	$b_{2,3}$	$b_{2,4}$	$b_{2,5}$	$b_{2,6}$	$b_{2,7}$	$b_{2,8}$	$b_{2,9}$	$b_{2,10}$
—2,4312	2,2					1,3			
0,33	—13,512	2,2					9,8		
	2,2	—13,512	2,2					9,8	
		2,2	—13,512	2,2					9,8
			2,2	—13,512	2,8				
				2,2	—13,712				
1,1						—13,912	64		
	8,7					9,8	—146,31	64	
		8,7					64	—146,31	64
			8,7					64	—146,31
				8,7					64
					10,7				
						0,88			
							8,4		
								8,4	
									8,4

$b_{3,1}$	$b_{3,2}$	$b_{3,3}$	$b_{3,4}$	$b_{3,5}$	$b_{3,6}$	$b_{3,7}$	$b_{3,8}$	$b_{3,9}$	$b_{3,10}$
—3,27	2,2					1,3			
0,33	—14,07	2,2					9,8		
	2,2	—14,07	2,2					9,8	
		2,2	—14,07	2,2					9,8
			2,2	—14,07	2,8				
				2,2	—14,27				
1,1						—14,47	64		
	8,7					9,8	—146,87	64	

Таблица 43

$b_{2,11}$	$b_{2,12}$	$b_{2,13}$	$b_{2,14}$	$b_{2,15}$	$b_{2,16}$	$b_{2,17}$	$b_{2,18}$	$\gamma_{2.\,k}$
								12333
								—812
9,8								
	17,5							
		0,8						36958
			8,1					—20549
				8,1				
64					8,1			
—146,31	114					8,1		
64	—147,31						11,1	
		—6,21	26,9					20441
		4	—62,11	26,9				—894
			26,9	—62,11	26,9			
				26,9	—62,11	36,9		
15					26,9	—48,312		

Таблица 44

$b_{3,11}$	$b_{3,12}$	$b_{3,13}$	$b_{3,14}$	$b_{3,15}$	$b_{3,16}$	$b_{3,17}$	$b_{3,18}$	$\gamma_{3.\,k}$
								7400
								—487
9,8								
	17,5							
		0,8						22 175
			8,1					—12 329

$b_{3,1}$	$b_{3,2}$	$b_{3,3}$	$b_{3,4}$	$b_{3,5}$	$b_{3,6}$	$b_{3,7}$	$b_{3,8}$	$b_{3,9}$	$b_{3,10}$
		8,7					64	—146,87	64
			8,7					64	—146,87
				8,7					64
					10,7				
						0,88			
							8,4		
								8,4	
									8,4

Решение вспомогательных систем дает следующие значения b_{ik}, кг (табл. 41).

После определения b_{ik} вычислим продольную силу, например, в фундаментной части наружной стены по оси A ($k=1$) и в перемычке средней стены на уровне перекрытия между 3-м и 4-м этажами ($k=10$) на расстоянии 80 м от левого торца дома. Воспользуемся для этого формулой (89):

$$N_1 = b_{11} \sin \lambda_1 x + b_{21} \sin \lambda_2 x + b_{31} \sin \lambda_3 x =$$

$$= 39\,212 \sin (1{,}8622 \cdot 10^{-4} \cdot 8000) + 11\,010 \sin (5{,}5867 \cdot 10^{-4} \cdot 8000) +$$

$$+ 3936 \sin (9{,}3111 \cdot 10^{-4} \cdot 8000) = 39\,212 \sin 1{,}4898 +$$

$$+ 11\,010 \sin 4{,}4694 + 3936 \sin 7{,}4489 = 39\,212 \cdot 0{,}9967 —$$

$$— 11\,010 \cdot 0{,}9711 + 3936 \cdot 0{,}9207 = 32\,015 \text{ кг}.$$

Продолжение табл. 44

$b_{3,11}$	$b_{3,12}$	$b_{3,13}$	$b_{3,14}$	$b_{3,15}$	$b_{3,16}$	$b_{3,17}$	$b_{3,18}$	$\gamma 3.\ k$
				8,1				
64					8,1			
—146,87	114					8,1		
64	—147,87						11,1	
		—6,77	26,9					12 265
		4	—62,67	26,9				—537
			26,9	—62,67	26,9			
				26,9	—62,67	26,9	36,9	
15					26,9	—48,87		

Усилия в стержне $k=10$ в сечении $x=8000$ см равно:

$$N_{10} = b_{1,10} \sin \lambda_1 x + b_{2,10} \sin \lambda_2 x + b_{3,10} \sin \lambda_3 x =$$
$$= 4763 \cdot 0{,}9967 - 1061 \cdot 0{,}9711 + 318 \cdot 0{,}9207 = 4010 \text{ кг}.$$

Наибольших значений продольные усилия в перемычках (ветвях) достигают в среднем сечении здания, т. е. при $x=0{,}5\ L$. Ниже приведены N_k, кг, вычисленные для этого сечения (табл. 45).

Таблица 45

k	N_k	k	N_k	k	N_k
6	3 685	12	2 259	18	3 118
5	4 511	11	4 033	17	4 307
4	4 462	10	4 020	16	4 362
3	4 400	9	3 981	15	4 467
2	4 264	8	3 899	14	4 660
1	32 138	7	29 925	13	34 401

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

1. Расчет крупнопанельных зданий на температурно-влажностные воздействия и усадку 4

Основные положения 4

2. Расчет крупнопанельных зданий как однослойных и многослойных пластинок на действие температуры 6

Выбор расчетной схемы 6
Жесткостные характеристики 10
Продольная жесткость (податливость) составных стержней 11
Продольная жесткость элементов стен и перекрытий . . 13
Средняя жесткость расчетного сечения стены или перекрытия в пределах этажа 16
Средняя жесткость расчетного сечения этажа 17
Изгибная жесткость 17
Сдвиговая жесткость 18
Приведенные высоты этажей и здания 19
Температурные усилия и перемещения стен и перекрытий при действии температуры Δt 22

3. Расчет крупнопанельных зданий как плоских или пространственных составных стержней 31

Выбор расчетной схемы. Обозначения 31
Жесткостные характеристики составных стержней . . . 33
Дифференциальные уравнения для горизонтального составного стержня и их решение 34

4. Расчет наружных стен при наличии перепада температуры по толщине 37

Температурные усилия в панелях и связях 38
Прогибы и углы поворота панелей и стыков 41
Раскрытие стыков и панелей 41

Приложение 1. Расчетные значения приведенных средних температур однослойных и многослойных конструкций зданий с учетом радиации, влажности и усадки 48

Приложение 2. Пример расчета на действие температуры крупнопанельного жилого дома с поперечными несущими стенами 67

Приложение 3. Пример расчета на действие температуры крупнопанельного жилого дома с продольными несущими стенами 87

Приложение 4. Пример расчета на действие температуры крупнопанельного здания с продольными несущими стенами как горизонтального составного стержня . . . 102

ЦНИИСК
им. В. А. Кучеренко
Госстроя СССР

ЛенЗНИИЭП
Госгражданстроя
при Госстрое СССР

Пособие по расчету крупнопанельных зданий

Выпуск 4

Расчет конструкций крупнопанельных зданий на температурные воздействия

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией Г. А. Жигачева
Редактор Л. Н. Кузьмина
Мл. редактор Л. Н. Козлова
Технические редакторы Н. Г. Бочкова, Р. Т. Никишина
Корректоры В. М. Залевская, О. В. Стигнеева

Сдано в набор 21/VI — 1976 г. Подписано в печать 23/VIII — 1976 г.
Формат 84×108¹/₃₂ д. л. Бумага типографская № 2
Тираж 5000 экз. 6,30 усл. печ. л. (уч.-изд. 5,80 л.)
Изд. № XII—6568 Зак. № 264 Цена 29 коп.

Стройиздат
103006, Москва, Каляевская, 23а

Подольская типография Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
г. Подольск, ул. Кирова, д. 25

gost.e-ecolog.ru