



**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«ЮКОН ИНЖИНИРИНГ»**

**ПРИЛОЖЕНИЯ Д, Е  
К СТАНДАРТУ ОРГАНИЗАЦИИ  
КОНСТРУКЦИЯ КАРКАСА НАВЕСНОЙ  
ФАСАДНОЙ СИСТЕМЫ «U-KON»**

Общие технические требования к производству, проектированию и монтажу

**СТО 71168565–001–2010**

**ТОМ 3**

**Расчет несущей способности элементов конструкции  
навесной фасадной системы «U-kon»  
Теплотехнический расчет ограждающих конструкций  
с навесными фасадными системами «U-kon»**

Дата введения 01.03.2010

Нижний Новгород  
2010

**ББК 38.762.2**  
**УДК 621.6**  
**К-65**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Приложение Д</b> (рекомендуемое). Расчет несущей способности элементов конструкции навесных фасадных систем «U-kon».....	3
1. Исходные данные.....	3
2. Нагрузки и воздействия.....	4
3. Расчетные схемы элементов каркаса.....	6
4. Сбор нагрузок.....	7
5. Расчет прочности и деформативности.....	7
5.1 Расчет вертикальных профилей.....	7
5.2 Расчет несущих кронштейнов.....	10
5.3 Расчет опорных кронштейнов.....	12
5.4 Расчет анкерного соединения.....	12
5.5 Расчет заклепочного соединения.....	14
5.6 Расчет горизонтального профиля.....	16
6. Справочные таблицы «U-kon».....	18
Таблица Д 6.1 Значения коэффициента $k$ для различных сочетаний кронштейнов и направляющих системы «U-kon».....	18
Таблица Д 6.2 Геометрические характеристики сечения профилей.....	19
<b>Приложение Е</b> (рекомендуемое). Теплотехнический расчет ограждающих конструкций с навесными фасадными системами «U-kon».....	27
1. Общие требования.....	27
2. Определение толщины теплоизоляционного слоя.....	27
3. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче конструкций с учетом теплопроводных включений.....	28
4. Расчет сопротивления воздухопроницанию.....	28
5. Расчет влажностного режима.....	29
6. Расчет условного приведенного сопротивления паропроницанию с учетом вертикальных и горизонтальных рустов между облицовочными панелями....	30
7. Определение параметров тепловлажностного режима и воздухообмена в воздушном зазоре.....	30
8. Пример теплотехнического расчета.....	33
8.1. Характеристика объекта.....	33
8.2. Расчет сопротивления теплопередаче, толщины теплоизоляционного слоя.....	33
8.3. Расчет сопротивления воздухопроницанию.....	40
8.4. Расчет влажностного режима.....	40
8.5. Определение параметров тепловлажностного режима и воздухообмена в воздушном зазоре.....	44
8.6. Библиографический список.....	49

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(рекомендуемое)

### РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ «U-KON»

Для предотвращения обрушения навесного фасада или изменения геометрии какой-либо его части под нагрузкой, несущая способность элементов системы и их количество должны подтверждаться прочностными расчетами.

При условии достаточной жесткости и прочности элементов облицовки и фасадного каркаса необходимо подтвердить несущую способность анкерного соединения кронштейнов в стене. Допускаемое значение вырывающего усилия принимают по результатам натурных испытаний на вырыв из стены образцов анкерных дюбелей.

#### 1. Исходные данные

1.1 Несущий каркас системы «U-kon» состоит из следующих основных элементов, несущую способность которых необходимо подтверждать расчетом:

- вертикальные и горизонтальные направляющие из алюминиевых сплавов;
- кронштейны несущие и опорные;
- анкерные элементы, крепящие кронштейны к стене;
- заклепочные соединения;
- крепежные элементы, удерживающие облицовку на направляющих.

1.2 Физико-механические свойства материалов, из которых изготавливаются направляющие и кронштейны даны в табл. Д 1.

1.3. Физико-механические свойства материалов, из которых изготавливаются стальные крепежные элементы (кляммеры) даны в табл. Д 2.

Материал и основные прочностные параметры заклёпок приведены в таблице Д 3.

#### Физико-механические свойства материалов, из которых изготавливаются направляющие и кронштейны

Таблица Д 1.

Материал	t, мм	Временное сопротивле ние $\sigma_b$ , МПа	Предел текучести $\sigma_y$ , МПа	$R_y = \frac{\sigma_y}{\gamma_m}$ , МПа	$R_u = \frac{\sigma_s}{\gamma_m * \gamma_u}$ МПа	$R_{cm} = R_u * 0.75$ МПа
сплав марки Al Mg Si 6060 <b>T6</b> по ГОСТ 22233-01	≤ 3	190	150	136	119	89
	от 3 до 25	170	140	127	107	80
сплав марки Al Mg Si 6060 <b>T66</b> по ГОСТ 22233-01	≤ 3	215	160	145	135	101
	от 3 до 25	195	150	136	122	92

**Примечание:**

Для получения расчетных характеристик материала, согласно СНиП 2.03.06-85

«Алюминиевые конструкции», использованы следующие коэффициенты:

- $\gamma_m = 1,1$  - коэффициент надежности по материалу;
- $\gamma_u = 1,45$  - коэффициент надежности для расчетного сопротивления, определяемого по временному сопротивлению.

**Физико-механические свойства стальных крепежных элементов (кляммеров)**

Таблица Д 2.

Тип конструкций	t, мм	Временное сопротивление, $\sigma_B$ , МПа	Предел текучести $\sigma_y$ , МПа	$R_y = \frac{\sigma_y}{\gamma_m}$ , МПа	$R_s = \frac{0.58R_{ym}}{\gamma_m}$ , МПа
Сталь 08Х18Н10	1-2	620	310	295	171

**Примечание:**

Для получения расчетных характеристик материала, согласно СНиП II-23-81\* «Стальные конструкции», использованы следующие коэффициенты:

- $\gamma_m = 1,05$  - коэффициент надежности по материалу;

**Прочностные параметры заклёпок**

Таблица Д 3.

Размер заклепки, мм	Разрушающее усилие на срез, кН	Разрушающее усилие на растяжение, кН	Диаметр сердечн, мм	Допускаемое усилие на срез, Н	Допускаемое усилие на растяжение, Н	Материал гильзы заклепки	Материал сердечника заклепки
5x12 К11	1.820-2.000	2.100-2.800	2,7	1150	1480	Alu AlMg3	коррозионно стойкая таль А2-№ 1.4541
5x14 К14	1.820-2.000	2.100-2.800	2,7	1150	1480	Alu AlMg3	коррозионно стойкая сталь А2-№ 1.4541
3x8	2.000-2.050	2.500-2.600	2,0	900	1100	Коррозионно стойкая сталь А2-№ 1.4567 или 1.4301	Коррозионно стойкая сталь А2-№ 1.4541

**Примечание:**

Допускаемые усилия на срез и растяжение приняты по ТС-2093-08 «Заклепки вытяжные "EFA" со стандартным и широким бортиком типа: А1/А2, А2/А2.

Геометрические характеристики несущих профилей и элементов даны в таблице Д 6.1

**2. Нагрузки и воздействия.**

2.1. При расчете следует учитывать следующие нагрузки и воздействия:

- собственный вес облицовочных панелей;
- ветровые нагрузки;
- нагрузки от двухстороннего обледенения облицовки;
- температурные и климатические воздействия; в особые нагрузки – сейсмические, взрывные, нагрузки, связанные с деформацией основания и т.д. (в случае необходимости).

2.2. Нагрузки от собственного веса элементов системы принимают по паспортным данным предприятий – изготовителей с учетом их возможного изменения в процессе расчетного срока эксплуатации.

2.3. Ветровые нагрузки принимают по п.6. СНиП 2.01.07-85\* и с учетом следующих положений для прямоугольных в плане зданий высотой до 150 м.

2.4. При проектировании несущих конструкций и элементов облицовки системы необходимо учитывать положительное ( $W_+$ ) и отрицательное ( $W_-$ ) воздействия ветровой нагрузки. В качестве расчетной ветровой нагрузки (нагрузка  $W_+$  или  $W_-$ ) принимают значение, реализующее наиболее неблагоприятный вариант нагружения.

2.5. Расчетное значение ветровой нагрузки определяют по формуле:

$$W_{\pm} = W_0 \cdot k_z(z) \cdot c_p \cdot \gamma_f \quad (1)$$

где:  $W_0$  – нормативное значение давления ветра, п.6.4. СНиП 2.01.07-85\*;  
 $k_z(z)$  – коэффициент, учитывающий динамические свойства несущих конструкций фасадного каркаса, а также изменения суммарной (средней и пульсационной составляющих) ветровой нагрузки по высоте  $z$  наветренной поверхности здания, принимается по табл. 3.1 Рекомендации ЦНИИСК им. Кучеренко, Москва 2004г. (см. табл. Д4 настоящего приложения);  
 $z$  – расстояние от поверхности земли, м;  
 $c_p$  – аэродинамический коэффициент давления (см. п.2.6);  
 $\gamma_f$  – коэффициент надежности по ветровой нагрузке, принимаемый равным 1,4.

#### Значения коэффициента $k_z(z)$ для местностей типа А и Б

Таблица Д4

Высота над поверхностью земли $z$ , м	Тип местности		Высота над поверхностью земли $z$ , м	Тип местности	
	А	В		А	В
5	1,50	1,09	80	2,90	2,54
10	1,76	1,34	85	2,95	2,59
15	1,94	1,51	90	2,99	2,63
20	2,07	1,65	95	3,03	2,68
25	2,19	1,77	100	3,07	2,72
30	2,29	1,87	105	3,11	2,77
35	2,37	1,96	110	3,14	2,81
40	2,45	2,04	115	3,18	2,85
45	2,52	2,12	120	3,21	2,89
50	2,59	2,19	125	3,24	2,93
55	2,65	2,25	130	3,28	2,96
60	2,71	2,32	135	3,31	3,00
65	2,76	2,38	140	3,34	3,04
70	2,81	2,43	145	3,37	3,07
75	2,86	2,49	150	3,39	3,10

2.6. Аэродинамический коэффициент давления для прямоугольных в плане зданий принимают равным:

- для определения положительного давления ветра ( $W_+$ )

$$c_p = + 1,0$$

- для определения отрицательного давления ветра ( $W_-$ )

$C_p = -2,0$  для угловых зон здания \*

$C_p = -1,1$  для остальной поверхности здания

\* - ширину угловой зоны здания принимают равной  $0,125$  длины здания, но не менее  $1,5$  м.

Нагрузку от обледенения при отсутствии фактических данных следует определять по формуле 13 СНиП 2.01.07-85\*

$$i = \gamma_f \cdot b \cdot k \cdot \mu_2 \cdot \rho \cdot g, \text{ Па} \quad (2)$$

где:  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по гололедной нагрузке, принимаемый равным  $1,3$ ;

$b$  – толщина наледи в мм, принимаемой по табл. 1 и 12 СНиП 2.01.07-85\*;

$k$  – коэффициент по табл. 13 СНиП 2.01.07-85\*;

$\mu_2$  – коэффициент, учитывающий форму обледенения; для двухстороннего равномерного обледенения  $\mu_2 = 0,6$ ;

$\rho$  – плотность льда, принимаемая  $0,9 \text{ г/см}^2$ ;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

2.7. Снеговую нагрузку следует учитывать при расчете выступающих или западающих участков экрана облицовки.

2.8. Температурные климатические воздействия следует учитывать, если в конструкциях не предусмотрена компенсация соответствующих деформаций (перемещений).

### 3. Расчетные схемы элементов каркаса

3.1. Определение усилий в направляющем профиле, несущем и опорном кронштейне осуществляется в совокупности из расчетной схемы в виде рамы, в которой несущий кронштейн представлен горизонтальным диском, направляющий профиль вертикальными дисками, а опорные кронштейны шарнирно подвижными опорами. Рис. 1.

Направления координатных осей приняты:

ось  $x$  - горизонтальная в плоскости стены;

ось  $y$  - горизонтальная по нормали к стене;

ось  $z$  - вертикальная в плоскости стены.

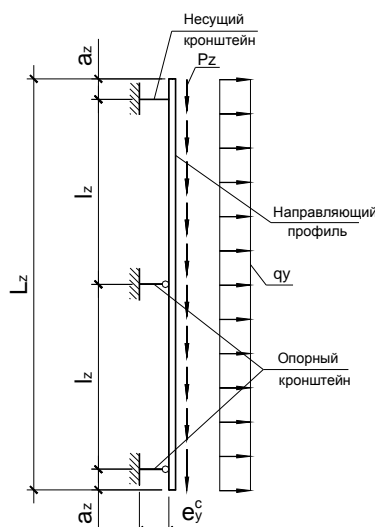


Рис. 1. Расчетная схема системы U-кон с двумя пролетами

Пролеты  $l_z$  в направлении оси «z» соответствуют шагам кронштейнов. К вертикальным профилям прикладывается вертикальная нагрузка от собственного веса (нагрузку от собственной массы профилей можно не учитывать), веса облицовочных плит и горизонтальная ветровая нагрузка.

#### 4. Сбор нагрузок

4.1. Расчет элементов каркаса выполняется на воздействие постоянных и временных нагрузок. В качестве постоянных принимается собственный вес облицовки, временных – гололедная и ветровая нагрузки.

4.2. Нагрузки по длине направляющей принимаются, как правило, равномерно распределенными на 1 м. п. профиля с ширины пролета (шаг направляющих по горизонтали).

4.3. Определение нагрузок рассмотрено в разделе 2 настоящих рекомендаций.

4.4. Ветровую нагрузку на конструкции при учете гололедной нагрузки следует принимать равной 25% от расчетной.

#### 5. Расчет прочности и деформативности

Усилия: изгибающие моменты, поперечные и продольные силы; прогибы определяются с использованием основных положений сопротивления материалов и строительной механики. Коэффициенты надежности по нагрузкам  $\gamma_f$ , а также единый коэффициент надежности по ответственности  $\gamma_n = 0,95$  принимаются по СНиП 2.01.07-85\*.

##### 5.1 Расчет вертикальных профилей.

Вертикальные профили воспринимают растягивающие нагрузки от веса облицовочных материалов и равномерно распределенные горизонтальные ветровые нагрузки. Расчет вертикальных направляющих следует проводить по I и II –ой группам предельных состояний.

5.1.1. Проверка нормальных напряжений в сечении направляющей на опоре по формуле:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{N_z}{A} = \frac{M_{qw}^o \pm M_p^o}{W_x} + \frac{N_z}{A} \leq R\gamma_c \quad (3)$$

где:  $M_{qw}^o$  – опорный момент от ветровой нагрузки, кНсм;

$M_p^o$  – опорный момент от веса облицовки, кНсм;

$N_z$  – растягивающее усилие от веса облицовки в рассматриваемом сечении, кН;

$W_x, A$  – геометрические характеристики сечения профиля по справочной таблице Д 6.1, (см<sup>3</sup>, см<sup>2</sup> – соответственно);

$R$  – расчетное сопротивление алюминия, кН/см<sup>2</sup> примечание табл. 4 СНиП 2.03.06-85

$\gamma_c$  – коэффициент условия работы, принимается равным 1,0 по п. 3.13 СНиП 2.03.06-85

5.1.2. Значения расчетных моментов и усилий в опорных сечениях направляющей определяют по формулам таблицы Д 5.

- для опорного сечения на несущем кронштейне:

$$\sigma = \frac{M_{AB}^p \pm M_{AB}^{qw}}{W} + \frac{N_{zAn}}{A} \leq R\gamma_c$$

- для опорного сечения на опорном кронштейне:

$$\sigma = \frac{M_B^p \pm M_B^{q_w}}{W} + \frac{N_{zB}}{A} \leq R\gamma_c$$

5.1.3. Проверка касательных напряжений в сечении направляющей на опоре определяется по формуле:

$$\tau = \frac{Q \cdot S_x}{I_x \cdot 2t_{cm}} \leq [R_s] \quad (4)$$

где:  $R_s = 0,6 R$  – расчетное сопротивление при сдвиге, кН/см<sup>2</sup> (табл.4 СНиП 2.03.06-85)

$S_x, I_x, t_{cm}$ , - геометрические характеристики сечения профиля по справочной таблице Д 6.2. (см<sup>3</sup>, см<sup>4</sup>, см – соответственно);

$Q$  – поперечное усилие в направляющей на средней опоре, наибольшее из:

- для опорного сечения на опорном кронштейне справа:

$$Q = R_C + q_w(l_z + a_z)$$

- для опорного сечения на опорном кронштейне слева:

$$Q = R_B + R_C + q_w(l_z + a_z)$$

5.1.4. Проверку устойчивости стенок направляющей, как правило, выполнять не требуется, при этом должно выполняться условие п. 6.3 СНиП 2.03.06-85:

$$\lambda_w = \frac{h_{ef}}{t} \sqrt{\frac{R}{E}} \leq 75 \left( 1 - 95 \frac{R}{E} \right) \sqrt{\frac{R}{E}}; \quad (5)$$

где:  $\lambda_w$  – условная гибкость стенки;

$h_{ef}$  – расчетная высота стенки в свету между полками, см;

$t$  – толщина стенки, см;

$E$  – модуль упругости алюминия,  $E = 0,7 \times 10^4$  кН/см<sup>2</sup>.

5.1.5. Проверка прогибов вертикальной направляющей выполняется по формуле:

$$f = f_1 + f_2^*, \quad (6)$$

где:  $f_1$  – прогиб от ветровой нагрузки, м;

$f_2$  – прогиб от собственного веса облицовочных плит, м.

**Формулы для определения расчетных моментов и усилий**  
(величина консолей  $a_z$  принята  $0,25l_z$  .)

Таблица Д 5.

Схема	Опорные реакции	Загружения	
		Вес $p_z$ , кН/м.п.	Ветер $q_w$ , кН/м.п.
	$N_{zB}$	$(l_z + a_z) \cdot p_z$	0
	$N_{zAл}$	$a_z \cdot p_z$	0
	$N_{zAп}$	$(L_z - a_z) \cdot p_z$	0
	$R_A$	$-\frac{30e_y^c(l_z + a_z)}{l_z(7l_z + 24e_y^c)} \cdot p_z$	$-q_w L_z - R_B - R_C$
	$R_B$	$-\frac{6}{5} \cdot R_A$	$-2q_w l_z \left( \frac{3,81kl_z + 13,87e_y^2}{7kl_z + 24a_z} \right)$
	$R_C$	$\frac{1}{5} \cdot R_A$	$\frac{-q_w l_z \cdot (5,6kl_z + 15e_y) + R_B(2kl_z + 6e_y)}{5kl_z + 12e_z}$
	$M_B$	$\frac{1}{5} R_A l_z$	$R_C l_z + 0,78q_w l_z^2$
	$M_C$	0	$0,031q_w l_z^2$
	$M_{AB}$	$-\frac{4}{5} R_A l_z$	$2,42q_w l_z^2 + R_B l_z + 2R_C l_z$
	$M_{AK}$	$M_{AB}$	$M_{AB} - 0,031q_w l_z^2$
$M_K$	$-\frac{4}{5} R_A l_z - p_z \cdot L \cdot e_y^c$	$M_{AK}$	

**Примечание:**

Значение коэффициента  $k$  в зависимости от применяемой направляющей и несущего кронштейна даны в таблице Д 6.1, настоящего приложения. Величину консолей  $a_z$  принимают не более  $0,2l_z$ .

$$f = \frac{0.013 \cdot q_w^n \cdot l_z^4}{EI} \leq [f] = \frac{l}{300} \quad - \quad \text{однопролетная балка} \quad (7)$$

$$f = \frac{0.0052 \cdot q_w^n \cdot l_z^4}{EI} \leq [f] = \frac{l}{300} \quad - \quad \text{двухпролетная балка} \quad (8)$$

$$f = \frac{0.00675 \cdot q_w^n \cdot l_z^4}{EI} \leq [f] = \frac{l}{300} \quad - \quad \text{(крайний пролет) трехпролетная балка} \quad (9)$$

$$f = \frac{0.0063 \cdot q_w^n \cdot l_z^4}{EI} \leq [f] = \frac{l}{300} \quad - \quad \text{(крайний пролет) четырехпролетная балка} \quad (10)$$

где:  $q_w^n$  – нормативное давление ветра, кН/см;  
 $l_z$  – пролет направляющей между опорами, см;  
 $I$  – момент инерции, см<sup>4</sup>.

- от собственного веса облицовочных плит

$$f = \frac{1}{16} p_z^n \cdot l_z \cdot e_y^p / EI \quad - \quad \text{для однопролетных балок} \quad (11)$$

$$f = \frac{1}{27} p_z^n \cdot l_z \cdot e_y^p / EI \quad - \quad \text{для многопролетных балок} \quad (12)$$

где:  $p_z^n$  – нормативный вес облицовки, кН/см.  
 $e_y^p$  – расстояние от ц.т. облицовки до ц.т. направляющего профиля, см.

\* **Примечание:** прогибом от собственного веса облицовочных плит ( $f_2$ ) можно пренебречь, как правило он не превышает 1% от предельного прогиба вызванного ветровой нагрузкой.

**5.2 Расчет несущих кронштейнов.**

Несущий кронштейн воспринимает растягивающие усилия и изгибающий момент от ветровой и весовой нагрузок и перерезывающее усилие от собственного веса облицовки. Расчет следует вести как для растянуто-изгибаемого стержня.

**5.2.1. Проверка нормальных напряжений**

$$\sigma = \frac{M}{W} + \frac{N_y}{A} \leq R \quad (13)$$

где:  $M$  – изгибающий момент в рассматриваемом сечении, кНсм;

$N_y = R_A$  – растягивающее усилие от суммы опорных реакций двух загружений при ветровом отсосе по таблице Д 4, кН;

$W_x, A$  – геометрические характеристики сечения профиля по справочной таблице Д 6.2, (см<sup>3</sup>, см<sup>2</sup> – соответственно);

$R$  – расчетное сопротивление алюминия по таблице Д 1, кН/см<sup>2</sup>.

в месте крепления кронштейна к стене:

$$\sigma = \frac{M_K^w + M_K^p}{W_{\text{брутто}}} + \frac{R_A^p + R_A^{q_w}}{A_{\text{брутто}}} \leq R$$

в месте крепления кронштейна к направляющей:

$$\sigma = \frac{M_{AK}^w + M_{AK}^q}{W_{\text{нетто}}} + \frac{R_A^p + R_A^{q_w}}{A_{\text{нетто}}} \leq R$$

где:  $W_{\text{брутто}}$ ,  $A_{\text{брутто}}$  – геометрические характеристики в сечении без отверстий, (см<sup>3</sup>, см<sup>2</sup> – соответственно);

$W_{\text{нетто}}$ ,  $A_{\text{нетто}}$  – геометрические характеристики в сечении с отверстиями, (см<sup>3</sup>, см<sup>2</sup> – соответственно).

5.2.2. Проверка касательных напряжений проводится по формуле (4) настоящего приложения.

$$\tau = \frac{Q \cdot S_x}{I_x \cdot 2t_{cm}} \leq [R_s]$$

где  $Q = N_{ZA} = N_{zAL} + N_{zAP}$

$S_x$ ,  $I_x$ ,  $t_{cm}$  – геометрические характеристики сечения полок кронштейна по справочной таблице Д 6.2, пункт 6, (см<sup>3</sup>, см<sup>4</sup>, см – соответственно);

$R_s = 0.6R$  – расчетное сопротивление при сдвиге, кН/см<sup>2</sup>.

5.2.3. Проверка устойчивости полок кронштейна

Для проверки кронштейна на устойчивость применяется следующая расчетная схема см. рисунок 2.

Проверку устойчивости полок кронштейна выполняют по формуле:

$$N_y \leq 2P_{кр} \quad (14)$$

где:  $N_y$  – усилие в кронштейне при ветровом напоре, кН.

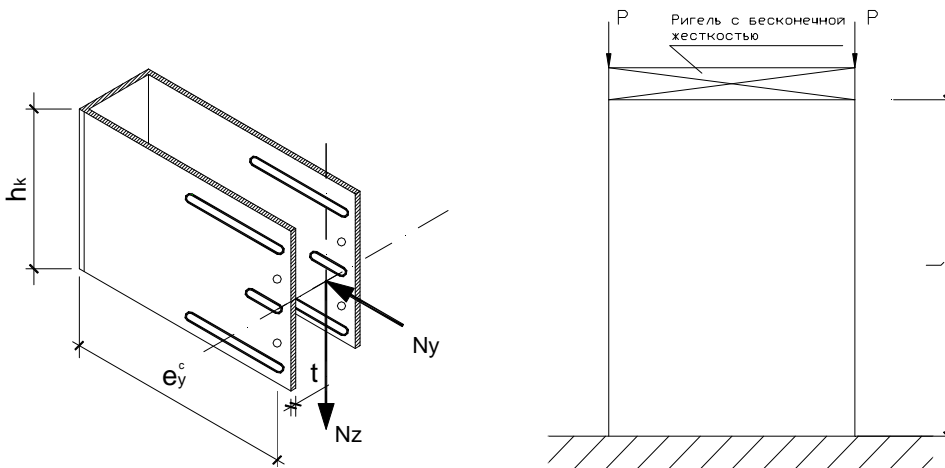


Рис. 2. Расчетная схема устойчивости кронштейна

Значение  $N_y$  определяют по формуле  $N_y = R_A^{nan} = R_A^p + R_A^{qw} \cdot (-\alpha)$

где:  $R_A^{nan}$  – опорная реакция в несущем кронштейне при ветровом напоре, кН;

$\alpha = \frac{1}{c_p}$  - коэффициент перехода к опорной реакции при ветровом напоре

$P_{кр} = \frac{9,86EI}{l^2}$  - предельно допустимая нагрузка.

где:  $l$  – вылет полок кронштейна, равный  $e_y^c$ , см;

$I$  – меньший момент инерции одной полки кронштейна, для сечения в середине ее длины, см<sup>4</sup>.

### 5.3 Расчет опорных кронштейнов.

Опорный кронштейн воспринимает только горизонтальные усилия от ветровых и весовых нагрузок. Наиболее нагруженным является кронштейн на средней опоре. Расчет следует вести как для (сжатого) растянутого стержня.

5.3.1. Проверка несущей способности сечения кронштейна:

$$\sigma = \frac{N_y}{A} = \frac{R_B^p + R_B^{qw}}{A} \leq R \quad (15)$$

где:  $N_y = R_B$  – растягивающее усилие от суммы опорных реакций двух загружений при ветровом отсосе по таблице Д 4;

$A$  – площадь сечения опорного кронштейна по справочной таблице Д 6.2, см<sup>2</sup>.

5.3.2. Проверка устойчивости полок кронштейна:

Расчет на устойчивость полок опорного кронштейна выполняют аналогично расчету на устойчивость полок несущего кронштейна по формуле 14 настоящего приложения.

### 5.4 Расчет анкерного соединения.

5.4.1. Для обеспечения прочности анкерного соединения необходимо подтвердить, что вырывающие усилие на анкерный элемент при ветровом отсосе не превышает расчетного вырывающего усилия -  $N_{расч}^{анк}$ , полученного по натурным испытаниям:

$$N_{анк} \leq N_{расч}^{анк} \quad (16)$$

5.4.2. Определение вырывающего усилия в анкерном соединении несущего кронштейна:

- для несимметричных кронштейнов Г-образной формы:

$$N_{анк}^{нес} = N_1 + N_2 + N_3 \quad (17)$$

Значение  $N_1$  определяют по формуле:

$$N_1 = \frac{N_y}{n} = (R_A^q + R_A^p) / n \quad (18)$$

где:  $N_y = R_A$  – горизонтальное растягивающее усилие от суммы опорных реакций двух загружений при ветровом отсосе по таблице Д 4, кН;

$n$  - количество анкерных элементов несущего кронштейна.

Значение  $N_2$  определяют по формуле:

$$N_2 = \frac{M_z}{z_a} = (M_{KA}^q + M_{KA}^p) / z_a \quad (19)$$

где:  $M_z$  - изгибающий момент у основания кронштейна в месте его заделки в стене, кНсм

$z_a$  - расчетное плечо рис. 3, 5, см;

Значение  $N_3$  определяют по формуле:

$$N_3 = \frac{12N_y(11 \cdot b_k / 12 - t_1 - t_2 / 2)}{5 \cdot b_k \cdot n} \quad (20)$$

где:  $b_k, t_1, t_2$  - геометрические параметры горизонтального сечения Г-образного кронштейна по рис. 4, см;

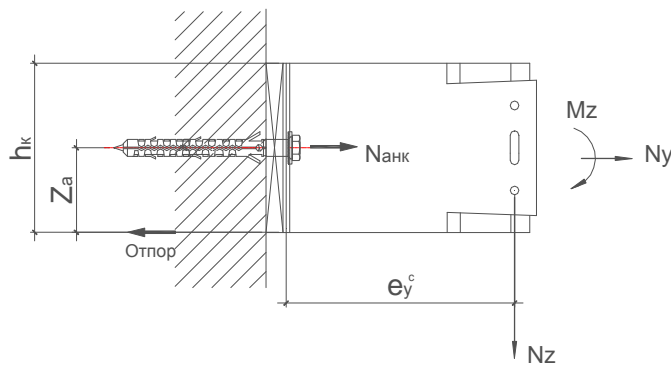


Рис. 3

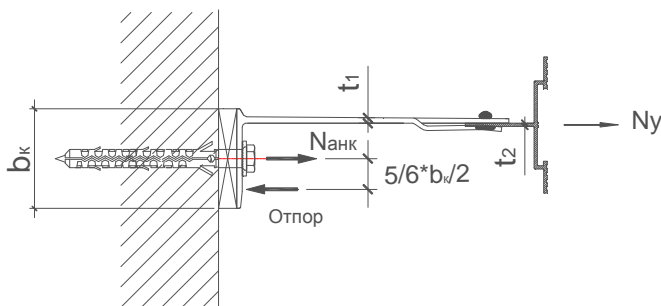


Рис. 4

- для симметричных кронштейнов П-образной формы:

$$N_{анк}^{нес} = N_1 + N_2 \quad (21)$$

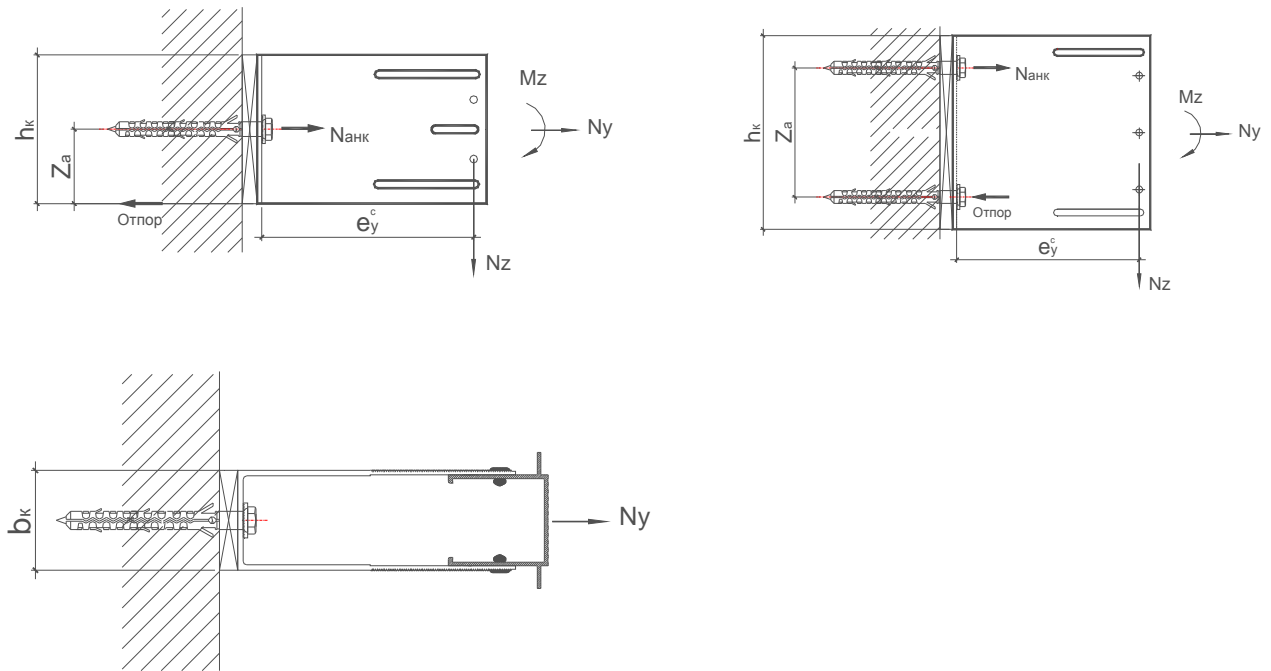


Рис. 5

5.4.3. Определение вырывающего усилия в анкерном соединении опорного кронштейна:

- для несимметричных кронштейнов Г-образной формы:

$$N_{\text{анк}}^{\text{он}} = \frac{12N_y(11 \cdot b_k / 12 - t_1 - t_2 / 2)}{5 \cdot b_k \cdot n} \quad (22)$$

- для симметричных кронштейнов П-образной формы:

$$N_{\text{анк}}^{\text{он}} = N_y \quad (23)$$

где:  $N_y = R_B = R_B^p + R_B^{q_w}$  - растягивающие усилие от суммы опорных реакций двух загружений при ветровом отсосе по таблице Д 5, кН.

### 5.5 Расчет заклепочного соединения.

5.5.1. Для обеспечения прочности заклепочного соединения необходимо подтвердить, что суммарное срезающее усилие на одну заклепку при ветровом отсосе не превышает допустимого срезающего усилия -  $N_{\text{дон}}^{\text{зак}}$ :

$$N_{\text{зак}} \leq N_{\text{дон}}^{\text{зак}} \quad (24)$$

5.5.2. Определение срезающего усилия на одну заклепку в несущем кронштейне:

$$N_{\text{зак}} = \sqrt{(N_1 + N_2)^2 + N_3^2} \quad (25)$$

Значение  $N_1$  определяют по формуле:

$$N_1 = \frac{N_y}{n} = (R_A^q + R_A^p) / n \quad (26)$$

где:  $N_y = R_A$  - растягивающее усилие от суммы опорных реакций двух загружений при ветровом отсосе по таблице Д 5, кН;  
 $n$  - количество заклепок несущего кронштейна воспринимающих ветровой

отсос;

$n = 4$  – для П-образных кронштейнов, без использования салазки АД-021, рис. 6;

$n = 6$  – для П-образных кронштейнов с использованием салазки АД-021, рис 7;

$n = 2$  – для Г-образных кронштейнов,

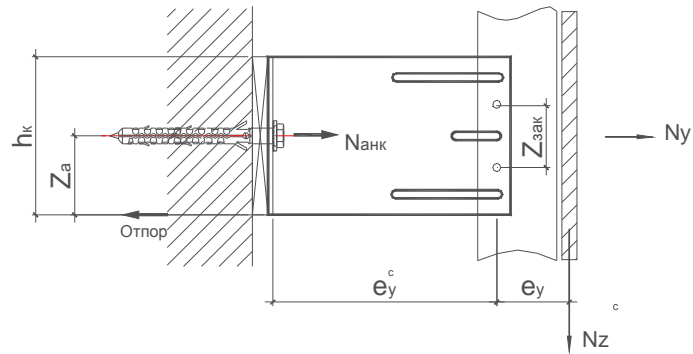


Рис. 6

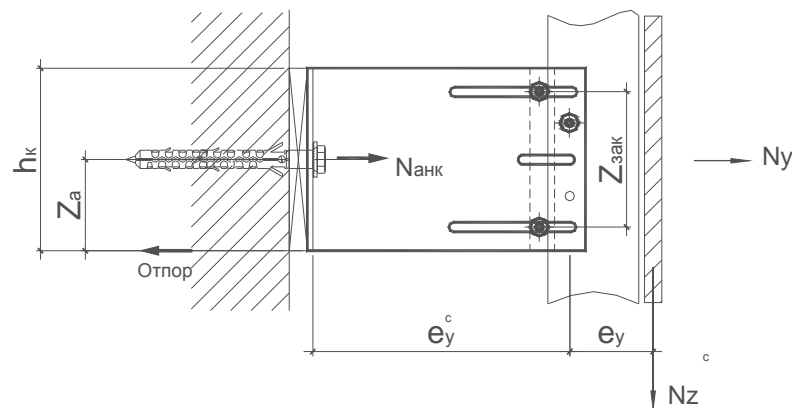


Рис. 7.

Значение  $N_2$  определяют по формуле:

$$N_2 = \frac{(M_{AK}^q + M_{AK}^p)}{n \cdot z_{зак}} \quad (27)$$

где:  $n$  - количество пар заклепок несущего кронштейна воспринимающих момент  $M_z$ ,

$n = 2$  – для П-образных кронштейнов,

$n = 1$  – для Г-образных кронштейнов,

$z_{зак}$  - расчетное плечо, рис. 6, 7, см;

Значение  $N_3$  определяют по формуле:

$$N_3 = N_z / n \quad (28)$$

где:  $N_z = N_{zA}$  - вертикальное усилие от собственного веса облицовки, кН;

$n$  - количество заклепок несущего кронштейна воспринимающих собственный вес облицовки,

$n = 4$  – для П-образных кронштейнов, без использования салазки АД-021, рис. 6;

$n = 2$  – для П-образных кронштейнов с использованием салазки АД-021, рис 7;

5.5.3. Определение срезающего усилия на одну заклепку в опорном кронштейне:

$$N_{зак}^{оп} = \frac{N_y}{n} \quad (29)$$

где:  $N_y = R_B = R_B^q + R_B^{q_w}$  - растягивающее усилие от суммы опорных реакций двух загрузений при ветровом отсосе по таблице Д 5, см;

$n$  - количество заклепок в опорном кронштейне;

$n = 2$  – для П-образных кронштейнов;

$n = 1$  – для Г-образных кронштейнов.

## 5.6 Расчет горизонтального профиля.

### Система АТС-316.

5.6.1. Проверка несущей способности сечения горизонтального профиля.

При однопролетной схеме крепления горизонтального профиля к вертикальным направляющим усилия от ветра, собственного веса и обледенения воспринимает сама плита, так как ее жесткость значительно выше жесткости профиля, и передает их в опорные зоны. В этом случае необходимо подтвердить только надежность заклепочного соединения в опорных зонах горизонтального профиля. Установка горизонтального профиля в пазы плит показана на рисунке 8.

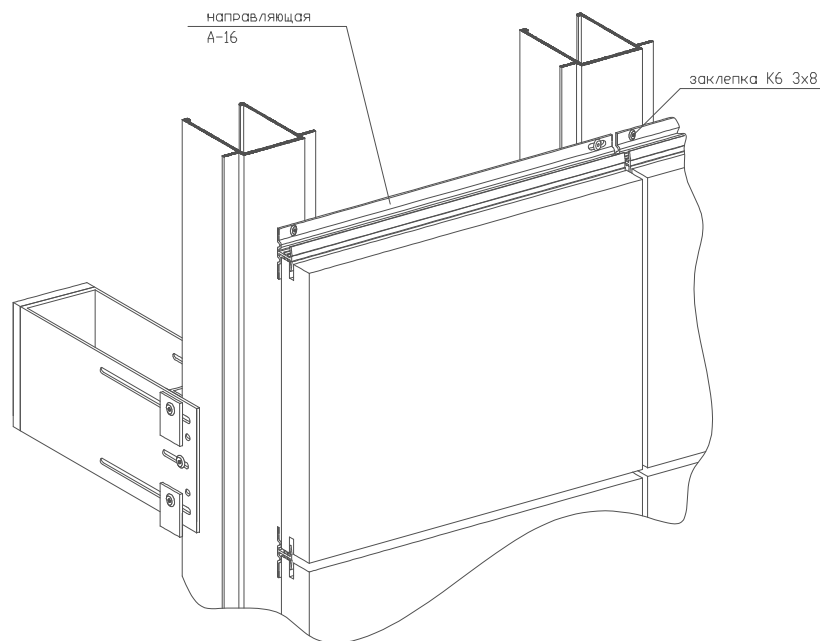


Рис. 8 .

При двух и более пролетных схемах опирания горизонтального профиля А-16.2 (А-16), его несущую способность следует определять по формуле:

$$\sigma = \frac{M_x}{W} + \frac{M_y}{W} \leq R,$$

Моменты в опорном сечении определяют по формуле:

$M_x = \frac{p_z \cdot B^2}{8}$  - для двухпролетной схемы опирания горизонтального профиля, расчетная схема дана на рисунке 9.

$M_x = \frac{p_z \cdot B^2}{10}$  - для трехпролетной схемы опирания горизонтального профиля

где:  $p_z$  - расчетная равномернораспределенная нагрузка от собственного веса облицовки, кН/см.

Соответственно :

$M_y = \frac{q_w \cdot B^2}{8}$  - для двухпролетной схемы опирания горизонтального профиля, расчетная схема дана на рисунке 9.

$M_y = \frac{q_w \cdot B^2}{10}$  - для трехпролетной схемы опирания горизонтального профиля

где:  $q_w$  - расчетная равномернораспределенная нагрузка от ветрового отсоса с поверхности облицовки, кН/см.

5.6.2. Принимая во внимание жесткость плит облицовки, проверку прогибов выполнять не требуется.

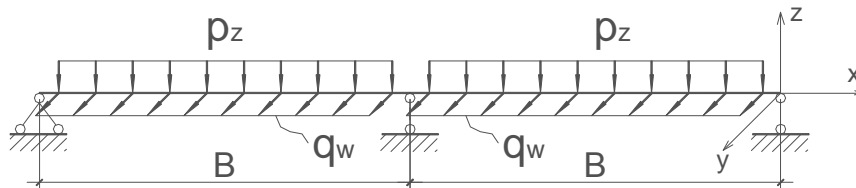


Рис. 9.

### 5.6.3. Проверка несущей способности заклепочного соединения

В местах опирания горизонтального профиля на вертикальные направляющие устанавливается одна алюминиевая заклепка 5x12 K11.

Для обеспечения прочности заклепочного соединения необходимо подтвердить, что расчетные усилия на срез и растяжение при ветровом отсосе в заклепке не превышают допустимых усилий -  $N_{дон}^{срез}$ ,  $N_{дон}^{раст}$  :

$$N_{раст} \leq N_{дон}^{раст},$$

$$N_{срез} \leq N_{дон}^{срез}$$

Усилия на растяжение определяют по формуле:  $N_{раст} = W_- \cdot h_n \cdot B$

где:  $W_-$  - расчетное значение ветровой нагрузки при отсосе.

$h_n$  - высота плиты

$B$  - шаг вертикальных направляющих

Усилия на срез определяют по формуле:  $N_{срез} = p_z \cdot B$ ,

где:  $p_z$  - расчетное значение равномернораспределенной нагрузки от собственного веса облицовки

## 6. Справочные таблицы «U-кон»

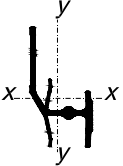
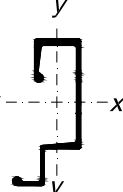
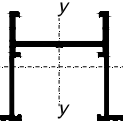
Таблица Д 6.1 Значения коэффициента  $k$  для различных сочетаний кронштейнов и направляющих системы «U-кон»

Марка направляющей	Значения коэффициента $k$ для несущих кронштейнов		
	АД - 033	АД - 031	АД - 148
А-01	7,937	2,315	-
А-04	5,029	1,467	-
А-10	-	-	2,283
А-14	4,870	1,421	-
А-24	7,154	2,087	-
А-30	6,192	1,806	-
А-30.1	1,33	0,388	-
А-30.2	0,735	0,214	-
А-30.5	0,736	0,215	-
А-30.8	0,387	0,113	-
А-30.10	0,287	0,084	-
А-39	-	-	0,562
А-46	7,556	2,204	-
А-46.1	1,071	0,312	-
А-47	-	-	1,570
А-47.1	-	-	1,815
А-54	-	-	1,372

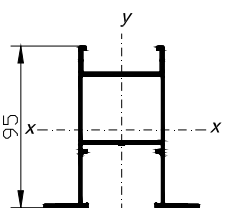
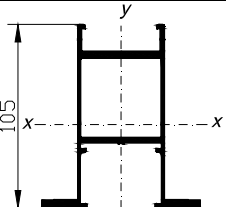
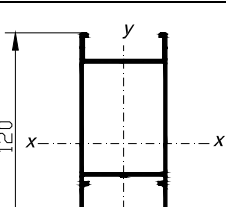
Таблица Д 6.2 Геометрические характеристики сечения профилей

№ п. п.	Направляющий профиль / элемент	Обозначение	Вес, кг/м	Площадь, мм <sup>2</sup>	Расчетная толщина стенок профиля, $t_{ст}$ , мм	Геометрические характеристики сечения профилей U-Коп									
						Момент инерции, см <sup>4</sup>		Момент сопротивления, см <sup>3</sup>				Статический момент, см <sup>3</sup>		Радиус инерции, см	
						Jx	Jy	Wx,max	Wx,min	Wy,max	Wy,min	Sx	Sy	ix	iy
1		<b>A- 01</b>	0,96	354,7	2	10,43	16,26	4,84	3,12	6,50	6,50	2,67	3,62	1,71	2,14
2		<b>A- 04</b>	1,16	427,6	2	16,81	25,35	6,20	6,02	5,57	5,57	3,90	4,89	1,98	2,43
3		<b>A- 14</b>	1,27	471,4	1,8	18,09	34,70	9,04	5,17	5,78	5,78	4,38	5,10	1,96	2,71
4		<b>A- 16</b>	0,42	154,4	1,5	2,01	0,51	0,77	0,77	0,89	0,51	0,67	0,41	1,14	0,57

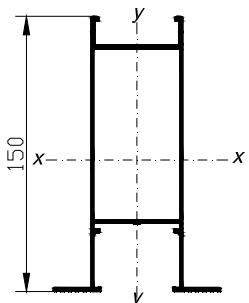
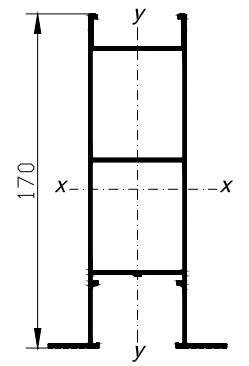
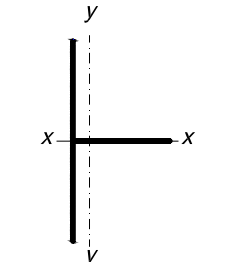
## Продолжение таблицы Д 6.2

№ п. п.	Направляющий профиль / элемент	Обозначение	Вес, кг/м	Площадь, мм <sup>2</sup>	Расчетная толщина стенок профиля, t <sub>ст</sub> , мм	Геометрические характеристики сечения профилей U-Коп									
						Момент инерции, см <sup>4</sup>		Момент сопротивления, см <sup>3</sup>				Статический момент, см <sup>3</sup>		Радиус инерции, см	
						Jx	Jy	Wx,max	Wx,min	Wy,max	Wy,min	Sx	Sy	ix	iy
5		<b>A- 16.2</b>	0,50	186,9	2,2	2,40	1,50	1,25	0,85	1,37	1,09	0,84	0,76	1,13	0,89
6		<b>A- 24</b>	0,99	368,1	2	12,28	19,67	6,47	3,41	5,25	5,25	2,99	4,04	1,83	2,31
7		<b>A- 28.3</b>	0,798	293,7	2	15,43	2,25	5,38	4,11	2,11	1,14	3,07	1,17	2,29	0,87
8		<b>A- 30</b>	1,20	444,4	1,8	13,90	25,43	5,21	4,90	5,59	5,59	3,53	4,95	1,77	2,39

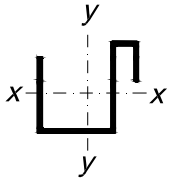
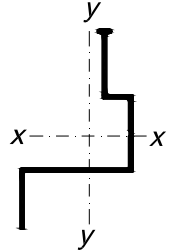
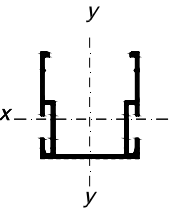
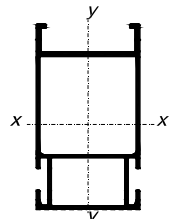
## Продолжение таблицы Д 6.2

№ п. п.	Направляющий профиль / элемент	Обозначение	Вес, кг/м	Площадь, мм <sup>2</sup>	Расчетная толщина стенок профиля, t <sub>ст</sub> , мм	Геометрические характеристики сечения профилей U-Коп									
						Момент инерции, см <sup>4</sup>		Момент сопротивления, см <sup>3</sup>				Статический момент, см <sup>3</sup>		Радиус инерции, см	
						Jx	Jy	Wx,max	Wx,min	Wy,max	Wy,min	Sx	Sy	ix	iy
9		<b>A-30.1</b>	1,88	698,5	1,8	66,24	37,85	14,50	13,45	8,31	8,31	9,46	7,56	3,08	2,33
10		<b>A-30.2</b>	2,64	981,26	2	119,25	56,31	25,0	20,79	12,37	12,37	15,26	10,79	3,49	2,39
11		<b>A-30.5</b>	2,06	764,1	1,8	119,7	42,86	21,35	18,74	9,42	9,42	13,49	8,52	3,96	2,37

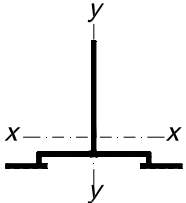
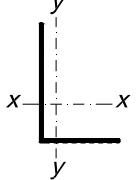
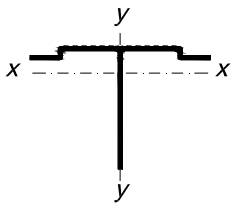
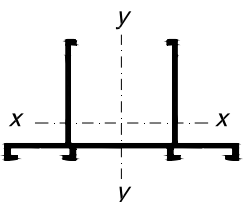
## Продолжение таблицы Д 6.2

№ п. п.	Направляющий профиль / элемент	Обозначение	Вес, кг/м	Площадь, мм <sup>2</sup>	Расчетная толщина стенок профиля, t <sub>ст</sub> , мм	Геометрические характеристики сечения профилей U-Коп									
						Момент инерции, см <sup>4</sup>		Момент сопротивления, см <sup>3</sup>				Статический момент, см <sup>3</sup>		Радиус инерции, см	
						Jx	Jy	Wx,max	Wx,min	Wy,max	Wy,min	Sx	Sy	ix	iy
12		<b>A- 30.8</b>	2,41	895,4	1,8	227,3	49,55	31,71	29,04	10,89	10,89	20,5	9,95	5,04	2,35
13		<b>A- 30.10</b>	2,79	1029,4	1,8	307,2	54,9	37,98	34,48	12,07	12,07	24,79	11,19	5,46	2,31
14		<b>A- 39</b>	0,78	289,8	2	16,06	5,78	3,21	3,21	6,27	1,42	2,50	1,65	2,35	1,41

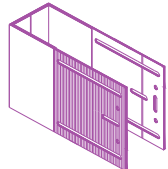
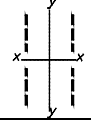
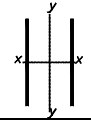
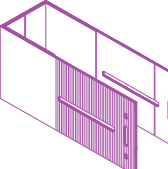
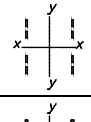
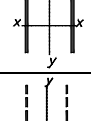
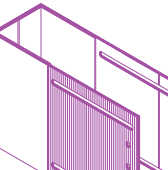
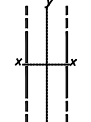
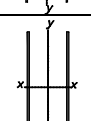
Продолжение таблицы Д 6.2

№ п. п.	Направляющий профиль / элемент	Обозначение	Вес, кг/м	Площадь, мм <sup>2</sup>	Расчетная толщина стенок профиля, t <sub>ст</sub> , мм	Геометрические характеристики сечения профилей U-Коп									
						Момент инерции, см <sup>4</sup>		Момент сопротивления, см <sup>3</sup>				Статический момент, см <sup>3</sup>		Радиус инерции, см	
						Jx	Jy	Wx,max	Wx,min	Wy,max	Wy,min	Sx	Sy	ix	iy
15		<b>A-42</b>	0,66	215,8	1,8	3,21	4,32	2,04	1,58	2,24	2,22	1,18	1,41	1,22	1,41
16		<b>A-43</b>	0,67	257,3	1,8	11,74	6,56	3,09	2,69	3,75	2,39	2,39	1,78	2,14	1,60
17		<b>A-46</b>	0,99	372,9	1,8	11,66	15,60	5,74	3,36	6,24	6,24	2,89	3,66	1,77	2,05
18		<b>A-46.1</b>	1,98	740,7	1,8	82,27	28,81	17,95	15,19	11,52	11,52	11,20	6,81	3,33	1,97

## Продолжение таблицы Д 6.2

№ п. п.	Направляющий профиль / элемент	Обозначение	Вес, кг/м	Площадь, мм <sup>2</sup>	Расчетная толщина стенок профиля, t <sub>ст</sub> , мм	Геометрические характеристики сечения профилей U-Коп									
						Момент инерции, см <sup>4</sup>		Момент сопротивления, см <sup>3</sup>				Статический момент, см <sup>3</sup>		Радиус инерции, см	
						Jx	Jy	Wx,max	Wx,min	Wy,max	Wy,min	Sx	Sy	ix	iy
19		<b>A-47</b>	0,67	248,0	1,8	5,86	7,56	4,37	1,41	2,02	2,02	1,56	1,57	1,54	1,75
20		<b>A-47.1</b>	0,42	157,1	1,8	5,07	1,75	2,87	1,36	2,32	0,62	1,25	0,69	1,80	1,06
21		<b>A-54</b>	0,70	258,9	1,8	6,41	8,79	5,32	1,49	2,20	2,20	1,66	1,68	1,57	1,84
22		<b>A-55</b>	1,27	471,2	2	12,62	41,56	3,33	7,46	7,88	7,88	3,29	6,38	1,64	2,96

Продолжение таблицы Д 6.2

№ п. п.	Направляющий профиль / элемент	Обозначение	Вес, кг/м	Площадь, мм <sup>2</sup>	Расчетная толщина стенок профиля, t <sub>ст</sub> , мм	Геометрические характеристики сечения профилей U-коп									
						Момент инерции, см <sup>4</sup>		Момент сопротивления, см <sup>3</sup>				Статический момент, см <sup>3</sup>		Радиус инерции, см	
						J <sub>x</sub>	J <sub>y</sub>	W <sub>x,max</sub>	W <sub>x,min</sub>	W <sub>y,max</sub>	W <sub>y,min</sub>	S <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>	i <sub>x</sub>	i <sub>y</sub>
23		<b>АД- 031</b>		236,8	2	25,7	16,0	5,14	5,14	5,93	5,93	3,61	3,08	3,29	2,60
				600,0	3	50,0	40,6	10,00	10,00	14,77	14,77	7,50	7,80	2,89	2,60
24		<b>АД- 032</b>		118,4	2	5,3	8,0	1,75	1,75	2,97	2,97	1,18	1,54	2,11	2,60
				360,0	3	10,8	24,4	3,60	3,60	8,86	8,86	2,70	4,68	1,73	2,60
25		<b>АД- 033</b>		496,0	2	88,1	33,5	11,74	11,74	12,42	12,42	9,01	6,45	4,21	2,60
				900,0	3	168,8	60,9	22,50	22,50	22,15	22,15	16,88	11,70	4,33	2,60

## Продолжение таблицы Д 6.2

№ п. п.	Направляющий профиль / элемент	Обозначение	Вес, кг/м	Площадь, мм <sup>2</sup>	Расчетная толщина стенок профиля, t <sub>ст</sub> , мм	Геометрические характеристики сечения профилей U-коп									
						Момент инерции, см <sup>4</sup>		Момент сопротивления, см <sup>3</sup>				Статический момент, см <sup>3</sup>		Радиус инерции, см	
						J <sub>x</sub>	J <sub>y</sub>	W <sub>x,max</sub>	W <sub>x,min</sub>	W <sub>y,max</sub>	W <sub>y,min</sub>	S <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>	i <sub>x</sub>	i <sub>y</sub>
26		<b>АД-034</b>		1075	3	350	75,6	35	35	27	27	26,19	14,18	5,71	2,65
				1800	4,5	601	129,4	60,1	60,1	44,6	44,6	45,08	24,12	5,77	2,68

**ПРИЛОЖЕНИЕ Е**  
**(рекомендуемое)**

**ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ  
С НАВЕСНЫМИ ФАСАДНЫМИ СИСТЕМАМИ «U-KON»**

**1. Общие требования**

Методика теплотехнического расчета базируется на требованиях СТО 17532043-001-2005, СП 23-101-2004.

Теплотехнический расчет наружных стен с вентилируемой прослойкой включает в себя:

- выбор материала, расчет и подбор толщины теплоизоляционного слоя;
- расчет сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции;
- расчет сопротивления воздухопроницанию;
- расчет влажностного режима, определение условного приведенного сопротивления паропроницанию экранов с учетом швов-зазоров между панелями-экранами;
- определение параметров тепловлажностного режима и воздухообмена в прослойке.

**2. Определение толщины теплоизоляционного слоя**

2.1. По температуре внутреннего воздуха, преобладающих помещений здания и его назначения, и средней температуре отопительного периода в зависимости от назначения здания и его продолжительности определяют градусо-сутки отопительного периода по формуле:

$$ГСОП = (t_{в} - t_{ом}) z_{ом}, \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{сут} \quad (1)$$

где  $t_{в}$  - расчетная средняя температура внутреннего воздуха помещений здания,  $^\circ\text{C}$ ;  
 $t_{ом}$ ,  $z_{ом}$  - средняя температура,  $^\circ\text{C}$ , и продолжительность, сут, отопительного периода.

2.2. По ГСОП определяют требуемое приведенное сопротивление теплопередаче по СНиП 23-02-2003, СП 23-101-2004.

2.3. Толщину теплоизоляционного слоя определяют методом последовательных приближений по формуле:

$$\delta_{ум} = \left( \frac{R_o^{mp}}{r} - \frac{\delta_{кк}}{\lambda_{кк}} - \frac{1}{\alpha_{в}} - \frac{1}{\alpha_{н}} \right) \cdot \lambda_{ум}, \text{ м} \quad (2)$$

где  $\alpha_{в}$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ , принимаемый по таблице 4 СТО 17532043-001-2005;

$\alpha_{н}$  - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ , принимаемый по таблице 5 СТО 17532043-001-2005;

$R_o^{mp}$  - требуемое приведенное сопротивление теплопередаче стен,  $(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{Вт}$ ;

$r$  - коэффициент теплотехнической однородности;

$\delta_{ум}$  - толщина теплоизоляционного слоя, м;

$\lambda_{ум}$  - коэффициент теплопроводности утеплителя,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ;

$\delta_{кк}$  - толщина конструктивного слоя, м;

$\lambda_{кк}$  - коэффициент теплопроводности конструктивного слоя,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ .

2.4. При определении коэффициента теплотехнической однородности, используемого в формуле (2), требуется знать толщину утеплителя. Поэтому расчет делают в несколько шагов. На первом шаге в формуле (2) принимают  $r = 1$ . На следующем шаге  $r$  уточняют

для толщины утеплителя, полученной на предыдущем шаге. Значения коэффициента теплотехнической однородности для ограждающих конструкций с НФС «U-kon» принимаются по данным производителя.

### 3. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче конструкций с учетом теплопроводных включений

3.1. Сопротивление теплопередаче  $R_o$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , ограждающей конструкции следует определять по формуле:

$$R_o = \frac{1}{\alpha_e} + R_k + \frac{1}{\alpha_n}, (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт} \quad (3)$$

где  $R_k = \sum R_i$  - термическое сопротивление конструктивных слоев ограждающей конструкции,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ ,  $R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}$  - термическое сопротивление  $i$ -го конструктивного слоя;  $\alpha_e, \alpha_n$  - то же, что и в формуле (2).

При определении  $R_k$  слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, не учитываются.

3.2. Приведенное сопротивление теплопередаче  $R_o$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , неоднородных по площади ограждающих конструкций определяют по формуле:

$$R_o = F / \sum_{i=1}^m (F_i / R_{o,i}), (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт} \quad (4)$$

где  $F_i$ ,  $R_{o,i}$  - соответственно площадь  $i$ -го участка характерной части ограждающей конструкции,  $\text{м}^2$  и его приведенное сопротивление теплопередаче,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ ;

$F$  - общая площадь конструкции, равная сумме площадей отдельных участков,  $\text{м}^2$ ;

$m$  - число участков ограждающей конструкции с различным приведенным сопротивлением теплопередаче

3.3. Допускается приведенное сопротивление теплопередаче  $R_o$  наружных стен зданий определять по формуле:

$$R_o = R_o^{ycl} \cdot r, (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт} \quad (5)$$

где  $R_o^{ycl}$  - сопротивление теплопередаче наружных стен без учета теплопроводных включений,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ ;

$r \leq 1$  - расчетный коэффициент теплотехнической однородности.

### 4. Расчет сопротивления воздухопроницанию

4.1. Сопротивление воздухопроницанию ограждающей конструкции, за исключением заполнений проемов (окон, балконных дверей, фонарей), зданий и сооружений  $R_u$  должно быть не менее требуемого сопротивления воздухопроницанию  $R_u^{mp}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{кг}$ .

4.2. Требуемое сопротивление воздухопроницанию согласно СТО 17532043-001-2005 определяется по формуле:

$$R_u^{mp} = \frac{\Delta p}{G^h}, (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{кг} \quad (6)$$

где  $G^h$  - нормативная воздухопроницаемость ограждающей конструкции,  $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ ,

принимаемая по таблице 11 СТО 17532043-001-2005;

$\Delta p$  - разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па, определяемая по формуле:

$$\Delta p = 0,55H(\gamma_n - \gamma_e) + 0,03\gamma_n v^2; \text{Па} \quad (7)$$

где  $H$  - высота здания (от поверхности земли до верха карниза), м;  
 $v$  - максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16% и более, м/с, принимаемая согласно СНиП 23-01-99\*;  
 $\gamma_n, \gamma_e$  - удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м<sup>3</sup>, определяемый по формуле:

$$\gamma = \frac{3463}{273+t}, \text{Н/м}^3 \quad (8)$$

где  $t$  - температура воздуха, °С: внутреннего (для определения  $\gamma_e$ ), наружного (для определения  $\gamma_n$ ).

4.3. Сопротивление воздухопроницанию многослойной ограждающей конструкции  $R_u$ , (м<sup>2</sup>·ч·Па)/кг, определяются по формуле:

$$R_u = R_{u1} + R_{u2} + \dots + R_{un}, \text{(м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)/кг} \quad (9)$$

где  $R_{u1}, R_{u2}, \dots, R_{un}$  -сопротивления воздухопроницанию отдельных слоев ограждающей конструкции, (м<sup>2</sup>·ч·Па)/кг, принимаемые по приложению 9 СТО 17532043-001-2005.

## 5. Расчет влажностного режима

5.1. Влажностный режим наружных стен может определяться двумя методами. По СП 23-101-2004 и исходя из баланса влаги в годовом цикле.

5.2. Определение влажностного режима наружных стен в годовом цикле проводится в следующей последовательности:

- определяются исходные данные для расчета;
- определяются сопротивления паропроницанию слоев конструкции наружной стены, параметры внутреннего и наружного воздуха;
- определяется приток и отток влаги (пара) к рассматриваемому сечению по формулам:

$$\Delta P_1 = \frac{e_e - e_\tau}{R_{ВП}} \text{ и } \Delta P_2 = \frac{e_\tau - e_n}{R_{ОП} - R_{ВП}}, \text{Г/(м}^2\cdot\text{ч)} \quad (10)$$

где:  $e_e, e_n$  – упругость водяного пара внутреннего и наружного воздуха, Па;  
 $e_\tau$  – то же, в рассматриваемом сечении, Па;

$$e_\tau = e_e - \frac{e_e - e_n}{R_{ОП}} \Sigma R_{Псл}, \text{Па} \quad (11)$$

где  $R_{ВП}$  – сопротивление паропроницанию от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации, (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг;

$\Sigma R_{Псл}$  – сумма сопротивлений паропроницанию слоев до рассматриваемого сечения, (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг;

$R_{ОП}$  – сопротивление паропроницанию всей стены, (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг.

По указанным формулам определяются упругости водяного пара  $e_i$  в характерных сечениях конструкции за годовой цикл.

Если  $e_t$  превышает максимальную упругость водяного пара  $E_t$ , то в данном сечении возможно образование конденсата.

## 6. Расчет условного приведенного сопротивления паропрооницанию с учетом вертикальных и горизонтальных рустов между облицовочными панелями.

6.1. Условное сопротивление паропрооницанию в стыковых рустах определяется по формуле:

$$R'_{П.Н.} = \frac{\delta_э}{\eta_{ш}/\Sigma\xi_{ш}}, \text{ (м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)/мг} \quad (12)$$

где  $\eta_{ш} = 6,5 \text{ г/ (м}\cdot\text{ч}\cdot\text{мм рт. ст.)} = 48,762 \text{ мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$ ;

$\Sigma\xi_{ш}$  – местные сопротивления проходу воздуха;

$\delta_э$  – толщина экрана, м.

6.2. Сопротивление паропрооницанию панелей по глади определяется по формуле:

$$R_{П.Н.}^{2л} = \frac{\delta_{обл}}{\mu_{обл}}, \text{ (м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)/мг} \quad (13)$$

где  $\mu_э$  – коэффициент паропрооницаемости панели по СП 23-101-2004 или данным производителя, мг/(м·ч·Па)

6.3. Приведенное условное сопротивление паропрооницанию панелей с учетом рустов  $R_{П.Н.}^{np}$  определяется по формуле:

$$R_{П.Н.}^{np} = \frac{A}{\frac{A_{2л}}{R_{П.Н.}^{2л}} + \frac{A'}{R'_{П.Н.}}}, \text{ (м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)/мг} \quad (14)$$

где  $A$  – общая площадь расчетного участка стены, м<sup>2</sup>;

$A_{2л}$  – площадь глухих участков стены, м<sup>2</sup>;

$A'$  – площадь стыковых швов (рустов) между элементами облицовки, м<sup>2</sup>;

$R_{П.Н.}^{2л}$  – сопротивление паропрооницанию облицовочного слоя, (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг;

$R'_{П.Н.}$  – условное сопротивление стыковых швов (рустов) между элементами облицовки, (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг.

## 7. Определение параметров тепловлажностного режима и воздухообмена в воздушном зазоре

7.1. Движение воздуха в прослойке осуществляется за счет гравитационного (теплого) и ветрового напоров. В случае расположения приточных и вытяжных отверстий на разных стенах скорость движения воздуха в прослойке  $V_{np}$  определяется по формуле:

$$V_{np} = \sqrt{\frac{\kappa(\kappa_n - \kappa_3)V_n^2 + 0,08h(t_{np} - t_n)}{\Sigma\xi}}, \text{ м/с} \quad (15)$$

где  $\kappa_n$ ,  $\kappa_3$  – аэродинамические коэффициенты на разных стенах здания, по СНиП 2.01.07-85\*;

$V_n$  – скорость ветра, м/с;

$\kappa$  – коэффициент учета изменения скорости потока по высоте, по СНиП 2.01.07-85\*;

$h$  – разность высот от входа воздуха в прослойку до ее выхода из нее, м;

$t_{np}$ ,  $t_n$  – средняя температура воздуха в прослойке и температура наружного

воздуха, °С;

$\Sigma\xi$  - сумма коэффициентов местных сопротивлений (определяется сложением аэродинамических сопротивлений).

7.2. При расположении приточных и вытяжных отверстий воздушной прослойки на одной стороне здания, принимается  $\kappa_n = \kappa_3$  и формула (15) упрощается:

$$V_{np} = \sqrt{\frac{0,08h(t_{np} - t_n)}{\Sigma\xi}}, \text{ м/с} \quad (16)$$

7.3. Средняя температура воздуха в воздушном зазоре определяется по формуле:

$$t_{np} = \frac{\frac{t_e}{R_e + \frac{1}{\alpha_{np}}} + \left[ \frac{1}{R_n + \frac{1}{\alpha_{np}}} + c \cdot \gamma_{np} \cdot \frac{\delta_{np}}{h} \cdot V_{np} \right] \cdot t_n}{\frac{1}{R_e + \frac{1}{\alpha_{np}}} + \frac{1}{R_n + \frac{1}{\alpha_{np}}} + c \cdot \gamma_{np} \cdot \frac{\delta_{np}}{h} \cdot V_{np}}, \text{ °С} \quad (17)$$

где  $t_e, t_n$  – температура соответственно внутреннего и наружного воздуха, °С;

$c = 1005$  – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°С);

$\gamma_{np} = 353/(273+t_{np})$  – средняя плотность воздуха в воздушной прослойке, кг/м<sup>3</sup>;

$\delta_{np}$  – ширина воздушного зазора, м;

$R_e$  – термическое сопротивление от внутреннего воздуха до воздушной прослойки, (м<sup>2</sup>·°С)/Вт,  $R_e = R_o$ ;

$R_n = 1/\alpha_{np} + R_{об} + 1/\alpha_n$ , (м<sup>2</sup>·°С)/Вт;

$R_{об}$  – термическое сопротивление облицовочного слоя, (м<sup>2</sup>·°С)/Вт;

$\alpha_{np}$  – коэффициент теплообмена в воздушной прослойке, Вт/(м<sup>2</sup>·°С) определяется по формуле:

$$\alpha_{np} = \alpha_\kappa + \alpha_\lambda, \text{ Вт/(м}^2\text{·°С)} \quad (18)$$

$$\alpha_\kappa = 7,34(V_{np})^{0,656} + 3,78 \exp(-1,91V_{np}); \text{ Вт/(м}^2\text{·°С)} \quad (19)$$

$$\alpha_\lambda = \frac{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} - \frac{1}{c}}{t_1 - t_2} \cdot \left[ \frac{t_1 + 273}{100} \right]^4 - \left[ \frac{t_2 + 273}{100} \right]^4; \text{ Вт/(м}^2\text{·°С)} \quad (20)$$

Здесь величина  $\frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} - \frac{1}{c}}$  представляет собой интенсивность излучения системы

двух серых тел с параллельными поверхностями излучения, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>).

7.4. Температура и скорость движения воздуха в вентилируемом зазоре находятся методом итераций. Определяется температура воздуха в зазоре по заданным значениям скорости воздуха и коэффициента теплообмена. Затем определяется скорость движения воздуха в зазоре при полученной температуре и коэффициент теплообмена при полученной температуре и скорости движения воздуха. Далее определяется температура воздуха в зазоре при скорости движения воздуха, полученной на предыдущем шаге итерации. Шаги итераций продолжаются пока разница между значениями скоростей движения воздуха и коэффициента теплообмена в зазоре на соседних шагах не станет меньше 5%. В результате расчета находится температура, скорость движения воздуха в воздушном вентилируемом зазоре и коэффициент теплообмена  $\alpha_{np}$ .

7.5. Расход воздуха в прослойке определяется по формуле:

$$W = V_{np} \cdot 3600 \cdot \delta_{np} \cdot \gamma_{np}, \text{ кг/(м} \cdot \text{ч)} \quad (21)$$

7.6. Действительная упругость водяного пара на выходе из прослойки определяется по формуле:

$$e_y = \frac{(M_в \cdot e_в + M_н \cdot e_н) + [e_o(M_в + M_н) - (M_в \cdot e_в + M_н \cdot e_н)] \cdot \exp^{-[(M_в + M_н)h_y/WB]}}{M_в + M_н}, \text{ Па} \quad (22)$$

где  $M_в$  и  $M_н$  – коэффициенты массопередачи, мг/м<sup>2</sup>·ч·Па равны соответственно:

$$M_в = \frac{1}{\Sigma R_{II}}; \quad M_н = \frac{1}{\Sigma R_{II.H}}, \text{ мг/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)} \quad (23)$$

$R_{II}$  и  $R_{II.H}$  – сумма сопротивлений паропрооницанию от внутренней поверхности до воздушной прослойки и от воздушной прослойки до наружной поверхности, (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг;

$e_в$  и  $e_н$  – действительная упругость водяного пара с внутренней стороны стены и снаружи, Па;

$e_o$  – упругость водяного пара воздуха, входящего в прослойку, Па;

$h_y$  – расстояние между рустами, служащими для поступления воздуха, м;

$W$  – расход воздуха в прослойке, кг/(м. п·ч);

$$B = \frac{1,058}{1 + t_{np}/273} \quad (24)$$

где  $t_{np}$  – средняя температура воздуха в воздушном зазоре по формуле(17), °С.

Полученная по формуле (22) величина упругости водяного пара на выходе из прослойки  $e_y$  должна быть меньше максимальной упругости водяного пара  $E_y$ .

## 8. Пример теплотехнического расчета

### 8.1. Характеристика объекта.

Офисное здание торгового центра «Меркадо».

Адрес: г. Нижний Новгород. Пл. Комсомольская.

Высота здания - 32,32 м.

Конструкция: кирпичная кладка из силикатного кирпича, толщиной 0,25 м, оштукатуренная изнутри сложным раствором, толщиной 0,02 м.

Теплоизоляционный слой: ROCKWOOL ВЕНТИ БАТТС,  $\rho = 80 \text{ кг/м}^3$

Навесная фасадная система «U-коп» АТС-234 с облицовкой керамогранитом 600\*600, ширина руста между облицовочными панелями - 8 мм, количество кронштейнов на  $1 \text{ м}^2$  - 1,66 шт.

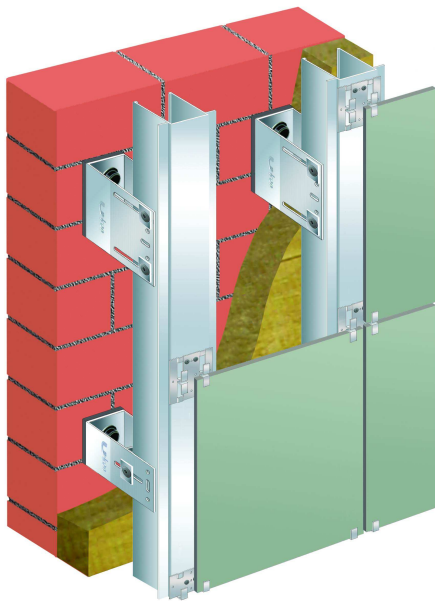


Рис. 1. Схема навесной фасадной системы с воздушным зазором «U-коп» АТС-234 с облицовкой из плит керамогранита с видимым креплением.

### 8.2. Расчет сопротивления теплопередаче, толщины теплоизоляционного слоя.

Климатические параметры района строительства по СНиП 23-01-99\*[1] :

Таблица 1

Город	Условия эксплуатации	$t_{в}$ , °C	$t_{ом}$ , °C	$z_{ом}$ , сут
Нижний Новгород	Б	20	-4,10	215,00

По температуре внутреннего воздуха и средней температуре отопительного периода и его продолжительности определяем градусо-сутки отопительного периода по формуле (1):

$$ГСОП = (t_{в} - t_{ом}) \cdot z_{ом} = (20 - (-4,10)) \cdot 215 = 5181,5$$

По ГСОП определяем требуемое приведенное сопротивление теплопередаче  $R_o^{np}$  согласно СНиП 23-02-2003 [4]. Характеристики материалов конструктивных слоев, коэффициенты теплоотдачи соответственно  $\alpha_{в}$  внутренней и  $\alpha_{н}$  наружной поверхностей ограждающей конструкции, приведены в табл. 2 согласно СТО 17532043-001-2005 [2], СП 23-101-2004 [3]

Таблица 2

$R^{np}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт	$\delta_{ум}$ , м	$\lambda_{ум}$ , Вт/( $\text{м} \cdot \text{°C}$ )	$\delta_{к.с.}$ , м	$\lambda_{к.с.}$ , Вт/( $\text{м} \cdot \text{°C}$ )	$\lambda_{ум}$ , Вт/( $\text{м} \cdot \text{°C}$ )	$\alpha_в$ , Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )	$\alpha_н$ , Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )
2,75	0,02	0,87	0,25	0,87	0,045	8,7	10,8

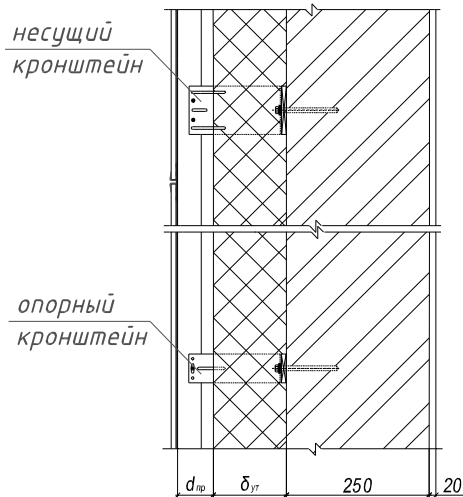


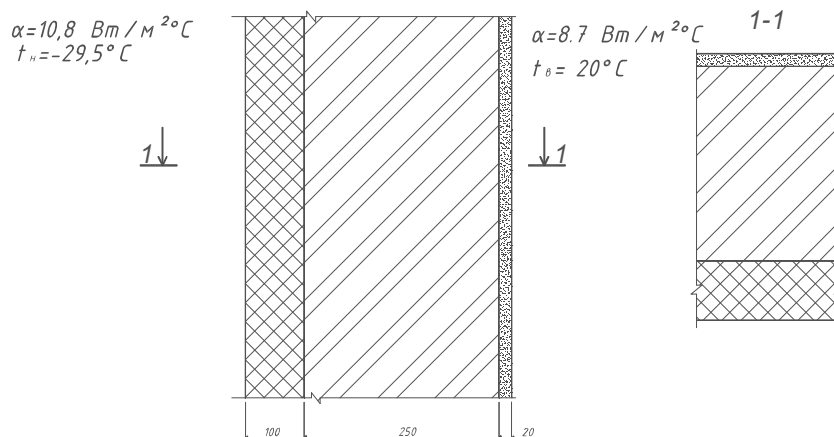
Рис. 2. Конструкция наружной стены.

Определяем толщину теплоизоляционного слоя для наружной стены без учета теплопроводных включений в виде подконструкции U-кон:

$$\delta_{ум} = \left( R^{np} - \frac{\delta_{ум}}{\lambda_{ум}} - \frac{\delta_{к.с.}}{\lambda_{к.с.}} - \frac{1}{\alpha_в} - \frac{1}{\alpha_н} \right) \cdot \lambda_{ум}; \delta_{ум} = \left( 2,75 - \frac{0,02}{0,87} - \frac{0,25}{0,87} - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{10,8} \right) \times 0,045 = 0,101 \text{ м}$$

$$R_o = \frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta_{ум}}{\lambda_{ум}} + \frac{\delta_{к.с.}}{\lambda_{к.с.}} + \frac{\delta_{ум}}{\lambda_{ум}} + \frac{1}{\alpha_н}; R_o = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,25}{0,87} + \frac{0,101}{0,045} + \frac{1}{10,8} = 2,75 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$$

Приведенное сопротивление теплопередаче всей конструкции с НФС U-кон рассчитывается исходя из удельных тепловых потоков по зонам влияния теплопроводных включений в виде подконструкции путем трехмерных моделирования температурных полей. Температурные поля расчетных участков стены приведены на рис. 3 - 8.



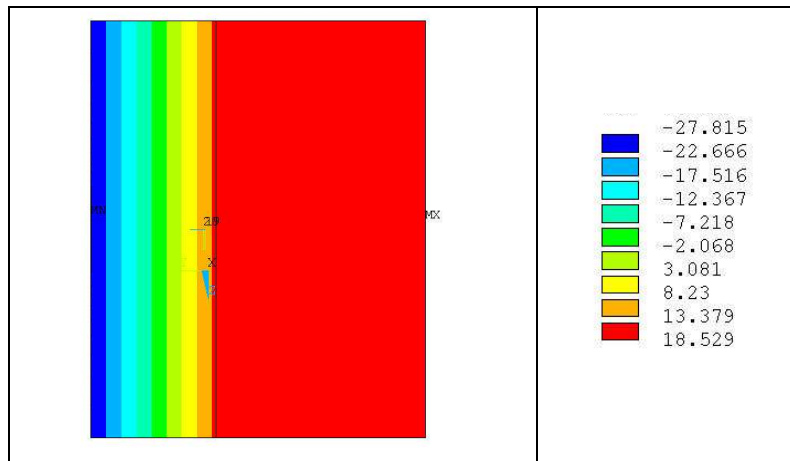


Рис. 3 Граничные условия и температурное поле по толще ограждения без теплопроводного включения при толщине утеплителя 100 мм

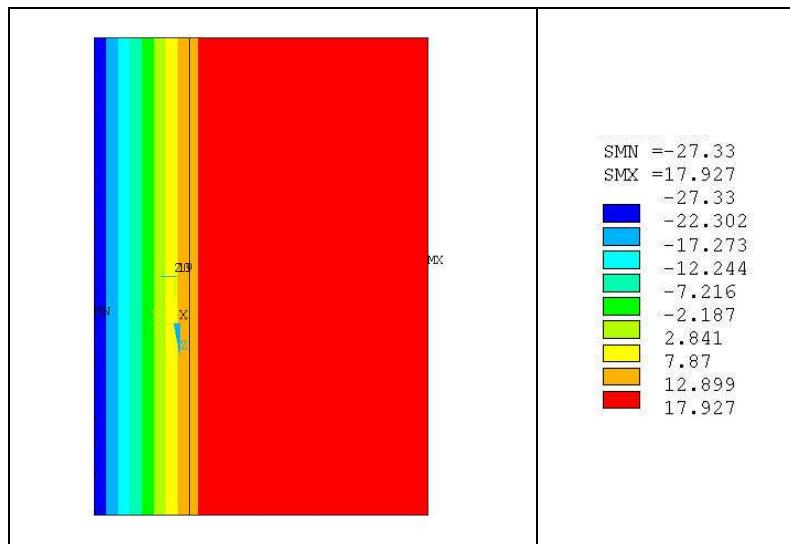
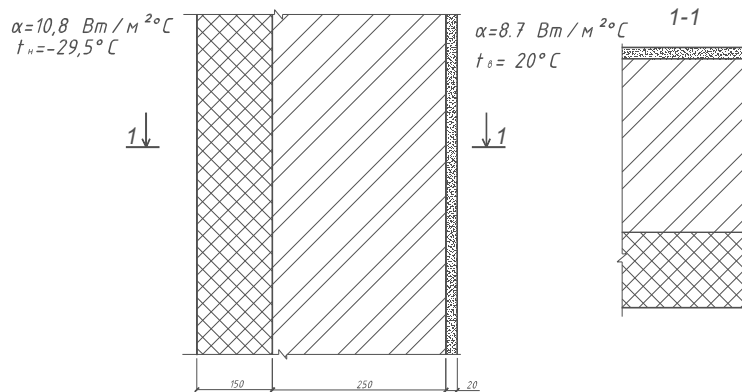


Рис.4. Граничные условия и температурное поле по толще ограждения без теплопроводного включения при толщине утеплителя 150 мм

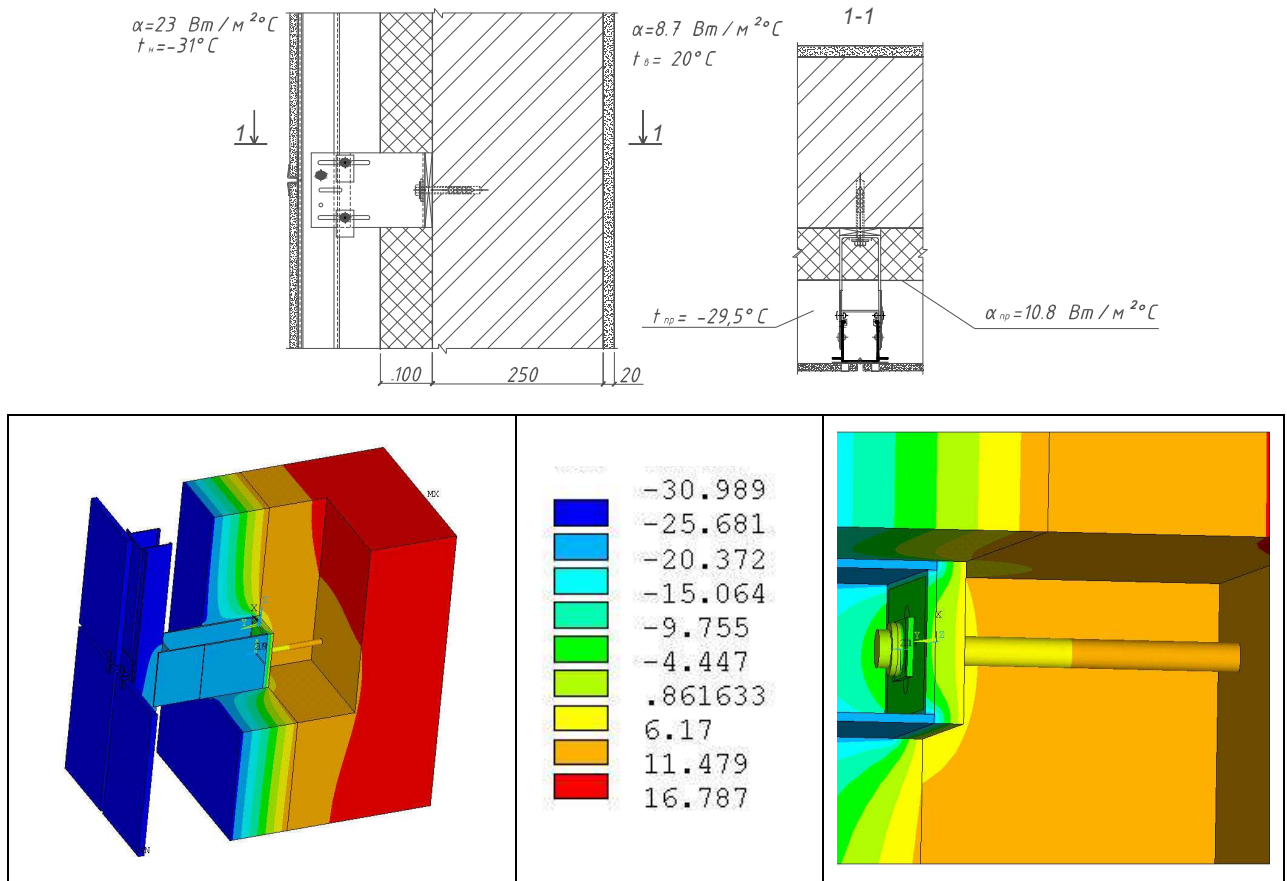


Рис. 5. Граничные условия и температурное поле фрагмента конструкции с теплопроводным включением (кронштейн АД-031) при толщине утеплителя 100 мм

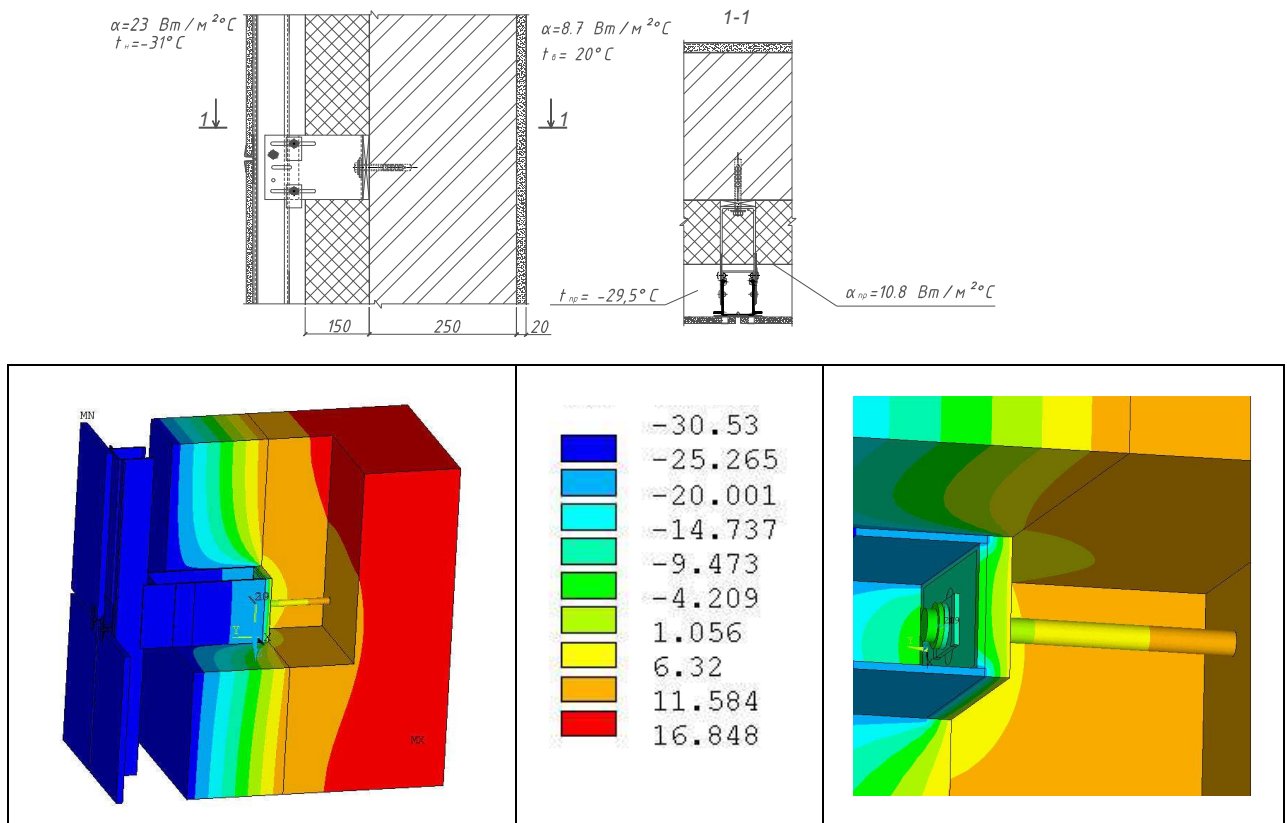


Рис. 6. Граничные условия и температурное поле фрагмента конструкции с теплопроводным включением (кронштейн АД-031) при толщине утеплителя 150 мм

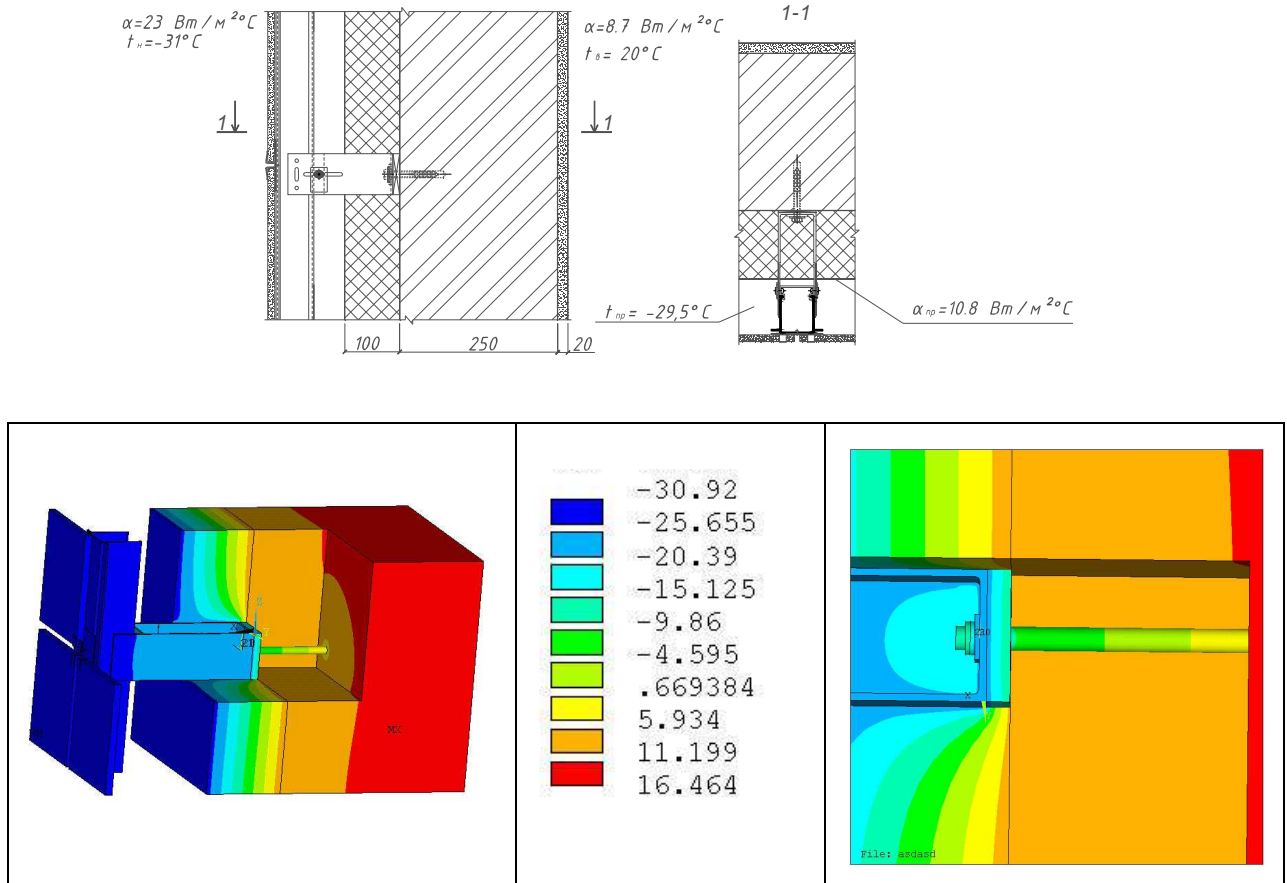


Рис. 7. Граничные условия и температурное поле фрагмента конструкции с теплопроводным включением (кронштейн АД-032) при толщине утеплителя 100 мм

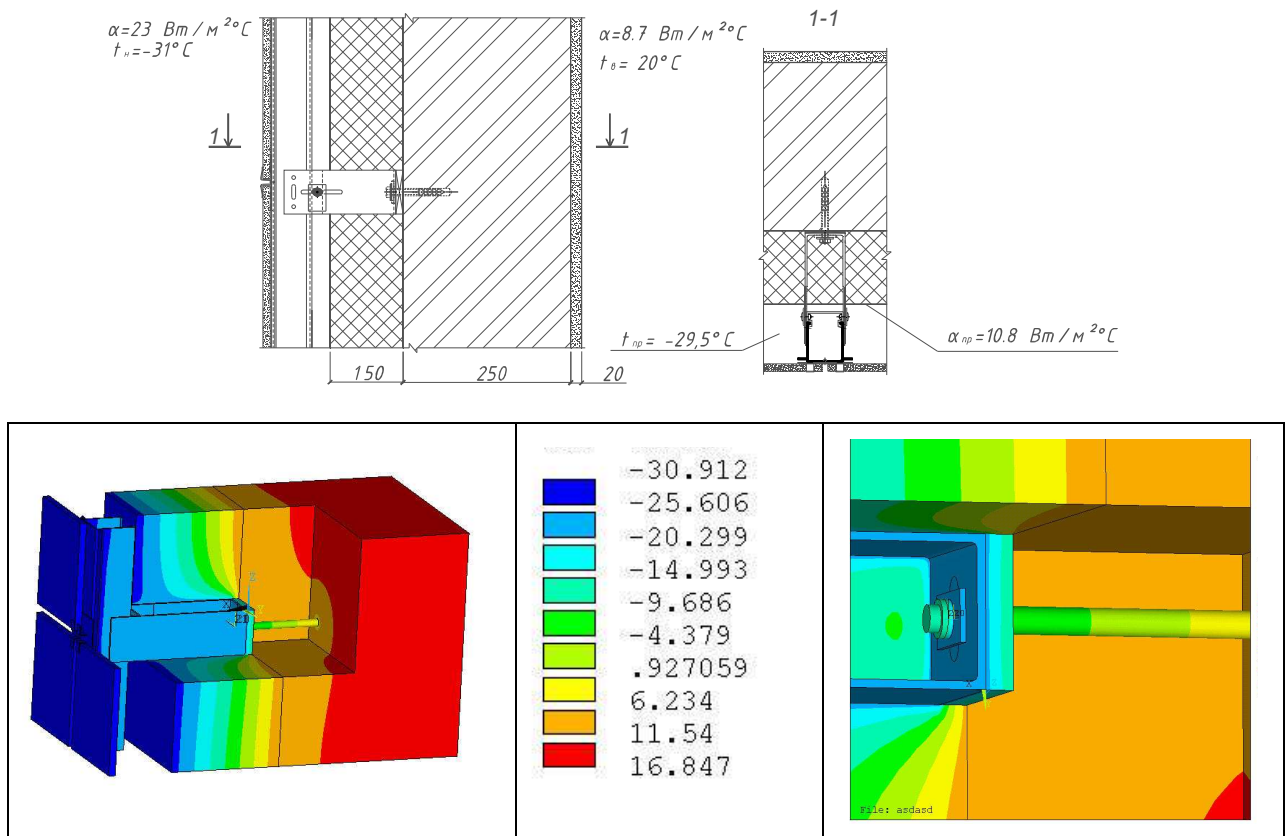


Рис. 8. Граничные условия и температурное поле фрагмента конструкции с теплопроводным включением (кронштейн АД-032) при толщине утеплителя 150 мм

В результате расчета получены значения теплового потока через фрагмент  $Q$ , Вт и соответствующие плотности теплового потока  $q = Q/F$ , Вт/м<sup>2</sup>.

Таблица 3.

Теплопроводное включение	Значение теплового потока, $Q$ Вт через фрагмент ограждающей конструкции при толщине теплоизоляционного слоя, мм			
	100	110	120	150
Кронштейн несущий АД-031	4,0479	3,9937	3,9395	3,777
Кронштейн опорный АД-032	2,6139	2,4613	2,5028	2,3361
По глади стены	2,5169	2,5023	2,2245	1,786

Таблица 4.

Теплопроводное включение	Значение плотности теплового потока, $q$ Вт/м <sup>2</sup> через фрагмент ограждающей конструкции при толщине теплоизоляционного слоя, мм			
	100	110	120	150
Кронштейн несущий АД-031	29,42952	29,03748	28,64543	27,46929
Кронштейн опорный АД-032	31,68352	31,01007	30,33662	28,31627
По глади стены	18,3048	17,24166	16,17852	12,9891

Приведенное сопротивление теплопередаче  $R_o^{np}$  ограждающей конструкции, имеющей неравномерное распределение температур по поверхности, вычисляют по формуле средневзвешенной величины

$$R_o^{np} = \frac{F}{\sum \frac{F_i}{R_{oi}}}$$

где  $F$  - общая площадь исследуемой ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>;

$F_i$  - площадь характерной изотермической зоны, определяемой планиметрированием, м<sup>2</sup>;

$R_{oi}$  - термическое сопротивление характерной зоны, (м<sup>2</sup>·°С)/Вт.

Общая площадь фасада в осях Я-Э (см. лист проекта) за вычетом проемов составляет  $F = 175,76$  м<sup>2</sup>.

Площадь опорной полки опорного кронштейна АД-032 = 0,0033 м<sup>2</sup>, несущего АД-031 = 0,0055 м<sup>2</sup>. Зона влияния теплопроводного включения принимается из расчета двух калибров в каждую сторону (рис.9).

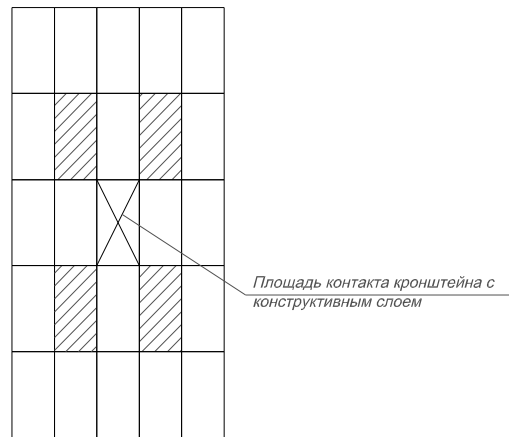


Рис. 9. Площадь зон влияния теплопроводного включения (опорного и несущего кронштейнов)  $F_{on} = 0,0825 \text{ м}^2$ ,  $F_{нес} = 0,1375 \text{ м}^2$

Общую площадь фасада разбиваем на характерные участки для учета зон теплопроводных включений. На общей площади фасада равной  $F = 175,76 \text{ м}^2$  установлено в определенном прочностном расчете порядке 117 кронштейнов АД-031 и 181 – АД-032. Исходя из количества кронштейнов и площади зон их влияния определяем:

$F_{зл} = 144,74 \text{ м}^2$  – площадь участков фасада без теплопроводных кронштейнов;

$F_{к.н.} = F_{нес} \cdot 117 = 0,1375 \cdot 117 = 16,09 \text{ м}^2$  – площадь участков фасада с теплопроводными включениями в виде несущих кронштейнов;

$F_{к.о.} = F_{он} \cdot 181 = 0,0825 \cdot 181 = 14,93 \text{ м}^2$  – площадь участков фасада с теплопроводными включениями в виде опорных кронштейнов;

Принимаем толщину теплоизоляционного слоя  $\delta_{ут} = 110 \text{ мм}$

$$R_o^{np} = \frac{F}{\frac{F_{зл}}{R_{о.зл}} + \frac{F_{н.к.}}{R_{о.зл} \cdot \frac{q_{зл}}{q_{к.н}}} + \frac{F_{к.о.}}{R_{о.зл} \cdot \frac{q_{зл}}{q_{к.о}}}};$$

$$R_o^{np} = \frac{175,76}{\frac{144,74}{2,96} + \frac{16,09}{2,96 \cdot \frac{17,24166}{29,03748}} + \frac{14,93}{2,96 \cdot \frac{17,24166}{31,01007}}} = 2,64, (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$$

Полученное значение приведенного сопротивления теплопередаче  $R_o^{np}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$  не удовлетворяет требованиям СНиП 23-02-2003 [4].

$$R^{np} = 2,75 > R_o^{np} = 2,64, (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$$

Принимаем толщину теплоизоляционного слоя  $\delta_{ут} = 120 \text{ мм}$

$$R_o^{np} = \frac{175,76}{\frac{144,74}{3,18} + \frac{16,09}{3,18 \cdot \frac{16,17852}{28,64543}} + \frac{14,93}{3,18 \cdot \frac{16,17852}{30,33662}}} = 2,78, (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$$

Полученное значение приведенного сопротивления теплопередаче  $R_o^{np}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$  удовлетворяет требованиям СНиП 23-02-2003 [4].

$$R^{np} = 2,75 < R_o^{np} = 2,78, (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$$

### 8.3. Расчет сопротивления воздухопроницанию

Сопротивление воздухопроницанию ограждающей конструкции, за исключением заполнений проемов (окон, балконных дверей, фонарей), зданий и сооружений  $R_u$  должно быть не менее требуемого сопротивления воздухопроницанию  $R_u^{mp}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ )/кг.

Определяем требуемое сопротивление воздухопроницанию по формуле (6):

$$R_u^{mp} = \frac{55,428}{0,5} = 110,857 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}/\text{кг}$$

$\Delta p$  - разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па, определяемая по формуле (7):

$$\Delta p = 0,55 \cdot 32,32 \cdot (14,31 - 11,82) + 0,03 \cdot 14,31 \cdot 5,1^2 = 55,428, \text{ Па}$$

$v = 5,1$  м/с - максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16% и более, принимаемая согласно [7];

$\gamma_n, \gamma_e$  - удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха,  $\text{Н}/\text{м}^3$ , определяем по формуле (8):

$$\gamma_e = \frac{3463}{273 + 20} = 11,82, \text{ Н}/\text{м}^3 \quad \gamma_n = \frac{3463}{273 + (-31)} = 14,31, \text{ Н}/\text{м}^3$$

Сопротивление воздухопроницанию многослойной ограждающей конструкции  $R_u$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{кг}$ , определяются по формуле (9):

$$R_u = R_{\text{шт}} + R_{\text{ук.с}} + R_{\text{цм}}; R_u = 373 + 18 + 4 = 395, \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}/\text{кг}$$

Полученные значения сопротивлений воздухопроницанию удовлетворяют требованиям СТО 17532043-001-2005 [2].

$$R_u^{mp} = 110,857 < R_u = 395 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}/\text{кг}$$

### 8.4. Расчет влажностного режима

**8.4.1.** Расчет влажностного режима ограждающей конструкции с НФС «U-кон» выполняется согласно п.4 СТО 17532043-001-2005 [2] по глухой части без учета стыковых швов (рустов) между облицовочными панелями.

Влажностный режим наружных стен характеризуется процессами влагонакопления, зависящими от ряда внешних факторов и физических характеристик, от сопротивления паропроницанию конструкции. Сопротивление паропроницанию  $R_{\text{п}}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ )/мг, ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения) должно быть не менее наибольшего из требуемых сопротивлений паропроницанию  $R_{\text{п}}^{mp}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ )/мг, из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации и  $R_{\text{п}2}^{mp}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ )/мг, из условия ограничения накопления влаги в конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха.

В период эксплуатации в зимних условиях температура внутреннего воздуха  $t_e$ , °С, относительная влажность  $\varphi$ , %, максимальное парциальное давление водяных паров  $E_e$ , Па, коэффициенты паропроницаемости материалов слоев ограждающей конструкции приведены в табл. 5 согласно СТО 17532043-001-2005 [2], СП 23-101-2004 [3].

Таблица 5

$t_e, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$	$E_e, \text{Па}$	$\mu_{ит}, \text{мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$	$\mu_{кс}, \text{мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$	$\mu_{ит}, \text{мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$	$\mu_{обл}, \text{мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$	$\delta_{обл}, \text{м}$
20	55	2340	0,098	0,11	0,3	0,008	0,01

Таблица 6

Республика, край, область, пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя месячная температура воздуха температура, $^\circ\text{C}$												
Нижний Новгород	-11,8	-11,1	-5	4,2	12	16,4	18,4	16,9	11	3,6	-2,8	-8,9
Среднее месячное парциальное давление водяного пара, гПа												
Нижний Новгород	2,5	2,5	3,6	6	8,7	12	14,8	13,7	10,1	6,6	4,5	3,2

Определяем сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения по формуле:

$$R_{II} = \frac{\delta_{ит}}{\mu_{ит}} + \frac{\delta_{кс}}{\mu_{кс}} + \frac{\delta_{ит}}{\mu_{ит}}; R_{II} = \frac{0,02}{0,098} + \frac{0,25}{0,11} + \frac{0,12}{0,3} = 2,877, (\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})/\text{мг}$$

Определяем сопротивление паропроницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью максимального увлажнения без учета конструктивных особенностей стыковых швов (рустов) между элементами облицовки по формуле:

$$R_{II.H} = \frac{\delta_{обл}}{\mu_{обл}}; R_{II.H} = \frac{0,01}{0,008} = 1,25, (\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})/\text{мг}$$

Устанавливаем продолжительность  $z_1, z_2, z_3$ , мес, зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, определяемую согласно СНиП 23-01-99\* [1], с учетом следующих условий:

а) к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже минус  $5^\circ\text{C}$ ;

б) к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от минус  $5^\circ\text{C}$  до плюс  $5^\circ\text{C}$ ;

в) к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами воздуха выше плюс  $5^\circ\text{C}$ .

Рассчитываем температуру в плоскости возможной конденсации  $t_i, ^\circ\text{C}$ , при средней температуре наружного воздуха соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов по формуле:

$$t_i = t_e - (t_e - t_i) \cdot (1/\alpha_e + \sum R_i) / R_o, ^\circ\text{C}$$

где  $t_e$  и  $\alpha_e$  то же, что и п. 8.2;

$t_i$  - средняя температура наружного воздуха  $i$ -го периода,  $^\circ\text{C}$ , определяемая по формуле:

$$t_i = \sum_{j=1}^n t_j / n, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$t_j$  - средняя месячная температура воздуха  $j$ -го месяца,  $^\circ\text{C}$ ;

$n$  - число месяцев  $i$ -го периода;

$\sum R_i$  - сумма термических сопротивлений слоев ограждающей конструкции от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации,  $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ ;

$R_o$  - сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции,  $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ .

$z_1 = 3$  мес;

$$t_1 = [(-11,8) + (-11,1) + (-8,9)]/3 = -10,6, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_1 = 20 - (20 + 10,6) \times 3,09/3,18 = -9,73, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$z_2 = 4$  мес;

$$t_2 = [(-5) + 4,2 + 3,6 + (-2,8)]/4 = 0,00, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_2 = 20 - (20 - 0) \times 3,09/3,18 = 0,57, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$z_3 = 5$  мес;

$$t_3 = [12 + 16,4 + 18,4 + 16,9 + 11,0]/5 = 14,94, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_3 = 20 - (20 - 14,94) \times 3,09/3,18 = 15,08, \text{ } ^\circ\text{C}$$

По температурам  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  для соответствующих периодов определяем максимальные парциальные давления водяного пара  $E_1 = 292$  Па,  $E_2 = 637$  Па,  $E_3 = 1720$  Па.

Максимальное парциальное давление водяного пара  $E$ , Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации ограждающей конструкции для соответствующих продолжительностей периодов  $z_1, z_2, z_3$  определяем по формуле:

$$E = \frac{1}{12} (E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3); E = \frac{1}{12} \cdot (292 \cdot 3 + 637 \cdot 4 + 1720 \cdot 5) = 1002, \text{ Па}$$

Упругость водяного пара внутреннего воздуха  $e_e$ , Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха определяем по формуле:

$$e_e = (\varphi_e / 100) \cdot E_e; e_e = (55 / 100) \cdot 2340 = 1287, \text{ Па}$$

Для расчета требуемого сопротивления паропроницанию  $R_{II}^{mp}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$ , берем продолжительность периода влагонакопления  $z_{o,n}$ , сут, принимаемую равной периоду с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха согласно СНиП 23-01-99\* и среднюю температуру этого периода  $t_o$ ,  $^\circ\text{C}$ . Температуру  $t_o$ ,  $^\circ\text{C}$ , в плоскости возможной конденсации для этого периода определяем по формуле:

$$\tau_o = t_e - (t_e - t_o) \cdot (1/\alpha_e + \sum R_i) / R_o, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$z_{o,n} = 151$  сут;

$$t_o = [(-11,8) + (-11,1) + (-5,0) + (-2,8) + (-8,9)]/5 = -7,92 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\tau_o = 20 - (20 + 7,92) \times 3,09/3,18 = -7,13 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Определяем упругость водяного пара в плоскости максимального увлажнения при средней температуре наружного воздуха в период с отрицательными среднемесячными температурами,  $E_o = 358$  Па.

Согласно СНиП 23-01-99\*, определяем  $e_n$  - среднюю упругость водяного пара наружного воздуха, Па, за годовой период и  $e_{n,o}$  - среднюю упругость водяного пара наружного воздуха, Па, периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами.  $e_n = 735$  Па,  $e_{n,o} = 326$  Па.

Требуемое сопротивление паропроницанию  $R_{II}^{mp}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$ , из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации определяется по формуле:

$$R_{П1}^{mp} = \frac{(e_6 - E) \cdot R_{П.Н}}{E - e_n}; R_{П1}^{mp} = \frac{(1287 - 1002) \cdot 1,25}{1002 - 735} = 1,334, (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$$

Требуемое сопротивление паропроницанию  $R_{П2}^{mp}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$ , из условия ограничения накопления влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха определяется по формуле:

$$R_{П2}^{mp} = \frac{0,0024 \cdot z_{o,n} (e_6 - E_o)}{\rho_w \cdot \delta_w \cdot \Delta w_{cp} + \eta}; R_{П2}^{mp} = \frac{0,0024 \cdot 151 \cdot (1287 - 358)}{80 \cdot 0,12 \cdot 3 + 9,27744} = 8,842, (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$$

где  $\rho_w$  - плотность материала увлажняемого слоя,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , принимаемая равной  $\rho_o$  по приложению 3 СТО 17532043-001-2005;

$\delta_w$  - толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, м, принимаемая равной  $2/3$  толщины однородной (однослойной) стены или толщине теплоизоляционного слоя (утеплителя) многослойной ограждающей конструкции;

$w_{cp}$  - предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя, %, за период влагонакопления  $z_{o,n}$ , принимается по таблице 12 СТО 17532043-001-2005;

$\eta$  - определяется по формуле:

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (E_o - e_{н.о}) \cdot z_{o,n}}{R_{П.Н}}; \eta = \frac{0,0024 \cdot (358 - 326) \cdot 151}{1,25} = 9,27744$$

$$R_{П1} = 2,877 > R_{П1}^{mp} = 1,334; R_{П1} = 2,877 < R_{П2}^{mp} = 8,842 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$$

Требования СТО 17532043-001-2005 не выполняются.

**8.4.2.** Расчет влажностного режима ограждающей конструкции с НФС «U-кон» с облицовкой из плит керамогранита необходимо выполнить с учетом конструктивных особенностей стыковых швов (рустов) между элементами облицовки.

Определяем приведенное сопротивление паропроницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью максимального увлажнения с учетом конструктивных особенностей стыковых швов (рустов) между элементами облицовки по формуле (14):

$$R_{П.Н}^{np} = \frac{A}{\frac{A_{2л}}{R_{П.Н}^{2л}} + \frac{A'}{R_{П.Н}'}} , (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$$

где  $A$  - общая площадь расчетного участка стены,  $\text{м}^2$ ;

$A_{2л}$  - площадь глухих участков стены,  $\text{м}^2$ ;

$A'$  - площадь стыковых швов (рустов) между элементами облицовки,  $\text{м}^2$ ;

$R_{П.Н}^{2л}$  - сопротивление паропроницанию облицовочного слоя,  $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$ ;

$R_{П.Н}'$  - условное сопротивление стыковых швов (рустов) между элементами облицовки,  $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$ .

Вычисляем сопротивление паропроницанию облицовочного слоя по формуле:

$$R_{П.Н}^{2л} = \frac{\delta_{obl}}{\mu_{obl}}; R_{П.Н}^{2л} = \frac{0,01}{0,008} = 1,25 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$$

Вычисляем условное сопротивление паропроницанию стыковых швов (рустов) между элементами облицовки по формуле:

$$R_{П.Н}' = \frac{\delta}{\eta_{ш} / \xi_{ш}}; R_{П.Н}' = \frac{0,008}{6,5/5,2} = 0,0064 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм рт. ст.})/\text{г} = 0,000853 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$$

где  $\eta_{ш} = 6,5 \text{ г}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{мм рт. ст.})$  [5].;

$\xi_{ш}$  - местные сопротивления потоку воздуха;

$\delta$  - ширина руста между облицовочными панелями, м.

$$A_{zn} = 0,98496 \text{ м}^2$$

$$A' = 0,015040 \text{ м}^2$$

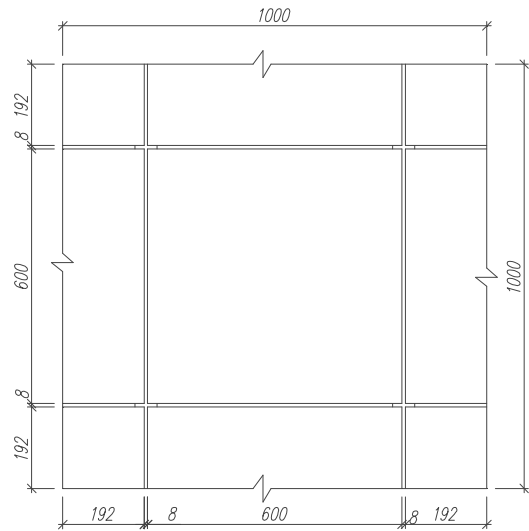


Рис.10. Схема для расчета площадей глухого участка и стыковых швов (рустов) между облицовочными панелями

Определяем приведенное сопротивление паропрооницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью максимального увлажнения с учетом конструктивных особенностей стыковых швов (рустов) между элементами облицовки. [5].

$$R_{П.Н}^{np} = \frac{1}{\frac{0,98496}{1,25} + \frac{0,015040}{0,000853}} = 0,054289, (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}) / \text{мг}$$

Требуемое сопротивление паропрооницанию  $R_{П2}^{mp}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}) / \text{мг}$ , из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха определяется по формуле:

$$R_{П2}^{mp} = \frac{0,0024 \cdot z_{o.n} (e_e - E_o)}{\rho_w \cdot \delta_w \cdot \Delta w_{cp} + \eta}; R_{П2}^{mp} = \frac{0,0024 \cdot 151 \cdot (1287 - 358)}{0,12 \cdot 80 \cdot 3 + 213,611} = 1,389, (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}) / \text{мг}$$

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (E_o - e_{н.о}) \cdot z_{o.n}}{R_{П.Н}^{np}}; \eta = \frac{0,0024 \cdot (358 - 326) \cdot 151}{0,054289} = 213,611$$

$$R_{П} = 2,877 > R_{П1}^{mp} = 1,334 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}) / \text{мг}; R_{П} = 2,877 > R_{П2}^{mp} = 1,389 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}) / \text{мг}$$

Требования СТО 17532043-001-2005 **выполняются**.

## 8.5. Определение параметров тепловлажностного режима и воздухообмена в воздушном зазоре

**8.5.1.** Определяем скорость движения воздуха, температуру воздуха и коэффициент теплообмена в воздушном вентилируемом зазоре при облицовке плитами керамогранита для наиболее холодного месяца - января,  $t_n = -11,8$  °С. Приточные и вытяжные отверстия воздушной прослойки расположены на одной стороне здания, т.е.  $\kappa_n = \kappa_3$

Температура и скорость движения воздуха в вентилируемом зазоре находится методом итераций. Определяется температура воздуха в зазоре по заданным значениям скорости воздуха и коэффициента теплообмена. Затем определяется скорость движения воздуха в зазоре при полученной температуре и коэффициент теплообмена при полученной температуре и скорости движения воздуха. Далее определяется температура

воздуха в зазоре при скорости движения воздуха, полученной на предыдущем шаге итерации. Шаги итераций продолжаются пока разница между значениями скоростей движения воздуха и коэффициента теплообмена в зазоре на соседних шагах не станет меньше 5%. В результате расчета находится температура, скорость движения воздуха в воздушном вентилируемом зазоре и коэффициент теплообмена  $\alpha_{np}$ .

Для расчета принимаем исходные данные:

$$R_e = R_o^{np} = 2,78 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}; R_n = 1/\alpha_n + R_{об}; R_n = 1/23 + 0,01/3,49 = 0,046 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$$

$t_n = -11,8 \text{ °C}; t_{np} = -10,8 \text{ °C}$  - температура воздуха в прослойке. Принимаем на  $1 \text{ °C}$  выше температуры наиболее холодного месяца.

$$\sum \xi = \xi_{экс} = 0,04 \frac{h}{2\delta_{np}}; \sum \xi = 0,04 \frac{32,32}{2 \cdot 0,06} = 10,773 \text{ - сумма коэффициентов местных}$$

сопротивлений.

$$\rho_{np} = \frac{353}{(273 + t_{np})}; \rho_{np} = \frac{353}{(273 + (-10,8))} = 1,35 \text{ кг/м}^3 \text{ средняя плотность воздуха в зазоре.}$$

Первый шаг итерации.

$$V_{np} = 0,53 \text{ м/с}; \alpha_{np} = 13 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

$$t_{np} = \frac{\frac{t_e}{R_e + \frac{1}{\alpha_{np}}} + \left[ \frac{1}{R_n + \frac{1}{\alpha_{np}}} + c\gamma \frac{\delta_{np}}{h} V_{np} \right] t_n}{\frac{1}{R_e + \frac{1}{\alpha_{np}}} + \frac{1}{R_n + \frac{1}{\alpha_{np}}} + c\gamma_{np} \frac{\delta_{np}}{h} V_{np}}; t_{np} = \frac{\frac{20}{2,78 + \frac{1}{13}} + \left[ \frac{1}{0,046 + \frac{1}{13}} + 1005 \cdot 1,35 \frac{0,06}{32,32} \cdot 0,53 \right] (-11,8)}{\frac{1}{2,78 + \frac{1}{13}} + \frac{1}{0,046 + \frac{1}{13}} + 1005 \cdot 1,35 \frac{0,06}{32,32} \cdot 0,53} = -10,7 \text{ °C}$$

$$V_{np} = \sqrt{\frac{0,08h(t_{np} - t_n)}{\sum \xi}}; V_{np} = \sqrt{\frac{0,08 \cdot 32,32 \cdot ((-10,7) + 11,8)}{10,77}} = 0,514 \text{ м/с}$$

Невязка по скорости составляет:

$$\eta = \frac{0,53 - 0,514}{0,53} = 0,033 = 3\%$$

$$\alpha_{\kappa} = 7,34(V_{np})^{0,656} + 3,78 \exp(-1,91V_{np});$$

$$\alpha_{\lambda} = \frac{\frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C}}}{t_1 - t_2} \cdot \frac{\left[ \frac{t_1 + 273}{100} \right]^4 - \left[ \frac{t_2 + 273}{100} \right]^4};$$

Здесь величина  $\frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C}}$  представляет собой интенсивность излучения системы двух

серых тел с параллельными поверхностями излучения,  $\text{Вт/(м}^2 \cdot \text{гр}^4)$ .  $C_1 = C \cdot \varepsilon_1$  - поверхность утеплителя  $\varepsilon_1 = 0,91$  [2].  $C_2 = 5,36 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K}^4)$  [6],  $C = 5,67 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K}^4)$ .

$$\alpha_{\kappa} = 7,34(0,514)^{0,656} + 3,78 \exp(-1,91 \cdot 0,514) = 6,16 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$

$$t_x = t_6 - \frac{\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_{um}}{\lambda_{um}} + \frac{\delta_{к.с.}}{\lambda_{к.с.}} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}}}{R_o^{учл}} (t_6 - t_n);$$

$$t_x = 20 - \frac{\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,25}{0,87} + \frac{0,12}{0,045}}{3,18} [20 - (-11,8)] = -10,92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_n = \frac{1}{\frac{1}{5,18} + \frac{1}{5,36} + \frac{1}{5,67}} \cdot \frac{\left[ \frac{(-10,92) + 273}{100} \right]^4 - \left[ \frac{(-11,8) + 273}{100} \right]^4}{(-10,92) - (-11,8)} = 3,04 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\alpha_{np} = \alpha_k + \alpha_n; \alpha_{np} = 6,16 + 3,04 = 9,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\eta = \frac{13 - 9,2}{13} = 0,293 = 29,3 \%$$

Второй шаг итерации.

$$V_{np} = 0,514 \text{ м}/\text{с}; \alpha_{np} = 9,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

$$t_{np} = \frac{\frac{20}{2,78 + \frac{1}{9,2}} + \left[ \frac{1}{0,046 + \frac{1}{9,2}} + 1005,135 \frac{0,06}{3232} \cdot 0,514 \right] (-11,8)}{\frac{1}{2,78 + \frac{1}{9,2}} + \frac{1}{0,046 + \frac{1}{9,2}} + 1005,135 \frac{0,06}{3232} \cdot 0,514} = -10,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$V_{np} = \sqrt{\frac{0,08 \cdot 32,32 \cdot ((-10,4) + 11,8)}{10,77}} = 0,58 \text{ м}/\text{с}$$

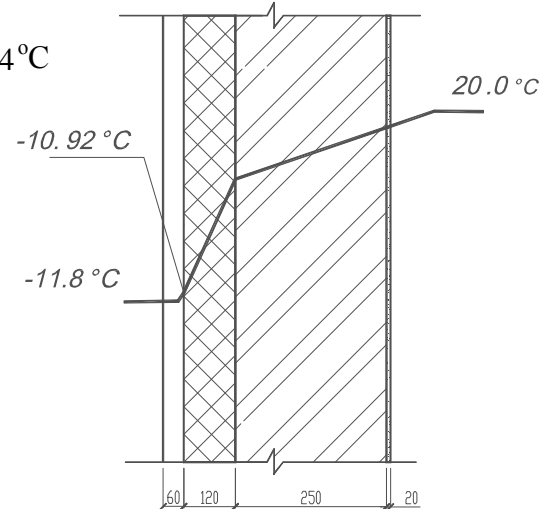


Рис. 11. Изменение температуры по сечению ограждения за наиболее холодный месяц года – январь.

$$\alpha_k = 7,34(0,58)^{0,656} + 3,78 \exp(-1,91 \cdot 0,58) = 6,38 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\alpha_n = \frac{1}{\frac{1}{5,18} + \frac{1}{5,36} + \frac{1}{5,67}} \cdot \frac{\left[ \frac{(-10,92) + 273}{100} \right]^4 - \left[ \frac{(-11,8) + 273}{100} \right]^4}{(-10,92) - (-11,8)} = 3,04, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\alpha_{np} = \alpha_k + \alpha_n; \alpha_{np} = 6,38 + 3,04 = 9,42 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\eta = \frac{0,58 - 0,514}{0,58} = 0,114; \eta = \frac{9,42 - 9,3}{9,42} = 0,013$$

Третий шаг итерации.

$$V_{np} = 0,58 \text{ м/с}; \alpha_{np} = 9,42 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

$$t_{np} = \frac{\frac{20}{2,78 + \frac{1}{9,42}} + \left[ \frac{1}{0,046 + \frac{1}{9,42}} + 1005 \cdot 1,35 \frac{0,06}{32,32} \cdot 0,58 \right] (-11,8)}{\frac{1}{2,78 + \frac{1}{9,42}} + \frac{1}{0,046 + \frac{1}{9,42}} + 1005 \cdot 1,35 \frac{0,06}{32,32} \cdot 0,58} = -10,49 \text{ °C}$$

$$V_{np} = \sqrt{\frac{0,08 \cdot 32,32 \cdot ((-10,49) + 11,8)}{10,77}} = 0,561 \text{ м/с}$$

$$\alpha_{\kappa} = 7,34(0,561)^{0,656} + 3,78 \exp(-1,91 \cdot 0,561) = 6,32 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$

$$\alpha_{\lambda} = \frac{1}{\frac{1}{5,18} + \frac{1}{5,36} + \frac{1}{5,67}} \cdot \frac{\left[ \frac{(-10,92) + 273}{100} \right]^4 - \left[ \frac{(-11,8) + 273}{100} \right]^4}{(-10,92) - (-11,8)} = 3,04, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$

$$\alpha_{np} = \alpha_{\kappa} + \alpha_{\lambda}; \alpha_{np} = 6,32 + 3,04 = 9,36 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$

$$\eta = \frac{0,58 - 0,561}{0,58} = 0,033 = 3,3\%; \eta = \frac{9,42 - 9,36}{9,42} = 0,007 = 0,7\%$$

На последнем шаге итераций значения  $V_{np}$ ,  $\alpha_{np}$  изменились менее чем на 5 %, значит, процесс итерации можно прекратить.

$$\rho_{np} = \frac{353}{(273 + t_{np})}; \rho_{np} = \frac{353}{(273 + (-10,49))} = 1,34 \text{ кг/м}^3$$

Расход воздуха в воздушном вентилируемом зазоре определяем по формуле:

$$W = V_{np} \cdot 3600 \cdot \delta_{np} \cdot \rho_{np}; W = 0,561 \cdot 3600 \cdot 0,06 \cdot 1,34 = 162,89 \text{ кг/(м.п.ч)}$$

**8.5.2.** Действительная упругость водяного пара на выходе из прослойки определяется по формуле:

$$e_y = \frac{(M_{\epsilon} \cdot e_{\epsilon} + M_{\eta} \cdot e_{\eta}) + [e_o(M_{\epsilon} + M_{\eta}) - (M_{\epsilon} \cdot e_{\epsilon} + M_{\eta} \cdot e_{\eta})] \cdot \exp^{-[(M_{\epsilon} + M_{\eta})h_y/WB]}}{M_{\epsilon} + M_{\eta}}, \text{ Па}$$

где  $M_{\epsilon}$  и  $M_{\eta}$  – коэффициенты массопередачи, мг/м<sup>2</sup>·ч·Па равны соответственно:

$$M_{\epsilon} = \frac{1}{\Sigma R_{\Pi}}; M_{\eta} = \frac{1}{\Sigma R_{\Pi.H}}, \text{ мг/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$$

$R_{\Pi}$  и  $R_{\Pi.H}$  – сумма сопротивлений паропроницанию от внутренней поверхности до воздушной прослойки и от воздушной прослойки до наружной поверхности, (м·ч·Па)/мг;

$e_{\epsilon}$  и  $e_{\eta}$  – действительная упругость водяного пара с внутренней стороны стены и снаружи, Па;

$e_o$  – упругость водяного пара воздуха, входящего в прослойку, Па;

$h_y$  – расстояние между рустами, служащими для поступления воздуха, м;

$W$  – расход воздуха в прослойке, кг/(м·ч);

$$B = \frac{1,058}{1 + t_{np}/273}$$

где  $t_{np}$  – средняя температура воздуха в воздушном зазоре, °С.

Полученная величина упругости водяного пара на выходе из прослойки  $e_y$ , должна быть меньше максимальной упругости водяного пара  $E_y$ .

$$M_e = \frac{1}{\Sigma R_{\Pi}}; \quad M_e = \frac{1}{2,877} = 0,348, \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$$

$$M_n = \frac{1}{\Sigma R_{\Pi,Н}}, \quad M_n = \frac{1}{0,054289} = 18,4199, \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$$

$$B = \frac{1,058}{1 + t_{np}/273}; \quad B = \frac{1,058}{1 + (-10,49)/273} = 1,10$$

$$e_e = 1287; \quad e_n = e_{янг} = 250 \text{ Па.}$$

$$M_e + M_n = 0,348 + 18,4199 = 18,7679 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$$

$$M_e \cdot e_e + M_n \cdot e_n = 0,348 \cdot 1287 + 18,4199 \cdot 250 = 5052,325$$

$$e_y = \frac{5052,325 + [250 \cdot 118,7679 - 5052,325] \cdot \exp^{-[18,7679 \cdot 32,32 / 162,89 \cdot 1,1]}}{18,7679} = 264,73, \text{ Па}$$

Максимальная упругость водяного пара  $E_y = 275 \text{ Па}$  при  $t_{np} = -10,56^\circ\text{C}$

$$E_y = 275 > e_y = 264,73 \text{ Па}$$

**Конденсация влаги** на выходе воздушного зазора навесного вентилируемого фасада **отсутствует.**

**8.6. Библиографический список**

1. СНиП 23-01-99\* Строительная климатология (с Изменением №1)
2. СТО 17532043-001-2005 Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий
3. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий
4. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий
5. Рекомендации по проектированию и применению для строительства и реконструкции зданий в г. Москве фасадной системы с вентилируемым воздушным зазором «U-kon». Правительство Москвы. Москомархитектура, Москва, 2003 г.
6. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / Под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
  
7. ТСН 23-301-97 Строительная климатология для пунктов Нижегородской области

ОКС \_\_\_\_\_  
информация о проекте с указанием редакции  
код по ОК (МК(ИСО/ИНФКО МКС 001-96) 001

**ИЗМЕНЕНИЕ №** \_\_\_\_\_  
наименование документа  
от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
дата (цифрой), месяц (прописью) год

**Дата введения** \_\_\_\_\_ \*

ТЕКСТ ИЗМЕНЕНИЯ

Продолжение см. с. \_\_\_\_\_)\*\*

информация о проекте с указанием редакции

(Продолжение изменения № \_\_\_\_\_ к \_\_\_\_\_)  
наименование стандарта

ТЕКСТ ИЗМЕНЕНИЯ

Продолжение см. с. \_\_\_\_\_)\*\*

ОКС \_\_\_\_\_  
информация о проекте с указанием редакции  
код по ОК (МК(ИСО/ИНФКО МКС 001-96) 001

**ИЗМЕНЕНИЕ №** \_\_\_\_\_  
наименование документа  
от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
дата (цифрой), месяц (прописью) год

**Дата введения** \_\_\_\_\_ \*

ТЕКСТ ИЗМЕНЕНИЯ

Продолжение см. с. \_\_\_\_\_)\*\*

информация о проекте с указанием редакции

(Продолжение изменения № \_\_\_\_\_ к \_\_\_\_\_)  
наименование стандарта

ТЕКСТ ИЗМЕНЕНИЯ

Продолжение см. с. \_\_\_\_\_)\*\*

ОКС \_\_\_\_\_  
информация о проекте с указанием редакции  
код по ОК (МК(ИСО/ИНФКО МКС 001-96) 001

**ИЗМЕНЕНИЕ №** \_\_\_\_\_  
наименование документа  
от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
дата (цифрой), месяц (прописью) год

**Дата введения** \_\_\_\_\_ \*

ТЕКСТ ИЗМЕНЕНИЯ

Продолжение см. с. \_\_\_\_\_)\*\*

информация о проекте с указанием редакции

(Продолжение изменения № \_\_\_\_\_ к \_\_\_\_\_ )  
наименование стандарта

ТЕКСТ ИЗМЕНЕНИЯ