

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ КАМЕННОЙ КЛАДКИ С УЧЕТОМ ПОЭТАПНОСТИ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЕЕ ВОЗВЕДЕНИЯ

6.1. Деформации кладки

Деформации кладки могут складываться из деформаций от силовых и температурно-влажностных воздействий. Деформации от силовых воздействий в свою очередь складываются из кратковременных и длительных. Температурно-влажностные деформации складываются из деформаций усадки (набухания) и температурных деформаций. Ниже приводятся приближенные методы определения деформаций кладки.

6.2. Деформации ползучести

В ряде работ по ползучести каменной кладки и близкого к ней по свойствам бетона — [6.1], [6.2], [6.3] и др. показано, что при эксплуатационных напряжениях оправдан принцип наложения воздействий. В работе [6.2] С.В. Поляковым предложены основанные на большом количестве экспериментальных данных формулы для определения деформаций ползучести кладки:

$$\varepsilon_{плз} / A\Delta\sigma / R_u (0,1 + 1,82e^{-0,3\sqrt[3]{t_m}})(t - t_m)^{1/p}. \quad (6.2.1)$$

При изменяющейся во времени нагрузке и напряжениях $\sigma \leq 0,6R$:

$$\varepsilon_{плз} = \frac{A}{R_u} T \int_0^t (0,1 + 1,82e^{-0,3\sqrt[3]{\tau}})(t - \tau)^{1/p} d\tau, \quad (6.2.2)$$

где A — эмпирический коэффициент, характеризующий деформации ползучести кладки; t — текущий возраст кладки в сутках; t_l — момент окончания роста нагрузки; $K = \sigma(t_l) / R_u$; R_u — временное сопротивление кладки сжатию в течение 28 суток; T — скорость изменения вертикальных напряжений при t_l , удовлетворяющем условиям: $0 \leq t \leq t_l$ $T = \sigma(\tau)$ и при $t > t_l$ $T = \sigma(t_l) / t_l$.

По данным, приведенным в работах [6.1], [6.2] [6.4] были получены упрощенные формулы для определения деформации ползучести

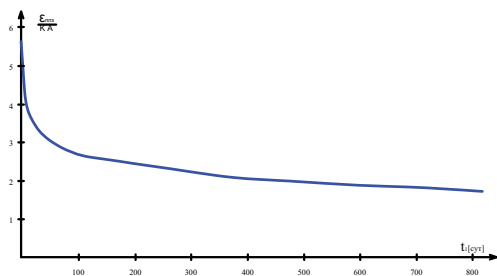


Рис. 6.2.1. График зависимости относительной деформации ползучести каменной кладки в возрасте 1800 суток (5 лет) от возраста кладки в момент завершения роста нагрузки t_l

и полных деформаций в зависимости от возраста кладки в момент завершения роста нагрузки. На рис. 6.2.1 построен **график зависимости предельных относительных деформаций ползучести каменной кладки (в возрасте 5 лет) от возраста кладки в момент завершения роста нагрузки t_l** , которая начинает прикладываться сразу после начала кладки и непрерывно возрастает в течение времени t_l . Относительные деформации ползучести $\varepsilon_{плз}^{\partial л}$ получены путем деления деформаций ползучести кладки в возрасте 5 лет на величину относительных напряжений в кладке K , достигаемых на момент окончания роста нагрузки, и коэффициент A .

Аппроксимируя график на рис. 6.2.1 логарифмической зависимостью, получим:

$$\varepsilon_{плз}^{\partial л} = (5,07 - 1,16 \lg t_l) AK. \quad (6.2.3)$$

Как показано в работе [6.2], в момент окончания роста нагрузки t_l величина относительных деформаций ползучести изменяется в очень малых пределах от 1,445 до 1,63 при изменении t_l от 1 до 800 суток (рис. 6.2). Это позволяет для практических расчетов принять деформации ползучести кладки в момент окончания роста нагрузки равными среднему значению:

$$\varepsilon_{плз}^{ок} = 1,56 AK. \quad (6.2.4)$$

Деформации ползучести кладки, развивающиеся после окончания роста нагрузки, можно считать равными разности между деформациями ползучести кладки при возрасте 5 лет, и деформациями ползучести, развивающимися в кладке на момент окончания роста нагрузки:

$$\varepsilon_{плз}^{ок-\partial л} = \varepsilon_{плз}^{\partial л} - \varepsilon_{плз}^{ок} AK(3,51 - 1,16 \lg t_l) \quad (6.2.5)$$

Так как после окончания роста нагрузки упругие деформации уже не проявляются, то полные деформации кладки, развивающиеся в ней после окончания роста нагрузки, будут равными деформациям ползучести.

Деформации ползучести кладки удобно вычислять через упругие деформации кладки ε_y^o , загруженной мгновенно в возрасте 28 суток, путем умножения на коэффициент, показывающий, во сколько раз деформации ползучести превосходят упругие:

$$\eta = \varepsilon_{плз} / \varepsilon_y^o. \quad (6.2.6)$$

Подставив в формулу (6.2.6) выражение (6.2.3), получим *коэффициент для определения деформаций ползучести кладки, развивающихся с начала ее возведения до практически полного затухания:*

$$\eta_{плз}^{\partial л} [(5,07 - 1,16 lgt_l) A\sigma / R_u] / [\sigma / (\alpha R_u)] = (5,07 - 1,16 lgt_l) A\alpha = \\ = (5,07 - 1,16 lgt_l) C, \quad (6.2.7)$$

где $C = A \cdot \alpha$.

Коэффициент $\eta_{плз}^{\partial л}$ для определения деформаций ползучести, развившихся на момент окончания роста нагрузки, получим, подставив в (6.2.6) формулу (6.2.4):

$$\eta_{плз}^{\partial л} = 1,56 AK / [\sigma / (\alpha R_u)] = 1,56 C. \quad (6.2.8)$$

Коэффициент $\eta_{плз}^{ок-\partial л}$ для определения деформаций ползучести, развившихся с момента окончания роста нагрузки, получим, подставив в (6.2.6) формулу (6.2.4):

$$\eta_{плз}^{ок-\partial л} = (3,51 - 1,16 lgt_l) A\sigma / R_u / [\sigma / (\alpha R_u)] = (3,51 - 1,16 lgt_l) C. \quad (6.2.9)$$

Длительный модуль деформаций для определения деформаций ползучести может быть вычислен для различных периодов строительства и эксплуатации здания при подстановке соответствующих коэффициентов η :

$$E_{плз}^{ок} = E^o / \eta_{плз}^{ок}, \quad (6.2.10)$$

$$E_{плз}^{\partial л} = E^o / \eta_{плз}^{\partial л}. \quad (6.2.11)$$

$$E_{нлз}^{ок-дл} = E^0 / \eta_{нлз}^{ок-дл}, \quad (6.2.12)$$

$$E^0 = \alpha R_{\text{у}}. \quad (6.2.13)$$

6.3. Упругие деформации

В нормах [1.5, 1.6] за расчетное значение начального модуля упругости кладки принимается его величина при возрасте кладки 28 суток. Упругие деформации кладки от нагрузки, прикладываемой в возрасте кладки до 28 суток, оказываются больше значения, определяемого по нормам. С другой стороны, деформации кладки, загруженной в возрасте более 28 суток, несколько меньше нормативных значений. В работе [6.2] показано, что при изменяющейся во времени нагрузке величины упругих деформаций кладки, развивающихся в ней на момент окончания роста нагрузки t_J , зависят от этого времени t_J и могут вычисляться по формуле:

$$\begin{aligned} \varepsilon_y(t_1) &= 2,62[0,03/4 \cdot t^{4/3} + 4/3t^{3/4} + t^{1/4} - 0,5\ln(2t^{1/4} + 1)]K/(t_1 \cdot \alpha) = \\ &= S(t) \cdot K/(t_1 \cdot \alpha), \end{aligned} \quad (6.3.1)$$

где α — упругая характеристика кладки, принимаемая по [1.5].

В этой же работе подсчитаны значения функции $S(t)$ для различных значений t_J . Аппроксимировав график $S(t)/t_J$, приведенный на рис. 6.3.1, логарифмической зависимостью, **упругие деформации** можно получить по формуле:

$$\varepsilon_y(t_p) = (2,06 - 0,5\lg t)K/\alpha. \quad (6.3.2)$$

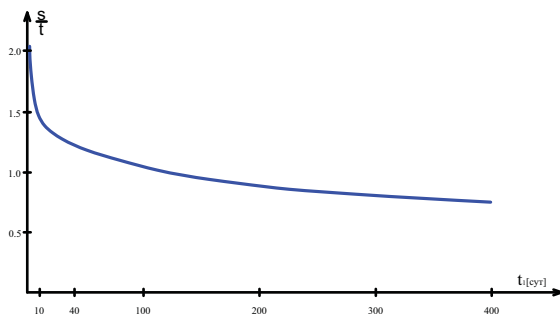


Рис. 6.3.1. График зависимости функций S/t от возраста кладки в момент завершения роста нагрузки t_J

6.4. Полные деформации от усилия обжатия

Как видно из формулы (6.2.1), при напряжениях $\sigma \leq 0,6R$ деформации ползучести кладки являются практически линейными относительно уровня напряжений. При таких величинах напряжений нелинейные кратковременные деформации кладки несравнимо меньше полных деформаций и ими можно пренебречь, откуда:

$$\varepsilon_{\text{полн.}} = \varepsilon_y + \varepsilon_{\text{плз}} . \quad (6.4.1)$$

Таким образом, *полные деформации кладки, имеющей возраст пять лет, при увеличивающейся во времени нагрузке и с учетом «старения» кладки* могут быть определены по формуле (6.4.1) после подстановки в нее (6.3.2) и (6.2.3):

$$\varepsilon_{\text{полн.}}(t_1) = [2,06 + 5,07C - (0,5 + 1,16C) \lg t_1] K / \alpha , \quad (6.4.2)$$

где $C = A \cdot \alpha$.

На момент окончания роста нагрузки полные деформации кладки можно определить, подставив в (6.4.1) выражения (6.2.4) и (6.3.2):

$$\varepsilon_{\text{полн.}}^{\text{ок}}(t_1) = (1,56C + 2,06 - 0,5 \lg t_1) K / \alpha . \quad (6.4.3)$$

Полные деформации кладки можно вычислить через упругие деформации кладки ε_y^o , загруженной мгновенно в возрасте 28 суток, путем умножения на коэффициент, показывающий, во сколько раз полные деформации превосходят упругие, по формуле (6.2.6).

Подставив в формулу (6.2.6) выражение (6.4.3), получим *коэффициент для определения полных деформаций кладки на момент окончания роста нагрузки*:

$$\eta^{\text{ок}} = 1,56C + 2,06 - 0,5 \lg t_1 . \quad (6.4.4)$$

Коэффициент $\eta^{\text{дл}}$ для определения полных деформаций кладки, имеющей возраст 5 лет, при окончании роста нагрузки в возрасте t_1 получим, подставив в (6.4.2):

$$\eta^{\text{дл}} = 2,06 + 5,07C - (0,5 + 1,16C) \lg t_1 . \quad (6.4.5)$$

По упругим деформациям, развившимся в кладке на момент окончания роста нагрузки, *можно получить полные деформации за период со времени окончания роста нагрузки до 5 лет, с помощью коэффициента, равного:*

$$\eta^{ок-дл} = C(3,51 - 1,16 \lg t_1) . \quad (6.4.6)$$

Длительный модуль деформаций может быть вычислен для различных периодов строительства и эксплуатации здания при подстановке соответствующих коэффициентов η :

$$E^{ок} = E^o / \eta^{ок}; \quad (6.4.7)$$

$$E^{дл} = E^o / \eta^{дл}; \quad (6.4.8)$$

$$E^{ок-дл} = E^o / \eta^{ок-дл}; \quad (6.4.9)$$

6.5. Данные для определения коэффициентов η

Значения коэффициента A , характеризующего ползучесть кладки, в соответствии с данными работ [6.1], [6.2], [6.3] для кладок на цементно-известковых растворах при отсутствии других опытных данных можно принять:

- из керамических камней $A = 0,38 \times 10^{-3}$;
- из глиняного кирпича пластического прессования $A = 0,7 \times 10^{-3}$;
- из силикатного кирпича $A = 1,4 \times 10^{-3}$.

Величины упругой характеристики для этих видов кладок равны соответственно 1200, 1000 и 750 [1.5].

$C = A \cdot \alpha = 0,46$ для кладки из керамических камней;

$C = 0,7$ для кладки из глиняного кирпича пластического прессования;

$C = 1,1$ для кладки из силикатного кирпича.

6.6. Назначение расчетной температуры наружных стен с лицевым слоем из кирпичной кладки

Как отмечалось выше в главе 2, в последнее время в отечественной практике обнаружались массовые случаи появления в кладке наружных стен дефектов — трещин, раздробления кирпичей в уровне перекрытий и т. д. Многие из этих дефектов возникают вследствие температурно-влажностных деформаций.

До середины 90-х годов прошлого столетия наружные кирпич-

ные стены выполнялись, как правило, из однослойной массивной кладки. В последнее десятилетие в связи с ужесточением требований по энергосбережению конструкции наружных кирпичных стен стали принципиально другими. В большинстве своем у нас принята трехслойная конструкция, где лицевой наружный слой выполняется из кирпичной кладки, соединенной гибкими связями с внутренними слоями из легкобетонных, ячеистобетонных камней, монолитного железобетона.

Лицевой слой кладки толщиной 12 см по своей сути является тонкостенной конструкцией. Этот слой отделен от основного слоя стены утеплителем, а вдобавок часто и вентилируемой воздушной прослойкой. В этой связи **температура кладки лицевого слоя практически равна температуре наружного воздуха.** При прямом воздействии солнечной радиации в дневное время лицевой слой может иметь температуру и более высокую, чем у наружного воздуха [6.5].

Исходя из этого, температура наружного лицевого слоя может быть определена по табл. 15 [6.6], как для однослойной конструкции неотапливаемого здания.

Нормативные значения средних по сечению **лицевого (наружного)** слоя температур $t_{w,nc}$ и $t_{c,nc}$, соответственно в теплое и холодное время года могут быть определены по табл. 15 [6.6], как для неотапливаемых зданий:

$$t_{w,nc} = t_{ew} + \theta_I + \theta_4; \quad (6.6.1)$$

$$t_{c,nc} = t_{ec} - 0,5 \theta_I, \quad (6.6.2)$$

где θ_I — приращения средних по сечению облицовки температур и перепада температур от суточных колебаний температуры наружного воздуха, определяемые по табл. 16 [6.6]. Для кирпичной облицовки толщиной до 15 см $\theta_I = 8^\circ\text{C}$; θ_I — приращение средней по сечению облицовки температуры и перепада температур от солнечной радиации, принимаемое в соответствии с п. 8.5 [6.6]:

$$\theta_I = 0,05 \rho S_{max} k k_I, \quad (6.6.3)$$

где ρ — коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности стены, принимаемый по [6.7]; S_{max} — максимальное значение солнечной радиации (прямой и рассеянной), Вт/м², принимаемое по СНиП [6.7]; k — коэффици-

ент, принимаемый по табл.17 [6.7]; k_I -коэффициент, равный 0,6 для кладки толщиной до 15 см;

t_{ew}, t_{ec} – средние суточные температуры наружного воздуха, соответственно в теплое и холодное время года, определяемые по формулам:

$$t_{ew} = t_{VII} + 6; \quad (6.6.4)$$

$$t_{ec} = t_I - \Delta_I, \quad (6.6.5)$$

t_I, t_{VII} – многолетние среднемесячные температуры воздуха в январе и июле, определяемые по картам 5 и 6 обязательного приложения 5 к [6.6]; Δ_I – отклонение средних суточных температур от средних месячных, принимаемые по карте 7 обязательного приложения 5.

Расчет на температурные воздействия для холодного времени года производится на температуру, равную разности зимней температуры t_c и начальной летней температуры t_{ow} :

$$\Delta t_c = t_c - t_{ow}. \quad (6.6.6)$$

Аналогично расчет для теплого времени года производится на температуру, равную разности летней температуры t_w и начальной зимней температуры t_{oc} :

$$\Delta t_w = t_w - t_{oc}. \quad (6.6.7)$$

Начальные температуры, соответствующие замыканию конструкции, соответственно в летнее и зимнее время определяются по формулам СНиП [6.6]:

$$t_{ow} = 0,8 t_{VII} + 0,2 t_I; \quad (6.6.8)$$

$$t_{oc} = 0,2 t_{VII} + 0,8 t_I. \quad (6.6.9)$$

Начальные температуры, соответствующие замыканию конструкции в законченную систему, в соответствии со СНиП допускается уточнять для каждого конкретного случая.

При работе в тепляках начальные зимние температуры *лицевого и основного* слоев рекомендуется принимать:

$$t_{oc} = + 5^{\circ}\text{C} . \quad (6.6.10)$$

При необходимости расчета лицевого слоя с учетом совместной работы с внутренним слоем стены, выполненным из каменной кладки, монолитного бетона и т. п., необходимо кроме температуры лицевого слоя знать также и температуру внутреннего слоя стены. В случае, когда внутренний слой *отделен от слоя облицовки слоем эффективного утеплителя*, суточные колебания температуры и солнечная радиация практически не сказываются. В этом случае средние по сечению слоя температуры **внутреннего** слоя могут быть определены по формулам [6.6], как для защищенных от действия солнечной радиации конструкций:

$$t_{w,ec} = t_{ew}; \quad (6.6.11)$$

$$t_{c,ec} = t_{ic}. \quad (6.6.12)$$

В случае, когда между лицевым и основным слоями стены *утеплитель отсутствует*, средняя по сечению температура **основного** слоя может определяться по формуле (6.6.1) для теплого и холодного времени года:

$$t_c = t_{ic} + 0,6(t_{ec} - t_{ic}) - 0,5 \Theta_2. \quad (6.6.13)$$

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

Пример определения разности температур

Место строительства г. Москва.

Конструкция наружной стены: лицевой слой толщиной 12 см из красного глиняного кирпича, основной слой толщиной 20 см из бетонных камней, между ними слой пенополистирола.

Средние суточные температуры наружного воздуха равны:

в летнее время: $t_{ew} = t_{VII} + 6 = 20 + 6 = 26^{\circ}\text{C}$;

в зимнее время: $t_{ec} = t_I - \Delta_I = -10 - 20 = -30^{\circ}\text{C}$;

в межсезонье: $t_{e\text{ осень}} = 0^{\circ}\text{C}$;

Нормативные значения температур **лицевого** слоя, подсчитанные по формулам (6.6.1) и (6.6.2), как для не отапливаемого здания, равны:

на солнечной стороне:

$$t_{w,nc} = t_{ew} + \Theta_I + \Theta_4 = 26 + 8 + 12,7 = 46,7^\circ\text{C},$$

где

$$\begin{aligned}\Theta_4 &= 0,05 \rho S_{max} k k_I = 0,05 \cdot 0,7 \cdot 603 \cdot 1,0 \cdot 0,6 = 12,7^\circ\text{C}. \\ t_{c,nc} &= t_{e,c} - 0,5 \Theta_I = -30^\circ - 0,5 \cdot 8 = -34^\circ\text{C};\end{aligned}$$

в тени:

$$t_{w,nc} = t_{ew} + \Theta_I + \Theta_4 = 26 + 8 = 34^\circ\text{C}.$$

Начальные температуры, соответствующие замыканию конструкции в законченную систему, определим по формулам (23), (24) [6.5]:

в летнее время:

$$t_w^0 = 0,8 t_{VII} + 0,2 t_I = 0,8 \cdot 20 + 0,2 \cdot (-10) = 14^\circ\text{C};$$

в зимнее время:

$$t_c^0 = 0,2 t_{VII} + 0,8 t_I = 0,2 \cdot 20 + 0,8 \cdot (-10) = -4^\circ\text{C};$$

в межсезонье:

$$t_{осень}^0 = 0^\circ\text{C}.$$

Вычислим разности температур периода эксплуатации и начальной температуры замыкания конструкции.

1. Разность летней температуры $t_{w,nc}$ и начальной зимней температуры $t_{o,c}$ для **лицевого слоя**, находящегося на солнечной стороне, равна:

$$\Delta t_{w,nc} = t_{w,nc} - t_c^0 = 46,7 - (-4) = 50,7^\circ\text{C}.$$

Разность летней температуры $t_{w,nc}$ и начальной зимней температуры $t_{o,c}$ для **внутреннего слоя**, отделенного от наружного слоем утеплителя, а также плит перекрытий, внутренних стен и т.п.:

$$\Delta t_{w,nc} = \Delta t_{w,пер} = t_{w,nc} - t_c^0 = 26 - (-4) = 30^\circ\text{C}.$$

2. Разность летней температуры $t_{w,nc}$ и начальной зимней температуры t_c^0 для **лицевого слоя**, находящегося в тени, равна:

$$\Delta t_{w,nc} = t_{w,nc} - t_{oc} = 34 - (-4) = 38^\circ\text{C}.$$

Разность летней температуры $t_{w,nc}$ и начальной зимней температуры t_c^0 для **внутреннего слоя**, отделенного от наружного слоем утеплителя, а также плит перекрытий, внутренних стен и т.п.:

$$\Delta t_{w,nc} = \Delta t_{w,пер} = t_{w,nc} - t_c^0 = 30^\circ\text{C}.$$

3. Разность летней температуры $t_{w,nc}$ и начальной температуры в межсезонье $t_{осень}^0$ для **лицевого слоя**, находящегося на солнечной стороне, равна:

$$\Delta t_{w,nc} = t_{w,nc} - t_{осень}^0 = 46,7 - 0 = 46,7^\circ\text{C}.$$

Разность летней температуры $t_{w,nc}$ и начальной температуры в межсезонье t_c^0 для **внутреннего слоя**, отделенного от наружного слоем утеплителя, а также плит перекрытий, внутренних стен и т.п., равна:

$$\Delta t_{w,nc} = \Delta t_{w,пер} = t_{w,пер} - t_{осень}^0 = 26 - 0 = 26^\circ\text{C}.$$

4. Разность летней температуры $t_{w,nc}$ и начальной температуры в межсезонье $t_{осень}^0$ для **лицевого слоя**, находящегося в тени, равна:

$$\Delta t_{w,nc} = t_{w,nc} - t_{осень}^0 = 34 - 0 = 34^\circ\text{C}.$$

Разность летней температуры $t_{w,nc}$ и начальной температуры в межсезонье $t_{осень}^0$ для **внутреннего слоя**, отделенного от наружного слоем утеплителя, а также плит перекрытий, внутренних стен и т.п., равна:

$$\Delta t_{w,nc} = \Delta t_{w,пер} = t_{w,пер} - t_{осень}^0 = 26^\circ\text{C}.$$

5. Разность зимней температуры $t_{w,nc}$ и начальной летней температуры t_c^0 для **лицевого слоя** равна:

$$\Delta t_{c,nc} = t_{c,nc} - t_w = -34 - 14 = -48^\circ\text{C}.$$

Разность зимней температуры $t_{c\text{ в с}}$ при неполном отоплении в период строительства и начальной летней температуры t_c^0 для **внутреннего слоя**, отделенного от наружного слоем утеплителя, а также плит перекрытий, внутренних стен и т.п., равна:

$$\Delta t_{c, \text{пер}} = t_{c, \text{пер, стройка}} - t_w^0 = 10 - 14 = -4^\circ\text{C}.$$

6. Разность зимней температуры $t_{c\text{ н с}}$ и начальной летней температуры t_c^0 для **лицевого слоя** равна:

$$\Delta t_{c, \text{н с}} = t_{c, \text{н с}} - t_w^0 = -48^\circ\text{C}.$$

Разность зимней температуры $t_{c\text{ н с}}$ в период эксплуатации и начальной летней температуры t_w^0 для **внутреннего слоя**, отделенного от наружного слоем утеплителя, а также плит перекрытий, внутренних стен и т.п., равна:

$$t_{c, \text{пер}} = t_{c, \text{пер}} - t_w^0 = 20 - 14 = 6^\circ\text{C}.$$

7. Разность зимней температуры $t_{c\text{ н с}}$ в период эксплуатации и начальной температуры в межсезонье $t_{o\text{ осень}}$ для **наружного слоя** равна:

$$\Delta t_{c, \text{н с}} = t_{c, \text{н с}} - t_{o\text{ осень}} = -34 - 0 = -34^\circ\text{C}.$$

Разность зимней температуры $t_{c\text{ н с}}$ в период эксплуатации и начальной температуры в межсезонье $t_{o\text{ осень}}$ для **внутреннего слоя**, отделенного от наружного слоем утеплителя, а также плит перекрытий, внутренних стен и т.п., равна:

$$\Delta t_{c, \text{пер}} = t_{c, \text{пер}} - t_{o\text{ осень}} = 20 - 0 = 20^\circ\text{C}.$$

8. Разность зимней температуры $t_{w\text{ н с}}$ и начальной летней температуры t_c^0 для **лицевого слоя** равна:

$$\Delta t_{c, \text{н с}} = t_{c, \text{н с}} - t_w^0 = -34 - 14 = -48^\circ\text{C}.$$

Разность зимней температуры $t_{c\text{ в с}}$ при неполном отоплении в период строительства и начальной летней температуры t_c^0 для **внутреннего слоя**, отделенного от наружного слоем утеплителя, а также плит перекрытий, внутренних стен и т.п., равна:

$$\Delta t_{c, \text{пер}} = t_{c, \text{пер, стройка}} - t_w^0 = 14 - 14 = 0^\circ\text{C}.$$

6.7. Температурные деформации кладки

Температурные деформации кладки для теплого и холодного времени года равны:

$$\varepsilon(t)_w = \alpha_t \cdot \Delta t_w; \quad (6.7.1)$$

$$\varepsilon(t)_c = \alpha_t \cdot \Delta t_c; \quad (6.7.2)$$

где α_t — коэффициент температурного расширения кладки, определяемый по [1.5]; Δt_w и Δt_c — изменения средних температур кладки, определяемые для теплого и холодного времени года по формулам (6.6.6) и (6.6.7).

6.8. Влажностные деформации кладки

Наиболее интенсивно деформации усадки кладки протекают в течение первых суток, постепенно затухая. Для кладки из глиняного кирпича и камня деформации усадки принимаются равными нулю.

Из анализа опытных данных для деформаций усадки, полученных в разное время различными авторами, можно сделать вывод о том, что характер кривых и величины предельных деформаций могут весьма существенно отличаться даже для одного и того же материала. При этом все эти зависимости имеют одно общее: интенсивное нарастание деформаций в раннем возрасте с последующим затуханием. Характер этих зависимостей для таких материалов, как кладка из силикатного кирпича, ячеистобетонных камней, бетона для практических целей, может быть описан логарифмической зависимостью, аналогичной (6.8.1).

На рис. 6.8.1 изображен построенный по приведенным в работе А.В. Черкашина 6.9 экспериментальным данным приближенный *график развития деформаций ползучести кладки из силикатного кирпича и ячеистого бетона во времени. Этот график может быть аппроксимирован формулой:*

$$\varepsilon(sh) = 0,056 \ln(t - 2,5) - 0,05. \quad (6.8.1)$$

Деформации набухания вследствие сорбционного увлажнения для кладки из глиняного кирпича также принимаются равными нулю. Для кладки из силикатного кирпича и различного рода бетонных камней деформации набухания кладки $\varepsilon(m)$ принимаются по [6.10].

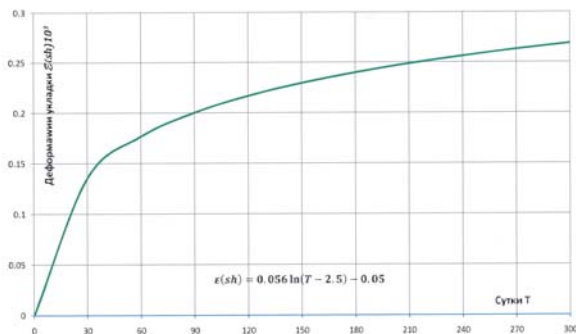


Рис. 6.8.1. Деформации усадки кладки из ячеистого бетона

6.9. Деформации упругого восстановления кладки при снижении уровня ее обжатия

Если связи между слоями стены негибкие, то после окончания возведения стены и приложения всех нагрузок происходит дальнейшее перераспределение усилий между слоями стены. Это происходит вследствие продолжающихся длительных деформаций кладки (ползучести, усадки). *Более деформируемый слой разгружается и в нем развиваются деформации упругого восстановления кладки. В отличие от него в менее деформируемом слое усилия возрастают, что вызывает дальнейшее увеличение деформаций ползучести кладки.*

6.10. Вертикальные перемещения наружного и внутреннего слоев многослойной кладки

В ряде случаев может встать задача определения вертикальных перемещений каждого из слоев стены для различных периодов ее возведения:

- с начала строительства на момент окончания возведения;
- с начала строительства и в течение всего срока эксплуатации здания;
- в течение всего срока эксплуатации здания начиная с момента окончания его возведения.

Разность вертикальных перемещений слоев стены необходимо считать с момента возведения обоих слоев. Время окончания

возведения каждого из слоев стены может совпадать, а может и отличаться, как, например, в случае выполнения лицевого слоя уже после возведения основного.

Наиболее существенными воздействиями, вызывающими вертикальные перемещения слоев стены, являются:

- **вертикальные нагрузки, приложенные к слоям стены;**
- **температурно-влажностные воздействия.**

Кроме того, ветровые нагрузки также способны вызвать изгиб стены из плоскости, что приводит к возникновению деформаций сдвига слоев относительно друг друга, поэтому в ряде случаев они также должны учитываться при определении разности вертикальных перемещений слоев стены.

Изгиб стены из ее плоскости может вызвать также изгиб каркаса, с которым связана стена.

Разность вертикальных перемещений слоев стены для различных периодов ее возведения и эксплуатации равна:

- на момент окончания возведения обоих слоев:

$$\Delta e^{ок} = \Delta e(N)^{ок} + \Delta e(sh)^{ок} + \Delta e(t) + \Delta e(w) + \Delta e(H); \quad (6.10.1)$$

– за весь период эксплуатации, ограничиваемый первыми пятью годами, когда длительные деформации (ползучести, усадки) практически полностью затухают:

$$\Delta e^{\partial л} = \Delta e(N)^{\partial л} + \Delta e(sh)^{\partial л} + \Delta e(t) + \Delta e(w) + \Delta e(H); \quad (6.10.2)$$

– с момента окончания возведения стены в течение последующих пяти лет:

$$\Delta e^{ок-\partial л} = \Delta e(N)^{ок-\partial л} + \Delta e(sh)^{ок-\partial л} + \Delta e(t) + \Delta e(w) + \Delta e(H); \quad (6.10.30)$$

где $\Delta e(N)^{ок}$ – разность вертикальных перемещений слоев стены, подсчитанная на момент окончания возведения последнего из слоев; $\Delta e(N)^{\partial л}$ – разность вертикальных перемещений слоев стены, подсчитанная на момент с начала возведения и в течение первых пяти лет эксплуатации; $\Delta e(N)^{ок-\partial л}$ – разность вертикальных перемещений слоев стены, подсчитанная с момента окончания возведения в течение последующих пяти лет; $\Delta e(w)$ – разность вертикальных перемещений слоев стены вследствие изгиба стены из плоскости от воздействия ветра; $\Delta e(H)$ – разность вертикальных перемещений слоев вследствие изгиба стены из плоскости от изгиба каркаса, с которым стена связана, горизонталь-

ного перемещения балок от температурно-влажностных воздействий и т.п.

Пример определения разности перемещений простенка стены из трехслойной кладки на гибких связях, возникающих от вертикальной нагрузки

Высота стены пять этажей (20 м).

Кладка первого слоя выполнена из кирпича полусухого прессования, второго слоя — из керамических камней. Марка камней и кирпича на первом этаже — 100, на остальных — 75. Марка раствора на первом и втором этажах — 75, на остальных — 50. Коэффициент A , характеризующий ползучесть, принят для кладки из керамических камней 0,00038, для кладки из кирпича — 0,00014.

Напряжения от веса кладки одного этажа в слое из керамических камней приняты 0,28 МПа, из кирпича — 0,4 МПа.

Кладка обоих слоев стены ведется одновременно и к моменту окончания возведения стены разность вертикальных перемещений слоев в верхнем сечении отсутствует. Поэтому разность вертикальных перемещений слоев стены необходимо вычислять по деформациям, развившимся в кладке с момента окончания ее возведения.

Определим по формуле (6.4.6) коэффициенты $\eta^{ок-дл}$, а по ним полные деформации кладки, возникающие с момента окончания ее возведения.

Вертикальные перемещения верха слоя стены из керамических камней равны:

$$e_I = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i H_{эт} = 7,0 \cdot 10^{-4} \cdot 4000 = 2,8 \text{ мм}$$

где ε_i — средние по высоте вертикальные деформации кладки i -го этажа; $H_{эт}$ — высота этажа;

то же из кирпича: $e_I = 36,8 \cdot 10^{-4} \cdot 4000 = 14,7 \text{ мм}$.

Разность вертикальных перемещений двух слоев верха стены, вычисляемая с момента окончания возведения стены, равна:

$$\Delta e = e_2 - e_1 = 14,70 - 2,8 = 11,9 \text{ мм}.$$

Если вычислить разность перемещений верха слоев стены без учета того факта, что перемещения верха стены возникают только после окончания ее строительства, но с учетом изменяющейся во време-

ни нагрузки и старения кладки, то получим следующие значения:

$$\Delta e = 115,8 \cdot 10 - 4 \cdot 4000 - 26,4 \cdot 10 - 4 \cdot 4000 = 46,2 - 10,5 = 35,7 \text{ мм.}$$

Вычислим разность перемещений слоев в соответствии с нормами [1.5]:

$$\Delta e = 76 \cdot 10 - 4 \cdot 4000 - 18 \cdot 10 - 4 \cdot 4000 = 30,4 - 7,2 = 23,3 \text{ мм.}$$

Из сравнения полученных величин видно, что *расчет по предлагаемой методике позволил в 2–3 раза уточнить значения разности перемещений слоев вверху стены.*

Выводы

1. Длительные модули деформаций для определения деформаций ползучести и полных деформаций кладки *могут быть вычислены для различных периодов строительства и эксплуатации здания при подстановке соответствующих коэффициентов η* , определяемых по формулам (6.2.10–6.2.12; 6.4.7–6.4.9).

2. Расчет по предлагаемой методике с учетом поэтапности и длительности возведения позволяет в 2–3 раза уточнить значения разности перемещений слоев вверху стены.

3. Назначение расчетной температуры лицевого слоя из кирпичной кладки, отделенного от основного слоя стены утеплителем, должно производиться как для тонкостенной конструкции.

4. Начальные температуры замыкания конструкции, соответствующие периоду возведения наружного слоя стен, в ряде случаев должны определяться не только для холодного и теплого периодов года, но и для *межсезонья*.