

Приложение 1

Прочностные расчеты

Часть I. Расчет несущих конструкций с учетом температурных деформаций

I.1. Исходные данные

Система предназначена для устройства вентилируемого фасада. Высота зданий ограничивается 75 м, районы строительства - г.г. Москва и Ханты-Мансийск и аналогичные им по ветровым нагрузкам.

Основные несущие конструкции - кронштейны и горизонтальные несущие профили (ГНП) изготавливаются из гнутых швеллеров ПН-2 из оцинкованной стали толщиной 0,6 мм, собственной массой 0,6 кг/м.

Кронштейны крепятся к стене с помощью пластмассовых дюбелей $\varnothing 8$ мм и распорных шурупов $\varnothing 5,5$ мм из оцинкованной стали. Горизонтальные несущие профили крепятся к кронштейнам саморезами $\varnothing 4,2$ мм из оцинкованной стали.

Шаги кронштейнов в средних зонах фасада $l_x \cdot h_{z,c} = 0,8 \cdot 0,8$ м, в угловых зонах $l_{x,e} \cdot h_{z,e} = 0,8 \cdot 0,4$ м, шаги ГНП соответственно $h_{z,c} = 0,8$ м и $h_{z,e} = 0,4$ м.

Облицовка производится панелями «Полиалпан» шириной 0,5 м, длиной 12 м, толщиной 25 (40) мм, наружный несущий слой которых выполняется из алюминиевого сплава толщиной 0,5 мм, теплоизолирующий слой из пенополиуретана плотностью 40–60 кг/м³, защищенный изнутри алюминиевой фольгой толщиной 0,05 мм. Собственная масса панелей 3,5 (5,5) кг/м². Далее в расчетах принята толщина 25 мм (с $\delta = 40$ мм, см. п. 12). Панели крепятся к ГНП саморезами с прессшайбой $\varnothing 4,2$ мм с из оцинкованной стали.

Величина температурного перепада наружного воздуха для расчета принята $\Delta t = 50$ °С.

1.2. Методические предпосылки

Прочностные расчеты включают проверку прочности и деформаций основных несущих и ограждающих конструкций системы облицовки фасадов «Полиалпан», их соединений между собой и со стеной здания на действие нагрузок от собственного веса облицовочных панелей, давления ветра, а также изменений температуры наружного воздуха.

Нагрузки от собственного веса панелей и веса других конструкций принимаются по проекту. Ветровые нагрузки принимаются по СНиП 2.01.07-85* с учетом дополнительных коэффициентов и рекомендаций ЦНИИСКА, регламентированных письмом № 1-945 от 14.11.2001 г.

Усилия: изгибающие моменты; поперечные и продольные силы; прогибы определяются с использованием основных положений сопротивления материалов и строительной механики.

Коэффициенты надежности по нагрузкам γ_f , а также единый коэффициент надежности по ответственности $\gamma_n = 0,95$ принимают по СНиП 2.01.07-85*.

Приняты обозначения: усилия с индексами: (y) – от горизонтальных ветровых нагрузок; (z) – от вертикальных нагрузок; (t) – от температуры; индексы "c" (centre) и "e" (edge) – соответственно для средних и угловых зон фасада.

1.3. Характеристики материалов

Расчетные сопротивления наружного слоя панелей «Полиалпан» из алюминиевого сплава согласно СНиП 2.03.06-85 (МПа):

на растяжение, сжатие и изгиб $R = 120$;

на сдвиг $R_s = 75$; на смятие $R_{lp} = 90$;

модуль упругости $E = 7 \cdot 10^4$;

Коэффициент условий работы $\gamma_c = 1$;

Коэффициент линейного расширения $\alpha, ^\circ\text{C}^{-1} = 0,23 \cdot 10^{-4}$.

Расчетные сопротивления несущих стальных профилей ПН-2 согласно СНиП II-23-81* (МПа): на растяжение, сжатие и изгиб $R_y = 230$; на сдвиг $R_s = 133$; на смятие $R_{lp} = 175$; модуль упругости $E = 21 \cdot 10^4$. Коэффициент условий работы $\gamma_c = 1$.

Расчетные сопротивления стальных шурупов и саморезов по СНиП II-23-81* (МПа): на растяжение $R_{et} = 170$; на срез $R_{es} = 150$. Коэффициент условий работы на растяжение $\gamma_e = 1$; на срез $\gamma_e = 0,8$.

1.4. Расчетные схемы

Направления координатных осей приняты:

ось "x" - горизонтальная в плоскости стены;

ось "y" - горизонтальная по нормали к стене;

ось "z" - вертикальная.

Расчетная схема панели «Полиалпан» в направлении оси "z" - многопролетная балка с пролетами $l_c = h_c = 0,8$ м и $l_e = h_e = 0,4$ м, неразрезная на средних опорах (ГНП) и шарнирно опертая на ГНП по концам (рис. П.1.1). Панель воспринимает нагрузки от собственного веса, давления ветра, а также от изменений температуры наружного воздуха.

Облицовочные панели «Полиалпан» при перепадах температур получают деформации удлинения или укорочения в плоскости стены. При этом в направлении оси "х" благодаря небольшой ширине панелей $b=500$ мм эти деформации относительно легко локализуются в вертикальных стыках между панелями. В направлении же оси "z" при длине (высоте) панелей $L_z=12$ м в случае жесткого крепления панелей к ГНП и кронштейнам в последних могли бы возникать недопустимые напряжения.

Поэтому была принята особая конструкция крепления, с достаточно большой податливостью, позволяющая значительно снизить температурные усилия как в панелях, так и в кронштейнах. При этом величина удлинения всей панели должна компенсироваться в горизонтальных швах между торцами панелей.

Расчетная схема ГНП - многопролетная балка с пролетами $l_x=0,8$ м, неразрезная на средних опорах-кронштейнах и шарнирно опертая на кронштейны по концам

(рис. П.1.2). ГНП воспринимают нагрузки от собственного веса, веса панелей и от ветра.

Расчетная схема кронштейнов - консоль (рис. П.1.3) с вылетом $l_k = 200$ и 270 мм, зависящим от толщины слоя утеплителя и воздушного зазора (варианты - Москва и Ханты-Мансийск).

Основные несущие кронштейны, расположенные у низа и верха панелей на расстоянии $L_z=12$ м (рис. П.1.4; П.1.5), воспринимают вышеперечисленные нагрузки, передаваемые через ГНП. Остальные, поддерживающие кронштейны воспринимают аналогичную с основными ветровую нагрузку и уменьшенную за счет температурного перепада панелей вертикальную нагрузку. Собственным весом кронштейнов пренебрегается.

Соединения между элементами конструкций и со стеной рассчитываются на действие усилий растяжения, изгиба, среза и отрыва от совместного действия вышеперечисленных нагрузок.

1.5. Нагрузки

Вертикальные нагрузки от веса панелей «Полиалпан» ($П_a$):

нормативная $q_z^n = 3,5 \cdot 10^1 = 35$;

расчетная $q_z = 1,1 \cdot 35 = 38,5$.

Вертикальные нагрузки на ГНП (H/M):

от собственного веса ГНП $q_{z(w)}^n = 0,6 \cdot 10^1 = 6$; $q_{z(w)} = 1,1 \cdot 6 = 6,6$;

от веса панелей: в средних зонах фасада:

нормативная $q_{z,c}^n = q_z^n \cdot h_{z,c} = 35 \cdot 0,8 = 28$;

расчетная $q_{z,c} = q_{z,c}^n \cdot \gamma_f = 28 \cdot 1,1 = 30,8$;

в угловых зонах: $q_{z,e}^n = q_z^n \cdot h_{z,e} = 35 \cdot 0,4 = 14$; $q_{z,e} = q_{z,e}^n \cdot \gamma_f = 14 \cdot 1,1 = 15,4$;

суммарные $q_{z,c}^n = 28 + 6 = 34$; $q_{z,c} = 30,8 + 6,6 = 37,4$;

$q_{z,e}^n = 14 + 6 = 20$; $q_{z,e} = 15,4 + 6,6 = 22$.

Максимальная вертикальная расчетная нагрузка на несущие кронштейны (без учета температуры):

в средних зонах $N_{z,c} = q_{z,c} \cdot l_x (L_z/h_{z,c}) = 37,4 \cdot 0,8 \cdot (12/0,8) = 449$ Н;

в угловых зонах $N_{z,e} = q_{z,e} \cdot l_x (L_z/h_{z,e}) = 22 \cdot 0,8 \cdot (12/0,4) = 528$ Н.

За горизонтальную нагрузку принималось давление ветра на высоте 75 м.

Для I ветрового района (г. Москва) нормативное значение ветрового давления $W_0 = 0,23$ кПа; коэффициент "K" для $H = 75$ м, тип местности "B" по табл. 6, СНиП 2.01.07-85*, $K = 1,42$; аэродинамический коэффициент для средних зон фасада $C_c = 0,8$, а с учетом пульсационной составляющей $\gamma_{p,c} = 1,7$ (согласно п.п. 6.7; 6.9, СНиП 2.01.07-85*) $C_c = 0,8 \cdot 1,7 = 1,36$; для угловых зон $C_e = -2$, а с учетом $\gamma_{p,e} = 1,3$ (по рекомендации ЦНИИСКА) $C_e = |2| \cdot 1,3 = 2,6$.

Величина ветровых нагрузок для I района (Па): в средних зонах фасада:

$$\text{нормативная } q_{y,c}^n = W_o \cdot K \cdot C_c = 0,23 \cdot 10^3 \cdot 1,42 \cdot 1,36 = 444;$$

$$\text{расчетная } q_{y,c} = q_{y,c}^n \cdot \gamma_f = 444 \cdot 1,4 = 622;$$

$$\text{в угловых зонах } q_{y,e}^n = W_o \cdot K \cdot C_e = 0,23 \cdot 10^3 \cdot 1,42 \cdot 2,6 = 849;$$

$$q_{y,e} = q_{y,e}^n \cdot \gamma_f = 849 \cdot 1,4 = 1189 \text{ Н/м}^2.$$

Для III ветрового района (г. Ханты-Мансийск) $W_o=0,38$ кПа;

остальные коэффициенты, как и для I района;

пропорционально отношению W_{oi} , т.е. $0,38/0,23 = 1,65$;

нагрузки (Па): в средних зонах фасада: $q_{y,c}^n=444 \cdot 1,65=733$; $q_{y,c}=622 \cdot 1,65=1026$;

в угловых зонах $q_{y,e}^n = 849 \cdot 1,65 = 1401$; $q_{y,e} = 1189 \cdot 1,65 = 1962$.

Горизонтальные нагрузки на 1 м высоты панели (Н/м):

для I района:

$$\text{нормативные: } q_{y,c}^n = q_{y,c}^n \cdot \epsilon = 444 \cdot 0,5 = 222; q_{y,e}^n = 849 \cdot 0,5 = 425;$$

$$\text{расчетные } q_{y,c} = q_{y,c} \cdot \epsilon = 622 \cdot 0,5 = 311; q_{y,e} = 1189 \cdot 0,5 = 595;$$

для III района:

$$\text{нормативные: } q_{y,c}^n = q_{y,c}^n \cdot \epsilon = 733 \cdot 0,5 = 367; q_{y,e}^n = 1401 \cdot 0,5 = 701;$$

$$\text{расчетные } q_{y,c} = q_{y,c} \cdot \epsilon = 1026 \cdot 0,5 = 513; q_{y,e} = 1962 \cdot 0,5 = 981.$$

Горизонтальные нагрузки на 1 м длины ГНП (Н/м):

для I района:

$$\text{нормативные: } q_{y,c}^n = q_{y,c}^n \cdot h_{z,c} = 444 \cdot 0,8 = 355; q_{y,e}^n = q_{y,e}^n \cdot h_{z,e} = 849 \cdot 0,4 = 340;$$

$$\text{расчетные } q_{y,c} = 622 \cdot 0,8 = 498; q_{y,e} = 1189 \cdot 0,4 = 476;$$

для III района:

$$\text{нормативные: } q_{y,c}^n = 733 \cdot 0,8 = 586; q_{y,e}^n = 1401 \cdot 0,4 = 560;$$

$$\text{расчетные } q_{y,c} = 1026 \cdot 0,8 = 821; q_{y,e} = 1962 \cdot 0,4 = 785.$$

Горизонтальные расчетные нагрузки на кронштейны при грузовых площадях:

в средних зонах фасада $A_{ep}^c = 0,8 \cdot 0,8 = 0,64 \text{ м}^2$,

в угловых зонах $A_{ep}^e = 0,8 \cdot 0,4 = 0,32 \text{ м}^2$:

для I района:

$$N_{y,c} = q_{y,c} \cdot A_{ep}^c = 622 \cdot 0,64 = 398 \text{ Н}; N_{y,e} = q_{y,e} \cdot A_{ep}^e = 1189 \cdot 0,32 = 380 \text{ Н};$$

для III района:

$$N_{y,c} = 1026 \cdot 0,64 = 657 \text{ Н}; N_{y,e} = 1962 \cdot 0,32 = 628 \text{ Н}.$$

1.6. Усилия

а) В панелях «Полиалпан».

Изгибающие моменты от горизонтальных ветровых нагрузок по формуле

$$M_{(y)i} = K_{спр.} \cdot q_{y,i} \cdot h_{z,i}^2 \text{ (Нм):}$$

для I района:

$$\text{нормативные: } M_{(y)c}^n = 0,105 \cdot 222 \cdot 0,8^2 = 14,9; M_{(y)e}^n = 0,105 \cdot 425 \cdot 0,4^2 = 7,1;$$

$$\text{расчетные: } M_{(y)c} = 0,105 \cdot 311 \cdot 0,8^2 = 20,9; M_{(y)e} = 0,105 \cdot 595 \cdot 0,4^2 = 10,0;$$

для III района:

$$\text{нормативные: } M_{(y)c}^n = 0,105 \cdot 367 \cdot 0,8^2 = 24,7; M_{(y)e}^n = 0,105 \cdot 701 \cdot 0,4^2 = 11,8;$$

$$\text{расчетные: } M_{(y)c} = 0,105 \cdot 513 \cdot 0,8^2 = 34,5; M_{(y)e} = 0,105 \cdot 981 \cdot 0,4^2 = 16,5.$$

Продольная растягивающая или сжимающая (в зависимости от знака Δt) сила, собираемая с высоты (длины) панели $L_z = 12 \text{ м}$;

$$\text{по формуле } N_z = q_z \cdot e \cdot L_z \text{ (собств. вес)} + n_{кр} \cdot N_t \text{ (от } \Delta t \text{, см. п. 9);}$$

(для I и III районов) в средних зонах фасада:

$$N_{z,c} = 38,5 \cdot 0,5 \cdot 12 + 15 \cdot 3,4 = 231 + 51 = 282 \text{ Н};$$

в угловых зонах

$$N_{z,e} = 38,5 \cdot 0,5 \cdot 12 + 30 \cdot 3,4 = 231 + 102 = 333 \text{ Н}.$$

Поперечные силы от горизонтальных нагрузок по формуле

$$Q_{y,i} = q_{y,i} \cdot h_{z,i}/2 + M_{(y)i}/h_{z,i};$$

для I района:

$$Q_{y,c} = 311 \cdot 0,8/2 + 20,9/0,8 = 151 \text{ Н}; Q_{y,e} = 595 \cdot 0,4/2 + 10,0/0,4 = 144 \text{ Н};$$

для III района:

$$Q_{y,c} = 513 \cdot 0,8/2 + 34,5/0,8 = 248 \text{ Н}; Q_{y,e} = 981 \cdot 0,4/2 + 16,5/0,4 = 237 \text{ Н}.$$

б) В горизонтальных несущих профилях (ГНП):

Изгибающие моменты по формуле $M_i = K_{спр.} \cdot q_i \cdot l_x^2 \text{ (Нм):}$

1) от вертикальных нагрузок: нормативные:

$$M_{(z)c}^n = 0,107 \cdot 34 \cdot 0,8^2 = 2,31; M_{(z)e}^n = 0,107 \cdot 20 \cdot 0,8^2 = 1,36;$$

$$\text{расчетные: } M_{(z)c} = 0,107 \cdot 37,4 \cdot 0,8^2 = 2,6; M_{(z)e} = 0,107 \cdot 22 \cdot 0,8^2 = 1,5;$$

2) от горизонтальных нагрузок: для I района:

$$\text{нормативные: } M_{(y)c}^n = 0,107 \cdot 355 \cdot 0,8^2 = 24,3; M_{(y)e}^n = 0,107 \cdot 340 \cdot 0,8^2 = 23,3;$$

$$\text{расчетные: } M_{(y)c} = 0,107 \cdot 498 \cdot 0,8^2 = 34,1; M_{(y)e} = 0,107 \cdot 476 \cdot 0,8^2 = 32,6 \text{ Нм};$$

для III района:

$$M_{(y)c}^n = 0,107 \cdot 586 \cdot 0,8^2 = 40,1; M_{(y)e}^n = 0,107 \cdot 560 \cdot 0,8^2 = 38,3;$$

$$M_{(y)c} = 0,107 \cdot 821 \cdot 0,8^2 = 56,2; M_{(y)e} = 0,107 \cdot 785 \cdot 0,8^2 = 53,8.$$

Поперечные силы по формуле $Q_i = q_i \cdot l_x/2 + M_i/l_x \text{ (Н):}$

1) от вертикальной расчетной нагрузки:

$$Q_{z,c} = 37,4 \cdot 0,8/2 + 2,61/0,8 = 18,2; Q_{z,e} = 22 \cdot 0,8/2 + 1,5/0,8 = 10,7;$$

2) от горизонтальных расчетных нагрузок: для I района:

$$Q_{y,c} = 498 \cdot 0,8/2 + 34,1/0,8 = 242; Q_{y,e} = 476 \cdot 0,8/2 + 32,6/0,8 = 231;$$

для III района:

$$Q_{y,c} = 821 \cdot 0,8/2 + 56,2/0,8 = 399; Q_{y,e} = 785 \cdot 0,8/2 + 53,8/0,8 = 381.$$

в) В несущих кронштейнах

Усилия от вертикальной расчетной нагрузки: по формуле $N_z = N_{z(w)}$ (от веса панелей и ГНП - см. п. 5) + $n_{кр} \cdot N_t$ (от Δt , см. п. 9);

для I и III районов в средних зонах фасада:

$$N_{z,c} = 449 + 15 \cdot 3,4 \text{ (то же, что в панелях, см. п. 6, а)} = 500 \text{ H};$$

$$\text{в угловых зонах } N_{z,e} = 528 + 30 \cdot 3,4 = 630 \text{ H}.$$

Изгибающие моменты от расчетной вертикальной нагрузки при расчетных вылетах консолей $l_k = 200 - 30 = 170 \text{ мм}$ (I район) и $l_k = 270 - 30 = 240 \text{ мм}$ (III район) по формуле $M_{(z)l} = N_{z,i} \cdot l_{k,i}$ (Hм):

$$\text{для I района в средних зонах фасада } M_{(z)c} = 500 \cdot 170 \cdot 10^{-3} = 85;$$

$$\text{в угловых зонах } M_{(z)e} = 630 \cdot 170 \cdot 10^{-3} = 107;$$

для III района соответственно:

$$M_{(z)c} = 500 \cdot 240 \cdot 10^{-3} = 120; M_{(z)e} = 630 \cdot 240 \cdot 10^{-3} = 151.$$

От горизонтальных расчетных нагрузок, воспринимаемых всеми кронштейнами, в средних зонах фасада сжимающие усилия для I и III районов $N_{y,c} = 398$ и 657 H ; в угловых зонах растягивающие усилия для I и III районов $N_{y,e} = 380$ и 628 H (см. п. 5).

г) В соединениях

Учитывается дополнительный коэффициент увеличения средней составляющей ветрового давления $\gamma_m = 1,2$ по рекомендации ЦНИИСК (см. п. 2).

1) между панелями «Полиалпан» и ГНП: от вертикальной расчетной нагрузки с учетом Δt , $Q_z = N_z^{max}$ (в угловых зонах I района) = 333 Н (см. п. 6, а); от горизонтального расчетного усилия растяжения вследствие отрицательного давления ветра (отсоса) для III района $N_y = N_{y,e}^{max} \cdot \gamma_m = q_{y,e} \cdot \sigma \cdot h_{z,e} \cdot \gamma_m = 1962 \cdot 0,5 \cdot 0,4 \cdot 1,2 = 471 \text{ Н}$.

2) между ГНП и кронштейнами:

от вертикальных усилий растяжения, возникающих от Δt , $N_z = N_{(t)}^{max}$ (в угловых зонах I района, п. 6, а) = $n_{кр} \cdot N_t = 30 \cdot 3,4 = 102 \text{ Н}$;

от горизонтальной ветровой нагрузки с максимумом в средних зонах фасада для III района $Q_y = N_{y,c}^{max} = q_{y,c} \cdot \gamma_m \cdot l_x \cdot h_{z,c} = 1026 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 788 \text{ Н}$.

3) между ветвями кронштейна: горизонтальное усилие сжатия в средних зонах фасада от расчетной ветровой нагрузки III района $N_y = N_{y,c}^{max} = 657 \text{ Н}$ (см. п. 6, в), прикладываемое на уровне центра тяжести горизонтальной ветви - консоли на расстоянии $z_{c,m} = 12 \text{ мм}$ от верха;

изгибающие моменты в консоли определяются в зависимости от величины ее вылета (см. п.п. 9 и 10).

4) между несущим кронштейном и стеной: максимальное горизонтальное усилие растяжения от расчетной ветровой нагрузки (отсоса) для III района

$$N_y = N_{y,e}^{max} = q_{y,e} \cdot \gamma_m \cdot l_x \cdot h_{z,e} = 1962 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 0,4 = 753 \text{ Н};$$

максимальное вертикальное расчетное усилие в угловых зонах I района

$$N_z = N_{z,e}^{max} = 630 \text{ Н (см. п. 6, в);}$$

изгибающий момент определяется в зависимости от величины вылета верхней ветви - консоли (см. п.п. 9 и 10).

1.7. Расчет панелей «Полиалпан»

Геометрические характеристики поперечного сечения панелей (пенополиуретаном пренебрегается в запас <1 %): $A = 331 \text{ мм}^2$; $J = 22953 \text{ мм}^4$; $W = 1126 \text{ мм}^3$; $S_o = 1095 \text{ мм}^3$; $t = 1 \text{ мм}$.

Наиболее невыгодные сочетания вертикальных и горизонтальных усилий в панелях возникают в средних зонах фасада, они и используются для проверки прочности.

По формуле (29) [10] на растяжение (сжатие) с изгибом

$$\left(\frac{N_z}{A} + \frac{M_{(yi)}}{W} \right) \gamma_n \leq R \cdot \gamma_c;$$

$$\text{для I района } \left(\frac{282}{331} + \frac{20,9 \cdot 10^3}{1126} \right) 0,95 = 18,4 \text{ МПа} < 120 \cdot 1 = 120 \text{ МПа};$$

$$\text{для III района } \left(\frac{282}{331} + \frac{34,5 \cdot 10^3}{1126} \right) 0,95 = 29,9 \text{ МПа} < 120 \text{ МПа};$$

прочность панелей на растяжение (сжатие) с изгибом обеспечивается.

По формуле (21) [10] на сдвиг $Q_y^{max} \cdot S_o$

$$\tau_y = \frac{\quad}{J \cdot t} \gamma_n;$$

$$\text{для I района } \frac{151 \cdot 1095}{22953 \cdot 1} \cdot 0,95 = 6,8 \text{ МПа} < R_s \cdot \gamma_c = 75 \cdot 1 = 75 \text{ МПа};$$

$$\text{для III района } \frac{248 \cdot 1095}{22953 \cdot 1} \cdot 0,95 = 11,2 \text{ МПа} < 75 \text{ МПа};$$

прочность панелей на сдвиг обеспечивается.

Прогиб от ветровой нормативной нагрузки по известной формуле

$$f_y = \frac{l_z^2}{EJ} \left(\frac{5}{384} \cdot q_{y,c}^n \cdot l_z^2 - \frac{1}{16} M_{(y)c}^n \right) \cdot \gamma_n;$$

$$\text{для I района } \frac{800^2}{7 \cdot 10^4 \cdot 22953} \left(\frac{5}{384} \cdot 222 \cdot 10^{-3} \cdot 800^2 - \frac{1}{16} \cdot 14,9 \cdot 10^3 \right) \cdot 0,95 = 0,5 \text{ мм};$$

$$\text{для III района } \frac{800^2}{7 \cdot 10^4 \cdot 22953} \left(\frac{5}{384} \cdot 367 \cdot 10^{-3} \cdot 800^2 - \frac{1}{16} \cdot 24,7 \cdot 10^3 \right) \cdot 0,95 = 0,57 \text{ мм},$$

что составляет 1/1600 и 1/1400 пролета $l=800$ мм и меньше предельно допустимой СНиП 2.01.07-85* величины 1/200 пролета; жесткость панелей достаточна.

1.8. Расчет горизонтальных профилей (ГНП)

Геометрические характеристики поперечного сечения:

$$A = 78 \text{ мм}^2; J_{(z)} = 25451 \text{ мм}^4; W_{(z)} = 1018 \text{ мм}^3; S_{(z)} = 787 \text{ мм}^3; t_z = \delta = 0,6 \text{ мм};$$

$$J_{(y)} = 13566 \text{ мм}^4; W_{(y)} = 492 \text{ мм}^3; S_{(y)} = 457 \text{ мм}^3; t_y = 2\delta = 1,2 \text{ мм}.$$

Как и панелей, проверочные расчеты ГНП выполняются только для средних зон фасада с более неблагоприятными условиями.

Прочность ГНП на изгиб в двух плоскостях по формуле (38) СНиП II-23-81*

$$\left(\frac{M_{(z)}}{W_{(z)}} + \frac{M_{(y)}}{W_{(y)}} \right) \gamma_n \leq R_y \gamma_c;$$

$$\text{для I района } \left(\frac{2,6}{1018} + \frac{34,1}{492} \right) \cdot 10^3 \cdot 0,95 = 68,4 \text{ МПа} < 230 \cdot 1 = 230 \text{ МПа};$$

$$\text{для III района } \left(\frac{2,6}{1018} + \frac{56,2}{492} \right) \cdot 10^3 \cdot 0,95 = 110,9 \text{ МПа} < 230 \text{ МПа};$$

условие (38) удовлетворяется; прочность ГНП на изгиб в двух плоскостях обеспечивается.

Прочность на сдвиг в двух плоскостях по формуле (29) СНиП II-23-81*

$$\tau_i = \frac{Q_i \cdot S_i}{\quad} \gamma_n \leq R_s \gamma_c (\text{МПа});$$

$J_i \cdot t_i$

$$\text{для I района } \tau_z = \frac{18,2 \cdot 787}{25451 \cdot 1} \cdot 0,95 = 0,89; \quad \tau_y = \frac{242 \cdot 457}{13566 \cdot 1,2} \cdot 0,95 = 6,46;$$

результующая $\tau = \sqrt{0,89^2 + 6,46^2} = 6,5 \text{ МПа} < 133 \cdot 1 = 133 \text{ МПа};$

$$\text{для III района } \tau_z = 0,89; \quad \tau_y = \frac{399 \cdot 457}{13566 \cdot 1,2} \cdot 0,95 = 10,65;$$

результующая $\tau = \sqrt{0,89^2 + 10,65^2} = 10,7 \text{ МПа} < 133 \text{ МПа};$

условие (29) удовлетворяется; прочность ГНП на сдвиг обеспечивается.

Прогибы ГНП от нормативных нагрузок по известной формуле

$$f_i = \frac{l_i^2}{EJ_i} \left(\frac{5}{384} \cdot q_i^n \cdot l_i^2 - \frac{1}{16} M_i^n \right) \cdot \gamma_n;$$

1) от вертикальной нагрузки

$$f_z = \frac{800^2}{21 \cdot 10^4 \cdot 25451} \left(\frac{5}{384} \cdot 34 \cdot 10^{-3} \cdot 800^2 - \frac{1}{16} \cdot 2,31 \cdot 10^3 \right) \cdot 0,95 = 0,017 \text{ мм};$$

2) от горизонтальных (ветровых) нагрузок:

$$\text{для I района: } f_y = \frac{800^2}{21 \cdot 10^4 \cdot 13566} \left(\frac{5}{384} \cdot 355 \cdot 10^{-3} \cdot 800^2 - \frac{1}{16} \cdot 24,3 \cdot 10^3 \right) \cdot 0,95 = 0,33 \text{ мм};$$

$$\text{для III района: } f_y = \frac{800^2}{21 \cdot 10^4 \cdot 13566} \left(\frac{5}{384} \cdot 586 \cdot 10^{-3} \cdot 800^2 - \frac{1}{16} \cdot 40,1 \cdot 10^3 \right) \cdot 0,95 = 0,51 \text{ мм};$$

найденные прогибы составляют:

$$f = \frac{0,017}{800} = \frac{1}{47058}; \quad \frac{0,33}{800} = \frac{1}{2424} \quad \text{и} \quad \frac{0,51}{800} = \frac{1}{1569},$$

что меньше предельно допустимой СНиП 2.01.07-85* величины 1/200 пролета; жесткость ГНП достаточна.

1.9. Проверка прочности несущих кронштейнов

Геометрические характеристики поперечного сечения:

$$A = 78 \text{ мм}^2; \quad J_{(z)} = 13566 \text{ мм}^4; \quad W_{(z)} = 492 \text{ мм}^3; \quad S_{o(z)} = 457 \text{ мм}^3; \quad t_{(z)} = 1,2 \text{ мм};$$

геометрические характеристики отгибаемых пластин: $\sigma_{пл} = 30 \text{ мм}; \quad \delta_{пл} = 0,6 \text{ мм}; \quad A_{пл} = 18 \text{ мм}^2; \quad J_{пл} = 30 \cdot 0,6^3/12 = 0,54 \text{ мм}^4; \quad W_{пл} = 30 \cdot 0,6^2/6 = 1,8 \text{ мм}^3.$

Усилия, возникающие в отгибаемых пластинах от температурных деформаций панелей «Полиалпан»: максимальный прогиб отгибаемых пластин по формуле

$$f_z^{nn} = \Delta L_z = \alpha \cdot \Delta t \cdot L_z = 0,23 \cdot 10^{-4} \cdot 50 \cdot 12000 = 13,8 \text{ мм},$$

а с учетом податливости изгибу кронштейнов и релаксации температурных усилий за счет реактивного обжатия или растяжения панелей «Полиалпан» примерно на 25 %:

$$f_z^{nn} = 0,75 \cdot 13,8 = 10,4 \text{ мм};$$

т.к. зазор между ГВН и кронштейном 10 мм, который может быть преодолен, то

$$\text{принимается максимальный прогиб пластин } f_z^{nn} = 10 \text{ мм.}$$

Этому прогибу при $l_{пл} = 100 \text{ мм}$ соответствует усилие

$$N_{пл} = f_z^{nn} \cdot 3EJ/l_{пл}^3 = 10 \cdot 3 \cdot 21 \cdot 10^4 \cdot 0,54/100^3 = 3,4 \text{ Н}$$

и момент $M_{пл} = N_{пл} \cdot l_{пл} = 3,4 \cdot 100 = 340 \text{ Н мм};$ напряжения

в основании пластин: для I района ветровых нагрузок

$$\sigma_{пл} = \left(\frac{N_y}{A} + \frac{M_{пл}}{W} \right) \gamma_n = \left(\frac{398}{18} + \frac{340}{1,8} \right) 0,95 = 200 \text{ МПа} < R_y \gamma_c = 230 \cdot 1 = 230 \text{ МПа};$$

для III района при $N_y = 463 \text{ Нм}$ остальных тех же параметрах, что и для I района.

$$\sigma_{nn} = \left(\frac{657}{18} + \frac{340}{1,8} \right) \cdot 0,95 = 214 \text{ МПа} < R_y \gamma_c = 230 \text{ МПа};$$

Прочность отгибаемых пластин обеспечивается.

Проверка устойчивости пластин на сжатие не производится в предположении, что зазор между ГНП и кронштейном при отгибе пластин погашается.

Прочность поперечного сечения несущего кронштейна на растяжение (сжатие) с изгибом по формуле (50) СНиП II-23-81*

$$\left(\frac{N_y}{A} + \frac{M_{(z)}}{W_{(z)}} \right) \gamma_n \leq R_y \gamma_c,$$

$$\text{для I района } \left(\frac{398}{78} + \frac{107 \cdot 10^3}{492} \right) \cdot 0,95 = 211,5 \text{ МПа} < 230 \cdot 1 = 230 \text{ МПа};$$

$$\text{для III района } \left(\frac{657}{78} + \frac{151 \cdot 10^3}{492} \right) \cdot 0,95 = 299,6 \text{ МПа} > 230 \text{ МПа};$$

для I района условие (50) удовлетворяется и прочность поперечного сечения несущего кронштейна на растяжение (сжатие) с изгибом обеспечивается; для III района условие (50) не удовлетворяется и кронштейн следует усиливать подкосами (см. п. 10.3).

По формуле (29) СНиП II-23-81* на сдвиг (срез) от максимальной поперечной силы $Q_{(z)} = N_z^{max} = 630 \text{ Н}$ (для I и III районов):

$$\tau_z = \frac{Q_{(z)} \cdot S_{o(z)}}{J_{(z)} \cdot t_{(z)}} \gamma_n = \frac{630 \cdot 457}{13566 \cdot 1,2} \cdot 0,95 = 16,8 \text{ МПа} < R_s \gamma_c = 133 \cdot 1 = 133 \text{ МПа};$$

условие (29) СНиП II-23-81* удовлетворяется, прочность поперечного сечения несущего кронштейна на сдвиг (срез) для обоих районов обеспечивается.

I.10. Проверка прочности соединений

1) Соединение панелей «Полиалпан» с ГНП: количество саморезов $\varnothing 4,2 \text{ мм}$;

$$n_s = 2; d_o = 2,5 \text{ мм}; A_o = 4,9 \text{ мм}^2.$$

Максимальные усилия: $N_y = 471 \text{ Н}$; $N_z = 333 \text{ Н}$ (см. п. 6, г). По формуле (129) СНиП II-23-81* на растяжение: $N_y \cdot \gamma_n / (A_o \cdot n_s) = 471 \cdot 0,95 / (4,9 \cdot 2) = 45,7 \text{ МПа} < R_{ef} = 170 \text{ МПа}$; прочность саморезов на растяжение обеспечивается.

По формуле (127) СНиП II-23-81* на срез:

$$N_z \cdot \gamma_n / (A_o \cdot n_s) = 333 \cdot 0,95 / (4,9 \cdot 2) = 32,3 \text{ МПа} < R_{es} \gamma_c = 150 \cdot 0,8 = 120 \text{ МПа};$$

прочность саморезов на срез обеспечивается.

Проверка на смятие ГНП под саморезами:

$$N_z \cdot \gamma_n / (\delta \cdot d_o \cdot n_s) = 333 \cdot 0,95 / (0,6 \cdot 2,5 \cdot 2) = 105,5 \text{ МПа} < R_{fp} \gamma_c = 175 \cdot 1 = 175 \text{ МПа};$$

прочность ГНП на смятие обеспечивается.

Проверка на смятие панелей под саморезами:

$N_z \cdot \gamma_n / (\delta \cdot d \cdot n_s) = 333 \cdot 0,95 / (0,5 \cdot 4,2 \cdot 2) = 75,3 \text{ МПа} < R_{lp} \gamma_c = 90 \cdot 1 = 90 \text{ МПа}$; прочность панелей на смятие под саморезами обеспечивается.

2) Соединение ГНП с кронштейнами: количество саморезов $\varnothing 4,2 \text{ мм}$, $n_s = 2$; $d_o = 2,5 \text{ мм}$; $A_o = 4,9 \text{ мм}^2$. Максимальные усилия: $N_z = 102 \text{ Н}$; $Q_y = 788 \text{ Н}$ (см. п. 6, г). Ввиду незначительной величины N_z прочность самореза на растяжение заведомо обеспечивается.

По формуле (29) СНиП II-23-81* на срез:

$Q_y \cdot \gamma_n / (A_o \cdot n_s) = 788 \cdot 0,95 / (4,9 \cdot 2) = 76,4 \text{ МПа} < R_{es} \cdot \gamma_e = 150 \cdot 0,8 = 120 \text{ МПа}$; прочность соединения на срез обеспечивается.

3) Соединение между ветвями кронштейна: количество саморезов $\varnothing 4,2 \text{ мм}$; $n_s = 4$; $d_o = 2,5 \text{ мм}$; $A_o = 4,9 \text{ мм}^2$. Максимальные усилия (см. п. 6, в):

для I района: $M_{(z)} = 107 \text{ Нм}$; $N_y = 380 \text{ Н}$;

для III района: $M_{(z)} = 151 \text{ Нм}$; $N_y = 628 \text{ Н}$.

Эквивалентные моменты относительно саморезов, расположенных на расстояниях $z_e = 30 \text{ мм}$ от верха и 10 мм от низа горизонтальной ветви:

$M_{(z)} = 107 - 380 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 102 \text{ Нм}$ (I район);

$M_{(z)} = 151 - 628 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 143 \text{ Нм}$ (III район).

Напряжения среза в саморезах:

для I района

$$\tau = \frac{N_y + M_{(z)}/z_e}{A_o \cdot n_s} \gamma_n = \frac{380 + 102 \cdot 10^3/30}{4,9 \cdot 4} \cdot 0,95 = 183 \text{ МПа} > R_{es} \gamma_e = 120 \text{ МПа};$$

для III района

$$\tau = \frac{628 + 143 \cdot 10^3/30}{4,9 \cdot 4} \cdot 0,95 = 261 \text{ МПа} > 120 \text{ МПа},$$

прочность соединения на срез не обеспечивается: из данной проверки выявлена необходимость устройства подкосов в несущих кронштейнах, при этом свободная длина консолей должна быть не более $l_k = 100 \text{ мм}$ для обоих ветровых районов.

4) Соединение кронштейна со стеной: количество шурупов на растяжение (сжатие) $n_s = 1$; на срез $n_s = 2$; $\varnothing 5,5 \text{ мм}$; $d_o = 4,2 \text{ мм}$; $A_o = 13,8 \text{ мм}^2$. Расстояние между осями верхнего и нижнего шурупов $z = 80 \text{ мм}$.

Максимальные усилия:

для I района: $M_{(z)} = 107 \text{ Нм}$; $N_y = 398 \text{ Н}$; $N_z = 630 \text{ Н}$;

для III района: $M_{(z)} = 151 \text{ Нм}$; $N_y = 657 \text{ Н}$; $N_z = 630 \text{ Н}$.

По формуле (129) СНиП II-23-81* прочность верхнего шурупа на растяжение от совместного действия силы N_y и момента $M_{(z)}$:

для I района

$$\frac{N_y + M_{(z)}/z}{A_o} \gamma_n = \frac{398 + 107 \cdot 10^3/80}{13,8} \cdot 0,95 = 119,5 \text{ МПа} < R_{st} = 170 \text{ МПа};$$

для III района

$$\frac{657 + 151 \cdot 10^3/80}{13,8} \cdot 0,95 = 175,2 \text{ МПа} < 170 \text{ МПа};$$

13,8

прочность шурупа на растяжение обеспечивается.

По формуле (127) СНиП II-23-81* на срез от силы N_z для I и III районов:

$N_z \cdot \gamma_n / (A_o \cdot n_s) = 630 \cdot 0,95 / (13,8 \cdot 2) = 21,7 \text{ МПа} < R_{св} \gamma_с = 150 \cdot 0,8 = 120 \text{ МПа}$; прочность шурупов на срез обеспечивается.

I.11. Заключение

На основании расчетов, проведенных для зданий высотой до 75 м, при ветровых нагрузках I и III районов, величине температурного перепада 50 °С, шагах вертикальных опор (кронштейнов) и горизонтальных (ГНП) – 800 мм в средних частях и 400 мм в угловых зонах фасада, установлено и рекомендуется:

1. Прочность и жесткость облицовочных панелей «Полиалпан» толщиной 25 мм, шириной 0,5 м и длиной (высотой) 12 м обеспечиваются.
2. Прочность и жесткость горизонтальных направляющих профилей (ГНП), изготовленных из гнутых профилей ПН-2, обеспечиваются.
3. Прочность несущих кронштейнов, изготовленных из гнутых профилей ПН-2, обеспечивается при условии устройства в них подкосов с оставлением свободной консоли не более $l_k \leq 100$ мм. Прочность отгибаемых пластин в кронштейнах обеспечивается при их длине $l_k = 70-100$ мм.

Часть II. Расчет несущих конструкций с компенсированными температурными деформациями

II.1. Общие положения

Прочностные расчеты включают проверку прочности и деформаций основных несущих и ограждающих конструкций системы облицовки фасадов «Полиалпан», их соединений между собой и со стеной здания на действие нагрузок от собственного веса облицовочных панелей, несущих профилей и давления ветра.

Нагрузки от собственного веса панелей и веса других конструкций принимаются по проекту. Ветровые нагрузки принимаются по СНиП 2.01.07-85* с учетом дополнительных коэффициентов и рекомендаций ЦНИИСК, регламентированных письмом № 1-945 от 14.11.2001 г.

Усилия: изгибающие моменты; поперечные и продольные силы; прогибы определяются с использованием основных положений сопротивления материалов и строительной механики [10].

Коэффициенты надежности по нагрузкам γ_f , а также единый коэффициент надежности по ответственности $\gamma_n = 0,95$ принимаются по СНиП 2.01.07-85*.

Приняты обозначения:

M_B – изгибающий момент от вертикальной нагрузки;

M_H – то же от горизонтальной;

индексы:

e (*edge*) – для угловых зон;

c (*centre*) – средних зон;

$k_{сп}$ – справочные коэффициенты [10].

II.2. Исходные данные

Система предназначена для устройства вентилируемого фасада. Высота зданий ограничивается 75 м, районы строительства - г.г. Москва и Ханты-Мансийск и аналогичные им по ветровым нагрузкам.

Основные несущие конструкции – кронштейны К-2, К-3 и горизонтальные несущие профили (ГНП) из профиля П-2 изготавливаются из гнутых профилей П-1,

П-2 из оцинкованной стали толщиной 1,2 – 1,5 мм.

Кронштейны крепятся к стене с помощью пластмассовых дюбелей $\varnothing 8$ мм и распорных шурупов $\varnothing 5,5$ мм из оцинкованной стали. Горизонтальные несущие профили крепятся к кронштейнам заклепками $\varnothing 4,8$ мм из оцинкованной стали.

Шаги кронштейнов в средних зонах фасада $l_x \cdot l_{z,c} = 0,8 \cdot 1,5$ м, в угловых зонах $l_{x,e} \cdot l_{z,e} = 0,8 \cdot 0,8$ м, шаги ГНП соответственно $l_{z,c} = 1,5$ м и $l_{z,e} = 0,8$ м.

Облицовка производится панелями «Полиалпан» шириной 0,5 м, длиной 12 м, толщиной 25 мм, наружный несущий слой которых выполняется из алюминиевого сплава толщиной $\delta_n = 0,5$ мм, а теплоизолирующий слой из пенополиуретана плотностью 40–60 кг/м³, защищенный изнутри алюминиевой фольгой толщиной

0,05 мм. Собственная масса панелей $3,5 \text{ кг/м}^2$. Панели крепятся к ГНП шурупами-саморезами с прессшайбой $\varnothing 4,2 \text{ мм}$ из оцинкованной стали.

Дополнительное утепление - из минераловатных плит - крепится к стене независимо специальными тарельчатыми дюбелями, расчет которых не требуется.

II.3. Расчетные характеристики материалов

Расчетные сопротивления наружного слоя панелей «Полиалпан» из алюминиевого сплава согласно СНиП 2.03.06-85 (МПа):

на растяжение, сжатие и изгиб $R = 120$;

на сдвиг $R_s = 75$;

на смятие $R_{lp} = 90$;

модуль упругости $E = 7 \cdot 10^4$.

Коэффициент условий работы $\gamma_c = 1$.

Расчетные сопротивления несущих стальных профилей согласно СНиП II-23-81* (МПа):

на растяжение, сжатие и изгиб $R_y = 230$;

на сдвиг $R_s = 133$; на смятие $R_{lp} = 175$;

модуль упругости $E = 21 \cdot 10^4$.

Коэффициент условий работы $\gamma_c = 1$.

Расчетные сопротивления стальных заклепок, шурупов и саморезов по СНиП II-23-81* (МПа):

на растяжение $R_{et} = 170$;

на срез $R_{es} = 150$.

Коэффициент условий работы на растяжение $\gamma_e = 1$; на срез $\gamma_e = 0,8$.

II.4. Расчетные схемы

Направления координатных осей приняты:

ось x - горизонтальная в плоскости стены;

ось y - горизонтальная по нормали к стене;

ось z - вертикальная.

Расчетная схема панели «Полиалпан» в направлении оси Z - многопролетная балка с пролетами $l_{z,c} = 1,5 \text{ м}$ и $l_{z,e} = 0,8 \text{ м}$, неразрезная на средних опорах (ГНП) и шарнирно опертая на ГНП по концам (рис. П.1.6). Панель воспринимает нагрузки от собственного веса и давления ветра.

Расчетная схема ГНП - многопролетная балка с пролетами $l_x = 0,8 \text{ м}$, неразрезная на средних опорах-кронштейнах и шарнирно опертая на кронштейны по концам (рис. П.1.7). Шаги ГНП по вертикали: $l_{z,c} = 1,5 \text{ м}$; $l_{z,e} = 0,8 \text{ м}$. ГНП воспринимают нагрузки от собственного веса, веса панелей и от ветра.

Расчетная схема кронштейнов - консоль (рис. П.1.8) с вылетом $l_k = 200$ и 270 мм, зависящим от толщины слоя утеплителя и воздушного зазора (варианты - Москва и Ханты-Мансийск). Шаги несущих кронштейнов по вертикали $L_z = 12$ м, опорных $l_z = 1,5$ м; шаги по горизонтали всех кронштейнов $l_x = 0,8$ м.

Несущие кронштейны, расположенные у середины высоты панелей, воспринимают все вышеперечисленные нагрузки, передаваемые через ГНП. Остальные опорные кронштейны воспринимают только аналогичную с несущими ветровую нагрузку.

Соединения между элементами конструкций и со стеной рассчитываются на действие усилий растяжения, изгиба, сдвига (среза) и отрыва от совместного действия вышеперечисленных нагрузок.

II.5. Основные нагрузки

Вертикальные нагрузки от веса панелей «Полиалпан» на 1 м^2 фасада (Pa):

$$\text{нормативная } q_{z(n)}^n = 3,5 \cdot 10^1 = 35;$$

$$\text{расчетная } q_{z(n)} = \gamma_f \cdot q_{z(n)}^n = 1,2 \cdot 35 = 42.$$

Вертикальные нагрузки от собственного веса горизонтальных направляющих ГНП на 1 м длины профиля (H/M):

$$\text{нормативная } p_{z(w)}^n = 0,95 \cdot 10^1 = 9,5;$$

$$\text{расчетная } p_{z(w)} = \gamma_f \cdot q_{z(w)}^n = 1,05 \cdot 9,5 = 10;$$

приведенная к 1 м^2 фасада (Pa):

$$\text{в средних зонах } q_{z(w)}^n = p_{z(w)}^n / l_z = 9,5 / 1,5 = 6,0; \quad q_{z(w)} = 1,05 \cdot 6 = 7,0;$$

$$\text{в угловых зонах: } q_{z(w)}^n = 9,5 / 0,8 = 12,0; \quad q_{z(w)} = 1,05 \cdot 12 = 13.$$

Суммарные вертикальные нагрузки на 1 м^2 фасада (Pa):

в средних зонах:

$$\text{нормативная } q_z^n = q_{z(n)}^n + q_{z(w)}^n = 35 + 6 = 41;$$

$$\text{расчетная } q_z = q_{z(n)} + q_{z(w)} = 42 + 7 = 49;$$

$$\text{в угловых зонах: } q_z^n = 35 + 12 = 47; \quad q_z = 42 + 13 = 55.$$

За горизонтальную нагрузку принималось давление ветра на высоте 75 м.

Для I ветрового района (г. Москва):

$$\text{нормативное значение ветрового давления } W_0 = 0,23 \text{ кПа};$$

$$\text{коэффициент "k" для } H = 75 \text{ м, тип местности "B" по табл. 6, СНиП 2.01.07-85* } k = 1,41;$$

аэродинамический коэффициент для средних зон фасада $C_c = 0,8$, а с учетом пульсационной

составляющей $\gamma_{p,c} = 1,5$ (согласно п.п. 6.7; 6.9, СНиП 2.01.07-85*),

$$C_c = 0,8 \cdot 1,5 = 1,2; \text{ для угловых зон: } C_e = -2, \text{ а с учетом } \gamma_{p,e} = 1,3 \text{ (по рекомендации ЦНИИСКА), } C_e = |2| \cdot 1,3 = 2,6.$$

Значения ветровых нагрузок для I района (Pa):

в средних зонах фасада:

$$\text{нормативная } q_{y,c}^n = W_0 \cdot k \cdot C_c = 0,23 \cdot 10^3 \cdot 1,41 \cdot 1,2 = 389;$$

$$\text{расчетная } q_{y,c} = q_{y,c}^n \cdot \lambda_f = 389 \cdot 1,4 = 545;$$

в угловых зонах:

$$q_{y,e}^n = W_0 \cdot k \cdot C_e = 0,23 \cdot 10^3 \cdot 1,41 \cdot 2,6 = 843; \quad q_{y,e} = q_{y,e}^n \cdot \lambda_f = 843 \cdot 1,4 = 1180.$$

Для III ветрового района $W_0 = 0,38 \text{ кПа}$;

при остальных тех же коэффициентах, как и для I района, нагрузки пропорциональны отношению W_{0i} ,

$$\text{т.е. } 0,38/0,23 = 1,65,$$

с учетом этого в средних зонах фасада:

$$q_{y,c}^n = 389 \cdot 1,65 = 641; q_{y,c} = 641 \cdot 1,65 = 897 \text{ Па};$$

в угловых зонах:

$$q_{y,e}^n = 843 \cdot 1,65 = 1393; q_{y,e} = 1180 \cdot 1,65 = 1950 \text{ Па}.$$

II.6. Проверка прочности и жесткости облицовочных панелей «Полиалпан»

Геометрические характеристики

Поперечного сечения панелей (пенополиуретаном пренебрегается в запас < 1%):

$$b_x = 500 \text{ мм}; A = 331 \text{ мм}^2; J_x = 22953 \text{ мм}^4; W_x = 1126 \text{ мм}^3; S_x = 1095 \text{ мм}^3;$$

$$t = 500 \text{ мм}.$$

Нагрузки и усилия

Более невыгодное сочетание усилий от вертикальной и горизонтальной нагрузок для элементов панелей – в средних зонах, для их крепления к ГНП – в угловых зонах фасада.

Вертикальные нагрузки на 1 м высоты панелей от их веса ($H / м$):

$$p_z^n = q_z^n \cdot b_x = 35 \cdot 0,5 = 18; p_z = q_z \cdot b_x = 42 \cdot 0,5 = 21.$$

Горизонтальные ветровые нагрузки на 1 м высоты панели ($H / м$):

в I районе:

$$\text{нормативная } p_{y,c}^n = q_{y,c}^n \cdot b_x = 389 \cdot 0,5 = 195;$$

$$\text{расчетная } p_{y,c} = q_{y,c} \cdot b_x = 545 \cdot 0,5 = 273;$$

в III районе:

$$\text{нормативная } p_{y,c}^n = 641 \cdot 0,5 = 322;$$

$$\text{расчетная } p_{y,c} = 897 \cdot 0,5 = 449.$$

Изгибающие моменты от горизонтальных нагрузок ($H \cdot м$):

в I районе:

$$\text{от нормативной нагрузки } M_{\Gamma}^n = k_{cnp} \cdot p_{y,c}^n \cdot l_z^2 = 0,105 \cdot 195 \cdot 1,5^2 = 46,1;$$

$$\text{от расчетной } M_{\Gamma,c} = \gamma_f \cdot M_{\Gamma,c}^n = 1,4 \cdot 46,1 = 64,5;$$

$$\text{в III районе: } M_{\Gamma}^n = 0,105 \cdot 322 \cdot 1,5^2 = 76,1; M_{\Gamma,c} = 1,4 \cdot 76,1 = 106,5.$$

Продольная растягивающая или сжимающая сила, собираемая с половины высоты панели $L_z = 12 м$ от расчетного значения ее собственного веса $N_z = p_z \cdot L_z / 2 = 21 \cdot 12 / 2 = 126 H$.

Поперечные силы от горизонтальных нагрузок:

$$\text{в I районе } Q_{y,c} = p_y \cdot l_z / 2 + M_{\Gamma,c} / l_z = 273 \cdot 1,5 / 2 + 64,5 / 1,5 = 248 H;$$

$$\text{в III районе } Q_{y,c} = 449 \cdot 1,5 / 2 + 106,5 / 1,5 = 408 H.$$

Проверка прочности панелей

По формуле (29) СНиП 2.03.06-85 на растяжение (сжатие) с изгибом

$$\left(\frac{N_z}{A} + \frac{M_{\Gamma,c}}{W_x} \right) \cdot \gamma_n \leq R \cdot \gamma_c ;$$

$$\text{в I районе } \left(\frac{126}{331} + \frac{64,5 \cdot 10^3}{1126} \right) \cdot 0,95 = 54,8 \text{ МПа} < 120 \cdot 1 = 120 \text{ МПа} ;$$

$$\text{в III районе } \left(\frac{126}{331} + \frac{106,4 \cdot 10^3}{1126} \right) \cdot 0,95 = 90,1 \text{ МПа} < 120 \text{ МПа} ;$$

прочность панелей на растяжение (сжатие) с изгибом обеспечивается.

По формуле (21) СНиП 2.03.06-85 на сдвиг в плоскости XOY

$$\tau_{y,c} = \frac{Q_{y,c} \cdot S_x}{J_x \cdot t_x} \cdot \gamma_n \leq R_c \cdot \gamma_c ;$$

$$\text{в I районе } \frac{248 \cdot 1095}{22953 \cdot 500} \cdot 0,95 = 0,02 \text{ МПа} < R_c \cdot \gamma_c = 75 \cdot 1 = 75 \text{ МПа} ;$$

$$\text{в III районе } \frac{408 \cdot 1095}{22953 \cdot 500} \cdot 0,95 = 0,04 \text{ МПа} < 75 \text{ МПа} .$$

Прочность панелей на сдвиг обеспечивается.

Проверка жесткости панелей

Прогиб от ветровой нормативной нагрузки по известной формуле [10]

$$f_{y,c} = \frac{l_z^2}{E \cdot J} \cdot \left(\frac{5}{384} \cdot p_{y,c}^n \cdot l_z^2 - \frac{1}{16} \cdot M_{\Gamma,c}^n \right) \cdot \gamma_n ;$$

$$\text{в I районе } \frac{1500^2}{7 \cdot 10^4 \cdot 22953} \cdot \left(\frac{5}{384} \cdot 195 \cdot 10^{-3} \cdot 1500^2 - \frac{1}{16} \cdot 46,1 \cdot 10^3 \right) \cdot 0,95 = 3,9 \text{ мм} ;$$

$$\text{в III районе } \frac{1500^2}{7 \cdot 10^4 \cdot 22953} \cdot \left(\frac{5}{384} \cdot 321 \cdot 10^{-3} \cdot 1500^2 - \frac{1}{16} \cdot 76,1 \cdot 10^3 \right) \cdot 0,95 = 6,44 \text{ мм} ,$$

что составляет 1 / 382 и 1 / 233 пролета $l_z = 1500 \text{ мм}$ и меньше предельно допустимой СНиП 2.01.07-85* величины 1 / 200 пролета; жесткость панелей достаточна.

Проверка прочности соединения панелей с ГНП

Соединение осуществляется стальными шурупами - саморезами $d = 4,2 \text{ мм}$, $d_0 = 3,2 \text{ мм}$, работающими на срез и смятие от вертикальной нагрузки и на растяжение от горизонтальной нагрузки. Расчетная площадь сечения одного самореза $A_0 = 8 \text{ мм}^2$. Шаги саморезов по горизонтали $l_x = 0,5 \text{ м}$, по вертикали $l_{z,c} = 1,5 \text{ м}$, $l_{z,e} = 0,8 \text{ м}$.

Усилие среза определяется расчетной нагрузкой от собственного веса панели на всей ее высоте 12 м и передается на один горизонтальный ряд шурупов, располагаемый на уровне несущего кронштейна. При этом на один ($n_s = 1$) шуруп приходится $Q_z = Q_{z,c} = Q_{z,e} = q_{z(n)} \cdot L_z \cdot b_x = 42 \cdot 12 \cdot 0,5 = 252 \text{ Н}$.

Усилия растяжения от расчетных горизонтальных нагрузок, воспринимаемые всеми шурупами; в угловых зонах фасада с коэффициентом $\gamma_m = 1,2$ (см. п. 2):

в I районе $N_{y,e} = \gamma_m \cdot q_{y,e} \cdot l_x \cdot l_z = 1,2 \cdot 1180 \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 566 \text{ H}$;

в III районе $N_{y,e} = 1,2 \cdot 1950 \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 936 \text{ H}$.

Усилия смятия $N_z = Q_z = 252 \text{ H}$.

По формуле (127) СНиП II-23-81* на срез в плоскости XOZ

$$\tau_z = Q_z \cdot \gamma_n / (A_0 \cdot n_s) = 252 \cdot 0,95 / (8 \cdot 1) = 29,9 \text{ МПа} < R_{bs} \cdot \gamma_b = 150 \cdot 0,8 = 120 \text{ МПа} .$$

По формуле (129) СНиП II-23-81* на растяжение

$$N_{y,e} \cdot \gamma_n / (A_0 \cdot n_b) < R_{bt} \cdot \gamma_c :$$

в I районе $566 \cdot 0,95 / (8 \cdot 1) = 67,2 \text{ МПа} < 170 \cdot 1 = 170 \text{ МПа}$;

в III районе $936 \cdot 0,95 / (8 \cdot 1) = 111,2 \text{ МПа} < 170 \text{ МПа}$.

По формуле (1) СНиП 2.03.06-85 на смятие панелей

$$N_z \cdot \gamma_n / (d \cdot \delta_n \cdot n_b) = 252 \cdot 0,95 / (4,2 \cdot 1 \cdot 1) = 57,1 \text{ МПа} < R_{lp} = 90 \text{ МПа} .$$

По формуле (5) СНиП II-23-81* на смятие ГНП

$$N_z \cdot \gamma_n / (d \cdot \delta_n \cdot n_b) = 252 \cdot 0,95 / (4,2 \cdot 1,2 \cdot 1) = 47,5 \text{ МПа} < R_{lp} \cdot \gamma_c = 175 \text{ МПа} .$$

Прочность соединения панелей с ГНП обеспечивается.

II.7. Расчет прочности и жесткости горизонтальных несущих профилей (ГНП)

Геометрические характеристики

Поперечного сечения уголкового профиля ГНП: $\delta = 1,2 \text{ мм}$; $A = 96 \text{ мм}^2$;

$$J = 16006 \text{ мм}^4; W = 534 \text{ мм}^3; S = 540 \text{ мм}^3; t = 1,2 \text{ мм} .$$

Нагрузки и усилия

Более неблагоприятным для элементов ГНП являются сочетания усилий в средних зонах фасада.

Вертикальные нагрузки на 1 м длины ГНП ($H / м$):

$$\text{от собственного веса (см. п. 5): } p_{z(w)}^n = 9,5; p_{z(w)} = 10;$$

от веса панелей в средних зонах фасада:

$$\text{нормативная } p_{z,c(n)}^n = q_{z,c(n)}^n \cdot l_{z,c} = 35 \cdot 1,5 = 52,5;$$

$$\text{расчетная } p_{z,c(n)} = q_{z,c(n)} \cdot l_{z,e} = 42 \cdot 1,5 = 63;$$

$$\text{суммарные } p_{z,c}^n = p_{z(w)}^n + p_{z,c(n)}^n = 9,5 + 52,5 = 62; p_{z,c} = 10 + 63 = 73.$$

Горизонтальные нагрузки на 1 м длины ГНП ($H / м$):

в I районе:

$$\text{нормативная } p_{y,c}^n = q_{y,c}^n \cdot l_{z,c} = 389 \cdot 1,5 = 584;$$

$$\text{расчетная } p_{y,c} = q_{y,c} \cdot l_{z,c} = 545 \cdot 1,5 = 818;$$

в III районе:

нормативная $p_{y,c}^n = 641 \cdot 1,5 = 962$; расчетная $p_{y,c} = 897 \cdot 1,5 = 1346$.

Изгибающие моменты от вертикальной нагрузки ($H \cdot м$):

нормативной $M_{B,c}^n = k_{cnp} \cdot p_{z,c}^n \cdot l_z^2 = 0,107 \cdot 62 \cdot 0,8^2 = 4,2$;

расчетной $M_{B,c} = 0,107 \cdot 73 \cdot 0,8^2 = 5,0$.

Изгибающие моменты от горизонтальной нагрузки ($H \cdot м$):

в I районе:

нормативной $M_{Г,c}^n = k_{cnp} \cdot p_{y,c}^n \cdot l_z^2 = 0,107 \cdot 584 \cdot 0,8^2 = 40,1$;

расчетной $M_{Г,c} = 0,107 \cdot 818 \cdot 0,8^2 = 56,1$;

в III районе:

$M_{Г,c}^n = 0,107 \cdot 962 \cdot 0,8^2 = 65,9$; $M_{Г,c} = 0,107 \cdot 1346 \cdot 0,8^2 = 92,2$.

Поперечные силы:

от вертикальной расчетной нагрузки

$$Q_{z,c} = p_{z,c} \cdot l_x / 2 + M_{B,c} / l_x = 73 \cdot 0,8 / 2 + 5,0 / 0,8 = 36 \text{ H};$$

от горизонтальной расчетной нагрузки:

в I районе $Q_{y,c} = p_{y,c} \cdot l_x / 2 + M_{Г,c} / l_x = 818 \cdot 0,8 / 2 + 56,1 / 0,8 = 397 \text{ H}$;

в III районе $Q_{y,c} = 1346 \cdot 0,8 / 2 + 92,2 / 0,8 = 654 \text{ H}$.

Проверка прочности ГНП

По формуле (38) СНиП II-23-81* на изгиб в двух плоскостях XOZ и XOY

$$\left(\frac{M_B + M_G}{W} \right) \cdot \gamma_n \leq R \cdot \gamma_c;$$

в I районе $\left(\frac{5,0 + 56,1}{534} \right) \cdot 10^3 \cdot 0,95 = 108,7 \text{ МПа} < 230 \cdot 1 = 230 \text{ МПа}$;

в III районе $\left(\frac{5,0 + 92,2}{534} \right) \cdot 10^3 \cdot 0,95 = 172,9 \text{ МПа} < 230 \text{ МПа}$.

По формуле (29) СНиП II-23-81* на сдвиг в двух плоскостях XOZ и XOY

$$\tau_i = \frac{Q_i \cdot S_i}{J_i \cdot t_i} \cdot \gamma_n < R_s \cdot \gamma_c;$$

в I районе $\tau_z = \frac{36 \cdot 540}{16006 \cdot 1,2} \cdot 0,95 = 1,0$; $\tau_y = \frac{397 \cdot 540}{16006 \cdot 1,2} \cdot 0,95 = 11,0 \text{ МПа}$;

результатирующая $\tau = \sqrt{1,0^2 + 11,0^2} = 11,0 \text{ МПа} < 133 \cdot 1 = 133 \text{ МПа}$;

в III районе $\tau_z = 1,0$; $\tau_y = \frac{654 \cdot 540}{16006 \cdot 1,2} \cdot 0,95 = 17,5 \text{ МПа}$;

результатирующая $\tau = \sqrt{1,0^2 + 17,5^2} = 17,5 \text{ МПа} < 133 \cdot 1 = 133 \text{ МПа}$.

Прочность направляющих ГНП на изгиб и сдвиг в двух плоскостях обеспечивается.

Проверка жесткости ГНП

Прогибы ГНП от нормативных нагрузок по известной формуле

$$f_i = \frac{l_i^2}{E \cdot J_i} \cdot \left(\frac{5}{384} \cdot p_i^n \cdot l_i^2 - \frac{1}{16} \cdot M_i^n \right) \cdot \gamma_n;$$

от вертикальной нагрузки при $p_{z,c}^n = 62 \text{ Н/м}$ и $M_{B,c}^n = 4,2 \text{ Нм}$

$$f_z = \frac{800^2}{21 \cdot 10^4 \cdot 16006} \cdot \left(\frac{5}{384} \cdot 62 \cdot 10^{-3} \cdot 800^2 - \frac{1}{16} \cdot 4,2 \cdot 10^3 \right) \cdot 0,95 = 0,047 \text{ мм};$$

от горизонтальных (ветровых) нагрузок:

в I районе

$$f_y = \frac{800^2}{21 \cdot 10^4 \cdot 16006} \cdot \left(\frac{5}{384} \cdot 584 \cdot 10^{-3} \cdot 800^2 - \frac{1}{16} \cdot 40,0 \cdot 10^3 \right) \cdot 0,95 = 0,43 \text{ мм};$$

в III районе

$$f_y = \frac{800^2}{21 \cdot 10^4 \cdot 16006} \cdot \left(\frac{5}{384} \cdot 962 \cdot 10^{-3} \cdot 800^2 - \frac{1}{16} \cdot 65,4 \cdot 10^3 \right) \cdot 0,95 = 0,72 \text{ мм};$$

найденные прогибы составляют:

$$\frac{f}{l} = \frac{0,047}{800} = \frac{1}{17020}; \quad \frac{0,43}{800} = \frac{1}{1860} \text{ и } \frac{0,72}{800} = \frac{1}{1111},$$

что значительно меньше предельно допустимой СНиП 2.01.07-85* величины

1 / 200 пролета; жесткость панелей достаточна.

Проверка прочности соединения панелей ГНП с кронштейном

Соединение осуществляется двумя ($n_B = n_s = 2$) стальными заклепками $d = 4,8 \text{ мм}$, расчетной

площадью $A_{зак} = 18,1 \text{ мм}^2$, работающими на срез от горизонтальной ветровой нагрузки. Шаги соединения: в

средних зонах $l_x = 0,8 \text{ м}$; $l_{z,c} = 1,5 \text{ м}$; в угловых зонах $l_x = 0,8 \text{ м}$; $l_{z,e} = 0,8 \text{ м}$.

Максимальные усилия среза, возникающие в каждом узле в угловых зонах:

$$\text{в I районе } Q_{y,e} = N_{y,2} = \gamma_m \cdot q_{y,e} \cdot l_x \cdot l_{ze} = 1,2 \cdot 1180 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 906 \text{ Н};$$

$$\text{в III районе } Q_{y,e} = N_{y,2} = 1,2 \cdot 1950 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 1498 \text{ Н}.$$

Усилия смятия $N_{y,e} = Q_{y,e} = 906 \text{ Н}$ (I район) и 1498 Н (III район).

По формуле (127) СНиП II-23-81* на срез заклепок в плоскости XOY

в I районе

$$\tau_{y,e} = Q_{y,e} \cdot \gamma_n / (A_{зак} \cdot n_s) = 906 \cdot 0,95 / (18,1 \cdot 2) = 23,8 \text{ МПа} < R_{bs} \cdot \gamma_b = 120 \text{ МПа};$$

в III районе

$$\tau_{y,e} = 1498 \cdot 0,95 / (18,1 \cdot 2) = 39,3 \text{ МПа} < R_{bs} \cdot \gamma_b = 120 \text{ МПа}.$$

По формуле (5) СНиП II-23-81* на смятие ГНП под заклепками:

в I районе

$$\sigma_{y,e} = N_{y,e} \cdot \gamma_n / (d \cdot \delta \cdot n_{зак}) = 906 \cdot 0,95 / (4,8 \cdot 1,2 \cdot 2) = 74,7 \text{ МПа} < R_{lp} \cdot \gamma_c = 175 \text{ МПа};$$

в III районе

$$\sigma_{y,e} = 1498 \cdot 0,95 / (4,8 \cdot 1,2 \cdot 2) = 123,5 \text{ МПа} < R_{lp} \cdot \gamma_c = 175 \text{ МПа}$$

Прочность соединения панелей ГНП с кронштейном обеспечивается в обоих районах.[↓] Для первого ветрового района исходя из расчетов допускается крепление ГНП к кронштейну на одной стальной заклепке $d = 4,8 \text{ мм}$.

II.8. Расчет прочности несущего кронштейна (1 вариант – профиль П-1)

Геометрические характеристики

Поперечного сечения:

$$\delta = 1,5 \text{ мм}; A = 195 \text{ мм}^2; J_x = 34476 \text{ мм}^4; W_x = 1245 \text{ мм}^3; S_x = 1151 \text{ мм}^3;$$

$$t_x = 2 \cdot \delta = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ мм}.$$

Усилия

От вертикальной расчетной нагрузки, воспринимаемой только несущим кронштейном

$$N_{z,c} = q_{z,c} \cdot L_z \cdot l_x = 49 \cdot 12 \cdot 0,8 = 470 \text{ Н}.$$

От горизонтальных ветровых расчетных нагрузок, воспринимаемых всеми кронштейнами

$$\text{в I районе: } N_{y,c} = q_{y,c} \cdot l_{z,c} \cdot l_x = 545 \cdot 1,5 \cdot 0,8 = 654 \text{ Н};$$

$$\text{в III районе: } N_{y,c} = 897 \cdot 1,5 \cdot 0,8 = 1076 \text{ Н}.$$

Изгибающие моменты от расчетной вертикальной нагрузки при расчетных вылетах консолей $l_{кр} = 200 - 30 = 170 \text{ мм}$ (I район) и $l_{кр} = 270 - 30 = 240 \text{ мм}$ (III район), (H_m):

$$\text{в I районе: } M_{B,c} = N_{z,c} \cdot k_{кр} = 470 \cdot 170 \cdot 10^{-3} = 79,9;$$

$$\text{в III районе: } M_{B,c} = 470 \cdot 240 \cdot 10^{-3} = 112,8.$$

Продольные силы $N_y = N_{y,c}$; т.е. 654 и 1076 Н.

Поперечные силы: $Q_z = N_{z,c} = 470 \text{ Н}$.

Проверка прочности

По формуле (50) СНиП II-23-81* на сжатие с изгибом $\left(\frac{N_{y,c}}{A} + \frac{M_{B,c}}{W_x} \right) \cdot \gamma_n \leq R_y \cdot \gamma_c$:

$$\text{в I районе } \left(\frac{654}{195} + \frac{79,9 \cdot 10^3}{1245} \right) \cdot 0,95 = 64,2 \text{ МПа} < 230 \cdot 1 = 230 \text{ МПа};$$

Примечания к п. II.7.

1. В соединениях ГНП с кронштейнами вместо заклепок возможно применение стальных шурупов-саморезов $\varnothing 4,2 \text{ мм}$.
2. В I ветровом районе прочность соединения обеспечивается одной заклепкой.

$$\text{в III районе } \left(\frac{1076}{195} + \frac{112,8 \cdot 10^3}{1245} \right) \cdot 0,95 = 91,3 \text{ МПа} < 230 \text{ МПа}.$$

По формуле (29) СНиП II-23-81* на сдвиг в плоскости XOZ , в I и III районах

$$\tau_z = \frac{Q_z \cdot S_x}{J_x \cdot t_x} \cdot \gamma_n = \frac{470 \cdot 1151}{34476 \cdot 3} \cdot 0,95 = 5,0 \text{ МПа} < R_s \cdot \gamma_c = 133 \text{ МПа}.$$

Прочность несущего кронштейна на сжатие с изгибом и на сдвиг обеспечивается для обоих районов.

Проверка прочности соединения между ветвями несущего кронштейна

Крепление производится четырьмя ($n_B = n_s = 4$) стальными заклепками $d = 4,8 \text{ мм}$, работающими

на срез от вертикальных и горизонтальных нагрузок. Площадь сечения одной заклепки $A_{зак} = 18,1 \text{ мм}^2$.

Более невыгодное сочетание усилий на узел в угловых зонах фасада.

От вертикальной расчетной нагрузки

$$N_{z,e} = q_{z,e} \cdot L_z \cdot l_x = 55 \cdot 12 \cdot 0,8 = 528 \text{ Н},$$

от горизонтальной расчетной нагрузки с учетом коэффициента $\gamma_m = 1,2$ (см. п. 2):

в I районе $N_{y,e(\Gamma)} = 566 \text{ Н}$; в III районе $N_{y,e(\Gamma)} = 936 \text{ Н}$ (см. п. 6).

Изгибающие моменты от вертикальной расчетной нагрузки ($Hм$):

$$\text{в I районе } M_{B,e} = N_{z,e} \cdot l_{кр} = 528 \cdot 170 \cdot 10^{-3} = 89,8;$$

$$\text{в III районе } M_{B,e} = 528 \cdot 240 \cdot 10^{-3} = 126,7.$$

Усилия в заклепках от этих моментов при плече $e_z = 30 \text{ мм}$:

$$\text{в I районе } N_{y,e(B)} = M_{B,e} / e_z = 89,8 \cdot 10^3 / 30 = 2993 \text{ Н};$$

$$\text{в III районе } N_{y,e(B)} = 126,7 \cdot 10^3 / 30 = 4223 \text{ Н}.$$

Суммарные усилия на уровне заклепок:

$$\text{в I районе } N_{зак} = N_{y,e(B)} + N_{y,e(\Gamma)} = 2993 + 566 = 3559 \text{ Н};$$

$$\text{в III районе } N_{зак} = 4223 + 936 = 5159 \text{ Н}.$$

По формуле (127) СНиП II-23-81* на срез в плоскости XOY :

в I районе

$$\tau_y = N_{зак} \cdot \gamma_n / (A_{зак} \cdot n_s) = 3559 \cdot 0,95 / (18,1 \cdot 4) = 46,7 \text{ МПа} < R_{bs} \cdot \gamma_b = 120 \text{ МПа};$$

в III районе

$$\tau_y = 5159 \cdot 0,95 / (18,1 \cdot 4) = 67,7 \text{ МПа} < 120 \text{ МПа}.$$

По формуле (5) СНиП II-23-81* на смятие кронштейна:

в I районе

$$\sigma_y = N_{зак} \cdot \gamma_n / (d \cdot \delta_k \cdot n_s) = 3559 \cdot 0,95 / (4,8 \cdot 1,5 \cdot 4) = 117,4 \text{ МПа} < R_{lp} \cdot \gamma_c = 175 \text{ МПа};$$

в III районе

$$\sigma_y = 5159 \cdot 0,95 / (4,8 \cdot 1,5 \cdot 4) = 170 \text{ МПа} < R_{lp} \cdot \gamma_c = 175 \text{ МПа}.$$

Прочность соединения обеспечивается в I и III районах.

Проверка прочности крепления несущего кронштейна к стене

Крепление производится двумя ($n_B = n_s = 2$) стальными распорными шурупами $d = 5,5$ мм, расчетной площадью сечения $A = 23,7$ мм², работающими на растяжение, срез, смятие и вырыв от вертикальной и горизонтальной ветровой нагрузок. Расстояние между шурупами по вертикали (плечо) $z = 80$ мм.

Более невыгодное сочетание усилий на узел в угловых зонах фасада. Усилия от расчетных значений вертикальных и горизонтальных нагрузок, определенные в предыдущем разделе, составляют:

$$N_{z,e} = 528 \text{ H}, N_{y,e} = 566 \text{ H} \text{ (I район)}; N_{y,e} = 936 \text{ H} \text{ (III район)}.$$

$$M_{B,e} = 89,8 \text{ Нм (I район)}; M_{B,e} = 126,7 \text{ Нм (III район)}.$$

Кроме этого, изгибающие моменты от горизонтальных расчетных усилий $N_{y,e,i}$, действующих с плечом $e_z = 45$ мм(Нм):

$$\text{в I районе } M_{\Gamma,e} = N_{y,e} \cdot e_z = 566 \cdot 45 \cdot 10^{-3} = 25,5;$$

$$\text{в III районе } M_{\Gamma,e} = 936 \cdot 45 \cdot 10^{-3} = 42,1.$$

Суммарные изгибающие моменты на узел (Нм):

$$\text{в I районе } M_{e(B,\Gamma)} = M_{B,e} + M_{\Gamma,e} = 89,9 + 25,5 = 115,3;$$

$$\text{в III районе } M_{e(B,\Gamma)} = 126,7 + 42,1 = 168,8.$$

Усилия растяжения в верхнем шурупе по формуле $N_{y(+)} = M_{e(B,\Gamma)} / z + N_{y,e} / n_e$:

$$\text{в I районе } N_{y(+)} = 115,3 / 80 + 566 / 2 = 1724 \text{ H};$$

$$\text{в III районе } N_{y(+)} = 168,8 \cdot 10^3 / 80 + 936 / 2 = 2578 \text{ H}.$$

По формуле (129) СНиП II-23-81* на растяжение при $n_e = 1$

в I районе

$$\sigma_y = N_{y(+)} \cdot \gamma_n / (A \cdot n_e) = 1724 \cdot 0,95 / (23,7 \cdot 1) = 69,1 \text{ МПа} < R_{st} \cdot \gamma_e = 170 \text{ МПа};$$

в III районе

$$\sigma_y = N_{y(+)} \cdot \gamma_n / (A \cdot n_e) = 2578 \cdot 0,95 / (23,7 \cdot 1) = 103,3 \text{ МПа} < 170 \text{ МПа}.$$

По формуле (127) СНиП II-23-81* на срез в плоскости XOZ от силы

$$Q_z = N_{z,e} = 528 \text{ H};$$

$$\tau_{z,e} = Q_z \cdot \gamma_n / (A \cdot n_s) = 528 \cdot 0,95 / (23,7 \cdot 2) = 10,6 \text{ МПа} <$$

$$< R_{cs} \cdot \gamma_e = 150 \cdot 0,8 = 120 \text{ МПа}.$$

По формуле (5) СНиП II-23-81* на смятие кронштейна под шурупами:

$$\sigma_y = N_{z,e} \cdot \gamma_n / (d \cdot \delta \cdot n_e) = 528 \cdot 0,95 / (5,5 \cdot 1,5 \cdot 2) = 30,4 \text{ МПа} <$$

$$< R_{fp} \cdot \gamma_c = 175 \cdot 1 = 175 \text{ МПа}.$$

Прочность распорных шурупов на растяжение и срез и кронштейна на смятие под шурупами обеспечивается.

Расчетные усилия вырыва верхнего шурупа из стены, составляющие для I и III районов соответственно 1724 и 2578 H , должны обеспечиваться прочностью анкеровки в стене с учетом материала и состояния стены и результатов испытаний на вырыв шурупа из аналогичного по материалу образца или фрагмента стены, с коэффициентом запаса по [11].

II.9. Выводы и рекомендации

На основании расчетов, проведенных для зданий высотой до 75 м, при ветровых нагрузках I и III районов, шагах по вертикали опор (кронштейнов) и горизонтальных направляющих (ГНП) – 1500 мм в средних частях и 800 мм в угловых зонах фасада, и шагах кронштейнов по горизонтали 800 мм установлено и рекомендуется:

1. Прочность и жесткость облицовочных панелей "Полиалпан" толщиной 25 мм, шириной 0,5 м и длиной (высотой) 12 м обеспечиваются.
2. Прочность и жесткость горизонтальных направляющих профилей (ГНП), изготовленных из стальных гнутых уголковых профилей П-2 сечением 40x40x1,2 мм, обеспечиваются.
3. Прочность несущих кронштейнов, изготовленных из стальных гнутых профилей П-1 сечением в виде швеллера 50x40x1,5мм или в виде равнобокого уголка профиль П-2 сечением 40x40x1,5мм обеспечиваются.
4. Допускается использование кронштейнов другой модификации при условии выдерживания приведенных в расчете нагрузок и усилий.
5. Допускается применение в качестве крепления вместо стальных заклепок оцинкованных саморезов с прессшайбой $\varnothing 4,2$ мм.

Примечания к п. II.8.

1. При 2-м варианте конструкции несущего кронштейна в виде равнобокого уголка 40x40x1,5 мм согласно аналогичным с 1-м вариантом расчетам прочность кронштейна также обеспечивается для I и III районов. Конструкция креплений аналогична 1-му варианту, поэтому их прочность также обеспечивается.
2. Допускается применения других типов конструкций и размеров несущих кронштейнов при условии обеспечения их прочностных показателей в соответствии с приведенной выше методикой расчета.

Основные буквенные обозначения

| Обозначение | Термин | Обозначение единицы величины |
|--------------------------|---|------------------------------------|
| | <u>Геометрические характеристики</u> | |
| δ | толщина стенок профилей и панелей | $м; мм$ |
| b | ширина панелей и стенок профилей | $м; мм$ |
| l_x | шаги и пролеты в направлении оси « X » | $м; мм$ |
| l_z | шаги и пролеты в направлении оси « Z » | $м; мм$ |
| d | диаметры наружные болтов, заклепок, шурупов | $м; мм$ |
| d_o | диаметры внутренние | $м; мм$ |
| A | площади поперечных сечений элементов (брутто) | $м^2; мм^2$ |
| A_n | площади поперечных сечений элементов (нетто) | $м^2; мм^2$ |
| A_o | площади поперечных сечений болтов и шурупов по внутреннему диаметру | $м^2; мм^2$ |
| J_i, W_i, S_i | моменты инерции, моменты сопротивления и статические моменты поперечных сечений элементов (брутто), относительно i -й оси | |
| J_{in}, W_{in}, S_{in} | то же (нетто) | |
| t_i | ширина сечений элементов при расчете на сдвиг | $м; мм$ |
| Z | плечо внутренних сил в узле крепления | |
| e_i | эксцентриситет действия силы относительно оси « i » | |

| Обозначение | Термин | Обозначение единицы величины |
|-------------|--|------------------------------------|
| | <u>Расчетные сопротивления материалов</u> | |
| R_y | расчетное сопротивление стали на изгиб, растяжение, сжатие | <i>МПа</i> |
| R | то же алюминия | <i>МПа</i> |
| R_s | расчетное сопротивление стали или алюминия на сдвиг | <i>МПа</i> |
| R_{lp} | то же на смятие | <i>МПа</i> |
| E | модуль упругости стали или алюминия | <i>МПа</i> |
| γ_c | коэффициент условий работы материала | |
| R_{bt} | расчетное сопротивление болтов, саморезов и т.п. на растяжение | <i>МПа</i> |
| R_{bs} | то же на срез | <i>МПа</i> |
| R_{bp} | то же на смятие | <i>МПа</i> |
| γ_b | коэффициент условий работы болтов | |
| | | |
| | <u>Нагрузки</u> | |
| q_n | нормативная поверхностная нагрузка | <i>Па; кПа</i> |
| q | расчетная поверхностная нагрузка | <i>Па; кПа</i> |
| p_n | нормативная линейная (погонная) нагрузка | <i>Н / м; Н / мм</i> |
| p | расчетная линейная нагрузка | <i>Н / м; Н / мм</i> |

| Обозначение | Термин | Обозначение единицы величины |
|-------------|---|------------------------------------|
| | <u>Усилия</u> | |
| N_i | сила, действующая в направлении оси « i » | H ; κH |
| Q_i | поперечная сила | H ; κH |
| M_B^n | изгибающий момент от вертикальной нормативной нагрузки | Hm ; Hmm |
| M_B | то же от расчетной нагрузки | Hm ; Hmm |
| M_G^n | изгибающий момент от горизонтальной ветровой нормативной нагрузки | Hm ; Hmm |
| M_G | то же от расчетной нагрузки | Hm ; Hmm |
| | | |
| | <u>Напряжения</u> | |
| σ_i | нормальные напряжения в сечениях элементов | $MПа$ |
| τ_i | напряжения сдвига (среза) | $MПа$ |
| | | |
| | <u>Коэффициенты надежности</u> | |
| γ_f | коэффициенты надежности по нагрузке | |
| γ_n | коэффициенты надежности по ответственности при высоте здания $H \leq 75 м - \gamma_n = 0,95$; при $H > 75 м - \gamma_n > 1$ | |

Теплотехнические расчеты

1. Введение

В настоящем разделе содержатся принципы теплотехнического проектирования фасадных систем "Полиалпан" с вентилируемыми воздушными прослойками между панелями и слоем утеплителя, приводятся рекомендации по различным техническим параметрам.

Принципы теплотехнического проектирования включают методы теплотехнических расчетов, расчеты воздухообмена и влагообмена в воздушных прослойках.

Методика теплотехнических расчетов базируется на требованиях СНиП 23-02-2003 и МГСН 2.01-99¹ (для Москвы), ТСН 23-323-2001 (для Ханты-Мансийска).

2. Основные, используемые в тексте, понятия

Прослойка между стеной и экраном, вентилируемая наружным воздухом; швы, щели - воздухозаборные, воздуховыводящие. Пути прохождения наружного воздуха могут являться в основном (горизонтальные) воздухозаборные щели.

Условное сопротивление паропрооницанию - приведенное, учитывающее сопротивление паропрооницанию материалов панелей и щелей между облицовочными панелями.

3. Основные положения по проектированию систем наружных стен с вентилируемой воздушной прослойкой

При проектировании зданий с фасадной системой "Полиалпан" следует учитывать особенности экранируемых стен.

Минимальный размер воздухозаборной щели рекомендуется 25 мм (при размерах облицовочных панелей 9000х500 мм ÷ 12000х500 мм для Москвы и 35 мм для Ханты-Мансийска).

Общая толщина воздушной прослойки должна быть, как правило, 60-70 мм для Москвы и 100 мм для Ханты-Мансийска.

Сечение воздуховыводящей щели не должно быть менее сечения воздухозаборной щели.

4. Правила теплотехнического проектирования наружных ограждений с вентилируемым фасадом

Теплотехническое проектирование наружных стен с фасадной системой "Полиалпан" включает в себя два этапа. Причем второй этап применяется, если после первого этапа расчетов не выявится надежность рассматриваемой конструкции в теплотехническом отношении.

Первый этап

¹ В «Информационном бюллетене ГП ЦНС» Госстроя России №6, 2000 г. приведена информация о том, что МГСН 2.01-99 зарегистрирован Госстроем России 27.05.99 как ТСН 23-304-99.

Назначается конструктивное решение стены, в т.ч. параметры облицовочных панелей, воздухозаборных и воздуховыводящих щелей с учетом раздела 3.

Выполняется теплотехнический расчет наружной стены с облицовочной панелью, т.е. определяется необходимая толщина теплоизоляции, исходя из требований СНиП 23-02-2003 и с учетом требований МГСН 2.01-99 (для Москвы), ТСН 23-323-2001 (для Ханты-Мансийска).

Выполняется расчет влажностного режима стены по методике СНиП 23-02-2003 с учетом коэффициента паропроницаемости по глади облицовочной панели.

Проверяется расчетом упругость водяного пара на выходе из прослойки по формуле (18) с учетом параметров стены данных в разделе 7 при расходе воздуха равным нулю, если требования СНиП 23-02-2003 будут выполнены.

Если влажностной режим стены удовлетворяет требованиям, то на этом теплотехническое проектирование заканчивается.

Если влажностной режим экранированных стен не удовлетворяет требованиям СНиП 23-02-2003, то подбирается такой размер щелей и панелей, чтобы с ним конструкция стены удовлетворяла требованиям.

Если расчет влажностного режима наружного ограждения с вентилируемым фасадом показал невыполнение требований СНиП 23-02-2003, то переходят ко второму этапу теплотехнического проектирования.

Второй этап

1) Определяется условное сопротивление паропроницанию панели с учетом щелей по методике раздела 6.6.

2) С учетом этого показателя проводят расчет по методике СНиП 23-02-2003.

3) Определяется влажностный режим рассматриваемой конструкции в годовом цикле с учетом средних месячных температур.

4) С учетом результатов расчета по п.п. 2, 3 анализируются результаты, при необходимости корректируются материалы и их толщины в конструкции с целью исключения влагонакопления в годовом цикле. В основном, проведенных упомянутых расчетов для определения применимости конструкции бывает достаточно. В других случаях расчет может быть продолжен в такой последовательности.

5) С учетом этажности здания и района строительства определяется скорость движения воздуха в прослойке за панелью и расход воздуха.

Для выполнения п. 5 определяется термическое сопротивление воздушной прослойки по формуле (16).

6) Определяется температура воздуха на выходе из воздушной прослойки по формуле (15).

7) Определяется действительная упругость водяного пара на выходе из прослойки e_y по формуле (18). Определяется упругость водяного пара на выходе из прослойки и проверяется условие $e_y < E_{ext}$, где E_{ext} - максимальная упругость водяного пара на выходе из прослойки. Анализируются результаты расчетов и корректируется конструкция стены.

5. Краткая характеристика объекта и нормативные требования

Для расчета приняты однотипные многоэтажные жилые здания, расположенные в г. Москве и Ханты-Мансийске.

Наружные стены приняты в двух вариантах:

С внутренним слоем из монолитного железобетона: плотностью $\rho_o = 2500 \text{ кг/м}^3$, толщиной $\delta = 0,18 \text{ м}$, коэффициентом теплопроводности $\lambda = 2,04 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$;

С внутренним слоем из кирпича: плотностью $\rho_o = 1600 \text{ кг/м}^3$, толщиной $\delta = 0,51 \text{ м}$, коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,7 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$.

Снаружи внутреннего слоя располагается утеплитель - базальтовая минераловатная плита, толщиной определяемой расчетом, с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,045 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$ по СП 101-2004, воздушная прослойка и облицовочная теплоизолирующая панель «Полиалпан», толщиной $\delta = 0,025 \text{ м}$. Высота панели принята 9 (12) м, ширина 0,5 м.

Система является многослойной конструкцией, состоящей из несущего каркаса, утепляющего слоя, облицовочных панелей «Полиалпан», ряда монтажных профилей для устройства оконных откосов, сливов, обрамления панелей, углов и т.п.

Основанием для системы являются несущие конструкции наружных стен зданий и сооружений из различных материалов: кирпича, монолитного и сборного бетона и др.

В системе слой наружной облицовки фасада установлен с воздушным зазором относительно расположенного за ним слоя плит утеплителя, закрепленного на основании.

Толщина воздушной прослойки $\delta_{a.l}$ может в расчете варьироваться. Назначаем ее первоначальную толщину равной 60мм в соответствии с МГСН 2.01-99 (для Москвы), ТСН 23-323-2001 (для Ханты-Мансийска).

Прослойка за панелью вентилируется. В нижней части конструкции воздухозаборная щель, а в верхней - воздуховыводящая. Причем в чистоте площадь щелей, которые считаются приточными, равна $0,025\text{м}^2$. Высота (ширина) горизонтальной приточной щели 25мм. Площадь воздуховыводящих щелей принимается равной не менее площади воздухозаборных.

Требования к теплотехническим характеристикам конструкций содержатся в СНиП 23-02-2003 и МГСН 2.01-99 (для Москвы), ТСН 23-323-2001 (для Ханты-Мансийска). На основе приведенных нормативных документов составлена таблица

П. 2.1, где представлены нормируемые значения сопротивления теплопередаче наружных стен жилых домов.

Таблица П. 2.1.

Значения нормативных требований к наружным ограждениям жилых зданий

| №№ п/п | Город | Градусосутки отопительного периода $D_d, ^\circ\text{C}\cdot\text{сут}$ | Нормируемые значения сопротивления теплопередаче наружных стен $R_{req}, \text{м}^2\cdot^\circ\text{C} / \text{Вт}$ | Названия нормативных документов |
|--------|--------|---|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. | Москва | 4943 | 3,13 | СНиП 23-02-2003, табл. 4; СНиП 23.01-99 |

| | | | | |
|----|----------------|------|------|--|
| 2. | Ханты-Мансийск | 7200 | 3,92 | |
|----|----------------|------|------|--|

6. Методика теплотехнического расчета наружных стен с вентилируемой воздушной прослойкой

6.1. Общие требования

Расчет наружных стен с панелью «Полиалпан» и вентилируемой воздушной прослойкой основан на расчете теплотехнических характеристик стен и расчета влажностного режима.

Теплотехнический расчет наружных стен с вентилируемой прослойкой в соответствии с настоящим разделом включает в себя:

- подбор толщины теплоизоляционного слоя;
- определение влажностного режима в соответствии с действующими теплотехническими нормами;
- определение параметров воздухообмена в прослойке;
- определение тепловлажностного режима прослойки;
- определение условного приведенного сопротивления паропроницанию панелей с учетом щелей между ними.

Таким образом, для стен с вентилируемой воздушной прослойкой производится несколько теплотехнических расчетов - расчет теплового режима стен и прослойки и влажностного режима стены и прослойки.

6.2. Определение толщины теплоизоляционного слоя

Методика теплотехнического расчета разработана в соответствии с рядом документов, подготовленных ЦНИИЭП жилища и НИИСФ как авторами СНиП 23-02-2003, и полностью удовлетворяет нормативным требованиям.

В основу конструктивных решений наружных стен при определении приведенных сопротивлений теплопередаче главных фрагментов принимаются толщины утеплителя δ_{ins} , м рассчитанные предварительно по формуле:

$$\delta_{ins} = \left(\frac{R_{req}}{r} - R_k - R_{a.l} - \frac{1}{\alpha_{int}} - \frac{1}{\alpha_{ext}} \right) \cdot \lambda_{ins}, \quad (1)$$

где R_{req} - нормируемое значение сопротивления теплопередаче стен, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$;

r - коэффициент теплотехнической однородности² по табл. П. 2.2; П.2.3;

R_k - термическое сопротивление ограждающей конструкции, с последовательно расположенными однородными слоями, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$;

$R_{a.l}$ - термическое сопротивление воздушной прослойки, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$;

α_{int} , α_{ext} - коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхности ограждающей конструкции, $Вт / (м^2 \cdot ^\circ C)$;

λ_{ins} - расчетный коэффициент теплопроводности утеплителя, $Вт / (м \cdot ^\circ C)$.

Таблица П. 2.2.

Значения r кирпичных утепленных снаружи стен

| Толщина стен, м | | Коэффициент теплотехнической однородности r при λ , $Вт / м \cdot ^\circ C$ | | |
|-----------------|------------|---|-------|-------|
| кирпича | утеплителя | 0,04 | 0,05 | 0,08 |
| | 0,38 | 0,1 | 0,705 | 0,726 |
| 0,38 | 0,15 | 0,693 | 0,713 | 0,73 |
| | 0,2 | 0,68 | 0,7 | 0,715 |
| | 0,51 | 0,1 | 0,694 | 0,714 |
| 0,51 | 0,15 | 0,682 | 0,702 | 0,72 |
| | 0,2 | 0,667 | 0,687 | 0,702 |
| | 0,64 | 0,1 | 0,685 | 0,7 |
| 0,64 | 0,15 | 0,675 | 0,69 | 0,705 |
| | 0,2 | 0,665 | 0,68 | 0,695 |

²⁾ - в таблице даны r для худшего в теплотехническом отношении участка (с оконным проемом);

- для получения с учетом глухих участков приведенные в таблице значения r умножаются на 1,05.

Таблица П. 2.3.

Значения r бетонных утепленных снаружи стен

| Толщина стен, m | | Коэффициент теплотехнической однородности r при λ , $Bm / m^{\circ}C$ | | |
|-------------------|------------|---|-------|-------|
| бетона | утеплителя | 0,04 | 0,05 | 0,08 |
| | 0,05 | 0,9 | 0,92 | 0,95 |
| 0,3 | 0,1 | 0,84 | 0,87 | 0,88 |
| | 0,15 | 0,81 | 0,84 | 0,85 |
| | 0,05 | 0,87 | 0,9 | 0,93 |
| 0,35 | 0,1 | 0,8 | 0,83 | 0,86 |
| | 0,15 | 0,78 | 0,81 | 0,83 |
| | 0,05 | 0,82 | 0,87 | 0,9 |
| 0,4 | 0,1 | 0,77 | 0,8 | 0,83 |
| | 0,15 | 0,75 | 0,78 | 0,8 |
| | 0,2 | 0,74 | 0,765 | 0,785 |
| | 0,05 | 0,82 | 0,87 | 0,9 |

Для проверки правильности принятых толщин утепляющих слоев определяются приведенные сопротивления теплопередаче наружных стен для основных "фрагментов". Каждый рассчитываемый фрагмент делится на отдельные участки, характеризующиеся одним или несколькими видами теплопроводных включений.

Средневзвешенное значение приведенного сопротивления теплопередаче

R_o^r , $m^2 \cdot ^{\circ}C / Bm$ слоистых наружных стен определяется (на секцию) по формуле:

$$R_o^r = A / \left(\sum_{i=1}^m A_i / R_{o,i}^r \right), \quad (2)$$

где A – сумма площадей фрагментов наружных стен, m^2 ;

m – количество фрагментов стен;

A_i , $R_{o,i}^r$ – соответственно площадь и приведенное сопротивление теплопередаче i -го фрагмента стен, m^2 и $m^2 \cdot ^{\circ}C / Bm$;

Если $R_o^r \geq R_{req}$, конструкция стены удовлетворяет требованиям теплотехнических норм (СНиП 23-02-2003, табл. 4). Если $R_o^r < R_{req}$, то следует либо увеличить толщину утепляющего слоя, либо рассмотреть возможность включения в проект энергосберегающих мероприятий (утепление узлов и т.п.).

Для практических расчетов допускается при определении R_o^r и его коэффициента теплотехнической однородности наружных стен с вентилируемой прослойкой применять табл. П. 2.2; П.2.3.

Для расчета средневзвешенного значения приведенного сопротивления теплопередаче $R_{o,av}^r$, $m^2 \cdot ^{\circ}C / Bm$ многослойных наружных стен при наличии в стенах глухих (без проемов) участков может быть также использована формула:

$$R_{o,av}^r = R_o^r \cdot n \quad (3)$$

где $n = 1,05$ - коэффициент, учитывающий наличие глухих участков в наружных стенах.

6.3. Определение влажностного режима наружных стен

Влажностный режим наружных стен может определяться двумя методами. По СНиП 23-02-2003 и исходя из баланса влаги в годовом цикле.

Определение влажностного режима наружных стен в годовом цикле производится в нижеприведенной последовательности:

1. Определяются исходные данные для расчета;
2. Определяются сопротивления паропрооницанию слоев конструкции наружной стены, параметры внутреннего и наружного воздуха;
3. Определяется приток ΔP_p^{inp} и отток ΔP_p^{out} , $мг/м^2 \cdot ч$ влаги (пара) к рассматриваемому сечению по формулам:

$$\Delta P_p^{inp} = \frac{e_{int} - e_i}{\Sigma R} \quad \text{и} \quad \Delta P_p^{out} = \frac{e_i - e_{ext}}{R_{vp} - \Sigma R_i}, \quad (4)$$

где e_{int} , e_{ext} - упругость водяного пара внутреннего и наружного воздуха, Па;

e_i - то же, в рассматриваемом сечении, и определяется по формуле, Па:

$$e_i = e_{int} - (e_{int} - e_{ext}) \cdot \Sigma R / R_{vp}, \quad (5)$$

ΣR_i - сопротивление паропрооницанию от внутренней поверхности до границы зоны возможной конденсации (с учетом пограничного слоя), $м^2 \cdot ч \cdot Па/мг$;

ΣR - сумма сопротивлений паропрооницанию слоев до рассматриваемого сечения, $м^2 \cdot ч \cdot Па/мг$.

R_{vp} - сопротивления паропрооницанию всей стены, $м^2 \cdot ч \cdot Па/мг$.

По указанным формулам определяется упругость водяного пара e_i в характерных сечениях конструкции в годовом цикле.

Если e_i окажется больше максимальной упругости водяного пара E , то в данном сечении может образовываться конденсат.

6.4. Определение параметров воздухообмена в прослойке

Движение воздуха в воздушной прослойке осуществляется за счет гравитационного (теплого) и ветрового напора. В случае расположения приточных и вытяжных отверстий на разных стенах скорость движения воздуха в прослойках

$V_{a,l}$, м/с может определяться по следующим формулам:

$$V_{a.l} = \sqrt{\frac{k(c_{b_1} - c_{b_2}) \cdot V_{ext}^2 + 0,08 \cdot H \cdot (t_{av} - t_{ext})}{\sum \xi}}, \quad (6)$$

где k - коэффициент учета изменения скорости потока по высоте (СНиП 2.01.07-85);

c_{b_1} , c_{b_2} - аэродинамические коэффициенты на разных стенах здания по
СНиП 2.01.07-85;

V_{ext} - скорость движения наружного воздуха, $м/с$;

H - разности высот от входа воздуха в прослойку до ее выхода из нее, $м$;

$\sum \xi$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений.

Другим вариантом определения $V_{a.l}$, $м/с$ служит формула:

$$V_{a.l} = \sqrt{\frac{\gamma_{ext} \cdot V_{ext}^2 \cdot (c_{b_1} - c_{b_2}) + 2g \cdot H \cdot (\gamma_{ext} - \gamma_{a.l})}{\gamma_{a.l} \cdot \sum \xi}}, \quad (7)$$

γ_{ext} , $\gamma_{a.l}$ - плотности наружного воздуха и воздуха в прослойке, $кг/м^3$, ($H/м^3$).

Другой вариант определения $V_{a.l}$, $м/с$ по разности давлений воздуха на входе и выходе:

$$V_{a.l} = \sqrt{\frac{\Delta P_{\Delta} \cdot 2g}{\gamma_{a.l} \cdot \sum \xi}}, \quad (9)$$

где $\Delta P_{\Delta} = \Delta P_{inp} - \Delta P_{out}$, $Па$ ($мм.вод.ст.$);

ΔP_{inp} , ΔP_{out} - разности давлений воздуха на входе и выходе, $Па$, ($мм.вод.ст.$).

$$\Delta P_{inp} \text{ и } \Delta P_{out} = H \cdot (\gamma_{ext} - \gamma_{a.l}) + 0,5 \cdot \gamma_{ext} \cdot V_{ext}^2 \cdot (c_{b_1} - c_{b_2}) \cdot k. \quad (8)$$

При расположении воздушной прослойки на одной стороне здания, можно принять $c_{b_1} = c_{b_2}$. В этом случае, если пренебречь изменением скорости ветра по высоте формула (6) примет вид:

$$V_{a.l} = \sqrt{\frac{0,08 \cdot H \cdot (t_{av} - t_{ext})}{\sum \xi}}, \quad м/с \quad (10)$$

Формула (7) примет вид:

$$V_{a.l} = \sqrt{\frac{2g \cdot H \cdot (\gamma_{ext} - \gamma_{a.l})}{\gamma_{a.l} \cdot \sum \xi}}, \quad м/с \quad (11)$$

Указанные формулы применены в технической системе. При этом γ имеет размерность $\text{кг}/\text{м}^3$. В системе СИ в числителе "g" будет отсутствовать, а " γ " имеет размерность $\text{Н}/\text{м}^3$.

Из полученных по указанным формулам скорость движения воздуха корректируется с учетом потерь давления на трение по известным методам из курса "Вентиляция".

Расход воздуха W , $\text{кг}/\text{м}\cdot\text{ч}$ в прослойке определяется по формуле:

$$W = V_{a.l} \cdot 3600 \cdot \delta_{a.l} \cdot \gamma_{a.l}, \quad (12)$$

где $\delta_{a.l}$ – толщина воздушной прослойки шириной 1 м, м.

6.5. Определение параметров тепловлажностного режима прослойки

Температура входящего в прослойку воздуха τ_o , °C определяется по формуле:

$$\tau_o = t_{ext} = \frac{t_{int} - t_{ext}}{m \cdot \alpha_{int} \cdot \left(\sqrt{B_w + 23 \cdot B_o} \right)}, \quad (13)$$

где t_{int} , t_{ext} – расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха, °C;
 m – коэффициент, равный 0,26 в системе СИ, в технической системе – 0,3;
 B_w – безразмерный критерий, характеризующий изменение теплозащитных качеств стыка при фильтрации воздуха и равный $(n \cdot c_w \cdot R_{jn}^r) / l_n$;

n – коэффициент, равный 0,28 в системе СИ, в технической системе – 1;

B_o – критерий, характеризующий теплозащитные качества части стыка от внутренней термической границы конструкции до искомой точки и равной

$$\left(h \cdot R_{jn}^{si} \right) / l_m;$$

l_n – расстояние от входа в воздухозаборную щель до искомой точки, м;

h – приведенная высота воздухозаборной щели, м;

R_{jn}^r – приведенное сопротивление теплопередаче конструкции в сечении по воздухозаборной щели, $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$;

R_{jn}^{si} – то же, считая от искомой точки до внутренней термической границы конструкции,

$m^2 \cdot ^\circ C / Bm$.

Допускается определять температуру воздуха, входящего в воздушную прослойку τ_o , °C по формуле:

$$\tau_o = n \cdot t_{ext}, \quad (14)$$

где $n = 0,95$.

Температура воздуха по длине прослойки τ_y , °C определяется по формуле:

$$\tau_y = \frac{(k_{int} \cdot t_{int} + k_{ext} \cdot t_{ext}) + [\tau_o \cdot (k_{int} + k_{ext}) - (k_{int} \cdot t_{int} + k_{ext} \cdot t_{ext})] \cdot e^{-\frac{c_e \cdot (k_{int} + k_{ext}) \cdot h_y}{W \cdot c}}}{k_{int} + k_{ext}}, \quad (15)$$

где k_{int} , k_{ext} – коэффициенты теплопередачи внутреннего и наружного частей стены до середины прослойки, $Bm / m^2 \cdot ^\circ C$, ($ккал / m^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$);

h_y – расстояние между щелями, служащими для поступления (или вытяжки) воздуха, м.

W – расход воздуха в прослойке, $кг / м \cdot ч$;

c_e – переводной коэффициент равен: в технической системе – 1, в СИ – 3,6;

c – удельная теплоемкость воздуха.

При определении термического сопротивления прослойки $R_{a.l}$, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$, ($м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C / ккал$) следует пользоваться формулами:

$$R_{a.l} = \frac{1}{\alpha_{a.l}}, \quad (16)$$

где $\alpha_{a.l} = 5,5 + 5,7 \cdot V_{a.l} + \alpha_{rad}$, $Вт / м^2 \cdot ^\circ C$, ($ккал / м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$); (17)

α_{rad} – коэффициент лучистого теплообмена, $Вт / м^2 \cdot ^\circ C$, ($ккал / м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$).

Действительная упругость водяного пара e_{des} , $Па$, ($мм.рт.ст.$) на выходе из прослойки определяется по формуле:

$$e_{des} = \frac{(M_{int} \cdot e_{int} + M_{ext} \cdot e_{ext}) + [e_o (M_{int} + M_{ext}) - (M_{int} \cdot e_{int} + M_{ext} \cdot e_{ext})] \cdot e^{\frac{n \cdot (M_{int} + M_{ext}) \cdot h_y}{W \cdot B}}}{M_{int} + M_{ext}}, \quad (18)$$

Полученная по данной формуле величина упругости водяного пара на выходе из прослойки e_y должна быть меньше максимальной упругости водяного пара E_y .

В формуле (18) M_{int} и M_{ext} , $мг / м^2 \cdot ч \cdot Па$ равны соответственно:

$$M_{int} = \frac{1}{\sum R_{vp}^{si}}; \quad M_{ext} = \frac{1}{\sum R_{vp}^e}, \quad (19)$$

где R_{vp}^{si} , R_{vp}^e - сопротивления паропроницанию от внутренней поверхности до воздушной прослойки и от воздушной прослойки до наружной поверхности, $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$;

e_{int} , e_{ext} - действительная упругость водяного пара с внутренней стороны стены и снаружи, $Па$, ($мм.рт.ст.$);

e_o - упругость водяного пара, входящего в прослойку воздуха, $Па$, ($мм.рт.ст.$).

$$B = 1,058 / (1 + \tau_y / 273), \quad (20)$$

6.6. Методика определения условного приведенного сопротивления паропроницанию с учетом вертикальных щелей между облицовочными панелями

Для расчета используются либо коэффициенты паропроницаемости материалов панели по СП 23-101-2004, либо полученные экспериментально.

Расчет приведенного сопротивления паропроницаемости панелей с учетом щелей производится в такой последовательности:

1) Определяется условное сопротивление паропрооницанию R_{vp}^{jn} , $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$,
 ($м^2 \cdot ч \cdot мм.рт.ст / г$) в стыковых щелях по формуле:

$$R_{vp}^{jn} = \frac{\delta_{scr}}{B_{jn} \cdot \eta_{jn} / \sum \xi_{jn}}, \quad (21)$$

где B_{jn} – коэффициент перевода из системы СИ в техническую, равен 7,5; в технической $B_{jn} = 1$;
 $\eta_{jn} = 6,5 [мг / м^2 \cdot ч \cdot Па, (г / м^2 \cdot ч \cdot мм.рт.ст)]$;
 $\sum \xi_{jn}$ – местные сопротивления проходу воздуха (по таблицам курса "Вентиляция");
 δ_{scr} – толщина экрана, $м$.

2) Определяется сопротивление паропрооницанию R_{vp}^{scr} , $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ панелей-экранов по глади по формуле:

$$R_{vp}^{scr} = \frac{\delta_{scr}}{\mu_{scr}}, \quad (22)$$

где μ_{scr} – коэффициент паропрооницаемости панели, $мг / м \cdot ч \cdot Па$.

3) Определяется приведенное условное сопротивление паропрооницанию панелей с учетом щелей $R_{vp,scr}^{con}$, $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ по формуле:

$$R_{vp,scr}^{con} = \frac{\sum A}{\frac{A_{scr}}{R_{vp}^{scr}} + \frac{A_{jn}}{R_{vp}^{jn}}}, \quad (23)$$

где $\sum A$ – суммарная расчетная площадь панели, $м^2$;

A_{scr} – площадь панели без щелей, $м^2$;

A_{jn} – площадь щелей, через которые поступает воздух, $м^2$ (как правило, площадь выходных щелей в верхней части панели не учитывается);

R_{vp}^{scr} и R_{vp}^{jn} – см. выше.

7. Теплотехнический расчет фасадной системы "Полиалпан"

Расчет производится сначала для г. Москвы, а затем для г. Ханты-Мансийска.

7.1. Расчет толщины теплоизоляции

Толщина теплоизоляции δ_{ins} , м из минваты типа «Венти-Баттс» для кирпичной стены для г. Москвы по формуле (1) равна:

$$\delta_{ins} = \left(\frac{3,13}{0,74} - \frac{0,02^{*)}}{0,93} - \frac{0,51^{*)}}{0,64} - \frac{0,02445^{*)}}{0,033} - 0,1 - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{23} \right) \cdot 0,045 = 0,11 \text{ м}$$

где 3,13 – требуемое сопротивление теплопередаче стен для Москвы;
0,74 – коэффициент теплотехнической однородности, см. табл. п. 2.2;
0,1 – термическое сопротивление вентилируемой воздушной прослойки.

В действительности термическое сопротивление прослойки будет несколько выше - $R_{a,l} = 0,11 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ за счет меньшего коэффициента излучения покрытия с внутренней стороны панели «Полиалпан», что идет в запас теплозащиты:

$$R_{a,l} = \frac{1}{\alpha_{a,l}} = \frac{1}{7,9} = 0,13 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{ккал} \text{ (} 0,11 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт} \text{),}$$

где $\alpha_{a,l}$ – коэффициент теплообмена по формуле (17);

$$\alpha_{a,l} = 5,5 + 5,7 \cdot V_{a,l} + \alpha_{rad} = 5,5 + 5,7 \cdot 0,4 + 0,13 = 7,9 \text{ ккал} / \text{м}^2 \cdot \text{°C} \text{ (} 9,17 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°C} \text{);}$$

$$\alpha_{rad} = \frac{1}{\frac{1}{4,25} + \frac{1}{0,22} + \frac{1}{4,9}} \cdot 0,61 = 0,13 \text{ ккал} / \text{м}^2 \cdot \text{°C};$$

где 0,22 - коэффициент излучения теплоотражающего покрытия, $\text{ккал} / \text{м}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{K}^4$;
0,61 - температурный коэффициент;
0,045 и 0,033 - коэффициенты теплопроводности минваты «Венти-Баттс» и панели «Полиалпан» в соответствии с сертификатами [15].

Сопротивление (условное) теплопередаче по глади кирпичной наружной стены при толщине утеплителя из минваты типа "Венти-Баттс":

$$R_o^{con} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,51}{0,58} + \frac{0,11}{0,045} + \frac{0,02445}{0,033} + 0,1 + \frac{1}{23} = 4,34 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче кирпичной наружной стены:

$$R_o^r = 4,34 \cdot 0,74 = 3,21 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Эта величина больше требуемого сопротивления теплопередаче для г. Москвы.

³⁾ Над чертой – толщины слоев, под чертой – коэффициенты теплопроводности слоев.

Толщина теплоизоляции из базальтовой минваты для бетонной стены для г.Москвы:

$$\delta_{ins} = \left(\frac{3,13}{0,83} - \frac{0,18}{2,04} - \frac{0,02445}{0,033} - 0,1 - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{23} \right) \cdot 0,045 = 0,125 \text{ м},$$

где $r = 0,83$ в соответствии с табл. п. 2.3.

Сопротивление теплопередаче по глади наружной бетонной стены (условное):

$$R_o^{con} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,18}{2,04} + \frac{0,125}{0,045} + \frac{0,02445}{0,033} + 0,1 + \frac{1}{23} = 3,86 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче бетонной стены:

$$R_o^r = 3,86 \cdot 0,83 = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Эта величина больше требуемого сопротивления теплопередаче для г. Москвы.

Толщина теплоизоляции для г. Ханты-Мансийска для кирпичной стены:

$$\delta_{ins} = \left(\frac{3,92}{0,73} - \frac{0,51}{0,58} - \frac{0,02445}{0,033} - 0,1 - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{23} \right) \cdot 0,045 = 0,16 \text{ м};$$

где $r = 0,73$ в соответствии с табл. п. 2.2;

3,92 - требуемое сопротивление теплопередачи стены для Ханты- Мансийска.

Условное сопротивление теплопередаче по глади наружной кирпичной стены:

$$R_o^{con} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,51}{0,58} + \frac{0,16}{0,045} + 0,1 + \frac{0,02445}{0,033} + \frac{1}{23} = 5,49 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче кирпичной стены:

$$R_o^r = 5,49 \cdot 0,73 = 3,976 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Эта величина больше требуемого сопротивления теплопередаче.

Толщина теплоизоляции для бетонной стены:

$$\delta_{ins} = \left(\frac{3,92}{0,83} - \frac{0,18}{2,04} - \frac{0,02445}{0,033} - 0,1 - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{23} \right) \cdot 0,045 = 0,17 \text{ м}.$$

Условное сопротивление теплопередаче для бетонной стены:

$$R_o^{con} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,18}{2,04} + \frac{0,17}{0,04} + 0,1 + \frac{0,02445}{0,033} + \frac{1}{23} = 4,86 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт} .$$

Приведенное сопротивление теплопередаче кирпичной стены:

$$R_o^r = 4,86 \cdot 0,83 = 4,034 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт} .$$

Эта величина больше требуемого сопротивления теплопередаче.

Полученные толщины утеплителя обеспечивают требуемые теплозащитные качества стен для Москвы и Ханты-Мансийска.

Толщина утеплителя может быть скорректирована в соответствии с номенклатурой выпускаемых изделий, что не повлияет на правомочность полученных расчетов и выводов.

7.2. Расчет влажностного режима бетонных стен

Выполняется расчет влажностного режима бетонных наружных стен с облицовочными панелями «Полиалпан» по СНиП 23-02-2003 по глухой части сначала без учета щелей для г. Москвы, а затем с учетом щелей.

Влажностный режим наружных стен характеризуется процессами влагонакопления, зависящими от ряда внешних факторов и физических характеристик, от сопротивления паропрооницанию конструкции.

Сопротивление паропрооницанию R_{vp} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) должно быть не менее большего из требуемых сопротивлений паропрооницанию:

- из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации, R_{vp1}^{req} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$;

- из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами, R_{vp2}^{req} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$.

Расчет ведется с учетом того, что зона возможной конденсации располагается на внешней границе утеплителя и наружного слоя.

В период эксплуатации в зимних условиях температура внутреннего воздуха $t_{int} = 20 \text{ °C}$, а относительная влажность $\varphi = 55 \%$.

Расчетное сопротивление паропрооницанию наружной стены до зоны возможной конденсации R_{vp} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$:

$$R_{vp} = \frac{0,18}{0,03} + \frac{0,125}{0,3} = 6,42 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} .$$

(В технической системе $R_{vp} = 48,25 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм.рт.ст} / \text{г}$)

Расчетное сопротивление паропроницанию части ограждающей конструкции R_{vp}^e , $m^2 \cdot ч \cdot Па / мг$, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации равно:

$$R_{vp}^e = 0,08 / 0 = \infty \text{ } m^2 \cdot ч \cdot Па / мг .$$

На экране с внутренней стороны конструкции стены по глухой части панели будет образовываться конденсат (рис. П.2.1). Количественно это можно проиллюстрировать табл. П.2.4, где показано влагонакопление стены с панелью, имеющей коэффициент паропроницаемости по глади $\mu_{scr} = 0,008 мг / м \cdot ч \cdot Па$.

Как видно из табл. п. 2.4 при маловлагопроницаемой облицовочной панелью в годовом цикле во всех месяцах упругость водяного пара e больше максимальной упругости водяного пара E . Следовательно, происходит влагонакопление в прослойке у панели, в отдалении от горизонтальных швов и нет движения воздуха в прослойке. Поскольку в районе горизонтальных швов распределение влаги иное, как и при движении воздуха, далее в расчетах учитываются эти обстоятельства.

Следующим этапом расчета является учет щелей в соответствии со специально разработанной методикой влажностного расчета для вентилируемых фасадов [13].

Условное сопротивление паропроницанию щелей в соединениях панелей по формуле (21):

$$R_{vp}^{jn} = \frac{0,025}{6,5/3,1} = 0,012 \text{ } m^2 \cdot ч \cdot мм.рт.ст / г , (0,0016 \text{ } m^2 \cdot ч \cdot Па / мг);$$

где 0,025 - толщина панели, m ;

$\xi = 3,1$ - сопротивление прохождению воздуха только через одну горизонтальную щель⁴.

Сопротивление паропроницанию по глади считается бесконечно большой величиной, тогда формула (23) примет вид:

$$R_{vp}^{scr} = \frac{1}{0,0027/0,012} = 4,44 \text{ } m^2 \cdot ч \cdot мм.рт.ст / г , (0,0016 \text{ } m^2 \cdot ч \cdot Па / мг);$$

где 0,0027 - площадь щелей на $1 m^2$ панели, m^2 , принимая высоту щели 25 мм, высоту панели $h_{scr} = 9000 мм$.

⁴) В расчете принимается, что влага из конструкции выходит только с попутным движением воздуха.

Расчетное сопротивление паропрооницанию части ограждающей конструкции R_{vp}^{scr} , $m^2 \cdot ч \cdot Па / мг$, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации: $R_{vp}^{scr} = R_{vp}^e = 0,592 m^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ ($4,44 m^2 \cdot ч \cdot мм.пт.см / г$).

Требуемое сопротивление паропрооницанию R_{vp1}^{req} , $m^2 \cdot ч \cdot Па / мг$, из условия недопустимости накопления влаги за годовой период эксплуатации по формуле (16) СНиП 23-02-2003:

$$R_{vp1}^{req} = \frac{(e_{int} - E) \cdot R_{vp}^e}{E - e_{ext}} = \frac{(1283 - 1182) \cdot 0,592}{1182 - 761} = 0,14 m^2 \cdot ч \cdot Па / мг .$$

Требуемое сопротивление паропрооницанию из условия ограничения влаги в наружной стене за период отрицательными температурами наружного воздуха R_{vp2}^{req} , $m^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ по формуле (17) СНиП 23-02-2003:

$$R_{vp2}^{req} = \frac{0,0024 \cdot z_o \cdot (e_{int} - E_o)}{\rho_w \cdot \delta_w \cdot \Delta w_{av} + \eta} = \frac{0,0024 \cdot 151 \cdot (1283 - 590)}{80 \cdot 0,13 \cdot 3 + 146} = 1,42 m^2 \cdot ч \cdot Па / мг ,$$

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (E_o - e_o^{ext}) \cdot z_o}{R_{vp}^e} = \frac{0,0024 \cdot (590 - 350) \cdot 151}{0,592} = 146 m^2 \cdot ч \cdot Па / мг .$$

Поскольку R_{vp1}^{req} и $R_{vp2}^{req} < R_{vp} = 6,43 m^2 \cdot ч \cdot Па / мг$, можно сделать вывод о том, что влажностный режим системы «Полиалпан» для г. Москвы удовлетворяет требованиям норм строительной теплотехники при расчете по СНиП 23-02-2003 для бетонной стены при высоте горизонтальных щелей 25 мм.

При расстоянии между горизонтальными щелями 12 м $R_{vp1} = 0,18$ и $R_{vp2} = 1,73 m^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ при площади щелей на 1 м² панели 0,0021 м², что указывает на то, что при длине панели-экранов 12 м влажностный режим системы «Полиалпан» также удовлетворяет требованиям норм при указанных параметрах горизонтальных щелей.

При учете вертикальных щелей при длине (высоте) панелей $h_{scr} = 9000 мм$ приведенное сопротивление паропрооницанию равно $R_{vp}^{scr} = R_{vp}^e = 3,4 m^2 \cdot ч \cdot мм.пт.см / г$, ($0,45 m^2 \cdot ч \cdot Па / мг$), а требуемое сопротивление паропрооницанию $R_{vp2}^{req} = 1,12 m^2 \cdot ч \cdot Па / мг$; при $h_{scr} = 12000 мм$ $R_{vp}^{scr} = R_{vp}^e = 4,88 m^2 \cdot ч \cdot мм.пт.см / г$ ($0,65 m^2 \cdot ч \cdot Па / мг$).

При учете вертикальных щелей при $h_{scr} = 9000 мм$ суммарная площадь щелей составит $A_{jn} = 0,0032 m^2$ на 1 м² панели, при $h_{scr} = 12000 мм$ $A_{jn} = 0,0026 m^2$ на 1 м² панели.

Из анализа вышеприведенных данных следует, что при учете вертикальных щелей требуемое сопротивление паропрооницанию R_{vp2}^{req} меньше, чем при учете только горизонтальных на 20%, что идет в запас надежности работы фасадной системы «Полиалпан».

7.3. Определение скорости движения воздуха и упругости водяного пара на выходе из прослойки

Определяется скорость движения воздуха в прослойке $V_{a.l}$, м/с при температуре наружного воздуха $t_{ext} = -28$ °C. Расчет делается по формулам (10÷11).

Температура входящего в прослойку воздуха⁵ по формуле (14):

$$\tau_o = -28 \cdot 0,95 = -26,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Определяем скорость движения воздуха в прослойке по формуле (10):

$$V_{a.l} = \sqrt{\frac{0,08 \cdot (-26,6 + 28) \cdot 9}{6,2}} = 0,4 \text{ м/с};$$

с учетом трения: $V_{a.l} = 0,4 - 0,4 \cdot 0,07 = 0,37 \text{ м/с}.$

где 0,07 - коэффициент, учитывающий трение;

$\xi = 6,2$ - суммарное сопротивление через две горизонтальные щели (вход и выход воздуха).

Определяем расход воздуха в прослойке при ее толщине 0,06 м в соответствии с МГНС 2.01-99 по формуле (12): $W = 0,37 \cdot 3600 \cdot 1,403 \cdot 0,06 = 112,3 \text{ кг/м} \cdot \text{ч}.$

Упругость водяного пара на выходе из прослойки e_y при начальной упругости $e_o = 0,34 \text{ мм.рт.ст.}$ (в технической системе) по формуле (18):

$$e_{des} = \frac{0,265 + (0,34 \cdot 0,246 - 0,265) \cdot e^{\frac{0,246 \cdot 9}{112 \cdot 1,17}}}{0,246} = 0,35 \text{ мм.рт.ст.},$$

что меньше максимальной упругости водяного пара $E = 0,39 \text{ мм.рт.ст.},$

где $M_{int} = 1/48 = 0,021$; $M_{ext} = 1/4,4 = 0,225$; $M_{int} + M_{ext} = 0,246$;

$$M_{int} \cdot e_{int} + M_{ext} \cdot e_{ext} = 0,021 \cdot 9,64 + 0,225 \cdot 0,29 = 0,265.$$

Упругость водяного пара на выходе из прослойки по глухой части экрана:

$$e_{des} = \frac{0,2 + (0,34 \cdot 0,021 - 0,2) \cdot e^{\frac{0,021 \cdot 9}{112 \cdot 1,17}}}{0,021} = 0,36 \text{ мм.рт.ст.},$$

⁵) В действительности средняя температура воздуха в прослойке будет выше, а скорость и расход воздуха больше, что идет в запас. Данная скорость и расход воздуха характерны вблизи щелей, если их рассматривать как приточные.

что меньше максимальной упругости водяного пара $E = 0,39 \text{ мм.рт.ст}$. Следовательно, принятые параметры конструкции удовлетворительные.

Далее выполнен расчет влажностного режима наружной кирпичной стены с панелью «Полиалпан», имеющей несколько худшие влажностные характеристики с точки зрения влагонакопления у панели за счет большей паропроницаемости, кирпичной стены по сравнению с бетонной.

Расчет влажностного режима кирпичной стены, утепленной снаружи минеральной ватой при учете горизонтальных щелей, показывает следующее.

Расчетное сопротивление паропроницанию стены до зоны возможной конденсации:

$$R_{vp} = \frac{0,02}{0,09} + \frac{0,51}{0,16} + \frac{0,11}{0,3} = 3,73 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}, (28 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм.рт.ст} / \text{г}).$$

Расчетное сопротивление паропроницанию части наружной стены, расположенной между наружной поверхностью ее и плоскостью возможной конденсации при учете горизонтальных щелей равно:

$$R_{vp}^{scr} = 0,592 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} \text{ (см. выше)}, (4,4 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм.рт.ст} / \text{г}).$$

Требуемое сопротивление паропроницанию R_{vp1}^{req} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ из условия недопустимости накопления влаги за годовой период эксплуатации:

$$R_{vp1}^{req} = \frac{(1283 - 1121) \cdot 0,592}{1121 - 761} = 0,26 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Требуемое сопротивление паропроницанию из условия ограничения влаги в наружной стене за период отрицательными температурами наружного воздуха R_{vp2}^{req} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$:

$$R_{vp2}^{req} = \frac{0,0024 \cdot 151 \cdot (1283 - 548)}{80 \cdot 0,11 \cdot 3 + 121} = 1,8 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг},$$

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (548 - 350) \cdot 151}{0,592} = 121 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Поскольку $R_{vp2}^{req} < R_{vp}$ влагонакопления в стене не будет. Влажностный режим стены удовлетворяет требованиям норм строительной теплотехники. При длине экрана 12 м $R_{vp2}^{req} = 2,2 < R_{vp}$, что соответствует также данному выводу.

Определяем упругость водяного пара на выходе из прослойки для кирпичной стены по формуле (18):

$$e_{des} = \frac{0,412 - (0,34 \cdot 0,261 - 0,412) \cdot e^{\frac{0,261 \cdot 9}{112 - 1,17}}}{0,261} = 0,36 \text{ мм.рт.ст.},$$

что меньше максимальной упругости водяного пара наружного воздуха.

где $M_{int} = 1/28 = 0,036$; $M_{ext} = 1/4,4 = 0,225$;

$$M_{int} \cdot e_{int} + M_{ext} \cdot e_{ext} = 0,036 \cdot 9,64 + 0,225 \cdot 0,29 = 0,412.$$

7.4. Расчет влажностного режима наружных стен для условий г. Ханты-Мансийска

Учитывая результаты расчета влажностного режима наружных стен с панелью "Полиалпан", можно сделать вывод о том, что кирпичные стены имеют менее благоприятный влажностный режим, чем бетонные, поэтому ниже выполняется расчет влажностного режима кирпичной стены по конструкции, аналогичной данной в расчете для г. Москвы, но с толщиной утеплителя 0,16 м.

Расчет проводится для панели «Полиалпан» при сопротивлении паропрооницанию его с учетом горизонтальных щелей панели высотой 0,025 м, поскольку, как следовало из расчета для г. Москвы, без учета щелей по глухой части панели может быть влагонакопление, превышающее допустимое, особенно в случае отсутствия или малого расхода воздуха в прослойке (в подветренной части здания в верхних этажах).

Расчетное сопротивление паропрооницанию стены до зоны возможной конденсации R_{vp} , $m^2 \cdot ч \cdot Па / мг$:

$$R_{vp} = \frac{0,025}{0,09} + \frac{0,51}{0,16} + \frac{0,16}{0,3} = 3,93 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} ,$$

(В технической системе $R_{vp} = 28 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм.рт.ст} / \text{г}$).

Расчетное сопротивление паропрооницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации равно $R_{vp}^e = 0,592 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ (см. выше).

Требуемое сопротивление паропрооницанию R_{vp1}^{req} , $m^2 \cdot ч \cdot Па / мг$, из условия недопустимости накопления влаги за годовой период эксплуатации:

$$R_{vp1}^{req} = \frac{(1283 - 610) \cdot 0,592}{610 - 443} = 2,3 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} .$$

Требуемое сопротивление паропрооницанию из условия ограничения влаги в наружной стене за период отрицательными температурами наружного воздуха:

$$R_{vp2}^{req} = \frac{0,0024 \cdot 233 \cdot (1283 - 332)}{80 \cdot 0,16 \cdot 3 + 103} = 3,77 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} ,$$

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (332 - 223) \cdot 233}{0,592} = 103 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} .$$

Поскольку $R_{vp2}^{req} = 3,77 < R_{vp} = 3,93 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, требования СНиП 23-02-2003 соблюдены. Однако при меньшей плотности минваты $\rho_o \approx 60 \text{ кг} / \text{м}^3$ $R_{vp2}^{req} = 4,06 > R_{vp} = 3,93 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ при отсутствии движения воздуха в прослойке может образовываться конденсат. Расчет при учете движения воздуха, см. ниже.

При длине экрана 12 м $R_{vp2}^{req} = 2,2 < R_{vp} = 3,93 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, поэтому следует увеличить высоту горизонтальных щелей, что и будет сделано, см. ниже.

Приводим расчет теплового, воздушного и влажностного режима кирпичных стен с экраном «Полиалпан» для Ханты-Мансийска с учетом горизонтальных щелей и с учетом движения воздуха в прослойке.

Определяем температуру входящего в прослойку воздуха по формуле (14):

$$\tau_o = -41 \cdot 0,95 = -39 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Определяем скорость движения воздуха в прослойке по формуле (10):

$$V_{a.l} = \sqrt{\frac{0,08 \cdot 9 \cdot (-39 + 41)}{6,2}} = 0,48 \text{ м/с};$$

с учетом трения: $V_{a.l} = 0,48 - 0,07 \cdot 0,48 = 0,45 \text{ м/с}$.

где $0,07$ – см. выше.

Расход воздуха в прослойке при ее толщине $0,06 \text{ м}$:

$$W = 3600 \cdot 0,45 \cdot 0,06 \cdot 1,5 = 146 \text{ кг/м} \cdot \text{ч}.$$

Температура на выходе из прослойки по формуле (18), в системе СИ:

$$\tau_y = \frac{-44,86 + (-39 \cdot 1,417 + 44,86) \cdot e^{\frac{3,6 \cdot 1,417 \cdot 9}{146 \cdot 1}}}{1,417} = -25,3 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $A = 20 \cdot 0,217 - 41 \cdot 1,2 = -44,86$.

В расчетах принято коэффициенты теплопередачи внутреннего и наружного слоев k_{int} и k_{ext} , $\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$; $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$:

$$k_{int} = \frac{1}{0,115 + \frac{0,51}{0,58} + \frac{0,16}{0,045} + 0,05} = 0,217 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}, (0,25 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C});$$

$$k_{ext} = \frac{1}{0,05 + \frac{0,02445}{0,033} + 0,043} = 1,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}, (1,39 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C});$$

$$k_{int} + k_{ext} = 0,217 + 1,25 = 1,417 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

Делаем расчет изменения упругости водяного пара по высоте прослойки кирпичной стены с экраном «Полиалпан» для Ханты-Мансийска с учетом щелей по формуле (18) при упругости водяного пара, входящего в прослойку воздуха e_o , мм.рт.ст. ($e_o = 0,105 \cdot 0,82 = 0,086$ мм.рт.ст.);

$$M_{\text{int}} \cdot e_{\text{int}} + M_{\text{ext}} \cdot e_{\text{ext}} = 0,036 \cdot 9,64 + 0,225 \cdot 0,067 = 0,362;$$

$$M_{\text{int}} + M_{\text{ext}} = 0,036 + 0,225 = 0,261.$$

При толщине воздушной прослойки 0,06 м при расходе воздуха $W = 146$ кг/м·ч:

$$e_y = \frac{0,362 + (0,086 \cdot 0,261 - 0,362) \cdot e^{\frac{0,261 \cdot 9}{146 \cdot 1,195}}}{0,261} = 0,116 \text{ мм.рт.ст.},$$

что превышает максимальную упругость водяного пара наружного воздуха $E_{\text{ext}} = 0,082$, но меньше максимальной упругости водяного пара на выходе из прослойки $E = 0,45$ при $\tau_o = -25,3^\circ\text{C}$ (см. выше).

Поскольку $e_y > E_{\text{ext}}$ принимаем высоту горизонтальных щелей 0,035 м, а толщину прослойки 0,1 м.

При этом расход воздуха:

$$W = 3600 \cdot 0,45 \cdot 0,1 \cdot 1,5 = 243 \text{ кг/м·ч}.$$

Упругость водяного пара на выходе из прослойки:

$$e_y = \frac{0,362 + (0,086 \cdot 0,26 - 0,362) \cdot e^{\frac{0,26 \cdot 9}{243 \cdot 1,195}}}{0,26} = 0,096 \text{ мм.рт.ст.},$$

При учете вертикальных щелей:

$$e_y = \frac{0,366 + (0,086 \cdot 0,33 - 0,366) \cdot e^{\frac{0,33 \cdot 9}{263 \cdot 1,195}}}{0,33} = 0,094 \text{ мм.рт.ст.},$$

где $M_{\text{int}} \cdot e_{\text{int}} + M_{\text{ext}} \cdot e_{\text{ext}} = 0,036 \cdot 9,64 + 0,294 \cdot 0,067 = 0,366;$

$$M_{\text{int}} + M_{\text{ext}} = 0,036 + 0,294 = 0,333.$$

Учет вертикальных щелей уменьшает e_y на 2 %.

В обоих случаях e_y , мм.рт.ст. близка к упругости водяного пара на выходе из прослойки.

При высоте (длине) панели или воздушной прослойки 12 м и скорости воздуха $V_{a,l} = 0,52$ м/с расход составляет:

$$W = 3600 \cdot 0,52 \cdot 0,1 \cdot 1,5 = 280 \text{ кг/м·ч}.$$

При этом упругость водяного пара на выходе из прослойки:

$$e_y = \frac{0,362 + (0,086 \cdot 0,26 - 0,362) \cdot e^{-\frac{0,26 \cdot 12}{280 + 1,195}}}{0,26} = 0,099 \text{ мм.рт.ст.}$$

Полученная величина $e_y = 0,099$ мало отличается от $e_y = 0,096$ (при высоте прослойки 9 м).

Из анализа приведенных результатов оптимальным вариантом общей толщины прослойки является $0,1 \text{ м}$, а высота горизонтальных швов $0,035 \text{ м}$. При такой толщине прослойки возможность влагонакопления в прослойке у экрана минимальна.

Заключение

1. На основании теплотехнического расчета наружных стен фасадной системы «Полиалпан» можно сделать вывод, что толщина теплоизоляции δ_{ins} , м из минераловатных плит с $\lambda = 0,045 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ составит для Москвы $0,11 \div 0,125$ и $0,16 - 0,17$ для Ханты-Мансийска.

При этом приведенное сопротивление теплопередаче R_o^r , $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ утепленных наружных кирпичных и бетонных стен с вентилируемой воздушной прослойкой составит 3,2 для Москвы и $3,97 \div 4,03$ для Ханты-Мансийска, что соответствует требованиям теплотехнических норм.

2. Расход воздуха через прослойку W , $\text{кг/м} \cdot \text{ч}$ составляет при $t_{ext} = -28 \text{ °C}$ (Москва) $112 \text{ кг/м} \cdot \text{ч}$, при $t_{ext} = -41 \text{ °C}$ (Ханты-Мансийск) $146 \div 280 \text{ кг/м} \cdot \text{ч}$.

3. Для обеспечения требуемого влажностного режима наружных стен рассматриваемой фасадной системы «Полиалпан» следует выполнять высоту горизонтальных щелей $h_{jn} = 0,025 \text{ м}$ для Москвы и $0,035 \text{ м}$ для Ханты-Мансийска.

При закрытии горизонтальных воздухозаборных и воздуховыводящих щелей защитными сетками высота щелей увеличиваются с учетом площади их сечения.

4. Общая толщина воздушной прослойки $\delta_{a.l}$, м (от внутренней поверхности панели системы «Полиалпан» до утеплителя) рекомендуется $0,06 - 0,07 \text{ м}$ для Москвы и $0,1 \text{ м}$ для Ханты-Мансийска.

5. Указанные выше параметры конструкции обеспечат требуемый температурный и влажностный режим наружных стен фасадной системы «Полиалпан».

6. Данные выше выводы действительны при длине (высоте) панели «Полиалпан» как 9 м , так и 12 м .

Основные буквенные обозначения, термины и единицы величины

| Обозначение | Термин | Ед. величина |
|----------------|--|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| | <u>Геометрические характеристики</u> | |
| δ_{ins} | толщина теплоизоляционного материала | <i>м</i> |
| $\delta_{a.l}$ | толщина воздушной прослойки | <i>м</i> |
| δ_{scr} | толщина облицовочного слоя (экрана) | <i>м</i> |
| A | площади фрагментов наружных стен | $м^2$ |
| A_i | площадь <i>i</i> -го фрагмента стен | $м^2$ |
| A_{scr} | площадь облицовочного материала (экрана) | $м^2$ |
| A_{jn} | площади щели, служащими для поступления воздуха в прослойку и вывода из нее | $м^2$ |
| h_{scr} | высота (длина) панели | <i>м</i> |
| h_{jn} | то же, щели, служащими для поступления воздуха в прослойку и вывода из нее | <i>м</i> |
| h_y | расстояние между горизонтальными щелями, служащими для поступления воздуха в прослойку и вывода из нее | <i>м</i> |
| l_n | то же, от входа в воздухозаборную щель до искомой точки | <i>м</i> |
| | <u>Расчетные термические значения</u> | |
| D_d | градусосутки отопительного периода | $^{\circ}C \cdot сут$ |
| φ | относительная влажность воздуха | % |
| t_{int} | температура внутреннего воздуха | $^{\circ}C$ |
| t_{ext} | то же, наружного воздуха | $^{\circ}C$ |
| τ_o | температура воздуха входящего в прослойку | $^{\circ}C$ |
| τ_y | то же, по длине прослойки | $^{\circ}C$ |
| R_k | термическое сопротивление ограждающей конструкции, с последовательно расположенными однородными слоями | $м^2 \cdot ^{\circ}C / Вт$ |
| $R_{a.l}$ | то же, воздушной прослойки | $м^2 \cdot ^{\circ}C / Вт$ |
| R_{req} | нормируемое значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции | $м^2 \cdot ^{\circ}C / Вт$ |
| R_o^{con} | условное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции | $м^2 \cdot ^{\circ}C / Вт$ |

| | | |
|-------------|---|---------------------------|
| R_o^r | приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции | $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$ |
| $R_{o,i}^r$ | то же, i -го фрагмента ограждающей конструкции | $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$ |

| Обозначение | Термин | Ед. величина |
|------------------|--|--|
| 1 | 2 | 3 |
| R_{jn}^r | то же, в сечении по воздухозаборной щели | $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$ |
| $R_{jn}^{r,si}$ | то же, в сечении по воздухозаборной щели, считая от искомой точки до внутренней термической границы конструкции | $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$ |
| $R_o^{r,av}$ | средневзвешенное значение приведенного сопротивления теплопередаче многослойных наружных стен при наличии в стенах глухих (без проемов) участков | $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$ |
| α_{int} | коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции | $Bm / (m^2 \cdot ^\circ C)$ |
| α_{ext} | то же, наружной поверхности | $Bm / (m^2 \cdot ^\circ C)$ |
| α_{rad} | коэффициент лучистого теплообмена | $Bm / (m^2 \cdot ^\circ C)$; $ккал / m^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$ |
| k_{int} | коэффициент теплопередачи внутренней частей ограждающей конструкции до середины прослойки | $Bm / (m^2 \cdot ^\circ C)$; $ккал / m^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$ |
| k_{ext} | то же, наружной частей | $Bm / (m^2 \cdot ^\circ C)$; $ккал / m^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$ |
| λ | коэффициент теплопроводности материалов | $Bm / (m \cdot ^\circ C)$ |
| | <u>Воздухопроницаемость</u> | |
| ΔP_{inp} | разность давлений воздуха на входе в прослойку | $Па$; (мм.вод.ст.) |
| ΔP_{out} | то же, на выходе из прослойки | $Па$; (мм.вод.ст.) |
| W | расход воздуха в прослойке | $кг / м \cdot ч$; $м^3 / ч$ |
| γ_{ext} | плотность наружного воздуха | $кг / м^3$; (Н / $м^3$) |
| $\gamma_{a.l}$ | то же, воздуха в прослойке | $кг / м^3$; (Н / $м^3$) |
| V_{ext} | скорость движения наружного воздуха | $м / с$ |
| $V_{a.l}$ | то же, воздуха в прослойке | $м / с$ |
| | <u>Паропроницаемость</u> | |
| R_{vp} | сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции | $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$; $м^2 \cdot ч \cdot мм.рт.ст / г$ |
| R_{vp}^{si} | то же, от внутренней поверхности до воздушной прослойки | $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ |

| | | |
|---------------|---|-----------------------------|
| R_{vp}^e | то же, от воздушной прослойки до наружной поверхности | $m^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ |
| R_{vp}^{jn} | то же, в стыковых щелях | $m^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ |

| Обозначение | Термин | Ед. величина |
|--------------------------|---|-----------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| R_{vp}^{scr} | то же, облицовочного слоя (экрана) | $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ |
| $R_{vp,scr}^{con}$ | условное приведенное сопротивление паропроони-цанию облицовочного слоя (экрана) с учетом щелей | $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ |
| ΣR | сумма сопротивлений паропрооницанию слоев ограждающей конструкции до рассматриваемого сечения | $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ |
| ΣR_i | то же, от внутренней поверхности до границы зоны возможной конденсации (с учетом пограничного слоя) | $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ |
| μ_{scr} | коэффициент паропрооницаемости панели | $мг / (м \cdot ч \cdot Па)$ |
| e_{int} | упругость водяного пара внутреннего воздуха | $Па$ |
| e_{ext} | то же, наружного воздуха | $Па$ |
| e_i | то же, в рассматриваемом сечении | $Па$ |
| e_o | то же, входящего в прослойку воздуха | $Па;$ (мм.рт.ст.) |
| e_y | то же, на выходе из прослойки | $Па;$ (мм.рт.ст.) |
| E_y | максимальная упругость водяного пара | $Па;$ (мм.рт.ст.) |
| $\Delta P_1, \Delta P_2$ | приток и отток влаги (пара) в рассматриваемом сечении | $мг / м^2 \cdot ч$ |

| Обозначение | Коэффициенты |
|--------------------|---|
| r | - коэффициент теплотехнической однородности |
| m | - коэффициент, равный 0,26 в системе СИ (0,3 - технической) |
| n | - коэффициент, равный 0,28 в системе СИ (1 - технической) |
| c_e | - переводной коэффициент, равный 3,6 в системе СИ (1 – технической) |
| c | - удельная теплоемкость воздуха, равная - 1 |
| k | - коэффициент учета изменения скорости воздушного потока по высоте |
| c_{b_1}, c_{b_2} | - аэродинамические коэффициенты на разных стенах здания |
| B_w | - безразмерный критерий, характеризующий изменение теплозащитных качеств стыка при фильтрации воздуха |
| B_o | - критерий, характеризующий теплозащитные качества части стыка от внутренней термической границы конструкции до искомой точки |
| B_{jn} | - коэффициент перевода из системы СИ в техническую, равный 7,5 |
| ξ_{jn} | - сопротивление проходу воздуха в узлах |
| $\Sigma \xi$ | - сумма коэффициентов местных сопротивлений |

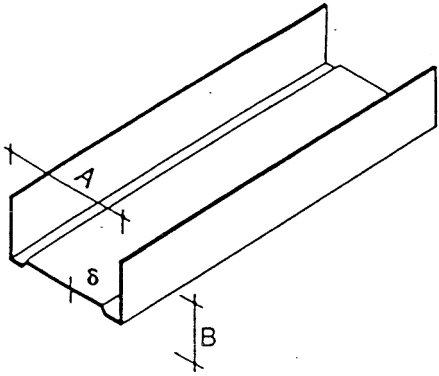
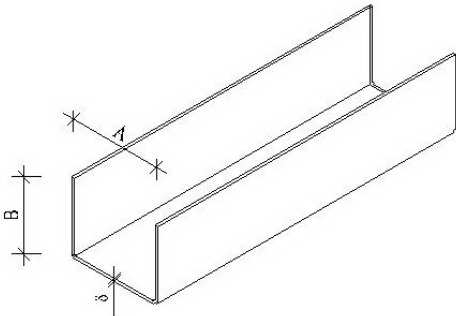
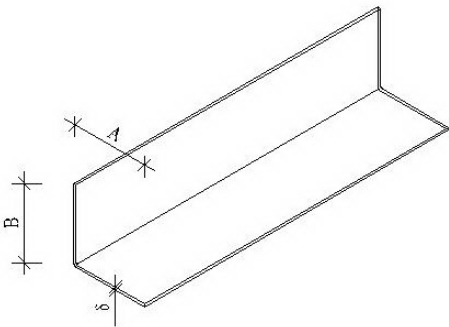
| Обозначение | Расшифровка обозначения |
|---------------|---|
| <i>a.l</i> | - воздушная прослойка |
| <i>av</i> | - средняя величина |
| <i>con</i> | - условная расчетная величина |
| <i>d</i> | - сутки, точка росы |
| <i>des</i> | - проектное значение |
| <i>e, ext</i> | - наружная среда или ограждение |
| <i>i, int</i> | - внутренняя среда |
| <i>ins</i> | - теплоизоляция |
| <i>inp</i> | - входящая величина |
| <i>k</i> | - конструкция |
| <i>m</i> | - элемент ограждающей конструкции, предельное целочисленное значение |
| <i>n</i> | - нормативное значение, предельное целочисленное значение |
| <i>o</i> | - нормативное значение, обозначение градуса, показатель в сухом состоянии |
| <i>out</i> | - выходящая величина |
| <i>p</i> | - водяной пар, агрессивная среда |
| <i>r</i> | - приведенное значение |
| <i>rad</i> | - лучистая, радиационная величина |
| <i>req</i> | - требуемое значение |
| <i>si, se</i> | - наружная, внутренняя поверхности соответственно |
| <i>scr</i> | - облицовочный слой, экран |
| <i>t</i> | - температура |
| <i>vp</i> | - паропроницание |

Перечень нормативных документов и литературы

1. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции.
2. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика.
3. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия.
4. СНиП 2.03.06-85. Алюминиевые конструкции.
5. СНиП 2.08.01-89* Жилые здания (МГСН 3.01-01).
6. СНиП 23-01-99. Строительная климатология.
7. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий.
8. МГСН 2.01-99. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению.
9. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий.
10. Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. Кн. 1, 1972.
11. Рекомендации по проектированию и применению для строительства и реконструкции зданий в г. Москве системы с вентилируемым воздушным зазором «Мрамарок». Москомархитектура, 2001.
12. Рекомендации по проверке и учету воздухопроницаемости наружных ограждающих конструкций жилых зданий. ЦНИИЭП жилища, Москва, 1983г.
13. Фасадная система «Полиалпан». Технические решения. ОАО «ЦНИИЭП жилища», ЗАО «ИНТЕКО», ООО «ПОЛИАЛПАН», Москва, 2002 г.
14. ТСН 23-323-2001 ХМАО «Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий. Нормативы по теплозащите зданий». Департамент градостроительной политики Ханты-Мансийского автономного округа, Ханты-Мансийск, 2002 г.
15. Заключение и протокол сертификационных испытаний, М.: НИИСФ № 51 от 22.06.2000 г.
16. Заключение № Э1-12/07 «Оценка коррозионной стойкости материалов фасадной системы ПОЛИАЛПАН». Москва, ООО «ЭкспертКорр-МИСиС», 2007 г.
17. Протокол огневых испытаний по ГОСТ 31251-2003 навесной фасадной системы «Полиалпан» с минераловатным утеплителем, каркасом из стальных профилей и облицовкой фасадными трехслойными панелями «Полиалпан» толщиной 25 мм (№ 03Ф-05). Москва, ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко, 2005 г.

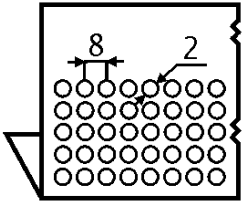
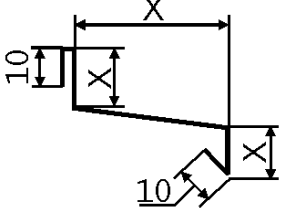
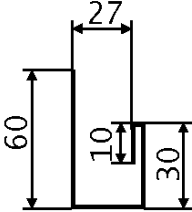
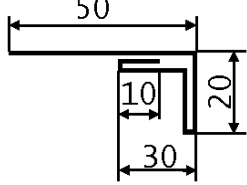
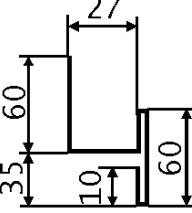
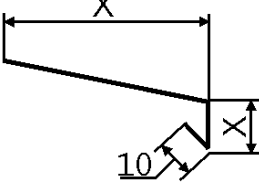
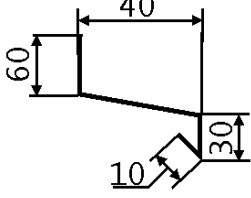
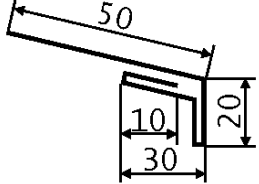
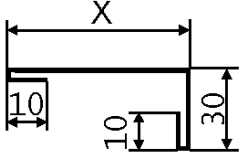
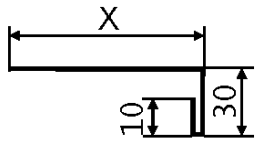
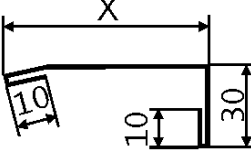
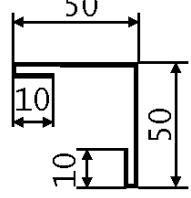
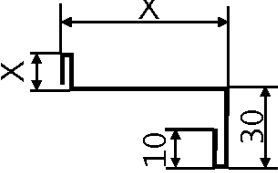
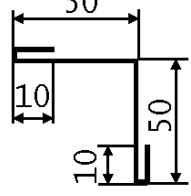
НОМЕНКЛАТУРА ПРОФИЛЕЙ И ПРИМЕРНЫЙ РАСХОД МАТЕРИАЛОВ

Характеристики стальных профилей

| Тип профиля | Эскиз | Размеры в мм | | | Вес, кг/м | Стандартная длина в поставке, м |
|-------------|---|--------------|----|-----|-----------|---------------------------------|
| | | А | В | б | | |
| ПН-2 |  | 50 | 40 | 0,6 | 0,598 | 3,0 |
| П-1 |  | 50 | 40 | 1,5 | 1,495 | 3,0 |
| П-2 |  | 40 | 40 | 1,2 | 0,754 | 3,0 |

Для изготовления профилей применяется сталь тонколистовая оцинкованная с непрерывных линий по ГОСТ 14918-80 или прокат тонколистовой холоднокатаный электротехнический оцинкованный по ТУ 14-1-4766-90. Дополнительно наносится полимерное покрытие.

Характеристики профилей для панелей системы «Полиалпан»

| | | | |
|--|---|---|---|
| <p>№ 1 Вентиляционный профиль</p> |  | <p>№ 8 Отлив</p> |  |
| <p>№ 2 У - образный профиль</p> |  | <p>№ 9 Оконный отделочный профиль</p> |  |
| <p>№ 3 Н - образный профиль</p> |  | <p>№ 8* Упрощенный отлив</p> |  |
| <p>№ 4 Z - образный профиль</p> |  | <p>№ 9* Оконный отделочный профиль для отлива</p> |  |
| <p>№ 5 Оконцовочный профиль Стыковой</p> |  | <p>№ 10 Упрощенный оконный профиль</p> |  |
| <p>№ 6 Оконцовочный профиль с углом</p> |  | <p>№ 11 Внешний отделочный угловой профиль</p> |  |
| <p>№ 7 Оконный профиль</p> |  | <p>№ 12 Внутренний отделочный угловой профиль</p> |  |

Для изготовления профилей применяется окрашенная лента из алюминиевого сплава марки 3105 Н44, 3003 Н46, по EN 573-3, АМц 1/4Н по ГОСТ 4784 толщиной 0,5 мм, допускается изготовление профилей из окрашенной тонколистовой оцинкованной стали толщиной 0,5 мм по ГОСТ 14918-80.

Примерный расход материалов

Стоимость системы для конкретных зданий зависит от многих факторов, в том числе, от размеров здания, архитектурного решения фасадов, оборудования и оснастки, применяемых для монтажа системы, а также от величины накладных расходов и коммерческой политики предприятия и др.

В связи с этим стоимость системы может колебаться в значительных пределах. Поэтому для оценки технико-экономических показателей системы целесообразно привести расход и стоимость материалов, а также затраты труда, приходящиеся на 1 м² рядовых участков фасада.

Ориентировочные данные приведены в таблице

| №№ п/п | Наименование материала, изделия | Единица измерения | Количество на 1м ² фасада для варианта | | |
|----------------|---|----------------------|--|---------|---------|
| | | | А | Б | В |
| 1. | Кронштейн К-1Н (из профиля ПН-2 L=0,5 м) | шт. | 2 | - | - |
| | Кронштейн К-1П (из профиля ПН-2 L=0,4 м) | шт. | 2 | - | - |
| | Горизонтальный профиль ПН-2 | м | 2 | - | - |
| 2. | Кронштейн К-2 (из профиля П-1 L=0,4 м) | шт. | - | 2 | - |
| | Горизонтальный профиль П-2 | м | - | 1 | - |
| 3. | Кронштейн К-3 (из профиля П-2 L=0,4 м) | шт. | - | - | 2 |
| | Горизонтальный профиль П-2 | м | - | - | 1 |
| 4. | Теплоизоляционная прокладка 50×120мм под кронштейн | шт. | 4 | 2 | 2 |
| 5. | Анкерный дюбель Ø8×100-140мм для крепления кронштейна | шт. | 8 | 4 | 4 |
| 6. | Саморез с прессшайбой Ø4,2×16мм для сборки каркаса и крепления панелей к каркасу | шт. | 30-35 | 2-4 | 2-4 |
| 7. | Заклепка Ø4,8×12мм для сборки каркаса | шт. | - | 24 | 24 |
| 8. | Тарельчатый дюбель Ø55/10×150-200мм для крепления утеплителя | шт. | 10 | 10 | 10 |
| 9. | Плиты утеплителя «Венти-Батсс» 600×1000мм | м ³ | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 10. | Панель «Полиалпан» шириной 500 мм | м ² | 1 | 1 | 1 |
| 11. | Стоимость монтажа | н/ч | 2,5-3,0 | 2,5-3,0 | 2,5-3,0 |
| Дополнительно: | | | | | |
| 12. | Спецпрофиль для отделки внешних и внутренних углов, сопряжений, оконных и дверных проемов | м | Расчет | Расчет | Расчет |
| 13. | Саморез Ø3,2×51мм для крепления резаных краев | шт. | 5 | 5 | 5 |
| 14. | Заклепка Ø3,2×10мм для крепления спецпрофиля на каждое окно и дверь | шт. | 4-5 | 4-5 | 4-5 |
| 15. | Силиконовый герметик на каждое окно и дверь | тюбик | 1 | 1 | 1 |