

Подсистема. Геометрия и проверка элементов

Предварительно проверил элементы рамы. Снеговые и ветровые нагрузки, коэффициенты трения нужно уточнить для объекта. До завершения расчёта в монтаж не выдавать.

1. Геометрия и нагрузки

15 панелей 2382×1134×30 мм, по 33,5 кг; $A_m = 40,518 \text{ м}^2$. Поле 5750×7936; зазоры между группами 395, между панелями 20. Направляющие принял по 550 от торцов, шаг 1282. Замену исходного шага 1580 согласовать.

Отметки ПЗ / П4 +30...90; С1 +90...110; П1 / П2 +110...170; Н1 с КР1 +170...230. Низ панели +230. Перепад кровли принял 95 на 5750; $\beta = 0,946^\circ$. Высоту опор уточнить по нивелировке.

Для вертикальной нагрузки принял снеговую $s_n = 2,40 \text{ кПа}$ и постоянную $g_n = 0,30 \text{ кПа}$; $r_d = 1,4s_n + 1,1g_n = 3,69 \text{ кПа}$. Для стали принял $R_y = 215 \text{ МПа}$, $E = 206 \text{ ГПа}$. Труба 60×60×3 - $W = 11,94 \text{ см}^3$, $I = 35,81 \text{ см}^4$; 40×40×3 - $W = 4,81 \text{ см}^3$, $I = 9,61 \text{ см}^4$.

2. Элементы рамы и кассет

Элемент	Схема проверки	Результат
П1, $l = 1,20 \text{ м}$	$R_d = 4,98 \text{ кН}$; $M = 1,51 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$\sigma = 126,5 \text{ МПа}$
П4, $l = 1,282 \text{ м}$	$(240 + 34,5) \text{ кг}$; $M \approx 0,96 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$\sigma \approx 80 \text{ МПа}$
П2, $l = 1,495 \text{ м}$	Настил + $1,8 \text{ кН}$; $M \leq 1,26 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$\sigma \leq 106 \text{ МПа}$
Консоль Н2, $0,335 \text{ м}$	$R_d = 1,8 \text{ кН}$; $M = 0,603 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$\sigma = 125,4 \text{ МПа}$
Средник Б1, $1,04 \text{ м}$	40×40×3; $R_d = 1,295 \text{ кН}$	$\sigma \leq 70 \text{ МПа}$
Лапа Б1, $\delta = 52$	$F_d = 0,75 \text{ кН}$; $W = 600 \text{ мм}^3$	$\sigma \leq 65 \text{ МПа}$
С2, контроль $N = 5 \text{ кН}$	$N \leq 8,23 \text{ кН}$; Анетто = 112 мм^2	$\sigma \leq 74 \text{ МПа}$

П1 проверил на нагрузку от половины панели, приложенную в середине пролёта. При $p_n = 2,70 \text{ кПа}$ прогиб $f \approx 1,8 \text{ мм} < l/200 = 6 \text{ мм}$. На П4 учёл половины двух соседних кассет с пригрузом; масса пустой кассеты 34,5 кг.

Для П2 учёл снег, вес поперечного настила и балки, сосредоточенную силу 1,8 кН. Для Н2 к нагрузке 1,5 кН применил коэффициент 1,2. ПВХ и прижимы проверить по паспорту на местную нагрузку 1,5 кН.

С2 проверил на передачу всей горизонтальной силы 5 кН одной растянутой диагональю. Общий расчёт рамы ещё нужно выполнить с учётом податливости стыков, работы опор и сочетаний нагрузок, включая сейсмические.

Узлы и устойчивость конструкции

3. Проверка соединений

Стык П2 / П4 проверил при $M_d = 1,50 \text{ кН}\cdot\text{м}$ и $Q_d = 3 \text{ кН}$. Принял 2 накладки $250 \times 60 \times 8$, 4 $M12 \times 100$ 8.8, втулки $\varnothing 22 \times 4$, L60. $F_{\text{болт}} \leq M/0,05 + Q/2 = 31,5 \text{ кН}$; при двух плоскостях среза $\tau \approx 187 \text{ МПа}$. При $R_{bs} = 332 \text{ МПа}$ и $\gamma_b = 0,9$ запас по срезу 1,60.

Для накладок $W_{\text{нетто}} \approx 9,50 \text{ см}^3$, напряжение изгиба $\sigma \approx 158 \text{ МПа}$. Напряжения смятия – 164 МПа в накладках и 239 МПа в стенках трубы через втулку $\varnothing 22$. Оба значения ниже $R_{bp} \cdot \gamma_b = 475 \times 0,9 \approx 428 \text{ МПа}$. Втулки обварить по кругу с проваром стенки трубы на полную толщину. Качество швов проверить.

КР1 проверил на условную силу 5 кН с плечом 30 мм. Для уголка $60 \times 60 \times 10$, L70 получил $W \approx 1167 \text{ мм}^3$, $\sigma \approx 129 \text{ МПа}$. Паз Н1, Т-болт и прижим панели проверить по данным выбранного комплекта.

Для опирания Н2 принял $R_d = 1,8 \text{ кН}$ и вылет 335 мм; $M = 0,603 \text{ кН}\cdot\text{м}$. Пластина $100 \times 50 \times 10$, два шва длиной 50 с расстоянием 60. При катете 3 напряжение в расчётном сечении шва около 96 МПа. Местную прочность стенки П2 и швы проверить по окончательным усилиям.

4. Отрыв, сдвиг и опрокидывание

Кассеты вмещают $15 \times 4 \times 60 = 3600 \text{ кг}$ пригруза. Его требуемую массу ещё нужно определить. Для примера принял $m_0 = 3000 \text{ кг}$, $\mu = 0,30$, $H_d = 5 \text{ кН}$, $h = 0,40 \text{ м}$. В площадь отрыва $A = 49,385 \text{ м}^2$ включил настил без вычета отверстий ПВХ.

Условия устойчивости. Отрыв – $0,9G \geq U$. Сдвиг по уклону – $0,9G \geq U + H(\cos\beta + \mu\sin\beta)/(\mu\cos\beta - \sin\beta)$. При принятых значениях добавка к U составляет 17,73 кН. $G = (m_0 + m_b)g$. Снег в удерживающем весе не учитывал.

Опрокидывание поперёк рамы – $0,9G \cdot B/2 \geq U \cdot (B/2 + e) + Hh$. Для примера принял $B = 5,75 \text{ м}$, $e = B/4$. Эксцентриситет нагрузки и местный отсос в углах уточнить по геометрии крыши, парапетам и расположению панелей.

отрыв, кПа	U, кН	Сдвиг, т	Опрокид., т	Балласт, т
0,50	24,69	1,80	1,27	1,80
1,00	49,38	4,60	5,47	5,47
1,50	74,08	7,40	9,66	9,66

В таблице привёл требуемый пригруз при разных условных значениях отрыва q . При $q = 1,00 \text{ кПа}$ вместимости 3,6 т недостаточно. Окончательную массу и загрузку кассет назначить после проверки отрыва углов и реакций опор.

Нагрузка на кровлю и ведомость заготовок

5. Масса и опоры

Массу без пригруза оценил в 3,03 т; с 60 плитами – в 6,63 т. В расчёте массы принял Н1 – 2 кг/м, крепёж и втулки – 100 кг, подкладки – 57,6 кг. Массу уточнить по выбранным изделиям.

Средняя постоянная нагрузка от конструкции с пригрузом по габариту 6620×7936 – 1,24 кПа. При условной снеговой нагрузке 2,4 кПа на панелях и настиле суммарно 183,5 кН; средняя расчётная реакция 6,60 кН на опору. Максимальные реакции и несущую способность кровли ещё нужно определить.

Плиту О1 400×400×8 проверил при $N_d = 8$ кН и среднем давлении 50 кПа. При равномерном опирании и вылете 170 мм $\sigma \approx 68$ МПа. Допустимое давление на кровлю и фактическую площадь контакта ещё нужно проверить.

По исходным чертежам кровля бани выполнена по LVL-балкам. Для её проверки нужны фактические сечения и раскладка балок, состав кровли. Проверить прочность и прогибы балок, продавливание OSB и длительное сжатие утеплителя под опорами.

6. Трубы и обрешётка

Элемент	Длина, мм	Кол., шт.	Всего, м
П1 / ПЗ, 60×60×3	6000	12	72,000
П2 / П4, 60×60×3	520	24	12,480
П2 / П4, 60×60×3	1222	36	43,992
П2 / П4, 60×60×3	717 / 718	24 / 24	34,440
С1, 60×60×3	20	36	0,720
Н2, 40×40×3	400 / 354,8	42 / 80	45,184
Н2, 40×40×3	5750 / 277	4 / 34	32,418
Б1, 40×40×3	1040 / 500	15 / 30	30,600

7. Перед изготовлением и монтажом

1. Уточнить привязку размера 7940 и торцевые зазоры. Согласовать шаг Н1 1282 вместо 1580, профиль направляющей и крепёж.
2. Подтвердить состав кровли, балки, допустимые нагрузки и марку мембраны. Подобрать защитную подкладку, снять отметки кровли.
3. Уточнить высоту здания, парапеты, рельеф и окружение. Определить снеговые и ветровые нагрузки, составить расчётные сочетания с учётом сейсмических воздействий. Измерить коэффициенты трения опор по подкладкам и подкладок по кровле. Завершить расчёт рамы и кровли, назначить массу и размещение пригрузов.