

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЕН ИЗ ТРЕХСЛОЙНОЙ КЛАДКИ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ КИРПИЧНЫМИ ДИАФРАГМАМИ

8.1. Введение

В главе 7 было установлено, что *при расчете стен необходимо в первую очередь учитывать нагрузки от веса кладки и перекрытий, а также влияние температурно-влажностных деформаций*. Ветровые нагрузки при высоте зданий не более пяти этажей и при наличии в стене горизонтальных опор в виде плит перекрытий, расположенных с шагом по высоте этажа не более 3,5 м, не способны вызвать значимого изгиба стены из ее плоскости. Ветровые нагрузки в ряде случаев должны учитываться только при определении вертикальных усилий, прикладываемых к стене. Эти усилия могут быть получены из расчета всего здания, в том числе и на ветер.

8.2. Перераспределение усилий между слоями при действии нагрузки от веса кладки и перекрытий

В трехслойной кладке с вертикальными кирпичными диафрагмами может происходить существенное перераспределение усилий между слоями. Вертикальные усилия в слое кладки с наибольшими вертикальными деформациями уменьшаются, а в другом слое возрастают на ту же величину.

Деформации ползучести и усадки в кладке начинают проявляться еще в процессе возведения стен и продолжают в течение некоторого времени после окончания строительства. Поэтому после окончания возведения стен усилия в слое с наибольшими суммарными деформациями ползучести и усадки уменьшаются за счет дальнейшего перераспределения усилий между слоями стены.

Расчеты стен из трехслойной кладки с вертикальными кирпичными диафрагмами с учетом поэтапности и длительности возведения показали следующее (гл. 7). Основное перераспределение усилий между слоями стены происходит еще в процессе ее возведения. *Начиная с момента окончания возведения здания, перераспределяемое между слоями стены усилие в нижних этажах*

увеличивается не более, чем на 5–10%. В верхнем этаже перераспределяемое между слоями стены усилие может увеличиться на 40% и более.

Столь небольшое изменение величины перераспределяемых между слоями усилий в нижних этажах объясняется относительно небольшой длиной диафрагмы (расстоянием между слоями) и шагом диафрагм по сравнению с высотой стены. Проведенные *для протяженных стен* исследования [8.1] показали, что при соотношении длин стен к их высоте более пяти с момента окончания возведения перераспределяемые усилия могут возрасти в ряде случаев на 2/3.

В верхнем этаже к моменту окончания возведения верха стены и укладки самого верхнего кирпича диафрагмы большая часть упругих и часть неупругих деформаций уже прошли. *Напряжения в верхней части стены могут возникнуть только от нагрузки от покрытия, оставшейся части нагрузки на перекрытия и развития длительных деформаций.*

При расчете без учета поэтапности возведения, в линейной постановке и принятии материала изотропным практически невозможно учесть изменение напряженного состояния вследствие его ползучести. Например, расчет на вертикальную нагрузку стены со слоями из глиняного кирпича даст те же напряжения, что и из силикатного, хотя деформации будут значительно отличаться.

Наибольшее перераспределение усилий между слоями происходит при сочетании следующих факторов:

- один из слоев является несущим, а другой самонесущим;
- модуль деформаций кладки (с учетом ползучести) несущего слоя ниже, чем самонесущего;
- деформации усадки кладки несущего слоя выше, чем самонесущего.

Вертикальные усилия между слоями перераспределяются практически полностью в пределах одного этажа.

Узлы сопряжения перекрытий с наружной стеной должны проектироваться таким образом, чтобы служить для стены горизонтальными опорами. В этом случае, поскольку вертикальные усилия между слоями от вышележащих этажей уже перераспределены, *изгибающие моменты учитываются только от внецентренно приложенных нагрузок в пределах рассматриваемого этажа.*

Вследствие перераспределения усилий между слоями стены в вертикальных диафрагмах возникают *касательные напряжения*. Касательные напряжения способны вызвать срез кладки диафрагмы.

8.3. Перераспределение усилий между слоями при температурно-влажностных воздействиях

Касательные напряжения в диафрагмах от температурно-влажностных деформаций могут быть сопоставимы по величине с напряжениями, возникающими от вертикальной нагрузки (от веса кладки и перекрытий).

Вследствие неодинаковых деформаций слоев происходит их сдвиг относительно друг друга. В этом разделе рассматривается сдвиг слоев по вертикали. Сдвиг слоев по горизонтали аналогичен рассматриваемым в главе 9 случаям.

В кирпичных диафрагмах, имеющих относительно большую жесткость, касательные напряжения в диафрагмах от температурно-влажностных воздействий в верхнем этаже сопоставимы по величине с напряжениями от вертикальной нагрузки. В нижележащих этажах касательными напряжениями в кирпичных диафрагмах от температурно-влажностных воздействий можно пренебречь.

При учете температурных воздействий большое значение имеет соотношение коэффициентов линейного (температурного) расширения кладки слоев.

8.4. Критерии прочности кирпичных диафрагм многослойной кладки

За критерий прочности диафрагм принимается непревышение касательными напряжениями прочности кладки на срез:

$$\tau \leq R_{sq}, \quad (8.4.1)$$

где τ — касательные напряжения, действующие в вертикальной плоскости, проходящей через диафрагму, и возникающие от совместного действия вертикальной нагрузки и температурно-влажностных деформаций, определяемые по формуле (8.7.1); R_{sq} — расчетное сопротивление кладки диафрагм срезу, определяемое по [1.5] и разделу 4.2.

8.5. Проверка несущей способности кладки стены

8.5.1. Вводная часть

Кладка стены проверяется расчетом на внецентренное сжатие как многослойная кладка двутаврового сечения.

Как отмечалось, Л.И. Онищиком было предложено перекрытия рассматривать как горизонтальные опоры для стен [3.12]. В этом случае изгибающие моменты от внецентренного приложения нагрузки учитываются только от нагрузок, приложенных в пределах рассматриваемого этажа.

В главе 3 показано, что в СНиП [1.5] при расчете стен с жесткими связями на центральное и внецентренное сжатие в основу взяты те же формулы, что и для сплошной кладки. В них вместо фактических значений подставляются приведенные площади поперечного сечения. Приведение площадей производится по расчетному сопротивлению кладки основного слоя, умноженному на коэффициент использования его несущей способности.

Основное отличие приводимого в данной работе метода, от метода в [1.5], состоит в том, что **в нем предлагается дополнительно учитывать вертикальные усилия и изгибающие моменты, возникающие от температурных воздействий. Кроме того, дополнительно производится проверка прочности диафрагм на действие касательных напряжений.** Коэффициенты использования несущей способности кладки слоев при этом должны назначаться с учетом длительного приложения нагрузки и усадки кладки.

В случае отсутствия экспериментальных данных по определению коэффициентов использования несущей способности кладки слоев с учетом длительного приложения нагрузки и усадки кладки необходимо учитывать также моменты, возникающие от этих воздействий.

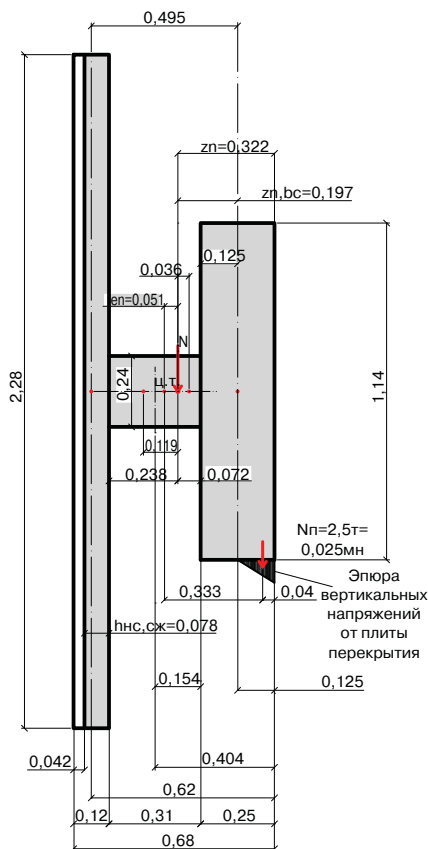


Рис. 8.5.1. Приведенное сечение рассчитываемого фрагмента стены

8.5.2. Несущая способность кладки многослойных стен с вертикальными диафрагмами

Рассмотрим фрагмент стены кладки с вертикальными диафрагмами в уровне k -го этажа (рис. 8.5.1). Принимаем:

- **вертикальные усилия, действующие выше рассматриваемого этажа, полностью перераспределились** между слоями кладки пропорционально их жесткостям;
- в пределах рассматриваемого этажа действуют нагрузки от перекрытия над этим этажом и температурных воздействий.

Эксцентриситет приложения равнодействующей усилий в k -ом этаже определяется по формуле:

$$e = \frac{M_k}{N_k}, \quad (8.5.1)$$

где N_k — суммарное вертикальное усилие, действующее в середине k -го этажа; M_k — моменты от нагрузок, приложенных в пределах рассматриваемого k -го этажа, относительно оси, проходящей через центр тяжести приведенного сечения, определяемые по формуле:

$$M_k = M_k^{\text{перекр.}} + M_k[\Delta N(t^0)]; \quad (8.5.2)$$

$M_k^{\text{перекр.}}$ — момент нагрузки от перекрытия над k -ым этажом, равный:

$$M^{\text{перекр.}} = N_k^{\text{перекр.}} \cdot e^{\text{перекр.}} \quad (8.5.3)$$

$e^{\text{перекр.}}$ — эксцентриситет приложения нагрузки от перекрытия над k -ым этажом относительно оси, проходящей через центр тяжести приведенного сечения;

$M_k[\Delta N(t^0)]$ — момент нагрузки от усилий $\Delta N(t^0)_k$, возникающих в k -ом этаже от температурных деформаций кладки k -го этажа:

$$M_k[\Delta N(t^0)] = \Delta N(t^0)_k \cdot e^{\text{сл.}}; \quad (8.5.4)$$

$\Delta N(t)_k$ — усилие в k -ом сечении, перераспределяемое между слоями стены и вызываемое температурными деформациями, определяется по формуле (8.9.1);

$e^{\text{сл.}}$ — расстояние между центрами тяжести внутреннего и наружного слоев.

Несущая способность определяется по формулам (4.3 а) и (4.3 б) с использованием получаемых по формуле (8.5.1) эксцентриситетов.

Гибкость стены определяется по гибкости сечения по вертикальной диафрагме, т. е. по толщине стены, равной сумме толщин слоев и расстоянию между ними в свету.

Для определения коэффициента продольного изгиба требуется знать упругую характеристику кладки, представляющую из себя коэффициент пропорциональности между ее модулем упругости и расчетным сопротивлением сжатию. В главе 4 дана формула (4.6) из работы [1.5] для определения приведенной упругой характеристики многослойной кладки.

Для стены с вертикальными диафрагмами эта формула видоизменяется следующим образом:

$$\alpha_{red} = \frac{\alpha_{вс} A_{вс} + \alpha_{нс} A_{нс} + \alpha_d A_d}{A_{вс} + A_{нс} + A_d}, \quad (8.5.5)$$

где $\alpha_{вс}$, $\alpha_{нс}$, α_d — упругие характеристики соответственно внутреннего, наружного слоев и диафрагмы; $A_{вс}$, $A_{нс}$, A_d — площади поперечного сечения соответственно внутреннего, наружного слоев и диафрагмы.

8.6. Вертикальные усилия в слоях

Максимальное по абсолютной величине значение вертикального усилия равно:

$$N = \max \begin{cases} N(N)^{dl} + N(sh)^{dl} + N(t); \\ N(N)^{ok} + N(sh)^{ok} + N(t). \end{cases} \quad (8.6.1)$$

Здесь $N(N)^{dl}$ — вертикальное усилие в слое стены, вызываемое вертикальной нагрузкой, при возрасте кладки более пяти лет, когда суммарные деформации ползучести имеют наибольшее значение, подсчитанное с учетом совместной работы слоев — по формуле (8.6.2 б); $N(N)^{ok}$ — вертикальные усилия в слое стены, вызываемое вертикальной — нагрузкой на момент окончания возведения стены и подсчитанное с учетом совместной работы слоев по формулам (8.6.2 а), (8.8.3 а), (8.8.3 б); $N(sh)^{dl}$; $N(sh)^{ok}$ — вертикальные усилия в слое стены, развивающиеся вследствие пере-

распределения усилий, вызванных деформациями усадки (набухания) кладки соответственно для возраста кладки более пяти лет и на момент окончания ее возведения, определяемые по формулам (8.6.3), (8.6.4); $N(t)$ — максимальные значения вертикальных усилий, возникающих от температурных деформаций (8.6.5).

Вертикальное усилие в i -ом слое стены складывается из усилия в этом слое, подсчитанного без учета совместной работы слоев, и усилия, перераспределяемого между слоями стены.

Вертикальное усилие, действующее в k -ом сечении i -ого слоя от вертикальной нагрузки, подсчитанное для момента окончания возведения стены, равно:

$$N(N)_{i,k}^{ок} = N_{i,k}^0 + \Delta(N)_k^{ок} \quad (8.6.2 \text{ а})$$

Вертикальное усилие, действующее в k -ом сечении i -го слоя от вертикальной нагрузки, подсчитанное для возраста кладки пять лет, равно:

$$N(N)_{i,k}^{\partial л} = N_{i,k}^0 + \Delta(N)_k^{ок} + \Delta N(N)_k^{ок-\partial л}, \quad (8.6.2 \text{ б})$$

где $N_{i,k}^0$ — усилие в k -ом сечении i -го слоя, подсчитанное без учета совместной работы слоев;

$\Delta N(N)_k^{ок}$ — усилие, перераспределяемое между слоями стены в уровне k -го сечения на момент окончания возведения стены, получаемое из формулы (8.8.6) подстановкой соответствующих значений коэффициентов;

$\Delta N(N)_k^{ок-\partial л}$ — усилие, перераспределяемое между слоями стены в уровне k -го сечения с момента окончания возведения стены, получаемое из формулы (8.8.20).

Вертикальное усилие в слое стены, вызываемое деформациями усадки (набухания) кладки, на момент окончания возведения стены равно:

$$N(sh)^{ок} = \Delta N(sh)^{ок}, \quad (8.6.3)$$

где $\Delta N(sh)^{ок}$ — усилие, перераспределяемое с более деформируемого слоя стены, вызываемое деформациями усадки (набухания) кладки на момент окончания возведения стены, определяемое по формуле (8.10.1).

Вертикальное усилие в слое стены, вызываемое деформациями усадки (набухания) кладки, для возраста кладки более 5 лет равно:

$$N(sh)^{\partial л} = N(sh)^{ок} + \Delta N(sh)^{ок-\partial л}, \quad (8.6.4)$$

где $\Delta N(sh)^{ок-дл}$ — усилие, перераспределяемое с более деформируемого слоя стены и вызываемое деформациями усадки (набухания) начиная с момента окончания возведения и определяемое по формуле (8.10.2 б).

Вертикальное усилие в k -ом этаже в слое стены, вызываемое температурными деформациями, равно усилию, перераспределяемому между слоями:

$$N(t)_k = \Delta N(t)_k; \quad (8.6.5)$$

где $\Delta N(t)_k$ — усилие в k -ом сечении, перераспределяемое между слоями стены и вызываемое температурными деформациями, определяется по формуле (8.9.1).

8.7. Суммарные величины касательных напряжений в диафрагме

В соответствии с принятым критерием (формула 8.4.1), *проверка прочности* кладки диафрагм *производится по максимальным касательным напряжениям*, являющимся суммой напряжений от силовых и температурно-влажностных воздействий.

Максимальный уровень суммарных касательных напряжений может достигаться сразу после окончания возведения в случае, когда напряжения от усадки имеют другой знак и не успели развиться полностью.

Касательные напряжения, вызываемые температурными деформациями, носят циклический характер. Их величина зависит не только от времени года, для которого они определяются, но и от времени года, когда была выполнена кладка. В запас прочности касательные напряжения, вызываемые температурными деформациями, должны выбираться таким образом, чтобы их учет приводил к получению максимальной величины суммарных касательных напряжений. В случае, когда учет этих напряжений приводит к снижению суммарных напряжений, их величина принимается равной нулю.

В зданиях высотой более двух этажей в нижнем этаже касательные напряжения от температурно-влажностных воздействий невелики и ими можно пренебречь. Незначительно возрастают там величины касательных напряжений и после окончания возведения стены. В этом случае для нижнего этажа касательные напряжения равны:

$$\tau_{низ} = \tau(N)_{низ}^{ок}, \quad (8.7.1)$$

где $\tau(N)_{\text{низ}}^{\text{ок}}$ — касательные напряжения от вертикальной нагрузки, определяемые по формуле (8.11.2).

В верхнем этаже и в одноэтажных зданиях (при высоте этажа не более 5 м) касательные напряжения равны:

$$\tau_{\text{верх}} = \max[\tau(N)_{\text{верх}}^{\partial\lambda} + \tau(sh)_{\text{верх}}^{\partial\lambda} + \tau(t)_{\text{max}}]. \quad (8.7.2)$$

Здесь — $\tau(N)_{\text{низ}}^{\text{ок}}$ — касательные напряжения в вертикальных диафрагмах в нижнем этаже, действующие на момент окончания возведения стены и вызываемые вертикальными усилиями N , определяются по формуле (8.11.1); $t(sh)^{\partial\lambda}$; $t(sh)^{\text{ок}}$ — касательные напряжения в вертикальных диафрагмах, развивающиеся вследствие деформаций усадки кладки слоев стены соответственно при возрасте кладки более 5 лет и на момент окончания ее возведения, определяются по формулам (8.11.4), (8.11.5); $\tau(t)_{\text{max}}$ — максимальные по абсолютной величине касательные напряжения от температурных деформаций, совпадающие по знаку с $\tau(N)$ (при несовпадении знаков принимается $\tau(t) = 0$), определяются по формуле (8.11.3); $\tau(N)_{\text{верх}}^{\partial\lambda}$ — касательные напряжения в вертикальных диафрагмах, вызываемые вертикальными усилиями N при возрасте кладки более пяти лет с момента окончания возведения стены, когда суммарные деформации ползучести имеют наибольшие значения, определяются по формуле:

$$\tau(N)_{\text{верх}}^{\partial\lambda} = \tau(N)_{\text{верх}}^{\text{ок}} + \tau(N)_{\text{верх}}^{\text{ок}-\partial\lambda}, \quad (8.7.3)$$

$\tau(N)_{\text{верх}}^{\text{ок}}$ — касательные напряжения в вертикальных диафрагмах в верхнем этаже, действующие на момент окончания возведения стены и вызываемые вертикальными усилиями N , определяются по формуле (8.11.1); $\tau(N)_{\text{верх}}^{\text{ок}-\partial\lambda}$ — касательные напряжения в вертикальных диафрагмах в верхнем этаже, развивающиеся с момента окончания возведения стены и вызываемые вертикальными усилиями N , определяются по формуле (8.11.2).

8.8. Усилия от вертикальной нагрузки, перераспределяемые между слоями стены с кирпичными диафрагмами

8.8.1. Усилия от вертикальной нагрузки, перераспределяемые на момент окончания возведения стены

Возьмем фрагмент стены (рассматриваемый ранее на рис. 8.5.1), длина которого равна расстоянию между смежными

диафрагмами. Принимаем, что в уровне перекрытий стена имеет горизонтальные опоры. Отношение длины такого фрагмента к его высоте будет таким, что горизонтальные напряжения распределяются в пределах каждого слоя практически равномерно, за исключением самого верха стены. Поэтому и вертикальные деформации в одном горизонтальном сечении в пределах каждого слоя будут также равны.

Рассмотрим стену с кирпичными диафрагмами, модуль деформаций кладки которых такой же, как и у наружного слоя. При этом принимаем, что свободные вертикальные деформации кладки внутреннего слоя (без учета совместной работы слоев) меньше, чем у наружного слоя.

Наружный слой и диафрагму можно рассматривать как единый стержень, площадь горизонтального сечения которого равна сумме площадей наружного слоя и диафрагмы.

На момент окончания возведения стен вертикальные осевые деформации в k -ом горизонтальном сечении i -го слоя стены равны:

$$\varepsilon(N)_{k,i}^{OK} = \frac{N(N)_{k,i}^{OK}}{G_{k,i}^{OK}}, \quad (8.8.1)$$

где $N(N)_{k,i}^{OK}$ — вертикальное усилие в k -ом сечении i -го слоя на момент окончания возведения стены, определяемое по формуле (8.6.2 а); $G_{k,i}^{OK}$ — осевая жесткость k -го сечения i -го слоя стены для возраста кладки на момент окончания возведения стены, определяемая по формуле:

$$G_{k,i}^{OK} = E_{k,i}^{OK} A_{k,i}; \quad (8.8.2)$$

$E_{k,i}^{OK}$ — модуль деформаций кладки k -го сечения i -го слоя стены для возраста кладки на момент окончания возведения стены, определяемый по формуле (6.4.7); $A_{k,i}$ — площадь поперечного сечения кладки k -го сечения i -го слоя стены.

Вертикальное усилие во внутреннем— слое на момент окончания возведения стены равно:

$$N(N)_{k,вс}^{OK} = N_{k,вс}^0 + \Delta N(N)_{k,вс}^{OK}. \quad (8.8.3 \text{ а})$$

Вертикальное усилие в наружном слое на момент окончания возведения стены равно:

$$N(N)_{k,нс}^{OK} = N_{k,нс}^0 + \Delta N(N)_{k,нс}^{OK}, \quad (8.8.3 \text{ б})$$

где $N_{i,k}^0$ — усилие в k -ом сечении i -го слоя, подсчитанное без учета совместной работы слоев; $\Delta N(N)_{k,вс}^{ок}$ — усилие, перераспределяемое с внутреннего слоя стены в уровне k -го сечения на момент окончания возведения стены; $\Delta N(N)_{k,нс}^{ок}$ — усилие, перераспределяемое на наружный слой стены в уровне k -го сечения на момент окончания возведения стены.

Усилия $\Delta N(N)_{k,вс}^{ок}$ и $\Delta N(N)_{k,нс}^{ок}$ равны по абсолютной величине и противоположны по знаку:

$$\Delta N(N)_{k,вс}^{ок} = -\Delta N(N)_{k,нс}^{ок}. \quad (8.8.4)$$

При отсутствии трещин между кладкой внутреннего слоя и диафрагмой вертикальные *деформации кладки диафрагмы и внутреннего слоя по шву между ними* будут равны. Отсюда:

$$\varepsilon(N)_{вс}^{ок} = \varepsilon(N)_{нс}^{ок}. \quad (8.8.5)$$

Подставив в формулу (8.8.5) формулы (8.8.1)–(8.8.4), получим:

$$\Delta N(N)_{k,вс}^{ок} = \frac{\frac{N_{k,вс}^0}{G_{k,вс}^{ок}} - \frac{N_{k,нс}^0}{G_{k,нс}^{ок}}}{\frac{1}{G_{k,вс}^{ок}} + \frac{1}{G_{k,нс}^{ок}}}. \quad (8.8.6)$$

Здесь $G_{k,вс}^{ок}$, $G_{k,нс}^{ок}$ — осевые жесткости в k -ом сечении соответственно внутреннего и наружного слоев стены для возраста кладки на момент окончания возведения стены, определяемые по формуле (8.8.2).

Стоящее в числителе выражение представляет собой разность вертикальных деформаций слоев на момент окончания стен, подсчитанную без учета совместной работы слоев. Обозначим:

$$\Delta \varepsilon(N)_k^0 = \frac{N_{k,вс}^0}{G_{k,вс}^{ок}} - \frac{N_{k,нс}^0}{G_{k,нс}^{ок}}, \quad (8.8.7)$$

$$\gamma^{ок} = \frac{1}{G_{k,вс}^0} + \frac{1}{G_{k,нс}^0}. \quad (8.8.8)$$

Тогда:

$$\Delta N(N)_{k,вс}^{ок} = \frac{\Delta \varepsilon(N)_k^0}{\gamma^0}. \quad (8.8.9)$$

Как отмечалось выше в гл. 6, эпюра вертикальных усилий $\Delta N(N)_{k,i}^{ок}$ перераспределяемых между двумя слоями стены, может быть с достаточной степенью точности принята треугольной. Исходя из этого, **усилие $\Delta N(N)_{k,i}^{ок}$ в уровне k -го сечения** может быть вычислено по формуле:

$$\Delta N(N)_{k,i}^{ок} = \Delta N(N)_{низ,i}^{ок} \cdot \frac{z_k}{H}, \quad (8.8.10)$$

где z_k — расстояние от верха стены до k -го сечения; H — высота стены.

Аналогично может быть вычислено и суммарное усилие $N(N)_{низ,i}^{ок}$:

$$N(N)_{k,i}^{ок} = N(N)_{низ,i}^{ок} \cdot \frac{z_k}{H}. \quad (8.8.11)$$

8.8.2. Усилия от вертикальной нагрузки, перераспределяемые с момента окончания возведения стены

После окончания возведения стен перераспределение усилий между слоями вследствие деформаций ползучести и усадки будет некоторое время продолжаться, в основном в **верхней части** стены. При этом вертикальное усилие в слое (внутреннем), в котором суммарные деформации от ползучести и усадки выше, чем в другом слое, будет уменьшаться на величину $\Delta N^{ок-дл}$, а в другом — соответственно увеличиваться на эту величину.

В более деформируемом внутреннем слое усилия $\Delta N^{ок-дл}$ вызовут **деформации упругого восстановления**, а в менее деформируемом наружном слое будут способствовать росту **упругих деформаций и ползучести**.

Деформации кладки, развивающиеся в наружном слое от усилий $N(N)_{к,нс}^{дл}$ с момента начала возведения стены в течение некоторого периода после окончания возведения можно определить по формулам:

$$\epsilon(N_{к,нс}^{дл})_{к,нс}^{дл} = \frac{N(N)_{к,нс}^{дл}}{G_{к,нс}^{дл}(t_1)}; \quad (8.8.12)$$

где $t_1 = \tau_{ок} + 30$ — момент времени, равный 30 суткам после окончания возведения стены (условно принимается, что за 30 суток после окончания возведения стены основная величина усилий перераспределится); $N(N)_{к,нс}^{дл}$ — вертикальное усилие в наружном

слое от вертикальной нагрузки на момент окончания возведения стены, равное:

$$N(N)_{k,nc}^{\partial l} = N(N)_{k,nc}^0 + \Delta N(N)_{k,nc}^{\partial l}; \quad (8.8.13)$$

где $N(N)_{k,nc}^0$ – вертикальное усилие, приложенное к наружному слою (без учета перераспределения усилий); $\Delta N(N)_{k,nc}^{\partial l}$ – усилие, перераспределяемое на наружный слой с начала возведения стены до затухания деформаций ползучести после окончания возведения стены (условно принимается, что за 30 суток после окончания возведения стены основная величина усилий перераспределится); $G_{k,nc}^{\partial l}$ – осевая жесткость k -го сечения наружного слоя для возраста кладки пять лет для случая окончания роста нагрузки через 30 суток после возведения стены, определяемая по формуле:

$$G_{k,nc}^{\partial l} = E_{k,nc}^{\partial l} \cdot A_{k,nc}, \quad (8.8.14)$$

где $E_{k,nc}^{\partial l}$ – модуль деформаций кладки наружного слоя в k -ом сечении, определяемый по формуле (6.2.10)–(6.2.12); $A_{k,nc}$ – площадь поперечного сечения кладки k -ого сечения наружного слоя стены.

Деформации кладки, развивающиеся во внутреннем слое с начала возведения и далее в течение пяти лет после окончания, равны:

$$\varepsilon(N_{k,vc}^{\partial l})_{k,vc}^{\partial l} = \varepsilon(N_{k,vc}^{ок})_{k,vc}^{\partial l} + \varepsilon(\Delta N_{k,vc}^{ок-\partial l})_{k,vc}^0, \quad (8.8.15)$$

где $\varepsilon(N_{k,vc}^{ок})_{k,vc}^{\partial l}$ – деформации внутреннего слоя кладки, развивающиеся в течение пяти лет с момента начала возведения, без учета перераспределения усилий после возведения стены:

$$\varepsilon(N_{k,vc}^{ок})_{k,vc}^{\partial l} = \frac{N(N)_{k,vc}^{ок}}{G_{vc}^{\partial l}(t_1)}, \quad (8.8.16)$$

где $t_1 = \tau_{ок}$ – момент окончания роста нагрузки на внутренний слой, равный моменту окончания возведения стены; $\varepsilon(\Delta N_{k,vc}^{ок-\partial l})_{k,vc}^0$ – деформации упругого восстановления кладки внутреннего слоя от усилия $\Delta N_{k,vc}^{ок-\partial l}$, перераспределяемого с внутреннего слоя на наружный с момента окончания возведения стены:

$$\varepsilon(\Delta N_{k,vc}^{ок-\partial l})_{k,vc}^0 = \frac{\Delta N(N)_{k,vc}^{ок-\partial l}}{G_{vc}^0}; \quad (8.8.17)$$

где $G_{\text{вс}}^{\partial\lambda}(t_1)$ — осевая жесткость k -ого сечения внутреннего слоя стены в возрасте кладки пять лет для случая окончания роста в момент окончания возведения $\tau_{\text{ок}}$, определяемая по формуле (8.8.14); $\Delta N_{k,\text{вс}}^{\text{ок}-\partial\lambda}$ — усилия, перераспределяемые с внутреннего слоя с момента окончания возведения;

$G_{\text{вс}}^0$ — осевая жесткость кладки внутреннего слоя для вычисления деформаций упругого восстановления, определяемая по формуле:

$$G_{k,\text{вс}}^0 = E_{k,\text{вс}}^0 A_{k,\text{вс}} ; \quad (8.8.18)$$

где $E_{k,\text{вс}}^0$ — модуль упругости кладки, определяемый по формуле (6.2.13); $A_{k,\text{вс}}$ — площадь поперечного сечения кладки k -го сечения внутреннего слоя стены.

Деформации кладки, развивающиеся по шву между внутренним слоем и диафрагмой, после окончания возведения стен будут по-прежнему равны между собой. Отсюда деформации, развивающиеся в наружном и внутреннем слоях по шву между ними от вертикальных усилий с момента начала возведения стены в течение длительного периода после окончания возведения, также равны между собой:

$$\varepsilon(N_{k,\text{нс}}^{\partial\lambda})_{k,\text{нс}}^{\partial\lambda} = \varepsilon(N_{k,\text{вс}}^{\partial\lambda})_{k,\text{вс}}^{\partial\lambda} . \quad (8.8.19)$$

Подставим в формулу (8.8.19) формулы (8.8.12)–(8.8.18) и выполнив преобразования, получим усилие от вертикальной нагрузки, перераспределяемое между слоями с момента окончания возведения стены:

$$\frac{N(N)_{k,\text{нс}}^{\partial\lambda}}{G_{k,\text{нс}}^{\partial\lambda}(t_1 = \tau_{\text{ок}} + 30)} = \frac{N(N)_{k,\text{вс}}^{\text{ок}}}{G_{\text{вс}}^{\partial\lambda}(t_1 = \tau_{\text{ок}})} + \frac{\Delta N(N)_{k,\text{вс}}^{\text{ок}-\partial\lambda}}{G_{\text{вс}}^0}; \quad (8.8.20)$$

$$\frac{N(N)_{k,\text{нс}}^{\partial\lambda} + \Delta N(N)_{k,\text{нс}}^{\text{ок}-\partial\lambda}}{G_{k,\text{нс}}^{\partial\lambda}(t_1 = \tau_{\text{ок}} + 30)} = \frac{N(N)_{k,\text{вс}}^{\text{ок}}}{G_{\text{вс}}^{\partial\lambda}(t_1 = \tau_{\text{ок}})} + \frac{\Delta N(N)_{k,\text{вс}}^{\text{ок}-\partial\lambda}}{G_{\text{вс}}^0} . \quad (8.8.21)$$

Усилия $\Delta N(N)_{k,\text{вс}}^{\text{ок}-\partial\lambda}$ и $\Delta N(N)_{k,\text{нс}}^{\text{ок}-\partial\lambda}$ равны по абсолютной величине и противоположны по знаку:

$$\Delta N(N)_{k,\text{в.}}^{\text{ок}-\partial\lambda} = -\Delta N(N)_{k,\text{нс}}^{\text{ок}-\partial\lambda} . \quad (8.8.22)$$

Выполнив преобразования, получим, что

$$\Delta N(N)_{\text{верх,нс}}^{\text{ок-}\partial\lambda} = \frac{\frac{N(N)_{k,\text{вс}}^{\text{ок}}}{G_{\text{вс}}^{\partial\lambda}(t_1 = \tau_{\text{ок}})} - \frac{N(N)_{k,\text{нс}}^{\text{ок}}}{G_{k,\text{нс}}^{\partial\lambda}(t_1 = \tau_{\text{ок}} + 30)}}{\frac{1}{G_{k,\text{вс}}^0} + \frac{1}{G_{k,\text{нс}}^{\partial\lambda}(t_1 = \tau_{\text{ок}} + 30)}}. \quad (8.8.23)$$

Усилия $\Delta N(N)_k^{\text{ок-}\partial\lambda}$, перераспределяемые между слоями стены с момента окончания ее возведения, по высоте стены изменяются незначительно (глава 8) и при определении вертикальных усилий могут приниматься по значению в верхнем этаже:

$$N(N)_k^{\text{ок-}\partial\lambda} = \Delta N(N)_{\text{верх}}^{\text{ок-}\partial\lambda}. \quad (8.8.24)$$

8.9. Усилия от температурных воздействий, перераспределяемые между слоями стены с кирпичными диафрагмами

Аналогично тому, как было получено выражение для определения усилий, перераспределяемых между слоями стены при действии вертикальной нагрузки (собственного веса стен и перекрытий), может быть получено выражение для определения *усилий, перераспределяемых между слоями стены при температурных воздействиях:*

$$\Delta N(t)_{k.\text{в.}} = \frac{\varepsilon(t)_{k,\text{вс}}^0 - \varepsilon(t)_{k,\text{нс}}^0}{\frac{1}{G_{k,\text{вс}}^0} + \frac{1}{G_{k,\text{нс}}^0}}, \quad (8.9.1)$$

где $\varepsilon(t)_{k,\text{вс}}^0$, $\varepsilon(t)_{k,\text{нс}}^0$ — температурные деформации соответственно внутреннего и наружного слоев стены в k -ом сечении, определяемые, как описано в разделе 6.6; $G_{k,\text{вс}}^0$, $G_{k,\text{нс}}^0$ — осевые жесткости слоев стены в k -ом сечении, определяемые с учетом только упругой работы кладки по формуле (8.8.18) с подстановкой соответствующих значений для внутреннего и наружного слоев.

Обозначив:

$$\Delta \varepsilon(t)_k^0 = \varepsilon(t)_{k,\text{вс}}^0 - \varepsilon(t)_{k,\text{нс}}^0, \quad (8.9.2)$$

получим:

$$\Delta N(t)_{k.в.} = \frac{\Delta \varepsilon(t)_k^0}{\gamma^0}. \quad (8.9.3)$$

Свободные температурные деформации слоев стены $\varepsilon(t)_{k,i}^0$ равны:

$$\varepsilon(t)_i^0 = \alpha_{ii} \cdot \Delta t_i, \quad (8.9.4)$$

где α_{ii} – коэффициент линейного расширения i -го слоя кладки [1.5], [1.6]; $\varepsilon(t)_i^0$ – вертикальные температурные деформации, подсчитанные без учета связей сдвига между слоями стены; Δt_i – расчетные значения приведенных средних температур i -го слоя стены, определяемые с учетом изменения температуры воздуха и солнечной радиации по п. 6.6.

Вертикальное усилие, вызываемое температурными деформациями, равно усилию, перераспределяемому между слоями, и определяется по формуле (8.6.5).

8.10. Усилия от влажностных воздействий, перераспределяемые между слоями стены с кирпичными диафрагмами

Деформации усадки (набухания) кладки, как и температурные, являются объемными. При определении усилий, перераспределяемых между слоями, разница между ними будет только в том, что деформации усадки не носят, как правило, циклический характер и в этом смысле схожи с деформациями ползучести.

Условно принимаем, что деформации усадки кладки внутреннего слоя выше, чем наружного. **Усилия от деформаций усадки кладки, перераспределяемые между слоями,** могут вычисляться по формулам, аналогичным формулам (8.8.6) и (8.8.23) с подстановкой в них соответствующих значений коэффициентов $\gamma(sh)$ и выражений для определения свободных деформаций слоев:

$$\Delta N(sh)_{k.в.}^{ок} = \frac{\Delta \varepsilon(sh)_k^{ок}}{\gamma^{ок}}; \quad (8.10.1)$$

$$\Delta N(sh)_{к,вс}^{шк-дл} = \frac{\frac{\Delta N(sh)_{к,вс}^{ок}}{G_{вс}^{дл}(t_1 = \tau_{ок})} - \frac{\Delta N(sh)_{к,нс}^{ок}}{G_{к,нс}^{дл}(t_1 = 30)}}{\frac{1}{G_{к,вс}^0} + \frac{1}{G_{к,нс}^{дл}(t_1 = \tau_{ок} + 30)}}. \quad (8.10.2 \text{ а})$$

$$\Delta N(sh)_{k.в.}^{ок-дл} = \frac{\Delta \varepsilon(sh)_k^{дл}}{\gamma(sh)_k^{ок-дл}}, \quad (8.10.2 б)$$

где

$$\gamma(sh)_k^{ок} = \gamma(N)_k^{ок}. \quad (8.10.3)$$

$$\gamma(sh)_k^{ок-дл} = \frac{1}{G_{k,вс}^0} + \frac{1}{G_{k,нс}^{дл} (t_1 = \tau_{ок} + 30)}. \quad (8.10.4)$$

В приведенных выше формулах $\Delta \varepsilon(sh)_k^{ок}$, $\gamma(sh)_k^{ок}$; — разность свободных вертикальных деформаций слоев стены в k -ом сечении, вызванных деформациями усадки кладки:

$$\Delta \varepsilon(sh)_k^{ок} = \varepsilon^0(sh)_1^{ок} - \varepsilon^0(sh)_2^{ок}; \quad (8.10.5)$$

$$\Delta \varepsilon(sh)_k^{дл} = \varepsilon^0(sh)_{нс}^{дл} - \varepsilon^0(sh)_{вс}^{дл}. \quad (8.10.6)$$

где $\varepsilon^0(sh)_i^{ок}$, $\varepsilon^0(sh)_i^{дл}$; — свободные деформации усадки кладки, развившиеся с начала возведения стены в течение длительного времени, определяемые в соответствии с главой 6.

Вертикальные усилия, вызываемые влажностными деформациями, равны усилиям, перераспределяемым между слоями, и могут определяться по формулам (8.6.3), (8.6.4).

8.11. Касательные напряжения в диафрагме

8.11.1. Касательные напряжения от вертикальной нагрузки, действующие на момент окончания возведения стены

Касательные напряжения, действующие на момент окончания возведения, в любом горизонтальном сечении диафрагмы могут быть вычислены по формуле:

$$\tau(N)_k^{ок} = m_{\tau}^{ок} \frac{z}{H} \cdot \frac{\Delta N(N)_{низ}^{ок}}{zh_g} = m_{\tau}^{ок} \frac{\Delta N(N)_{низ}^{ок}}{Hh_g}, \quad (8.11.1)$$

где $\Delta N(N)_{низ}^{ок}$; — усилия, перераспределяемые между слоями на момент окончания возведения стены в ее основании, определяемые по формуле (8.8.9); H — высота стены; z — расстояние от верха стены до k -го сечения; h_g — толщина диафрагмы.

В несущих стенах, когда нагрузка прикладывается в уровне перекрытий, **касательные напряжения по высоте этажа распределены неравномерно.** Это может учитываться с помощью коэффици-

ента неравномерности касательных напряжений $m_{\tau}^{ок}$, полученного из расчетов методом конечных элементов при мелкой разбивке на элементы. Для случая несущих стен с вертикальными кирпичными диафрагмами коэффициент неравномерности касательных напряжений $m_{\tau}^{ок}$ принимается равным 1,5.

8.11.2. Касательные напряжения от вертикальной нагрузки, развивающиеся с момента окончания возведения стены

Как сказано в главе 7, за счет деформаций ползучести кладки, обладающей различными деформационными характеристиками при сжатии и растяжении, а также по вертикали и горизонтали, с момента окончания возведения стены перераспределение усилий между слоями продолжается. Это в свою очередь вызывает в диафрагме, главным образом в ее верхней части, рост касательных напряжений. В диафрагме нижнего этажа здания высотой в два и более этажей касательные напряжения с момента окончания возведения стены возрастают незначительно (около 3%) и могут не учитываться. В средних этажах приращение касательных напряжений может достигнуть 17% и более. В наибольшей мере с момента окончания строительства возрастают касательные напряжения в верхнем этаже (в 1,5 раза).

Касательные напряжения от вертикальной нагрузки, развивающиеся с момента окончания возведения стены в верхнем этаже, могут быть определены по формуле:

$$\tau(N)_{\text{верх}}^{ок-дл} = m_{\tau}^{ок-дл} \frac{\Delta N(N)_{\text{верх}}^{ок-дл}}{H_{\text{эт}} h_g}, \quad (8.11.2)$$

где $\Delta(N)_{\text{верх}}^{ок-дл}$ — величина усилий, перераспределяемых между слоями в верхнем этаже стены с момента окончания ее возведения, определяемая по формуле (8.8.24); H^m — высота верхнего этажа; h_g — толщина диафрагмы.

Коэффициент неравномерности касательных напряжений $m_{\tau}^{ок-дл}$, развивающихся после окончания возведения от деформаций ползучести кладки, принят равным 1,2.

8.11.3. Касательные напряжения от температурных деформаций

При кирпичных диафрагмах, жесткость кладки которых сопоставима с жесткостью кладки слоев, **касательные напряжения от температурных воздействий** развиваются в основном в верх-

ней части стены высотой на 1,5 этажа. Форма эпюры погонных касательных усилий близка к треугольной. Величина перераспределяемого между слоями усилия равна площади этой эпюры. Отсюда максимальное значение касательных напряжений может быть определено по формуле:

$$\tau(t)_{\text{верх}} = \frac{2\Delta N(t)}{1,5H_{\text{эт}}h_g}, \quad (8.11.3)$$

где $\Delta N(t)$ — усилия от температурных воздействий, перераспределяемые между слоями, определяемые по формуле (8.9.1).

8.11.4. Касательные напряжения от усадки кладки

Характер эпюры касательных напряжений, возникающих от деформаций усадки кладки такой же, как и при температурных деформациях. В соответствии с разделами 8.10 и 8.11.3 получим формулы для определения **касательных напряжений в кирпичной диафрагме, возникающих от деформаций усадки кладки, на момент окончания возведения стены и за период, начинающийся с момента окончания.**

$$\tau(sh)_{\text{верх}}^{\text{ок}} = \frac{\Delta N(sh)_{k, \text{вс}}^{\text{ок}}}{1,5H_{\text{эт}}h_g}; \quad (8.11.4)$$

$$\tau(sh)_{\text{верх}}^{\text{ок-дл}} = \frac{\Delta N(sh)_{k, \text{вс}}^{\text{ок-дл}}}{1,5H_{\text{эт}}h_g}, \quad (8.11.5)$$

где $\Delta N(sh)_{k, \text{в}}^{\text{ок}}$, $\Delta N(sh)_{k, \text{вс}}^{\text{ок-дл}}$ — усилия в k -ом сечении, перераспределяемые между слоями стены и вызываемые деформациями усадки, соответственно для возраста кладки более пяти лет и на момент окончания ее возведения, определяемые по формулам (8.10.1), (8.10.2 а).

8.12. Вертикальные перемещения от вертикальной нагрузки многослойной кладки в верхней части стены, развивающиеся с момента окончания возведения

В ряде случаев возникает необходимость определения **вертикальных перемещений стены, особенно в ее верхней части, протекающих с момента окончания возведения стены.** Например, такая необходи-

мость может возникнуть при оценке разности вертикальных перемещений наружной стены и прилегающих к ней конструкций каркаса.

Вертикальные деформации наружного слоя от вертикальной нагрузки в любом горизонтальном сечении стены k , протекающие в течение пяти лет с момента окончания возведения рассматриваемого этажа, равны:

$$\varepsilon(N_{k,nc}^{\partial l})_{k,nc}^{ок-дл} = \frac{N(N)_{k,nc}^{\partial l}}{G_{k,nc}^{ок\partial l}(t_1)}, \quad (8.12.1)$$

где $N(N)_{k,nc}^{\partial l}$ — вертикальные усилия в k -ом сечении наружного слоя, определяемые для возраста кладки более пяти лет по формуле (8.6.2 б);

$G_{k,nc}^{ок\partial l}(t_1)$ — осевая жесткость k -го сечения наружного слоя стены, подсчитанная для модуля деформаций кладки $E_{k,nc}^{ок-дл}$ при окончании роста нагрузки в момент $t_1 = \tau_{ок} + 30$:

$$G_{k,nc}^{ок\partial l} = E_{k,nc}^{ок\partial l} A_{k,nc}; \quad (8.12.3)$$

$$G_{k,вс}^{ок-дл} = E_{k,вс}^{ок-дл} A_{k,вс}; \quad (8.12.4)$$

где $A_{k,nc}$, $A_{k,вс}$ — площади k -го сечения соответственно наружного и внутреннего слоев;

$E_{i,k}^{ок-дл}$ — *модули деформаций кладки* i -го слоя в k -ом сечении, определяемые в соответствии с формулой (6.4.9) по формуле:

$$E_{k,nc}^{ок\partial l} = \frac{E_{k,nc}^o}{\eta_{k,nc}^{ок\partial l}(t_1)}, \quad (8.12.5)$$

где $\eta_{k,nc}^{ок-дл}(t_1)$ — коэффициент, позволяющий учесть деформации кладки наружного слоя, протекающие с момента окончания возведения стены до— их затухания, при окончании роста нагрузки в момент времени $t_1 = \tau_{ок} + 30$, определяемый по формуле— (6.4.6).

Как отмечалось выше, для практических расчетов эпюра вертикальных усилий $N_i(N)^{ок}$, возникающих в i -ом слое кладки стены от вертикальной нагрузки, может быть принята треугольной.

Вертикальные перемещения наружного слоя, *протекающие с момента окончания возведения, вверху стены* равны:

$$e(N)_{nc,всрх.}^{ок-дл} = \sum_{m=1}^n \varepsilon(N)_{m,nc}^{ок-дл} \cdot H_m = \sum_{m=1}^n \frac{N(N)_{m,nc}^{\partial l}}{G_{m,nc}^{ок-дл}(t_1)} \cdot H_m, \quad (8.12.6)$$

где $N(N)_{m,nc}^{dl}$ — вертикальные усилия, возникающие в наружном слое в основании стены от вертикальной нагрузки, определяемые по формуле (8.6.2 б); H_m — высота m -го этажа; n — количество этажей.

8.13. Примеры расчета трехслойных стен

8.13.1. Пример определения вертикальных усилий и касательных напряжений, развивающихся в диафрагме от температурных воздействий

Кладка внутреннего слоя выполняется из глиняного кирпича полусухого прессования марки по прочности М75 на растворе марки 25. Кладка наружного слоя и вертикальной диафрагмы выполняется из керамического пустотелого кирпича марки по прочности М75. Горизонтальное сечение фрагмента стены приведено на рис. 8.5.1.

Методика определения изменений средних температур кладки наружного и внутреннего слоев наружной стены приведена в главе 6.

Изменения средних температур кладки лицевого слоя, для холодного времени года t_{ow} , определим по формуле:

$$\Delta t_{c,nc} = -70,4^{\circ}C.$$

Изменения средних температур кладки лицевого слоя, для теплого времени года принимаем:

$$\Delta t_{w,nc} = 61,7^{\circ}.$$

Изменения средних температур кладки внутреннего слоя для холодного времени года определим по формуле :

$$\Delta t_{c,ec} = -16,4^{\circ}C.$$

Изменения средних температур кладки лицевого слоя для теплого времени года (6.5.7) принимаем:

$$\Delta t_{w,ec} = 41^{\circ}C.$$

Расчетные значения температур вычисляются путем умножения полученных нормативных значений на коэффициент надежности, равный 1,1.

Свободные температурные деформации кладки лицевого слоя для теплого и холодного времени года определим по формулам (6.7.1) и (6.7.2):

$$\varepsilon(t)_{w,nc}^0 = \alpha_{t,nc} \Delta t_{w,nc} = 0,000005 \times 61,7 = 0,000308;$$

$$\varepsilon(t)_{c,nc}^0 = \alpha_{t,nc} \Delta t_{c,nc} = 0,000005 \times (-70,4) = -0,000352.$$

Свободные температурные деформации кладки внутреннего слоя для теплого и холодного времени года определим также по формулам (6.7.1) и (6.7.2):

$$\varepsilon(t)_{w,ec}^0 = \alpha_{t,ec} \Delta t_{w,ec} = 0,000005 \times 41 = 0,000205;$$

$$\varepsilon(t)_{c,ec}^0 = \alpha_{t,ec} \Delta t_{c,ec} = 0,000005 \times (-16,4) = -0,000082.$$

где α_{ti} – коэффициент линейного расширения i -го слоя кладки, принимаемый для обоих слоев в соответствии с [1.5] равным 0,000005.

Разность свободных температурных деформаций наружного (лицевого) и внутреннего слоев для теплого времени года равна:

$$\varepsilon(t)_{k,w}^0 = \varepsilon(t)_{w,nc}^0 - \varepsilon(t)_{w,ec}^0 = 0,000308 - 0,000205 = 0,000103.$$

Разность свободных температурных деформаций наружного (лицевого) и внутреннего слоев для холодного времени года определим по формуле (8.9.2):

$$\varepsilon(t)_{k,c}^0 = \varepsilon(t)_{c,nc}^0 - \varepsilon(t)_{c,ec}^0 = -0,000352 - (-0,000082) = -0,00027.$$

Усилия, перераспределяемые между слоями стены при температурных воздействиях, определим по формуле (8.9.4) с подстановкой соответствующих значений $\Delta \varepsilon(t)_k^0$:

$$\Delta N(t)_{k,w} = \frac{\Delta \varepsilon(t)_{k,w}^0}{\gamma^0} = \frac{0,000103}{0,00487} = 0,00211 \text{ МН},$$

$$\Delta N(t)_{k,c} = \frac{\Delta \varepsilon(t)_{k,c}^0}{\gamma^0} = -\frac{0,00027}{0,00487} = -0,00554 \text{ МН},$$

γ^0 определим по формуле (7.9.3):

$$\gamma^0 = \frac{1}{G_{k,ec}^0} + \frac{1}{G_{k,nc}^0} = 1/308 + 1/616 = 0,00487 \text{ 1/МПа},$$

где $G_{k,ec}^0$, $G_{k,nc}^0$ – осевые жесткости слоев стены в k -ом сечении, определяемые с учетом только упругой работы кладки по формуле (8.8.18) с подстановкой соответствующих значений для внутреннего и наружного слоев:

$$G_{nc}^0 = E_{nc}^0, A_{nc} = 2200 \times 0,28 = 616 \text{ МПа};$$

$$G_{\text{вс}}^0 = E_{\text{вс}}^0, A_{\text{вс}} = 1100 \times 0.28 = 308 \text{ МПа.}$$

Положительный знак касательных напряжений принимаем для случая, когда действующие в вертикальной плоскости сдвигающие усилия создают момент, направленный по часовой стрелке. Максимальное значение касательных напряжений, развивающихся вверх диафрагмы от температурных воздействий, может быть определено по формуле (8.11.3):

$$\tau(t_w)_{\text{вверх}} = \frac{2\Delta N(t)_w}{1,5H_{\text{эт}}h_g} = \frac{2 \times 0,00211}{1,5 \times 3 \times 0,12} = 0,078 \text{ МПа;}$$

$$\tau(t_c)_{\text{вверх}} = \frac{2\Delta N(t)_c}{1,5H_{\text{эт}}h_g} = -\frac{2 \times 0,00554}{1,5 \times 3 \times 0,12} = -0,205 \text{ МПа.}$$

8.13.2. Пример определения вертикальных усилий, развивающихся в слоях на момент окончания возведения стены

Время окончания возведения стены $t_I = 81$ суткам с начала строительства.

Вертикальные усилия от собственного веса кладки и перекрытий в основании внутренней стены $N_{\text{вс,низ}}^0 = 0,326 \text{ МН}$. Вертикальные усилия от собственного веса кладки в основании наружной стены $N_{\text{вс,низ}}^0 = 0,033 \text{ МН}$.

Как и в примере, приведенном в 8.13.1, кладка внутреннего слоя выполняется из глиняного кирпича полусухого прессования марки прочности М75 на растворе марки 25. Кладка наружного слоя и вертикальной диафрагмы выполняется из керамического пустотелого кирпича марки прочности М75 на растворе марки 25.

В соответствии с табл. 2 работы [1.5] расчетное сопротивление кладки сжатию равно 1,1 МПа (110 тс/м²).

Временное сопротивление кладки сжатию равно:

$$R_u = 2 R = 2 \times 1,1 = 2,2 \text{ МПа.}$$

Упругая характеристика кладки α_i i -го слоя принимается по [1.5]. Для кладки внутреннего слоя из кирпича полусухого прессования $\alpha_{\text{вс}} = 500$, для кладки наружного слоя и вертикальной диафрагмы из керамических камней $\alpha_{\text{нс}} = 1000$.

Для кладки наружного слоя и вертикальной диафрагмы $C_{\text{нс}} = A \cdot \alpha = 0,46$; для кладки внутреннего слоя $C_{\text{вс}} = A \cdot \alpha = 0,7$.

Площади поперечного сечения кладки слоев равны:

$$A_{к,вс} = 0,25 \times 1,14 = 0,28 \text{ м}^2;$$

$$A_{к,нс} = 0,12 \times 1,14 + 0,12 \times 0,31 = 0,17 \text{ м}^2.$$

Модуль упругости кладки определим по формуле (6.2.13):

Для кладки внутреннего слоя:

$$E_{вс}^0 = 500 \times 2,2 = 1100 \text{ МПа};$$

для кладки наружного слоя и вертикальной диафрагмы:

$$E_{нс}^0 = 1000 \times 2,2 = 2200 \text{ МПа}.$$

Коэффициенты для определения полных деформаций кладки на момент окончания роста нагрузки определим по формуле (6.4.4):

$$\eta^{ок}(t_1)_{вс,низ} = 1,56C_{вс} + 2,06 \times 0,51 \lg t_1 = 1,56 \times 0,7 + 2,06 \times 0,51 \lg 81 = 2,19;$$

$$\eta^{ок}(t_1)_{нс,низ} = 1,56C_{нс} + 2,06 \times 0,51 \lg t_1 = 1,56 \times 0,38 + 2,06 \times 0,51 \lg 81 = 1,70;$$

$$\eta^{ок}(t_1)_{вс,верх} = 1,56C_{вс} + 2,06 \times 0,51 \lg t_1 = 1,56 \times 0,7 + 2,06 \times 0,51 \lg 9 = 2,09;$$

$$\eta^{ок}(t_1)_{нс,верх} = 1,56C_{нс} + 2,06 \times 0,51 \lg t_1 = 1,56 \times 0,38 + 2,06 \times 0,51 \lg 9 = 1,59.$$

Модули деформаций кладки в основании стены для возраста кладки на момент окончания возведения стены определим по формуле (6.4.7):

$$E_{вс,низ}^{ок} = E_{вс}^0 / \eta_{вс,низ}^{ок}(t_1) = 1100/2,19 = 502 \text{ МПа};$$

$$E_{нс,низ}^{ок} = E_{нс}^0 / \eta_{нс,низ}^{ок}(t_1) = 2200/1,70 = 1294 \text{ МПа};$$

$$E_{вс,верх}^{ок} = E_{вс}^0 / \eta_{вс,верх}^{ок}(t_1) = 1100/2,09 = 526 \text{ МПа};$$

$$E_{нс,верх}^{ок} = E_{нс}^0 / \eta_{нс,верх}^{ок}(t_1) = 2200/1,59 = 1383 \text{ МПа}.$$

Осевые жесткости слоев $G_{к,i}^{ок}$ в основании стены для возраста кладки на момент окончания возведения стены определим по формуле (8.8.2):

$$G_{вс,низ}^{ок} = E_{вс,низ}^{ок} A_{вс} = 502 \times 0,28 = 140,6 \text{ МН};$$

$$G_{нс,низ}^{ок} = E_{нс,низ}^{ок} A_{нс} = 1294 \times 0,17 = 220,0 \text{ МН};$$

$$G_{вс,верх}^{ок} = E_{вс,верх}^{ок} A_{вс} = 526 \times 0,28 = 147,3 \text{ МН};$$

$$G_{нс,верх}^{ок} = E_{нс,верх}^{ок} A_{нс} = 1383 \times 0,17 = 235,0 \text{ МН}.$$

Коэффициенты $\gamma^{ок}$ определим по формуле (8.8.8):

$$\gamma_{низ}^{ок} = \frac{1}{G_{вс,низ}^{ок}} + \frac{1}{G_{нс,низ}^{ок}} = 1/140,6 + 1/220,0 = 0,00711 + 0,00454 = 0,0116 \text{ 1/МН};$$

$$\gamma_{\text{верх}}^{\text{ок}} = \frac{1}{G_{\text{вс,верх}}^{\text{ок}}} + \frac{1}{G_{\text{нс,верх}}^{\text{ок}}} = 1/147,3 + 1/235 = 0,00711 + 0,00454 = 0,0111/\text{МН}.$$

Определим свободные вертикальные деформации слоев в основании стены на момент окончания ее возведения:

$$\varepsilon(N)_{\text{вс,низ}}^0 = \frac{N_{\text{вс,низ}}^0}{G_{\text{вс,низ}}^{\text{ок}}} = 0,326/140,6 = 0,00232;$$

$$\varepsilon(N)_{\text{нс,низ}}^0 = \frac{N_{\text{нс,низ}}^0}{G_{\text{нс,низ}}^{\text{ок}}} = 0,033/220 = 0,0001.$$

Определим свободные вертикальные деформации слоев вверху стены на момент окончания ее возведения:

$$\varepsilon(N)_{\text{вс,верх}}^0 = \frac{N_{\text{вс,верх}}^0}{G_{\text{вс,верх}}^{\text{ок}}} = 0,0666/147,3 = 0,000452;$$

$$\varepsilon(N)_{\text{нс,верх}}^0 = \frac{N_{\text{нс,верх}}^0}{G_{\text{нс,верх}}^{\text{ок}}} = 0,00714/235 = 0,0$$

где $N(N)_{\text{вс,верх}}^0 = 0,0666 \text{ МН}$; $N(N)_{\text{нс,верх}}^0 = 0,00714 \text{ МН}$.

Разность свободных вертикальных деформаций слоев в основании стены на момент окончания ее возведения равна:

$$\Delta\varepsilon(N)_{\text{низ}}^0 = \varepsilon(N)_{\text{вс,низ}}^0 - \varepsilon(N)_{\text{нс,низ}}^0 = 0,00232 - 0,00015 = 0,00217.$$

Разность свободных вертикальных деформаций слоев вверху стены на момент окончания ее возведения равна:

$$\Delta\varepsilon(N)_{\text{верх}}^0 = \varepsilon(N)_{\text{вс,верх}}^0 - \varepsilon(N)_{\text{нс,верх}}^0 = 0,000452 - 0,00003 = 0,000422.$$

Усилие, перераспределяемое с внутреннего слоя в основании стены на момент окончания ее возведения $\Delta N(N)_{\text{к.вс}}^{\text{ок}}$, определим по формуле (8.8.9):

$$\Delta N(N)_{\text{вс,низ}}^{\text{ок}} = \frac{\Delta\varepsilon(N)_{\text{низ}}^0}{\gamma_{\text{низ}}^{\text{ок}}} = 0,00217/0,0116 = 0,187 \text{ МН}.$$

Из расчета пространственного фрагмента стены с учетом длительности и поэтапности возведения, приведенного в главе 7, перераспределяемые между слоями усилия на момент окончания возведения равны 0,177 МН. Таким образом, погрешность вычисления по сравнению с более точным методом составляет 5%.

Усилие, перераспределяемое с внутреннего слоя вверх стены на момент окончания ее возведения $\Delta N(N)_{к.вс}^{ок}$, определим также по формуле (8.8.9):

$$\Delta N(N)_{вс, верх}^{ок} = \frac{\Delta \varepsilon(N)_{верх}^0}{\gamma_{верх}^{ок}} = 0,000422/0,011 = 0,0384 \text{ МН.}$$

Из расчета пространственного фрагмента стены с учетом длительности и поэтапности возведения, приведенного в главе 6, перераспределяемые между слоями усилия на момент окончания возведения равны 0,0356 МН. Таким образом, погрешность вычисления по сравнению с более точным методом составляет 6%.

Вертикальные усилия внизу слоев на момент окончания возведения стены определим по формуле (8.8.3 а):

$$N(N)_{низ, вс}^{ок} = N_{низ, вс}^{ок} + \Delta N(N)_{низ, вс}^{ок} = 0,326 - 0,187 = 0,139 \text{ МН;}$$

$$N(N)_{низ, нс}^{ок} = N_{низ, нс}^{ок} + \Delta N(N)_{низ, нс}^{ок} = 0,033 + 0,187 = 0,220 \text{ МН.}$$

Вертикальные усилия вверх слоев на момент окончания возведения стены определим по формуле (8.8.3, а):

$$N(N)_{верх, вс}^{ок} = N_{верх, вс}^{ок} + \Delta N(N)_{верх, вс}^{ок} = 0,0666 - 0,038 = 0,0286 \text{ МН;}$$

$$N(N)_{верх, нс}^{ок} = N_{верх, нс}^{ок} + \Delta N(N)_{верх, нс}^{ок} = 0,00714 + 0,038 = 0,045 \text{ МН.}$$

8.13.3. Пример определения вертикальных усилий в слоях, развивающихся после окончания возведения стены

Возраст кладки верхнего этажа на момент окончания возведения стены принимаем равным 9 суткам. Остальные исходные данные принимаем такими же, как в примере 8.13.1.

Коэффициенты для определения полных деформаций кладки в середине верхнего этажа на момент окончания роста нагрузки определим по формуле (6.4.5):

$$\eta_{\text{вс,верх}}^{\partial l}(t_1 = \tau_{\text{ок}}) = 2,06 + 5,068 C_{\text{вс}} - (0,5 + 1,156 C_{\text{вс}}) \lg(t_1 = \tau_{\text{ок}}) = \\ = 2,06 + 5,068 \times 0,7 - (0,5 + 1,156 \times 0,7) \lg(9) = 4,35;$$

$$\eta_{\text{нс,верх}}^{\partial l}(t_1 = \tau_{\text{ок}} + 30) = 2,06 + 5,068 C_{\text{нс}} - (0,5 + 1,156 C_{\text{нс}}) \lg(t_1 = \tau_{\text{ок}} + 30) = \\ = 2,06 + 5,068 \times 0,38 - (0,5 + 1,156 \times 0,38) \lg(9 + 30) = 2,5.$$

Модули деформаций кладки вверх стены для возраста кладки на момент окончания ее возведения определим по формуле (6.4.8):

$$E_{\text{вс,верх}}^{\partial l} = E_{\text{вс}}^0 / \eta_{\text{вс,верх}}^{\partial l}(t_1 = \tau_{\text{ок}}) = 1100 / 4,35 = 252,9 \text{ МПа};$$

$$E_{\text{нс,верх}}^{\partial l} = E_{\text{нс}}^0 / \eta_{\text{нс,верх}}^{\partial l}(t_1 = \tau_{\text{ок}} + 30) = 2200 / 2,5 = 880 \text{ МПа}.$$

Осевые жесткости слоев вверх стены для возраста кладки на момент окончания возведения стены определим по формуле (8.8.2):

$$G_{\text{нс,верх}}^{\partial l}(t_1 = \tau_{\text{ок}} + 60) = E_{\text{нс,верх}}^{\partial l}(t_1 = \tau_{\text{ок}} + 30) A_{\text{нс}} = 880 \times 0,17 = 150 \text{ МН};$$

$$G_{\text{вс,верх}}^{\partial l}(t_1 = \tau_{\text{ок}}) = E_{\text{вс,верх}}^{\partial l}(t_1 = \tau_{\text{ок}}) A_{\text{вс}} = 252,9 \times 0,28 = 70,8 \text{ МН}.$$

Осевая жесткость кладки внутреннего слоя для вычисления деформаций упругого восстановления определяется по формуле (8.8.18):

$$G_{\text{вс,верх}}^0 = E_{\text{вс,верх}}^0 A_{\text{вс}} = 1100 \times 0,28 = 308 \text{ МН}.$$

Усилия $N(N)_{\text{верх}, i}^{\text{ок}}$ могут быть вычислены по формулам (7.8.3 а), (7.8.3 б):

$$N(N)_{\text{к,вс}}^{\text{ок}} = N_{\text{к,вс}}^0 + \Delta N(N)_{\text{к,вс}}^{\text{ок}} = 0,0666 - 0,038 = 0,0286 \text{ МН};$$

$$N(N)_{\text{к,нс}}^{\text{ок}} = N_{\text{к,нс}}^0 + \Delta N(N)_{\text{к,нс}}^{\text{ок}} = 0,00714 + 0,038 = 0,045 \text{ МН}.$$

Усилия $\Delta N(N)_{\text{верх,нс}}^{\text{ок}-\partial l}$, перераспределяемые между слоями вверх стены с момента окончания ее возведения, определим по формуле (8.8.23):

$$\Delta N(N)_{\text{верх,nc}}^{\text{ок-}\partial\text{л}} = \frac{\frac{N(N)_{\text{к,вс}}^{\text{ок}}}{G_{\text{вс}}^{\partial\text{л}}(t_1 = \tau_{\text{ок}})} - \frac{N(N)_{\text{к,nc}}^{\text{ок}}}{G_{\text{к,nc}}^{\partial\text{л}}(t_1 = \tau_{\text{ок}} + 30)}}{\frac{1}{G_{\text{к,вс}}^0} + \frac{1}{G_{\text{к,nc}}^{\partial\text{л}}(t_1 = \tau_{\text{ок}} + 30)}} = \frac{\frac{0,0286}{70,8} - \frac{0,0452}{150}}{\frac{1}{308} + \frac{1}{150}} = 0,01 \text{ МН}.$$

Из расчета методом конечных элементов это значение равно также 0,01 МН.

8.13.4. Пример определения касательных напряжений, развивающихся в диафрагмеверху стены

В верхнем этаже касательные напряжения равны сумме напряжений от температурно-влажностных воздействий и от вертикальной нагрузки. Касательные напряжения от вертикальной нагрузки складываются из напряжений, возникших на момент окончания возведения стены и развивающихся после окончания возведения за счет деформаций ползучести кладки.

Максимальное значение суммарных касательных напряженийверху стены определим по формуле (8.7.2):

$$\begin{aligned} \tau_{\text{верх}} &= \max[\tau(N)_{\text{верх}}^{\partial\text{л}} + \tau(sh)_{\text{верх}}^{\partial\text{л}} + \tau(t)_{\text{max}}] = \\ &= -0,071 - 0,205 = -0,276 \text{ МПа}, \end{aligned}$$

где $\tau(sh)^{\partial\text{л}}$ — касательные напряжения в вертикальных диафрагмах, развивающиеся вследствие деформаций усадки кладки слоев стены и определяемые по формуле (7.11.5); для кладки из глиняного кирпича и керамических камней принимаются равными нулю.

$\tau(t)_{\text{max}}$ — максимальные по абсолютной величине касательные напряжения от температурных деформаций, совпадающие по знаку с $\tau(N)$, определяются по формуле (8.11.3). Максимальное значение касательных напряжений того же знака, что и $\tau(N)_{\text{верх}}^{\text{ок-}\partial\text{л}}$, развивающихсяверху диафрагмы от температурных воздействий, было определено в примере раздела 8.13.1 и составиловерху стены для зимнего периода времени $\tau(t)_{\text{верх}} = -0,205 \text{ МПа}$.

$\tau(N)_{\text{верх}}^{\partial\text{л}}$, — касательные напряжения в вертикальных диафрагмах,

вызываемые вертикальными усилиями N при возрасте кладки более пяти лет с момента окончания возведения стены, когда суммарные деформации ползучести имеют наибольшие значения, определяемые по формуле (8.7.3):

$$\tau(N)_{\text{верх}}^{\text{дл}} = \tau(N)_{\text{верх}}^{\text{ок}} + \tau(N)_{\text{верх}}^{\text{ок-дл}} = -0,038 - 0,033 = -0,071 \text{ МПа},$$

$\tau(N)_{\text{верх}}^{\text{ок}}$ — касательные напряжения в вертикальных диафрагмах в верхнем этаже, действующие на момент окончания возведения стены и вызываемые вертикальными усилиями N , определены в подразделе 8.13.2 и равняются $-0,0384$ МПа;

$\tau(N)_{\text{верх}}^{\text{ок-дл}}$, — касательные напряжения в вертикальных диафрагмах в верхнем этаже, развивающиеся с момента окончания возведения стены и вызываемые вертикальными усилиями N , определяются по формуле (8.11.2):

$$\tau(N)_{\text{верх}}^{\text{ок-дл}} = m_{\tau}^{\text{ок-дл}} \frac{\Delta N(N)_{\text{верх}}^{\text{ок-дл}}}{H_{\text{эт}} \cdot h_g} = 1,2 \frac{-0,01}{3 \times 0,12} = -0,033 \text{ МПа},$$

где $\Delta N(N)_{\text{верх}}^{\text{ок-дл}}$, — величина усилий, перераспределяемых между слоями в основании стены с момента окончания ее возведения, определенная по формуле (8.8.23) в подразделе (8.13.2);

$m_{\tau}^{\text{ок-дл}}$ — коэффициент неравномерности касательных напряжений, развивающихся после окончания возведения от деформаций ползучести кладки, равный 1,2;

$H_{\text{эт}}$ — высота этажа.

Для несущих стен с вертикальными кирпичными диафрагмами $m_{\tau}^{\text{ок}}$ принимается равным 1,5.

Абсолютная величина этих напряжений превышает прочность кладки на срез:

$$|-0,276| > R_{sq,nt} = 0,24 / 2 = 0,12 \text{ МПа},$$

где $R_{sq,nt}$ — расчетное сопротивление кладки диафрагмы срезу по перевязанному сечению, принимаемое по табл. 10 [1.5] для сечения нетто без учета вертикальных швов (при цепной перевязке площадь сечения нетто в два раза ниже площади сечения брутто).

Таким образом, прочность кладки диафрагмы в верхнем этаже на срез является не обеспеченной. Для обеспечения несущей способности могут быть выполнены различные мероприятия. Из них могут быть приняты следующие:

– снятие нагрузки от перекрытий путем опирания их на внутренние стены или каркас;

– замена во внутреннем слое кирпича полусухого прессования на кирпич пластического прессования, кладка из которого имеет более высокий модуль упругости.

8.13.5. Пример определения касательных напряжений внизу стены

Поскольку в нижнем этаже зданий высотой более одного этажа касательные напряжения от температурно-влажностных воздействий можно не учитывать, прочность кладки диафрагмы проверяется только на действие касательных напряжений от вертикальной нагрузки. Для зданий высотой более двух этажей касательные напряжения, развивающиеся с момента окончания возведения стены, также можно не учитывать. Таким образом, касательные напряжения внизу стены могут определяться по формуле (8.7.1):

$$\tau_{\text{низ}} = \tau(N)_{\text{низ}}^{\text{ок}},$$

где $\tau(N)_{\text{низ}}^{\text{ок}}$, – напряжения от полной вертикальной нагрузки, определяемые на момент окончания возведения по формуле (8.11.1):

$$\tau(N)_{\text{низ}}^{\text{ок}} = m_{\tau}^{\text{ок}} \frac{\Delta N(N)_{\text{низ}}^{\text{ок}}}{H h_g} = 1,5 \times \frac{0,187 \text{ МН}}{15 \times 0,12} = 0,15 \text{ МПа} > R_{\text{sq.nt}} = 0,24 / 2 = 0,12 \text{ МПа},$$

где $\Delta(N)_{\text{низ}}^{\text{ок}}$ – величина усилий, перераспределяемых между слоями на момент окончания возведения стены в ее основании, определенная по формуле (8.8.9) в примере (8.13.1);

H – высота стены;

H_g – толщина диафрагмы;

$R_{\text{sq.nt}}$ – расчетное сопротивление кладки диафрагмы срезу по перевязанному сечению, принимаемое по табл. 10 [1.5] для сечения нетто (без учета вертикальных швов (при цепной перевязке площадь сечения нетто в два раза ниже площади сечения брутто)).

Для случая несущих стен с вертикальными кирпичными диафрагмами принимается равным 1,5.

Таким образом, прочность кладки диафрагмы на момент окончания возведения в нижнем этаже на срез является не обеспеченной. Некоторые из мероприятий, обеспечивающих прочность кладки, описаны в 8.13.3.

8.13.6. Пример проверки несущей способности кладки стены

Несущую способность неармированной кладки при сжатии определим по [1.5]. Горизонтальное сечение рассчитываемого фрагмента стены показано на рис. 8.5.1. Приведем материал наружного слоя и диафрагмы к материалу внутреннего слоя по формуле, при этом толщины слоев сохраним прежними, изменив только их ширину:

$$b_{red,nc} = b_{red,i} = \frac{m_i R_i}{m R} = b_{nc} \frac{m_{nc} R_{nc}}{m_{oc} R_{oc}} = 1,14 \frac{1 \times 1,1}{0,5 \times 1,1} = 2,28 \text{ м};$$

$$b_{red,d} = b_d = \frac{m_d R_d}{m_d R_d} = 0,12 \frac{1 \times 1,1}{0,5 \times 1,1} = 0,24 \text{ м},$$

где $b_{red,i}$ – приведенная ширина i -го слоя;
 $R; m$ – расчетное сопротивление сжатию и коэффициент использования прочности слоя, к которому приводится сечение;
 $R_i; m_i$ – расчетное сопротивление i -го слоя.

Приведенную площадь горизонтального сечения рассчитываемого участка стены определим по формуле:

$$\begin{aligned} A_{red} &= A_{bc} + A_{red,nc} + A_{red,d} = 0,285 + b_{red,nc} h_{nc} + b_{red,d} h_d = \\ &= 0,285 + 0,274 + 0,074 = 0,633 \text{ м}^2, \end{aligned}$$

где A_{bc} – площадь горизонтального сечения внутреннего слоя, к которому приводится сечение;

$A_{red,nc}$ – приведенная площадь горизонтального сечения наружного слоя, равная:

$$A_{red,nc} = 2,28 \times 0,12 = 0,274 \text{ м}^2;$$

$A_{red,d}$ – приведенная площадь горизонтального сечения диафрагмы:

$$A_{red,d} = 0,24 \times 0,31 = 0,074 \text{ м}^2;$$

h_{nc} – толщина наружного слоя;

h_d – толщина диафрагмы (расстояние в свету между наружным и внутренним слоями).

Найдем центр тяжести приведенного сечения.

Статический момент приведенной площади сечения наружного слоя относительно внутренней грани стены равен:

$$\begin{aligned} S_{nc} &= A_{red,nc} \times (h_{nc}/2 + h_d + h_{oc}) = \\ &= 0,274 \times (0,12/2 + 0,31 + 0,25) = 0,170 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Статический момент приведенной площади сечения диафрагмы относительно внутренней грани стены равен:

$$S_{\partial} = A_{red,\partial} \times (h_{\partial}/2 + h_{ec}) = 0,074 \times (0,31/2 + 0,25) = 0,030 \text{ м}^3.$$

Статический момент площади сечения внутреннего слоя относительно внутренней грани стены равен:

$$S_{ec} = A_{red,ec} \times h_{ec}/2 = 0,285 \times 0,25/2 = 0,036 \text{ м}^3.$$

Расстояние центра тяжести приведенного сечения от внутренней грани стены равно:

$$\begin{aligned} X_{ц.т.} &= (S_{ec} + S_{red,nc} + S_{red,\partial}) / (A_{ec} + A_{red,nc} + A_{red,\partial}) = \\ &= (0,170 + 0,030 + 0,036) / (0,274 + 0,074 + 0,285) = \\ &= 0,236 / 0,633 = 0,373 \text{ м}. \end{aligned}$$

Принимаем знак моментов, вызывающих сжатие во внутреннем слое, положительным.

Момент от перекрытия над k -ым этажом определим по формуле (8.5.4):

$$M^{перекры} = N^{перекры} e^{перекры} = 0,025 \times 0,333 = + 0.00832 \text{ МН м},$$

где $e^{перекры}$ — эксцентриситет приложения нагрузки от перекрытия над k -ым этажом относительно оси, проходящей через центр тяжести приведенного сечения.

Момент от усилий $N(t^0)_w$, возникающих в k -ом этаже от температурных деформаций кладки в *летнее* время, вызывает в кладке наружного слоя сжимающие напряжения:

$$M_k [N(t^0)]_w^{\leftarrow} = e \Delta N [N(t^0)]_w = -0,5 \times 0,00211 = -0,00105 \text{ МНм}.$$

Момент от усилий $N(t^0)_c$, возникающих в k -ом этаже от температурных деформаций кладки в *зимнее* время, равен:

$$M_k [N(t^0)]_c^{\rightarrow} = e \Delta N [N(t^0)]_c = -0,5 \times (-0,0054) = + 0,0027 \text{ МНм}.$$

Усилия $\Delta N [N(t^0)]_w$, $\Delta N [N(t^0)]_c$ получены в разделе 8.13.5.

На момент окончания возведения суммарные моменты равны:

$$\begin{aligned} M_{k,w}^{ок} &= M^{перекры} + M_k [N(t^0)]_w = + 0,00832 - 0,00105 = \\ &= + 0,00727 \text{ МНм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{k,c}^{ок} &= M^{перекры} + M_k [N(t^0)]_c + 0,00832 + 0,0027 = \\ &= + 0,01102 \text{ МНм}. \end{aligned}$$

Все полученные суммарные моменты имеют положительный знак и направлены в сторону внутреннего слоя. **Максимальный изгибающий момент** принимается равным $M_{k,w}^{ок} = +0,01102$ МНм.

Эксцентриситет приложения вертикального усилия в уровне первого этажа определяем по максимальной абсолютной величине изгибающего момента:

$$e = M_{max} / N_{низ}^0 + e_{случ.} = + 0,01102 / 0,359 + 0,02 = 0,031 + 0,02 = 0,051 \text{ м,}$$

где $N_{низ}^0$ – суммарное вертикальное усилие в уровне первого этажа, равное:

$$N_{низ}^0 = N_{вс,низ}^0 + N_{нс,низ}^0 = 0,326 + 0,033 = 0,359 \text{ МН;}$$

$e_{случ}$ – случайный эксцентриситет.

Высоту сжатой зоны определим из условия равенства нулю суммы статических моментов эпюры вертикальных напряжений относительно оси приложения вертикального усилия $N_{низ}^0$. При этом принимается, что в предельном состоянии эпюра вертикальных напряжений является прямоугольной.

Прежде найдем статический момент площади сечения части фигуры, расположенной между осью приложения равнодействующей вертикальных усилий и внутренней гранью стены.

Обозначим расстояния от внутренней грани стены до точки приложения равнодействующей вертикальных усилий Z_N :

$$Z_N = 0,373 - 0,051 = 0,322 \text{ м.}$$

Статический момент площади сечения внутреннего слоя относительно точки приложения равнодействующей вертикальных усилий равен:

$$S_{ec} = A_{red,ec} \times Z_{N,ec} = 0,285 \times 0,197 = 0,0561 \text{ м}^3.$$

Статический момент площади сечения диафрагмы, заключенной между внутренним слоем и точкой приложения равнодействующей вертикальных усилий относительно этой точки, равен:

$$S_{d,прав.} = b_{red,d} \times 0,072 \times Z_{N,d} = 0,24 \times 0,072 \times 0,036 = 0,0006 \text{ м}^3.$$

Суммарный статический момент площади сечения части фигуры, расположенной между осью приложения равнодействующей вертикальных усилий и внутренней гранью стены, равен:

$$S_{прав} = 0,0561 + 0,0006 = 0,0567 \text{ м}^3.$$

Из условия равенства нулю суммы статических моментов площадей эпюры сжимающих напряжений, расположенных по разные стороны от оси приложения равнодействующей вертикальных усилий, следует:

$$S_{лев} = -S_{прав} = -0,0567 \text{ м}^3.$$

Статический момент площади сечения диафрагмы, расположенной между осью приложения равнодействующей вертикальных усилий и линией сопряжения диафрагмы с наружным слоем, равен:

$$S_{лев,д} = -b_{ред,д} \times 0,238 Z_{N,д} = -0,24 \times 0,238 \times 0,119 = -0,00680 \text{ м}^3.$$

Поскольку абсолютная величина $|S_{лев,д}| < |S_{прав}|$, **граница сжатой зоны проходит в наружном слое.**

Статический момент сжатой части сечения наружного слоя будет равен:

$$S_{сж,нс} = S_{лев} - S_{лев,д} = -0,0567 - (-0,00680) = -0,0499 \text{ м}^3;$$

$$S_{сж,нс} = -b_{ред,нс,сж} h_{нс,сж} (h_{нс,сж} / 2 + 0,238) =$$

$$= -2,28 h_{нс,сж} (h_{нс,сж} / 2 + 0,238);$$

$$2,28 h_{нс,сж} (h_{нс,сж} / 2 + 0,238) = 0,0499 \text{ м}^3;$$

$$(h_{нс,сж})^2 / 2 + 0,238 h_{нс,сж} - 0,02188 = 0.$$

Решая уравнение, получим:

$$h_{нс,сж} = 0,078 \text{ м.}$$

Площадь сжатой части приведенного сечения равна:

$$A_{сж} = 0,285 + 0,074 + 0,078 \times 2,28 = 0,537 \text{ м}^2.$$

Гибкость стены равна:

$$\lambda = H/h = 3 / 0,68 = 4,4.$$

Для кладки внутреннего слоя из кирпича полусухого прессования $\alpha_{вс} = 500$, для кладки наружного слоя и вертикальной диафрагмы из керамических камней $\alpha_{нс} = 1000$.

Для многослойной кладки с вертикальными диафрагмами принимается **приведенная упругая характеристика кладки**, определяемая по формуле (8.5.7):

$$\alpha_{red} = \frac{\alpha_{\theta c} A_{\theta c} + \alpha_{nc} A_{nc} + \alpha_{\theta} A_{\theta}}{A_{\theta c} + A_{nc} + A_{\theta}} = \frac{500 \times 0,28 + 1000 \times 0,17}{0,28 + 0,17} = 689,$$

где $\alpha_{\theta c}$; α_{nc} ; α_{θ} — упругие характеристики соответственно внутреннего, наружного слоев и диафрагмы (см. пример 8.13.1);

$A_{\theta c}$; A_{nc} ; A_{θ} — площади поперечного сечения, соответственно, внутреннего, наружного слоев и диафрагмы (см. пример 8.13.1).

Высота сжатой части сечения равна:

$$h_c = h - 0,037 = 0,68 - 0,042 = 0,638 \text{ м.}$$

Гибкость сжатой части сечения:

$$\lambda_{hc} = 3,0 / 0,638 = 4,7.$$

Коэффициент продольного изгиба определим по формуле:

$$\varphi_1 = \frac{\varphi + \varphi_c}{2} = (0,95 + 0,94) / 2 = 0,945,$$

где $\varphi = 0,95$; $\varphi_c = 0,94$ — коэффициенты продольного изгиба, определенные по табл. 18 СНиП [1.5], соответственно для всего сечения и его сжатой части в зависимости от гибкости стены и приведенного значения упругой характеристики кладки.

Коэффициент ω , учитывающий повышение прочности кладки при внецентренном сжатии благодаря сдерживанию поперечных деформаций растянутой зоной сечения, для кладки с вертикальными диафрагмами принимаем равным 1,0.

Проверку несущей способности кладки произведем по формуле:

$$N \leq m_g \varphi_1 m R A_{c,red} \omega = [1,0 \times 0,945 \times 0,5 \times 1,1 \times 0,537 \times 1,0] = \\ = 0,279 \text{ МН} \leq N = 0,359 \text{ МН.}$$

где m_g — коэффициент, учитывающий снижение несущей способности кладки при длительном приложении нагрузки вследствие возможного роста со временем эксцентриситета приложения нагрузки, определяемый по СНиП [1.5] и принимаемый для стен толщиной более 30 см равным 1,0;

R — расчетное сопротивление кладки сжатию, принимаемое равным 1,1 МПа;

A_c — площадь сжатой части сечения;

m — коэффициент использования прочности слоя, к которому приводится сечение, равный $m_{\theta c} = 0,5$.

Таким образом, несущая способность кладки стены не обеспе-

чена. Из анализа решения видно, что разрушение происходит по наружному слою. При полной прочности кладки внутреннего слоя, т.е. при $m_{ec} = 1,0$, несущая способность стены была бы обеспечена. Для обеспечения несущей способности могут быть выполнены различные мероприятия, например:

- снятие нагрузки от перекрытий путем опирания их на внутренние стены или каркас;

- замена во внутреннем слое кирпича полусухого прессования на кирпич пластического прессования, кладка из которого имеет более высокий модуль упругости.