

ние профиля прогона, в результате чего вес 1 п/м уменьшается на 36%. Самой выгодной схемой является схема с 1 связью при угле 25°.

По графику для двухпролетной схемы с перехлестами (рисунок 7) видно, что двухпролетная схема с перехлестами не выгодна при схеме без связей, но выгодна при постановке 1 связи. При добавлении связей уменьшается сечение профиля прогона, в результате чего вес 1 п/м уменьшается на 44%.

Заключение

Наличие накладок или перехлестов снижает расход стали. Выбор рациональной схемы раскладки прогонов зависит от угла кровли. При угле 6° наиболее экономичной является однопролетная схема без связи, для 15° однопролетная с перехлестами с двумя связями, для 25° однопролетная с перехлестами с 1 и 2-мя связями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 24045-94. Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства. – Москва : изд-во стандартов, 1994. – 4 с.

2. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. Введ. 2011-05-20. – М. : ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 2011. – 76 с.

3. EN 1993-1-3: 2004. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting. Brussels: CEN (European Committee of Standardisation), 2004.

4. CFSteel v3.1. Руководство пользователя Программа расчёта элементов и конструкций из стальных тонкостенных холодногнутых профилей [Электронный ресурс] Электрон. версия печат. публ. URL: <http://cfsteel.ru/index.php/about/cfsteel-v31> (дата обращения: 25.03.2017).

5. Стандарт организации 001-79850813 Профили холодногнутые из оцинкованной стали для строительства – М. : ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко – Москва, 2015.

Легалова Т.Е. – магистр ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: tanya.legalova@mail.ru.

Кикоть А.А. – к.т.н., доцент кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: deltaing@mail.ru.

УДК 692.232.42

РАСЧЕТ НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SCAD С УЧЕТОМ ГОЛОЛЕДНЫХ НАГРУЗОК

О. В. Лобанова, Г. М. Бусыгина

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

В статье рассмотрен расчет навесного фасада на действие гололедных и ветровых нагрузок. В зависимости от применяемых нормативных документов нагрузки задаются с разными коэффициентами. Приводится сравнение усилий для несущей конструкции фасада. Расчет выполнен в программном комплексе SCAD.

Ключевые слова: навесной фасад, гололедные нагрузки, ветровые нагрузки, SCAD.

Навесной фасад представляет собой конструкцию из подсистемы, теплоизоляции и облицовочных панелей. Между слоем облицовки и утеплителем оставляется воздушная прослойка, через которую снизу вверх циркулирует воздух, не дающий влаге оседать на несущей стене.

Навесные фасады можно классифицировать по ряду признаков.

По виду облицовочного материала:

- металлические панели с полимерным покрытием;
- виниловые панели;

- сэндвич-панели;
- фиброцементные системы;
- термopanели;
- OSB-панели;
- каменные и керамогранитные панели;
- стеклянные навесные панели и другие.

По материалам несущей конструкции (направляющие):

- оцинкованная сталь;
- нержавеющая сталь;
- алюминий и его сплавы;
- дерево.

По типу крепления:

РАСЧЕТ НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ В ПРОГРАМНОМ КОМПЛЕКСЕ SCAD С УЧЕТОМ ГОЛОЛЕДНЫХ НАГРУЗОК

- панели с креплением к стене;
- панели с креплением в плиты перекрытий.

Проектирование навесного фасада заключается в выборе оптимального облицовочного материала и расчете несущей системы на нагрузки от собственного веса, ветровые и гололедные нагрузки.

Рассмотрим особенности расчета на гололедно-ветровые нагрузки при расчете конструктивных элементов навесной системы вентилируемого фасада под керамогранитные плиты. Устройство фасадной системы (рисунок 1):

- кронштейн подвесной системы крепится к стене через терморазрыв из полипропилена двумя анкерами. Конструкция анкеров принимается для каждого объекта индивидуально по результатам натурных испытаний;
- к кронштейнам посредством заклепок крепится удлинитель;
- к удлинителю посредством четырех заклепок крепится направляющая;
- к направляющей при помощи заклепок крепляется кляммер из нержавеющей стали.

– элементы крепления облицовки:

а) кляммер рядовой, толщина 1,2 мм;

б) кляммер угловой, толщина 1,2 мм

В данном примере применяются детали каркаса навесной системы, изготовленные из алюминиевых профилей, закаленных и искусственно состаренных.

Все основные элементы каркаса системы «A-Vent ВФ К» изготовлены из пресованных профилей из сплава 6063 Т6 по ГОСТ 22233-2001.

Механические свойства сплава приведены в таблице 1.

Для соединения элементов каркаса используются заклепки 4,8×12 мм с гильзами из алюминиевого сплава AlMg3 по EN AW 5754. Их характеристики приведены в таблице 2.

Облицовка фасада – керамогранитные плиты $a \cdot b \cdot t = 600 \times 600 \times 10$ мм с объемным весом $m_1 = 25$ кг/м².

Каркас фасадной системы состоит из следующих конструктивных элементов:



Рисунок 1 – Фасадная система

Таблица 1 – Механические свойства сплава

Тип сплава	t, мм	Гарантированные пределы прочности материала		Значения расчётных сопротивлений		
		Временное сопротивление σ_b , МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	$R_y = \sigma_{0,2} / \gamma_m$, МПа	$R_t = \sigma_b / (\gamma_m \gamma_u)$, МПа	$R_{ni} = 0,75 R_u$, МПа
AlMg0,7Si 6063 Т6	До 10 включ.	215	170	155	135	100
Расчётные сопротивления определены в соответствии с СП 128.13330.2012 $\gamma_m = 1,1$; $\gamma_u = 1,45$						

Примечание: R_y – расчетное сопротивление алюминия растяжению, сжатию, изгибу по условному пределу текучести; R_u – расчетное сопротивление алюминия растяжению, сжатию, изгибу по временному сопротивлению; R_{ni} – расчетное сопротивление алюминия растяжению, сжатию, изгибу по временному сопротивлению; γ_m – коэффициент надежности по материалу; γ_u – коэффициент надежности в расчетах по временному сопротивлению.

Таблица 2 – Характеристики заклепок

Диаметр за- клёпки, мм	Диаметр стержня, мм	Диаметр бортика, мм	Диаметр от- верстия под заклёпку, мм	Нормативные усилия		Расчётные усилия	
				Срез N_z^s , Н	растяже- ние N_z^y , Н	Срез N_{zn}^s , Н	растяжение N_{zn}^y , Н
Гильза алюминий AlMg/ стержень алюминий AlMg 5							
4,8	2,95	9,0	4,9	980	1300	750	1000

- вертикальная направляющая;
- кронштейны несущие и опорные;
- удлинитель несущего кронштейна и удлинитель опорного кронштейна;
- рядовой и угловой кляммер.

При проектировании каркаса навесных фасадных систем зданий расчёт конструкций следует вести на максимальные нагрузки, действующие по фасаду здания. Для прямоугольных в плане зданий, фасад следует разбить на зоны. Горизонтальные границы зон должны располагаться примерно через 6 м. Вертикальные границы должны отделять угловые зоны от рядовой части фасадов. Пролеты по вертикали определяются исходя из длины применяемых профилей в соответствии с расчетной схемой. Длина направляющей принимается типовой равной 3000 мм. Геометрические характеристики направляющей (рисунок 2) I_y , I_x , W_y , W_x , S определялись по программе SCAD Soft ТОНУС, в частности $m_2 = 1 \text{ кг/м}$

На каркас навесных фасадов действуют следующие нагрузки:

- собственный вес облицовки и каркаса подконструкции;
- ветровые нагрузки;
- нагрузки от обледенения облицовки.

В качестве предварительного исследования рассматривается расчет направляющей. Исходные данные: высота над поверхностью земли $Z = 46 \text{ м}$; ветровой район $W_r = 3$; тип местности по ветровой нагрузке $t = \text{«В»}$; гололедный район $Gr \equiv 3$. Нагрузка от веса элементов навесного фасада

$$m_1 \cdot g \cdot a \cdot h \cdot \gamma f_1 + m_2 \cdot g \cdot h \cdot \gamma f_2 = 102,97 \text{ Н},$$

где $\gamma f_1 = 1,1$, $\gamma f_2 = 1$.

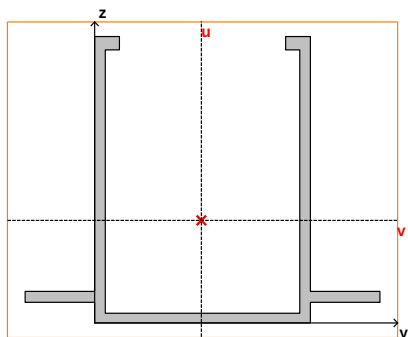


Рисунок 2 – Профиль направляющей

Для элементов ограждения и узлов их крепления необходимо учитывать не средние, а пиковые положительные w_+ и отрицательные w_- воздействия ветровой нагрузки, нормативные значения которых определяются по формуле п. 11.2 [1]

$$w_{+(-)} = w_0 k(z_e) [1 + \zeta(z_e)] c_{p,+(-)} v_{+(-)},$$

где коэффициенты $c_{p,+(-)}$ выбираются по приложению Д.17 СП 20.13330.2011. Пиковое положительное значение аэродинамического коэффициента $c_{p,+} = 1,2$. Пиковые значения отрицательного аэродинамического коэффициента $c_{p,-}$ для рядовой части стены $c_{p,-} = -1,2$, для угловой (краевой) $c_{p,-} = -2,2$; $v_{+} = v_{-} = 1$ – коэффициент корреляции ветрового давления; $k(z_e)$ и $\zeta(z_e)$ – коэффициенты, зависящие от высоты и типа местности, рассчитываются интерполяцией по таблицам 11.2 и 11.4 СП и равны $k(z_e) = 1,16$, $\zeta(z_e) = 0,782$; $\gamma f_3 = 1,4$ – коэффициент надежности по ветровой нагрузке.

Расчетная ветровая нагрузка для рядовой зоны равна

$$q_{w1} = w \cdot a \cdot \gamma f = -0,792 \text{ кН/м},$$

где $C = -1,2$, для угловой зоны $q_{w2} = -1,452 \text{ кН/м}$ при $C = -2,2$.

Нормативная гололедная нагрузка для фасадных конструкций в соответствии с п.12.2 СП 20.13330.2011 зависит от гололедного района и высоты здания

$$i = b \cdot k \cdot \mu_2 \cdot \rho \cdot g = 145,629 \text{ Па}.$$

Коэффициент надежности для гололедной нагрузки $\gamma f_3 = 1,3$.

Общий вид расчетной схемы представлен на рисунке 3. Ей соответствует расчетная схема в SCAD, где ветровая нагрузка прикладывается как равномерно-распределенная, а нагрузка от веса и гололедная как сосредоточенные на узлы, вынесенные на эксцентриситет (вылет облицовки), равный $e = 2,45 \text{ см}$. Вынесенные узлы соединяются с исходными как твердые тела.

В летнее время расчет ведется на собственный вес L_1 и ветровую нагрузку L_2 (для угловой области L_3). Комбинация загружений имеет вид $L_1^*1 + L_2^*1$ и соответственно, $L_1^*1 + L_3^*1$. Сечения проверяются по прочности на растяжение с изгибом

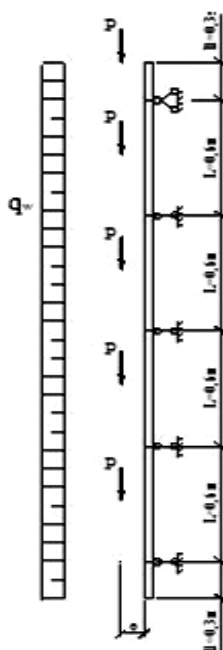


Рисунок 3 – Расчетная схема

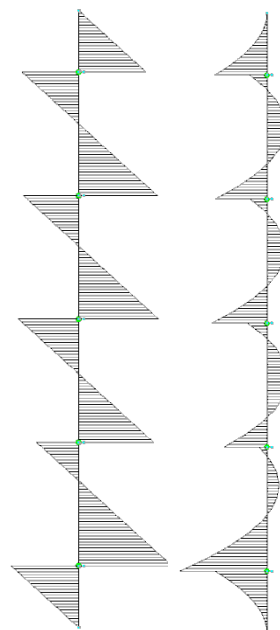


Рисунок 4 – Эпюры усилий Q и M от загрузки: собственный вес, ветер и гололед

Таблица 3 – Значения усилий для нагрузок в летнее время

Значение	Для рядовой зоны	Для угловой зоны
M, Нм	38,16	67,86
Q, Н	269,9	489,1
σ , МПа	12,4	20,97
τ , МПа	0.45	0.815

Таблица 4 – Значения усилий для нагрузок в зимнее время

Значение	Для рядовой зоны	Для угловой зоны
M, Нм	13,99	21,42
Q, Н	79,52	134,33
σ , МПа	5,44	7,58
τ , МПа	0.132	0.223

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_{\max}}{W_{\hat{\sigma}}} \leq \frac{R_y^* \gamma_c}{\gamma_n}. \quad (1)$$

$$\tau = \frac{Q_{cp.on.} * S}{J_y * t} < 0,58 * R_y. \quad (2)$$

Значения приведены в таблице 3.

В зимнее время учитывается гололедная нагрузка L_4 , но рекомендуется использовать 25% от ветровой. Проверяются две комбинации загрузок: $L_1+L_4+L_3 \cdot 0,25 \cdot 0,9$ и $L_1+L_4 \cdot 0,9+L_3 \cdot 0,25$, т.к. одну из временных нагрузок в комбинации загрузок учитываем с коэффициентом 0.9. Максимальные усилия

в сочетании с нагрузкой от гололеда $\ast 0,9$ (таблица 4).

Расчет элементов крепления выполнен, но в данной статье не приводится. Расчетные усилия как для направляющей, так и для всех элементов фасадной конструкции не превышают допустимые.

В ноябре 2016 г. утвержден и введен в действие стандарт ГОСТ ИСО 1249-2016 «Основы проектирования строительных конструкций. Определение гололедных нагрузок» [2]. Он идентичен международному стандарту ISO 12494:2001 и предназначен для определения массы гололеда и ветровой нагрузки на обледеневшую конструкцию, т.к. в СП гололедные нагрузки рассмотрены кратко [5]. ГОСТ более развернуто регламентирует гололедно-ветровые нагрузки и предоставляет проектировщикам определенную свободу выбора расчетных значений и коэффициентов, считая, что основные воздействия от обледенения – это повышенные вертикальные нагрузки на обледеневшую конструкцию, а повышенное лобовое сопротивление, вызываемое увеличением наветренной площади, может вызвать большие ветровые нагрузки, чем при отсутствии обледенения. В данных нормах учитывается тип обледенения (гололед, мокрый снег, твердая изморозь, макая и изморозь) и вводятся ледовые классы.

Таблица 5 – Значения изгибающих моментов и поперечных сил для нагрузок от ветра и гололеда, рассчитанные по разным нормативным документам

Загрузка	СП 20.13330.2011		ГОСТ ИСО 1249-2016	
	Рядовая область	Угловая область	Рядовая область	Угловая область
L4*0,9+L3*0,25 (СП) или L4*0,9+L3*0,4 (ГОСТ)	M = 11,47 Нм Q = 72,69 Н	M = 18,89 Нм Q = 127,49 Н	M = 16,81 Нм Q = 112,15 Н	M = 28,69 Нм Q = 199,84 Н
L4+L3*0,25*0,9 (СП) или L4+L3*0,4*0,9 (ГОСТ)	M = 10,86 Нм Q = 66,88 Н	M = 17,54 Нм Q = 116,21 Н	M = 15,67 Нм Q = 102,4 Н	M = 26,36 Нм Q = 181,31 Н

Гололед – тип атмосферного обледенения, который имеет самую высокую плотность. Как правило, он приводит к равномерно распределенному обледенению. Интенсивность обледенения сооружений изменяется от высоты сооружения H над уровнем земли. Высотный коэффициент предлагается вычислять как $K_h = e^{0,01H}$.

Для того, чтобы произвести расчет для покрытой гололедом конструкции, требуется изменить коэффициенты лобового сопротивления для обледеневшей конструкции, при этом предполагается, что связаны с исходными значениями. Если считать, что район строительства – г. Барнаул – относится по классификации ICG к классу G1 с толщиной стенки гололеда 10 мм, то исходные ветровые коэффициенты лобового сопротивления будут пересчитаны [табл. 11, 2]. При выполнении табличной интерполяции новые значения C : $c_1 = 1,239$ (вместо 1,2), $c_2 = 2,053$ (вместо 2,2).

Гололедные нагрузки являются характеристическими нагрузками и определяются как нагрузки с периодом повторяемости 50 лет или вероятностью ежегодного превышения 0,02. При воздействии ветра рассматриваются два сочетания нагрузок от ветра и гололеда. При первом сочетании воздействие ветра с низкой вероятностью превышения сочетается с воздействием гололеда с высокой вероятностью превышения. При втором сочетании высокую вероятность превышения имеет ветровая нагрузка, а низкую – обледенение. Ледовый класс также оказывает влияние на сочетание нагрузок и рекомендуется использовать коэффициент $k = 0,4$ для понижения ветровой нагрузки. Значит в расчетах предлагается использовать комбинации нагрузок $L1*1+L4*1+L3*0,4*0,9$ или $L1*1+L4*0,9+L3*0,4$.

В дальнейшем можно провести сравнение вычисленных значений M и Q только для гололедно-ветровых нагрузок без учета веса, который является константой. Результаты сравнения приведены в таблице 5. При-

веденные в таблице данные позволяют сделать следующие выводы:

- вычисленные усилия (M , Q) от гололедно-ветровой нагрузки согласно ГОСТ превышают усилия, вычисленные по СП в среднем на 33% для и рядовой области;
- несмотря на увеличение усилий от гололедно-ветровой нагрузки, они не превышают значения, полученные от ветровой нагрузки для всех областей рассматриваемого примера.

В любом варианте условия $\tau < [\tau]$ и $\sigma < [\sigma]$ будут выполнены для рассматриваемого примера. Динамические воздействия и повреждения, вызываемые падающим льдом, в данной работе не рассматривались.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. – М. : Изд-во стандартов, 2011. – 76 с.
2. ГОСТ ИСО 1249-2016. Основы проектирования строительных конструкций. Определение гололедных нагрузок. – М. : Изд-во стандартов, 2011. – 37 с.
3. СП 70 13330-2012. Несущие и ограждающие конструкции (актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87). – М. : Изд-во стандартов, 2013. – 203 с.
4. Рекомендации по проектированию и применению навесного вентилируемого фасада А-VENT ВФ К [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://kronastroy.ru/rekomendatsii-po-proektirovaniyu-i-primeneniyu-navesnogo-ventiliruemogo-fasada-a-vent-vf-k/>
5. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / под общ. ред. А. В. Перельмута. – 4-е изд., перераб. – М. : Изд-во СКАД СОФТ, Изд-во АСВ, Изд-во ДМК Пресс, 2014. – 596 с.

Лобанова О.В. – старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: lobanovaolechk@mail.ru.

Бусыгина Г.М. – к.э.н., доцент кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: galinab14@yandex.ru.