ТЕХНОПОЛИС
Испытательная лаборатория

ООО «Технополис»,
111033, г. Москва, Таможенный пр-д,
д. 6, стр. 3, офис 119
Тел./факс: +7 (495) 661 62 90
Эл. почта: rykov@technopolice-lab.ru

ИНН 7730582273, КПП 772201001,
ОКПО 86396786, ОГРН 1087746576510
Р/с 40702810000000090017
в ЗАО "Банк Интеза", г. Москва,
к/с 30101810800000000922, БИК 044525922

УТВЕРЖДАЮ:
Генеральный директор
ООО «Технополис»

_____С.Г. Рыков

ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ

**ЭЛЕМЕНТОВ КАРКАСА НАВЕСНОЙ ФАСАДНОЙ СИСТЕМЫ
С ВОЗДУШНЫМ ЗАЗОРОМ «VENFAS»
ПРОИЗВОДСТВА ООО «ВЕНФАС»**

(с облицовкой плитами из природного камня)

Москва, 2011 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Исходные данные …….……3
2. Характеристики материалов…….……..3
3. Расчет внешних воздействий на фасадную систему для прямоугольного в плане здания высотой 75м.....4
4. Расчет несущей конструкции…….…….....….8
5. Таблицы……...…….....…….…19
Перечень нормативных документов……..…….21

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Краткое описание системы

Фасадная система «VENFAS» предназначена для утепления и отделки фасадов вновь возводимых и реконструируемых зданий. Система монтируется на стены зданий из самых разнообразных материалов, при условии, что объёмный вес материала стены не должен быть менее 600 кг/м^3. Монтаж осуществляется поэлементно.

В качестве облицовочного материала в системе предусматривается использование плит из природного камня.

Элементы несущей конструкции фасадной системы «VENFAS» изготавливают из коррозионностойкой стали.

Каркас системы представляет собой конструкцию, состоящую из вертикальных направляющих, присоединяемых к выдвижным вставкам кронштейнов при помощи вытяжных заклепок.

Вертикальные направляющие представляют собой гнутые профили П-образного сечения с размерами 60×33,5×1,2 мм из коррозионностойкой стали 08Х17 по ТУ РМО – 001/05 (AISI-430).

Вертикальные направляющие крепят к стене при помощи кронштейнов с выдвижными вставками из той же стали. Кронштейны представляют собой П-образную гнутую конструкцию из тонколистовой стали толщиной 1,2мм, с ребрами жесткости. Кронштейны имеют размеры: пятки – 65,4×85мм, консоли – (80-280)×65,4мм. Выдвижные вставки кронштейнов представляют собой коробчатую конструкцию из тонколистовой стали толщиной 1,2мм с плоскими выступающими частями для соединения с направляющей. Выдвижные вставки к кронштейну и к направляющей крепятся при помощи заклепок. В каждом соединении – по две штуки.

Для восприятия весовых нагрузок в системе применяется талреп. Талреп закрепляется на строительном основании при помощи анкера, а на вертикальной направляющей - с помощью С-образной скобы из коррозионно-стойкой стали. Талреп крепится к скобе резьбовым соединением. Скоба крепится к вертикальной направляющей при помощи вытяжных заклепок.

Для усиления пятки кронштейна применяется пластина из тонколистовой коррозионно-стойкой стали толщиной 1,5мм с ребрами жесткости. В пластине имеется отверстие под анкерный крепеж.

Кронштейны крепят к несущей стене здания с помощью анкеров через теплоизоляционные паронитовые прокладки толщиной 3-5мм.

Между направляющими предусматривается зазор 10мм для компенсации температурных и других видов деформаций.

Габаритные размеры плит из природного камня: 600×600×30мм.

Крепление плит из природного камня осуществляется с помощью кляммеров или шин из стали 12Х18Н10Т, ГОСТ 5582 толщиной 1,2мм.

Шаг кронштейнов по горизонтали……..600мм.
Шаг кронштейнов по вертикали…….....900 и 1250мм.
Шаг вертикальных направляющих……...600мм.
Длина вертикальных направляющих……3000мм.
Длина консолей.....150мм.
Принятый относ облицовки от основания.....260мм.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ

Фасадные плиты

Плотность материала – 2800 кг/м^3
Максимальные габаритные размеры плиты – 600 × 600мм.
Толщина плиты – 30мм.

Несущая конструкция

Расчетные сопротивления элементов несущей конструкции (кронштейны, направляющие) представлены в таблице 1:

Таблица 1

Марка стали	Механические характеристики		γ_m	Расчетные сопротивления	
	$R_{yn}, МПа$	$R_{un}, МПа$		$R_y, МПа$	$R_s, МПа$
08Х17	240	400-630	1,05	228	130

3. РАСЧЕТ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ФАСАДНУЮ СИСТЕМУ ДЛЯ ПРЯМОУГОЛЬНОГО В ПЛАНЕ ЗДАНИЯ ВЫСОТОЙ 75м

Расчет производится для 1 и 2 зон прямоугольного в плане здания высотой 75м., расположенного в первом ветровом и втором гололедном районах (г. Москва), тип местности «В» (рис. 1).
Расчет действующих нагрузок производится для зимнего и летнего периодов. Для зимнего периода доминирующими нагрузками будут являться гололедные и нагрузки от веса облицовки и самой несущей конструкции. При учете гололедных нагрузок, ветровые берутся в размере 25% от расчетных значений.
Для летнего периода полностью учитываются ветровые, и нагрузки от веса облицовки и несущей конструкции.

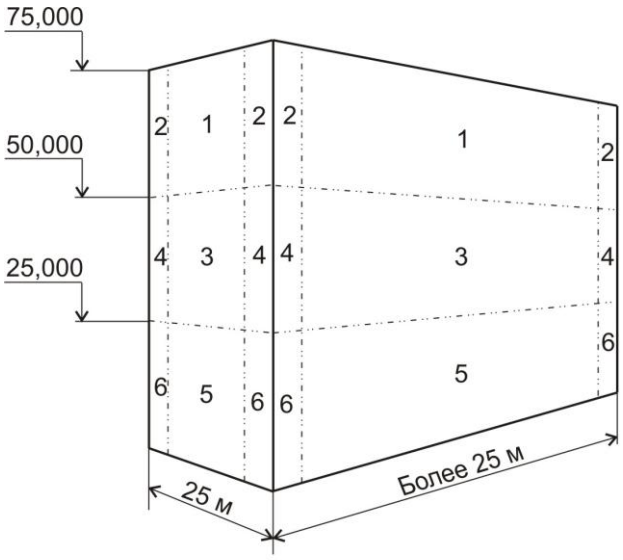


Рис. 1 Схема расположения зон на фасаде здания.

<u>Рядовая зона №1.</u>

3.1 *Нагрузки, действующие на систему в зимний период*.

3.1.1 Горизонтальная нагрузка от ветрового давления рассчитывается по формуле 4.7 (1) с учетом средней и пульсационной составляющих ветровой нагрузки.
Нормативное значение ветрового давления принимается для первого ветрового района (г. Москва) и равно:

- $W_0 = 0,23 КПа$

Коэффициент, учитывающий изменение суммарной (средней и пульсационной составляющих) ветровой нагрузки по эквивалентной высоте Z_e, принимается для Z_e = 75м, типа местности «В» и равен:

- $K_g(Z_e) = 2,49$

Аэродинамический коэффициент принят для рядовой зоны здания и равен:

- $C = -1{,}1$

Коэффициент корреляции ветровой нагрузки определяется по табл. 4.1. (1) и равен:

- $\nu = 1{,}0$

Нормативная ветровая нагрузка для рядовой зоны с учетом гололеда:

- $Q_y^n = 0{,}25 \times W_0 \times K_g\left(Z_e\right) \times C \times \nu = 0{,}25 \times 0{,}23 \times 2{,}49 \times 1{,}1 \times 1{,}0 = 0{,}157 КПа$

Расчетная ветровая нагрузка при коэффициенте надежности по нагрузке:

- $\gamma_f = 1{,}4$
- $q_y = Q_y^n \times \gamma_f = 157{,}0 \times 1{,}4 = 219{,}8 Н / м^2 (Па)$

Нормативная горизонтальная нагрузка на вертикальную направляющую:

- $q_{y1}^n = Q_y^n \times H = 157{,}0 \times 0{,}6 = 94{,}2 Н / м$

Где: *Н* – шаг крепления вертикальных направляющих;

Расчетная горизонтальная нагрузка на вертикальную направляющую:

- $q_{y1} = q_y \times H = 219{,}8 \times 0{,}6 = 131{,}9 Н / м$

3.1.2 Вертикальная расчетная нагрузка от двустороннего обледенения панелей облицовки для II гололедного района, для высоты 75м:
Вертикальная гололедная нагрузка рассчитывается по формуле 14 (2)

- $i = b \times K \times \mu_2 \times \rho \times g (Па)$

b = 5мм – толщина наледи (таблица 11) (2)
K - коэффициент, учитывающий высоту расположения конструкций (таблица 13) (2)
μ_2 - коэффициент, учитывающий форму обледенения.
ρ = 900 кг/м^3 – плотность льда.
g = 9,8 м/с^2 – ускорение свободного падения.

Нормативное значение поверхностной гололедной нагрузки:

- $i_z{}^n = 0{,}005 \times 1{,}84 \times 0{,}6 \times 900 \times 9{,}8 = 48{,}7 (Па)$

Расчетное значение поверхностной гололедной нагрузки:

- $i_z = i_z{}^n \times \gamma = 48{,}7 \times 1{,}3 = 63{,}3 (Па)$

γ = 1,3 – коэффициент надежности по гололедной нагрузке.

Нормативное значение поверхностной гололедной нагрузки на вертикальную направляющую:

- $i_{z1}{}^n = i_z^n \times H = 48{,}7 \times 0{,}6 = 29{,}2 Н / м$

Расчетное значение поверхностной гололедной нагрузки на вертикальную направляющую:

- $i_{z1} = i_z \times H = 63,3 \times 0,6 = 38,0 H / м$

3.1.3 Вертикальная нагрузка от веса плит:

Нормативная вертикальная нагрузка от веса 1м^2 плит:

- $q_z^{\ n} = p \times V = 2800 \times 0,030 = 84,0 кг / м^2 \quad \left(823,2 H / м^2\right)$

Расчетная вертикальная нагрузка от веса 1м^2 плит:

- $q_z = \gamma_f \times q_z^{\ n} = 1,2 \times 823,2 = 987,8 H / м^2$

  $\gamma_f = 1,2$ – коэффициент надежности по нагрузкам.

Нормативная вертикальная нагрузка от веса плит на вертикальную направляющую:

- $q_{z1}^{\ n} = q_z^n \times H = 823,2 \times 0,6 = 493,9 H / м$

Расчетная вертикальная нагрузка от веса плит на вертикальную направляющую:

- $q_{z1} = q_z \times H = 987,8 \times 0,6 = 592,7 H / м$

3.2 ***Нагрузки, действующие на систему в летний период.***

3.2.1 Горизонтальная нагрузка от ветрового давления.
Нормативное значение ветрового давления:

- $W_0 = 0,23 КПа$

Коэффициент, учитывающий изменение суммарной ветровой нагрузки:

- $K_g(Z_e) = 2,49$

Аэродинамический коэффициент:

- $C = -1,1$

Коэффициент корреляции ветровой нагрузки:

- $\nu = 1,0$

Нормативная ветровая нагрузка для рядовой зоны:

- $Q_y^n = W_0 \times K \times C \times \nu = 0,23 \times 2,49 \times 1,1 \times 1,0 = 0,630 (КПа)$

Расчетная ветровая нагрузка при коэффициенте надежности по нагрузке:

- $\gamma_f = 1,4$
- $q_y = Q_y^n \times \gamma_f = 630,0 \times 1,4 = 882,0 H / м^2 (Па)$

Нормативная горизонтальная нагрузка на вертикальную направляющую:

- $q_{y1}^n = Q_y^n \times H = 630,0 \times 0,6 = 378,0 H / м$

Где: *H* – шаг крепления вертикальных направляющих;

Расчетная горизонтальная нагрузка на вертикальную направляющую:

- $q_{y1} = q_y \times H = 882,0 \times 0,6 = 529,2 H / м$

3.2.2 Вертикальная нагрузка от веса плит:

Нормативная вертикальная нагрузка от веса плит на вертикальную направляющую:

- $q_{z1}{}^{n} = 493,9 H / м$

Расчетная вертикальная нагрузка от веса плит на вертикальную направляющую:

- $q_{z1} = 592,7 H / м$

<u>Краевая зона №2.</u>

3.3 ***Нагрузки, действующие на систему.***

Для этой зоны доминирующими нагрузками будут являться ветровые нагрузки и нагрузки от веса облицовки и самой несущей конструкции. На фрагментах фасада с повышенным ветровым воздействием (краевые зоны) наледь не образуется и гололедной нагрузкой на этих участках можно пренебречь.

3.3.1 Горизонтальная нагрузка от ветрового давления.
Нормативное значение ветрового давления:

- $W_0 = 0,23 КПа$

Коэффициент, учитывающий изменение суммарной ветровой нагрузки:

- $K_g(Z_e) = 2,49$

Аэродинамический коэффициент:

- $C = -2,0$

Коэффициент корреляции ветровой нагрузки:

- $\nu = 1,0$

Нормативная ветровая нагрузка для краевой зоны с учетом гололеда:

- $Q_y^n = W_0 \times K_g\left(Z_e\right) \times C \times \nu = 0,23 \times 2,49 \times 2,0 \times 1,0 = 1,145 КПа$

Расчетная ветровая нагрузка при коэффициенте надежности по нагрузке:

- $\gamma_f = 1,4$
- $q_y = Q_y^n \times \gamma_f = 1145,0 \times 1,4 = 1603,6 H / м^2 (Па)$

Нормативная горизонтальная нагрузка на вертикальную направляющую:

- $q_{y1}^n = Q_y^n \times H = 1145,0 \times 0,6 = 687,0 H / м$

Где: *H* – шаг крепления вертикальных направляющих;

Расчетная горизонтальная нагрузка на вертикальную направляющую:

- $q_{y1} = q_y \times H = 1603,6 \times 0,6 = 962,2 H / м$

3.2.3 Вертикальная нагрузка от веса плит:

Нормативная вертикальная нагрузка от веса плит на вертикальную направляющую:

- $q_{z1}^{n} = 493,9 H/м$

Расчетная вертикальная нагрузка от веса плит на вертикальную направляющую:

- $q_{z1} = 592,7 H/м$

Результаты расчетов по зонам №1, 2 сведены в таблицу №3.

Аналогично производятся расчеты для второго, третьего, четвертого и пятого ветровых районов. Данные расчетов сведены в таблицы №7, 8, 9, 10, 11.

4 РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

4.1 *Расчет на прочность вертикальной направляющей*

Исходные данные

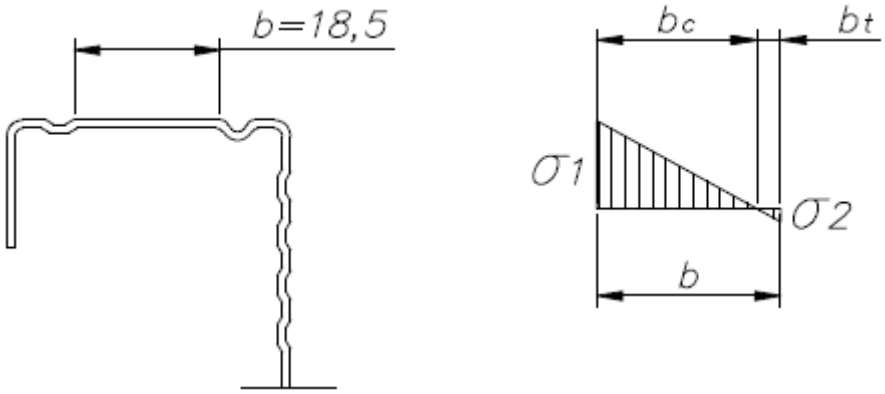
Вертикальная направляющая

Расчетное сопротивление на растяжение, сжатие и изгиб для стали 08Х17 и коэффициент условий работы (см. таблицу 1):

- $R_y = 228,0 МПа; \gamma_c = 1,0;$

4.1.1 *Определение эффективной площади поперечного сечения и его геометрических характеристик*

Расчет для пластинки шириной 18,5мм, окаймленной с двух сторон, подвергающейся сжатию и растяжению:



Гибкость пластинки рассчитывается по формуле:

- $$\lambda_p = \frac{b}{28,4 \times t \times \varepsilon \times \sqrt{k_\sigma}}$$

Где:

$b = 18,5 мм$ - ширина пластинки;

$t = 1,2 мм$ - толщина пластинки;

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{R_{yn}\left[МПа\right]}} = \sqrt{\frac{235}{240}} = 0,99$$

$k_\sigma = 5,98 \times \left(1-\psi\right)^2$ (для $-1 \lhd \psi \lhd 0$) - коэффициент потери устойчивости, зависящий от граничных условий и соотношения напряжений по продольным кромкам пластинки;

$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{b_t}{b_c} = \frac{-6,4}{12,1} = -0,52$ - отношение напряжений по продольным кромкам пластинок;

$k_\sigma = 5,98 \times \left(1-\left(-0,52\right)\right)^2 = 13,8$

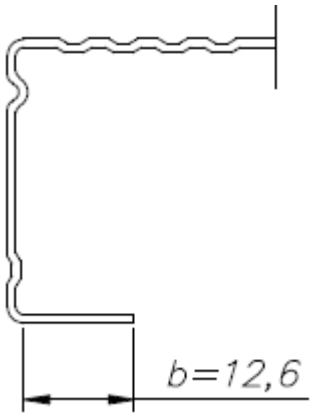
- $$\lambda_p = \frac{b}{28,4 \times t \times \varepsilon \times \sqrt{k_\sigma}} = \frac{18,5}{28,4 \times 1,2 \times 0,99 \times \sqrt{13,8}} = 0,15$$

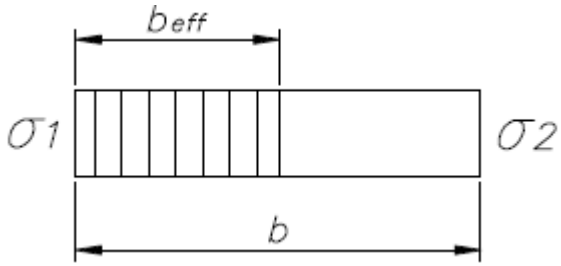
Для $\lambda_p \le 0,673$ редукционный коэффициент $\rho = 1$

Эффективная ширина пластинки:

$b_{eff} = \rho \times b = 1 \times 18,5 = 18,5 мм$

Расчет для сжатой пластинки шириной 12,6мм, окаймленной с одной стороны:





Гибкость пластинки рассчитывается по формуле:

- $$\lambda_p = \frac{b}{28,4 \times t \times \varepsilon \times \sqrt{k_\sigma}}$$

Где:

$b = 12,6 мм$ - ширина пластинки;
$t = 1,2 мм$ - толщина пластинки;

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{R_{yn}\left[МПа\right]}} = \sqrt{\frac{235}{240}} = 0,99$$

$k_\sigma = 0,43$ (для $\psi = 1$) - коэффициент потери устойчивости, зависящий от граничных условий и соотношения напряжений по продольным кромкам пластинки;

$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$ - отношение напряжений по продольным кромкам пластинок;

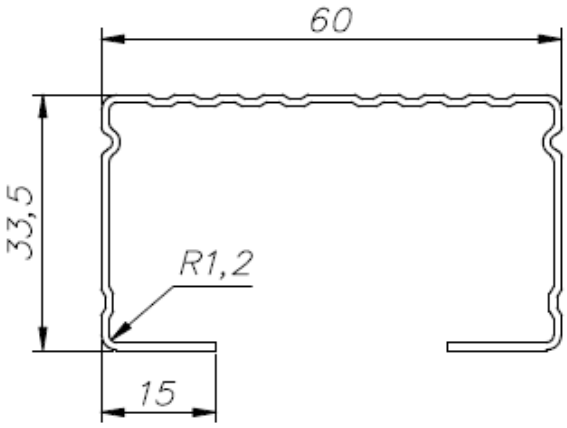
- $$\lambda_p = \frac{b}{28,4 \times t \times \varepsilon \times \sqrt{k_\sigma}} = \frac{12,6}{28,4 \times 1,2 \times 0,99 \times \sqrt{0,43}} = 0,57$$

Для $\lambda_p \le 0,748$ редукционный коэффициент $\rho = 1$

Эффективная ширина пластинки:

$$b_{eff} = \rho \times b = 1 \times 12,6 = 12,6 мм$$

Эффективное сечение вертикальной направляющей с учетом редукционных коэффициентов:



Геометрические характеристики поперечного сечения относительно оси «x»:

- δ = 1,2мм;
- A = 187,8мм^2;
- J = 32158мм^4;
- W = 1595мм^3;

На вертикальную направляющую действуют нагрузки, создаваемые и передаваемые закрепленными на ней фасадными плитами: нагрузки от веса плит и ветровые.
Допущение: предполагается, что нагрузки, передаваемые фасадными плитами на вертикальные направляющие, являются равномерно распределенными.

4.1.2 *Расчет для здания высотой 75м, V ветрового района, угловой зоны №2*

Расчетная схема вертикальной направляющей – трехпролетная балка на четырех опорах. Длина пролета – 900мм.

Внутренние силовые факторы, действующие в поперечном сечении направляющей:

Изгибающий момент от вертикальной распределенной нагрузки:

- $$M_в = 0,5 \times q_{z1} \times L_z \times e_{ус}$$

Где: $L_z = 0,90 м$ – пролет вертикальной направляющей;

$e_{ус} \approx 35 мм$ – расстояние между координатами центров масс плит и направляющей;

- $$M_в = 0,5 \times 592,7 \times 0,90 \times 0,035 = 8,3 Нм$$

Изгибающий момент от горизонтальной распределенной нагрузки:

- $M_г = 0,1 \times q_{y1} \times L_z^{\ 2}$
- $M_г = 0,1 \times 2508,0 \times 0,90^2 = 203,2 Нм$

Продольное усилие от вертикальной распределенной нагрузки, создаваемое весом плит:

- $N_z = q_{z1} \times L$
- $N_z = 592,7 \times 3,0 = 1778,1 H$

Расчет вертикальной направляющей по нормальным напряжениям, возникающим от действия изгибающих моментов и продольного усилия, производится по формуле 50 (2):

- $$\left(\frac{N_z}{A_n} + \frac{M_в + M_г}{W_n} \right) \times \gamma_n \le R_y \times \gamma_c$$

N_z - продольное усилие;

A_n - площадь поперечного сечения направляющей;

$M_г$ и $M_в$ - изгибающие моменты от вертикальных и горизонтальных нагрузок;

W_n - максимальный момент сопротивления сечения;

γ_n - коэффициент надежности по назначению;

γ_c - коэффициент условий работы;

- $$\left(\frac{1778,1}{187,8} + \frac{(8,3 + 203,2) \times 10^3}{1595,0} \right) \times 0,95 = 135,0 МПа \lhd 228,0 \times 1,0 = 228,0 МПа$$

Прочность направляющей из стали 08Х17 обеспечивается.

4.1.3 *Расчет для здания высотой 75м, V ветрового района, рядовой зоны №1*

Расчетная схема вертикальной направляющей – двухпролетная балка на трех опорах.
Длина пролета – 1250мм.
Расчет производится для летнего периода.

Внутренние силовые факторы, действующие в поперечном сечении направляющей:

Изгибающий момент от вертикальной распределенной нагрузки:

- $M_в = 0,5 \times q_{z1} \times L_z \times e_{ус}$

Где: $L_z = 1,25 м$ – пролет вертикальной направляющей;

$e_{ус} \approx 35 мм$ – расстояние между координатами центров масс плит и направляющей;

- $M_в = 0,5 \times 592,7 \times 1,25 \times 0,035 = 13,0 Нм$

Изгибающий момент от горизонтальной распределенной нагрузки:

- $M_г = 1,25 \times q_{y1} \times L_z^{\ 2}$
- $M_г = 0,125 \times 1380,0 \times 1,25^2 = 269,5 Нм$

Продольное усилие от вертикальной распределенной нагрузки, создаваемое весом плит:

- $N_z = 1778,1 H$

Расчет вертикальной направляющей по нормальным напряжениям, возникающим от действия изгибающих моментов и продольного усилия, производится по формуле 50 (2):

- $$\left(\frac{N_z}{A_n}+\frac{M_в+M_г}{W_n}\right)\times\gamma_n \le R_y\times\gamma_c$$

- $$\left(\frac{1778,1}{187,8}+\frac{(13,0+269,5)\times10^3}{1595,0}\right)\times0,95=170,1МПа \lhd 228,0\times1,0=228,0МПа$$

Прочность направляющей из стали 08Х17 обеспечивается.

4.1.4 *Расчет для здания высотой 75м, IV ветрового района, угловой зоны №2*

Расчетная схема вертикальной направляющей – двухпролетная балка на трех опорах. Длина пролета – 1250мм.

Внутренние силовые факторы, действующие в поперечном сечении направляющей:

Изгибающий момент от вертикальной распределенной нагрузки:

- $M_в=0,5\times q_{z1}\times L_z\times e_{ус}$

Где: $L_z=1,25м$ – пролет вертикальной направляющей;

$e_{ус}\approx35мм$ – расстояние между координатами центров масс плит и направляющей;

- $M_в=0,5\times592,7\times1,25\times0,035=13,0Нм$

Изгибающий момент от горизонтальной распределенной нагрузки:

- $M_г=1,25\times q_{y1}\times L_z{}^2$
- $M_г=0,125\times2010,0\times1,25^2=392,6Нм$

Продольное усилие от вертикальной распределенной нагрузки, создаваемое весом плит:

- $N_z=1778,1H$

Расчет вертикальной направляющей по нормальным напряжениям, возникающим от действия изгибающих моментов и продольного усилия, производится по формуле 50 (2):

- $$\left(\frac{N_z}{A_n}+\frac{M_в+M_г}{W_n}\right)\times\gamma_n \le R_y\times\gamma_c$$

- $$\left(\frac{1778,1}{187,8}+\frac{(13,0+392,6)\times10^3}{1595,0}\right)\times0,95=250,6МПа \rhd 228,0\times1,0=228,0МПа$$

Прочность направляющей из стали 08Х17 не обеспечивается.

4.1.5 *Расчет для здания высотой 55м, IV ветрового района, угловой зоны №2*

Расчетная схема вертикальной направляющей – двухпролетная балка на трех опорах. Длина пролета – 1250мм.

Расчетная горизонтальная распределенная нагрузка на вертикальную направляющую (пример расчета см. п.3)

- $q_{y1}=1812,0Нм$

Внутренние силовые факторы, действующие в поперечном сечении направляющей:

Изгибающий момент от вертикальной распределенной нагрузки:

- $M_в=13,0Нм$

Изгибающий момент от горизонтальной распределенной нагрузки:

- $M_г = 1,25 \times q_{y1} \times L_z^{\ 2}$
- $M_г = 0,125 \times 1812,0 \times 1,25^2 = 353,9 Нм$

Продольное усилие от вертикальной распределенной нагрузки, создаваемое весом плит:

- $N_z = 1778,1 H$

Расчет вертикальной направляющей по нормальным напряжениям, возникающим от действия изгибающих моментов и продольного усилия, производится по формуле 50 (2):

- $$\left(\frac{N_z}{A_n} + \frac{M_в + M_г}{W_n}\right) \times \gamma_n \le R_y \times \gamma_c$$
- $$\left(\frac{1778,1}{187,8} + \frac{(13,0 + 353,9) \times 10^3}{1595,0}\right) \times 0,95 = 227,5 МПа \lhd 228,0 \times 1,0 = 228,0 МПа$$

Прочность направляющей из стали 08Х17 обеспечивается.

Аналогично производятся вычисления для других зон фасада.
Область применения системы по несущей способности вертикальной направляющей в зависимости от расчетной схемы представлена в таблицах 2, 3.

4.1.4 *Проверка прогиба в пролетах направляющей для наиболее неблагоприятных условий*

Для трехпрлетной балки с длиной пролета 900мм (по п. 4.1.1)

Наибольшие значения прогибов:

$$f = K \times \frac{q_{y1}^n \times L_z^4}{E \times J} = 0,00675 \times \frac{1791,4 \times 0,90^4}{200000,0 \times 32158,0 \times 10^{-6}} = 0,0012 м (1,2 мм)$$

Максимально допускаемый прогиб:

$$f_{\max} = \frac{1}{200} \times L_z = \frac{1}{200} \times 900 = 4,5 мм$$

Прогибы не превышают максимально допускаемые.

Для двухпролетной балки с длиной пролета 1250мм, для IV ветрового района, угловой зоны №2, высоты 55м (по п. 4.1.5).

Наибольшие значения прогибов:

$$f = K \times \frac{q_{y1}^n \times L_z^4}{E \times J} = 0,00520 \times \frac{1294,3 \times 1,25^4}{200000,0 \times 32158,0 \times 10^{-6}} = 0,0026 м (2,6 мм)$$

Максимально допускаемый прогиб:

$$f_{\max} = \frac{1}{200} \times L_z = \frac{1}{200} \times 1250 = 6,25 мм$$

Прогибы не превышают максимально допускаемые.

4.2 *Расчет соединения направляющей с выдвижной вставкой кронштейна*

Исходные данные:

Направляющая соединяются с выдвижной вставкой при помощи двух заклепок Ø4,0мм из коррозионностойкой стали. Толщина металла вертикальной направляющей и выдвижной вставки – 1,2мм.

Прочность соединения направляющей и выдвижной вставки определяется из условий:
а) среза заклепки;
б) смятия материала направляющей или выдвижной вставки.

Расчет на прочность соединения направляющей и выдвижной вставки из условия среза заклепки.

В расчет принимается наихудшее условие работы соединения: равнодействующее усилие на соединение от ветровой нагрузки, характерное для пятого ветрового района, угловой зоны №2, высоты 75м. Схема крепления направляющей к основанию: на 3-х кронштейнах, для среднего кронштейна.

Расчетная горизонтальная нагрузка на вертикальную направляющую:

- $q_{y1} = 2508,0 H/м$

Наибольшее горизонтальное усилие на соединение:

- $N_y = 1,25 \times q_{y1} \times l = 1,25 \times 2508,0 \times 1,25 = 3918,8 H$

Срезающее усилие, приходящееся на одну заклепку:

- $R_з = \frac{N_y}{n} = \frac{3918,8}{2} = 1959,4 H$

Согласно ISO 15983 нижний гарантированный предел разрушающей нагрузки на срез для заклепок Ø4,0мм A2/A2 составляет 2700,0Н.

Условие прочности на срез обеспечивается.

Расчет на прочность соединения направляющей и выдвижной вставки из условия смятия материала направляющей.

Условие прочности материала вертикальной направляющей, контактирующей с заклепкой на смятие:

- $\frac{R_з}{\alpha \times d \times \delta} \le \frac{R_{un}}{\gamma_m} \times \gamma_c$

Где:
$R_з = 1415,7 H$ - усилие, приходящееся на одну заклепку;
$\delta = 1,2 мм$ – толщина направляющей;
$d = 4,0 мм$ – диаметр заклепки;
$\alpha = 3,2 \times \sqrt{\frac{\delta}{d}} = 3,2 \times \sqrt{\frac{1,2}{4,0}} = 1,8$ – коэффициент, зависящий от соотношения толщин соединяемых элементов;
$R_{un} = 400,0 МПа$ – нормативное сопротивление металла по временному сопротивлению;
$\gamma_m = 1,35$ – коэффициент надежности по материалу;
$\gamma_c = 0,8$ – коэффициент условий работы.

- $$\frac{1959,4}{1,8\times4,0\times1,2}=226,7МПа \lhd \frac{400}{1,35}\times0,8=237,0МПа$$

Условие прочности выполняется.

Область применения системы по несущей способности соединения направляющей с выдвижной вставкой кронштейна представлена в таблице 4.

4.3 *Расчет на прочность выдвижной вставки кронштейна*

Исходные данные

Расчетное сопротивление на растяжение, сжатие и изгиб для стали 08Х17 и коэффициент условий работы (см. таблицу 1):

- $R_y = 228,0МПа; \gamma_c = 1,0;$

Геометрические характеристики поперечного сечения, в месте соединения выдвижной вставки с вертикальной направляющей:

.

- δ = 1,2мм;
- А = 86мм^2;

Опасное сечение выдвижной вставки – в месте стыковки с кронштейном.

На выдвижную вставку действуют только горизонтальные ветровые нагрузки (вертикальные нагрузки воспринимаются талрепом).

В расчет принимается наихудшее условие работы выдвижной вставки, характерное для пятого ветрового района, угловой зоны №2, высоты 75м. Схема крепления направляющей к основанию: на 3-х кронштейнах, для среднего кронштейна.

Наибольшее горизонтальное усилие на соединение:

$$N_y = 3918,8H$$

Расчет выдвижной вставки по нормальным напряжениям, возникающим от продольного усилия, производится по формуле:

- $$\frac{N_y}{A}\times\gamma_n \le R_y\times\gamma_c$$

N_y - продольное усилие;

A - площадь поперечного сечения выдвижной вставки;

γ_n - коэффициент надежности по назначению;

γ_c - коэффициент условий работы;

- $$\frac{3918,8}{86,0}\times0,95=43,3МПа \lhd 228,0\times1,0=228,0МПа$$

Прочность выдвижной вставки из стали 08Х17 обеспечивается.

Область применения системы по несущей способности выдвижной вставки кронштейна представлена в таблице 5.

4.4 *Расчет на прочность кронштейна*

Исходные данные

Расчетное сопротивление на растяжение, сжатие и изгиб для стали 08Х17 и коэффициент условий работы (см. таблицу 1):

- $R_y = 228,0 МПа; \gamma_c = 1,0;$

На кронштейн действуют только горизонтальные ветровые нагрузки (вертикальные нагрузки воспринимаются талрепом).

4.4.1 *Расчет выступающей полки кронштейна*

Геометрические характеристики поперечного сечения:

- δ = 1,2мм;
- А = 141мм^2;

Площадь поперечного сечения кронштейна больше площади поперечного сечения выдвижной вставки.

Прочность кронштейна из стали 08Х17 обеспечивается.

4.4.2 *Расчет прилегающей полки кронштейна*

Наибольшее горизонтальное усилие, действующее на кронштейн (см. п. 4.2):

- $N_y = 3918,8 Н$

Расчетное сопротивление прилегающей полки кронштейна с усилителем горизонтальной нагрузке (см. протокол испытаний №065 от 21.11.2011 г. ООО «Технополис»):

- $R = 1,494 кН$

- $1494,0 \lhd 3918,8$

Условие прочности не выполняется.

4.4.3 *Определение области применения системы по несущей способности прилегающей полки кронштейна с усилителем*

Для схемы крепления направляющей на трех кронштейнах:

Расчетная горизонтальная нагрузка на вертикальную направляющую:

- $q_{y1} \le \frac{R}{1,25 \times l} = \frac{1494,0}{1,25 \times 1,25} = 956,2 Н / м$

Расчетная ветровая нагрузка:

- $q_y \le \frac{q_{y1}}{H} = \frac{956,2}{0,6} = 1593,7 Н / м^2 (162,6 кГ / м^2)$

Для схемы крепления направляющей на четырех кронштейнах:

Расчетная горизонтальная нагрузка на вертикальную направляющую:

- $$q_{y1} \le \frac{R}{1{,}1 \times l} = \frac{1494{,}0}{1{,}1 \times 0{,}9} = 1509{,}1 H / м$$

Расчетная ветровая нагрузка:

- $$q_y \le \frac{q_{y1}}{H} = \frac{1509{,}1}{0{,}6} = 2515{,}2 H / м^2 (256{,}6 кГ / м^2)$$

Область применения системы по несущей способности прилегающей полки кронштейна с усилителем представлена в таблицах 6, 7.

4.5 *Расчет на прочность талрепа*

По результатам испытаний слабым местом узла «талреп – вертикальная направляющая» является заклепочное соединение скобы талрепа и вертикальной направляющей (протокол №036 от 08.07.2011 ООО «Технополис»).

Допускаемая нагрузка на соединение скобы и вертикальной направляющей:

- $$N_Д = 3{,}177 кН$$

Расчет производится для сочетания вертикальных нагрузок от веса плит облицовки и гололеда, характерных для третьего гололедного района.

Расчетная вертикальная нагрузка от веса плит на вертикальную направляющую:

- $$q_{z1} = 592{,}7 H / м$$

Расчетное значение гололедной нагрузки на вертикальную направляющую:

- $$i_{z1} = 76{,}0 H / м$$

Наибольшее вертикальное усилие, действующее на соединение талрепа и вертикальной направляющей:

- $$P_z = (q_{z1} + i_{z1}) \times L = (592{,}7 + 76{,}0) \times 3{,}0 = 2006{,}1 H$$

Где *L* – длина вертикальной направляющей.

Наибольшее растягивающее усилие, действующее на талреп:

- $$N_Т = \frac{P_z}{\cos 25^\circ} = \frac{2006{,}1}{0{,}906} = 2214{,}2 H$$

Условие прочности талрепа

- $$N_Т \le N_Д$$

- $$2214{,}2 \lhd 3177{,}0 H$$

Условие прочности выполняется.

Область применения системы по несущей способности талрепа представлена в таблице 8.

4.6 *Расчет на прочность облицовочной конструкции*

Облицовочные конструкции включают в себя плиты облицовки с габаритными размерами 600×600×30мм и кляммеры из коррозионно-стойкой стали.

Расчетная ветровая отрицательная нагрузка (отсос) на облицовочные конструкции согласно протоколу лабораторных испытаний №013 от 04.04.2011 ООО «Технополис» не должна превышать значений:

- $q_{y\,исп.} \leq 555,6 Па \quad (56,7 кгс/м^2)$

Расчетная ветровая нагрузка для высоты 75м рядовой зоны фасада первого ветрового района для летнего периода:

- $q_y = 882,0 Па$

- $882,0 \triangleright 555,6$

Условие прочности не обеспечивается.

Производим расчет для первого ветрового района типа местности В, рядовой зоны фасада условного здания прямоугольной формы, эквивалентной высоты 15м.

Нормативное значение ветрового давления:

- $W_0 = 0,23 КПа$

Коэффициент, учитывающий изменение суммарной ветровой нагрузки:

- $K_g(Z_e) = 1,51$

Аэродинамический коэффициент:

- $C = -1,1$

Коэффициент корреляции ветровой нагрузки:

- $\nu = 1,0$

Нормативная ветровая нагрузка для рядовой зоны:

- $Q_y^n = W_0 \times K \times C \times \nu = 0,23 \times 1,51 \times 1,1 \times 1,0 = 0,382 (КПа)$

Расчетная ветровая нагрузка при коэффициенте надежности по нагрузке:

- $\gamma_f = 1,4$
- $q_y = Q_y^n \times \gamma_f = 382,0 \times 1,4 = 534,8 Н/м^2 (Па)$

Условие прочности облицовочных конструкций:

- $534,8 Па \triangleleft 555,6$

Условие прочности выполняется.

Область применения системы по несущей способности облицовочных конструкций представлена в таблице 9.

5. *Таблицы*

1. Область применения системы по несущей способности вертикальной направляющей

Расчетная схема направляющей – «трехпролетная балка», длина пролета 900мм.

Таблица 2

Ветровые районы	I	II	III	IV	V
	Эквивалентная высота здания, м				
Рядовая зона	75	75	75	75	75
Угловая зона	75	75	75	75	75

Расчетная схема направляющей – «двухпролетная балка», длина пролета 1250мм.

Таблица 3

Ветровые районы	I	II	III	IV	V
	Эквивалентная высота здания, м				
Рядовая зона	75	75	75	75	75
Угловая зона	75	75	75	55	25

2. Область применения системы по несущей способности соединения направляющей с выдвижной вставкой кронштейна

Для расчетных схем направляющей «двухпролетная балка» с длиной пролета 1250мм и «трехпролетная балка» с длиной пролета 900мм.

Таблица 4

Ветровые районы	I	II	III	IV	V
	Эквивалентная высота здания, м				
Рядовая зона	75	75	75	75	75
Угловая зона	75	75	75	75	75

3. *Область применения системы по несущей способности выдвижной вставки*

Для расчетных схем направляющей «двухпролетная балка» с длиной пролета 1250мм и «трехпролетная балка» с длиной пролета 900мм.

Таблица 5

Ветровые районы	I	II	III	IV	V
	Эквивалентная высота здания, м				
Рядовая зона	75	75	75	75	75
Угловая зона	75	75	75	75	75

4. Область применения системы по несущей способности прилегающей полки кронштейна с усилителем

Расчетная схема направляющей – «трехпролетная балка», длина пролета 900мм.

Таблица 6

Ветровые районы	I	II	III	IV	V
	Эквивалентная высота здания, м				
Рядовая зона	75	75	75	75	75
Угловая зона	75	75	65	30	15

Расчетная схема направляющей – «двухпролетная балка», длина пролета 1250мм.

Таблица 7

Ветровые районы	I	II	III	IV	V
	Эквивалентная высота здания, м				
Рядовая зона	75	75	75	50	30
Угловая зона	75	30	15	-	-

4. Область применения системы по несущей способности талрепа

Для расчетных схем направляющей «двухпролетная балка» с длиной пролета 1250мм и «трехпролетная балка» с длиной пролета 900мм.

Таблица 8

Ветровые районы	I	II	III	IV	V
	Эквивалентная высота здания, м				
Рядовая зона	75	75	75	75	75
Угловая зона	75	75	75	75	75

6. *Область применения системы по несущей способности облицовочной конструкции*

Таблица 9

Ветровые районы	I	II	III	IV	V
	Эквивалентная высота здания, м				
Рядовая зона	15	-	-	-	-
Угловая зона	15*	-	-	-	-

* При условии крепления камня дополнительной парой кляммеров.

Выводы:

1. Область применения системы ограничена несущей способностью кронштейна (таблица 6, 7) и облицовочной конструкции (таблица 9).

2. При проектировании объектов данные, приведенные в таблицах, могут рассматриваться только как приближенные и должны подтверждаться расчетами для каждого нового объекта.

Руководитель группы А.И. Сидоров

ПЕРЕЧЕНЬ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

1. СНиП 2.01.07- 85* Нагрузки и воздействия.

2. СНиП 11-23 – 81* Стальные конструкции.

3. МДС 20-1.2006 Временные рекомендации по назначению нагрузок и воздействий, действующих на многофункциональные высотные здания и комплексы в Москве.

4. Госстрой России. ФЦС. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. Фасадные теплоизоляционные системы с воздушным зазором. Рекомендации по составу и содержанию документов и материалов, представляемых для технической оценки пригодности продукции. Москва, 2004 г.