

Расчёты.

Статические расчёты.

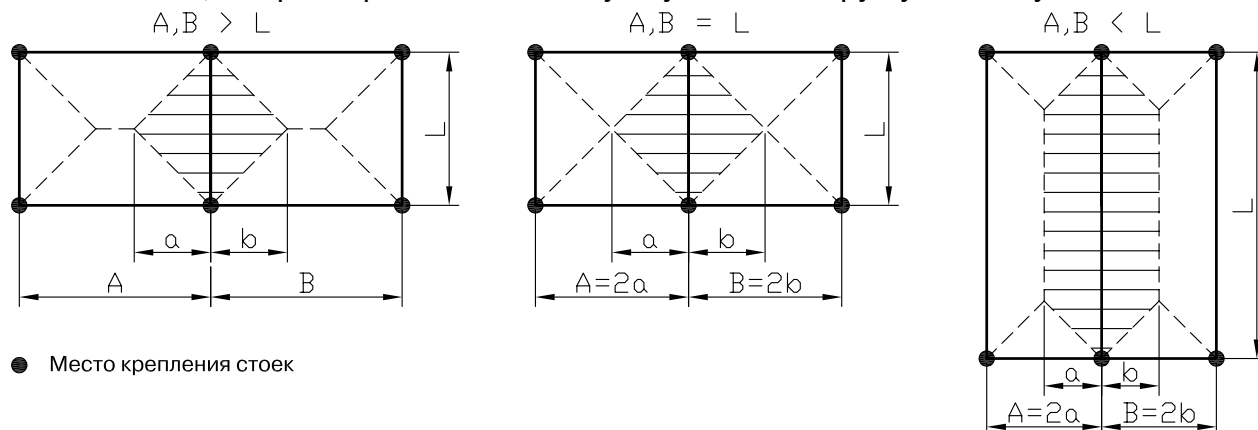
Методика расчёта основывается на данных, приведённых в СНиП 2.01.07-85 и СНиП 2.03.06-85. Данные, полученные в результате проведённых расчётов, должны быть проверены и утверждены специалистом по расчёту конструкций на стадии проектирования сооружения, т.к. приведённая методика является упрощённой и не может учесть все особенности реальной конструкции.

В данной методике приведены статические расчёты на прогиб ригелей и стоек под воздействием различных нагрузок. Основой для расчётов служат статические параметры профилей указанные в данном каталоге (см. разделы 3 и 6).

Элементы конструкции, закреплённые в проеме здания, как правило, не требуют расчёта. При этом расстояние между точками крепления не должно превышать 80 см.

Расчёт параметров стоек и ригелей на прогиб под воздействием ветровой нагрузки.

Ветер воздействует на площадь поверхности стекла, при этом стекло закреплено в конструкции, следовательно, нагрузка передаётся на элементы конструкции. На рисунках показана область остекления, которая передаёт воздействующую на неё нагрузку на стойку.



Под воздействием ветровой нагрузки элементы конструкции изгибаются. Расчёт элементов фасада сводится к выбору стоек и ригелей с моментом инерции J_x , который удовлетворял бы условию:

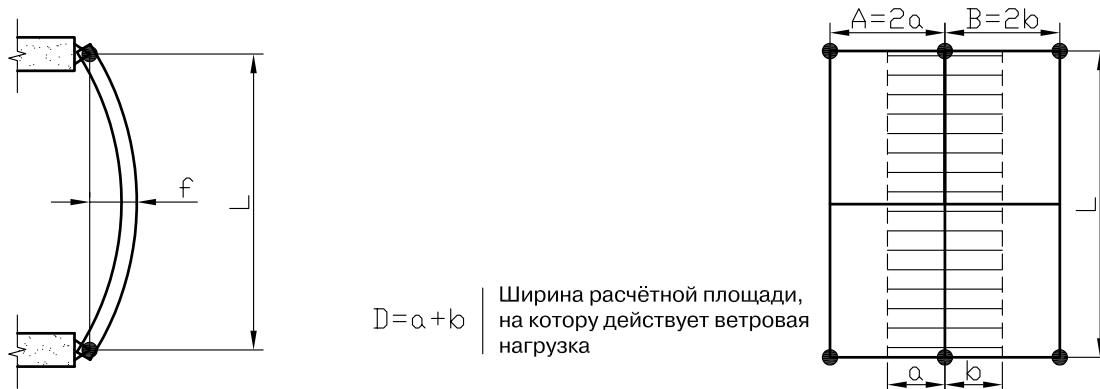
$$f_{\text{факт.}} < f_{\text{доп.}}$$

$f_{\text{доп}}$ – максимально допустимый прогиб стойки или ригеля. Определяется по СНиП 2.03.06-85.

При заполнении одинарным стеклом - $f_{\text{доп}} = L/200$, при заполнения стеклопакетом - $f_{\text{доп}} = L/300$

$f_{\text{факт}}$ – фактический прогиб элемента конструкции под воздействием равномерно распределённой нагрузки (см.рис.).

Учитывая, то что в фасадных конструкциях расстояние между точками крепления стоек к несущим конструкциям (L), как правило больше чем расстояние между двумя соседними стойками (A, B), то для расчёта используем всю прямоугольную площадь поверхности остекления (см. рис.)



Выбор вертикальной стойки в зависимости от ветровой нагрузки.

Производим выбор стойки исходя из расчёта необходимого момента инерции - J_x .

$$J_x > \frac{5 \cdot q_{\text{расч}} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot f_{\text{доп}}} \cdot k_1 \cdot k_2$$

Где:

$q_{\text{расч}} = q \cdot y$ - расчётная нагрузка на единицу поверхности (кгс/м);
 $y = 1,4$ - коэффициент надёжности по ветровой нагрузке (СНиП 2.01.07-85);

$q = W_m \cdot D$ - интенсивность распределённой нагрузки (кгс/м);
 D - ширина расчётной площади на которую действует ветровая нагрузка (м);

$W_m = W_0 \cdot k \cdot c$ - нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки (кгс/м²);

W_0 - нормативное значение ветрового давления (кгс/м²) (см. таблицу 1);

k - коэффициент учитывающий изменение ветрового давления по высоте (см. таблицу 2);

c - аэродинамический коэффициент (п.6.6 СНиП 2.01.07-85);

L - расстояние между точками крепления стойки к несущим конструкциям (см);

$E = 7,1 \cdot 10^5 \text{ кгс/см}^2$ - модуль упругости для алюминиевых сплавов;

$f_{\text{доп}}$ - максимально допустимый прогиб стойки (см);

k_1 - коэффициент корректировки учитывающий размеры стеклопакета (см. таблицу 3);

k_2 - коэффициент корректировки учитывающий прогиб по кромке стекла (см. таблицу 4); .

Таблица 1 (СНиП 2.01.07-85)

Ветровые районы (принимаются по карте 3, обязательного приложения к СНиП 2.01.07-85)	I _a	I	II	III	IV	V	VI	VII
W_0 (кгс/м ²)	17	23	30	38	48	60	73	85

Таблица 2 (СНиП 2.01.07-85)

Высота крепления элемента, м	Коэффициент K для различных типов местности		
	A	B	C
до 5	0,75	0,5	0,4
10	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
60	1,7	1,3	1,0
80	1,85	1,45	1,15
100	2,0	1,6	1,25

В таблице 2:

A - открытые побережья морей, озёр и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра;

B - городские территории, лесные массивы и т.п.;

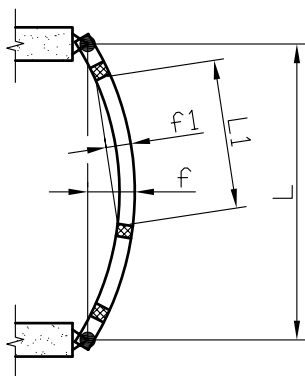
C - городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м.

В случае если остекление производится стеклопакетами высотой более 240 см., то момент инерции стойки необходимо умножить на повышающий коэффициент - k_1 ;

Таблица 3

Высота стеклопакета, см	250	260	270	280	290	300	325	350	375	400
Коэффициент корректировки - k_1	1,04	1,08	1,12	1,17	1,21	1,25	1,35	1,46	1,56	1,67

При определении момента инерции стойки необходимо учитывать, что при прогибе стойки (f) под воздействием нагрузок, прогиб стекла (f_1) не должен быть больше 8 мм.



На рисунке показан вариант, когда на стойку закреплённую с шагом - L устанавливаются несколько стеклопакетов. L1 - размер стеклопакета.

Полученное значение момента инерции стойки - J_x необходимо умножить на коэффициент - K_2 учитывающий прогиб по кромке стекла.

Таблица 4

L, см.	L1/L			
	1,0	0,75	0,66	0,5
250	1,04	1	1	1
300	1,24	1	1	1
350	1,45	1	1	1
400	1,66	1	1	1
450	1,87	1,05	1	1
500	2,08	1,17	1	1
550	2,29	1,28	1,01	1
600	2,49	1,4	1,11	1

Пример расчёта стойки на ветровую нагрузку.

- Стойка закреплена в средней части здания на высоте 8 м.
- Расстояние между точками крепления стойки к перекрытиям здания - 3,3 м.
- Стойки в витраже расположены равномерно с шагом - 1,5 м.
- Максимальная высота стеклопакета устанавливаемого в витраж - 1,5 м.
- Здание расположено в Казани.

В нашем случае допустимый прогиб стойки $f_{\text{доп}} = 330 \text{ (см)}/300 = 1,1 \text{ см}$.

Город Казань расположен во II ветровом районе, ветровое давление для этого района - $W_0 = 30 \text{ кгс/м}^2$

С учётом высоты здания и типа местности определяем коэффициенты - $K = 0,65$ и $C = 0,8$.

Получаем $W_m = 30 \cdot 0,65 \cdot 0,8 = 15,6 \text{ кгс/м}^2$.

Интенсивность распределённой нагрузки равна - $q = 15,6 \cdot 1,5 = 23,4 \text{ кгс/м} = 0,234 \text{ кгс/см}$.

Определяем расчетную нагрузку на единицу поверхности - $q_{\text{расч}} = 0,234 \cdot 1,4 = 0,3276 \text{ кгс/см}$.

Коэффициент корректировки, учитывающий размеры стеклопакета - $K_1 = 1,0$.

Исходя из отношения высоты устанавливаемого стеклопакета к расстоянию между точками крепления стойки - $L1/L = 150/330 = 0,45$, по таблице 4 определяем коэффициент, учитывающий прогиб по кромке стекла - $K_2 = 1,0$.

На основании полученных данных определяем минимальный момент инерции стойки - J_x .

$$J_x > \frac{5 \cdot q_{\text{расч}} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot f_{\text{доп}}} \cdot k_1 \cdot k_2 = \frac{5 \cdot 0,3276 \cdot 330^4}{384 \cdot 7,1 \cdot 10^5 \cdot 1,1} \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 64,77 \text{ см}^4.$$

Выбираем стойку с моментом инерции $J_x > 64,77 \text{ см}^4$, в нашем случае это стойка - RE 6024, с моментом инерции $J_x = 69,06 \text{ см}^4$.

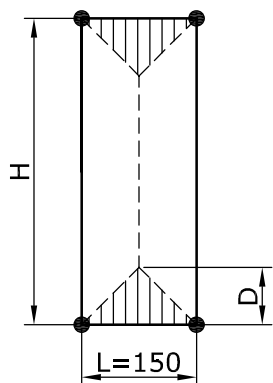
Расчет фактического прогиба данной стойки производим по формуле:

$$f_{\text{факт}} = \frac{5 \cdot q_{\text{расч}} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot J_x} = \frac{5 \cdot 0,3276 \cdot 330^4}{384 \cdot 7,1 \cdot 10^5 \cdot 69,06} = 1,03 \text{ см}.$$

Соблюдается условие соотношения фактического прогиба стойки к допустимому прогибу - $f_{\text{факт}} < f_{\text{доп}} = 1,03 \text{ см} < 1,1 \text{ см}$.

Пример расчёта ригеля на ветровую нагрузку.

Расчёт необходимого момента инерции ригеля J_x на воздействие ветровой нагрузки производим по формуле, которая использовалась для расчёта момента инерции стойки.



На рисунке показана схема установки ригеля в витраж
 L - расстояние между точками крепления ригеля к стойкам условно считаем, что это расстояние равно расстоянию между осями стоек.
 H - расстояние между ригелями.
 D - ширина расчетной площади, на которую действует ветровая нагрузка.

H - расстояние между ригелями.

D - ширина расчетной площади, на которую действует ветровая нагрузка.

$$D = L / 2$$

Производим выбор стойки исходя из расчета необходимого момента инерции - J_x

$$J_x > \frac{q_{расч} \cdot L^4}{120 \cdot E \cdot f_{доп}} \cdot k_1 \cdot k_2$$

- Ригель закреплен в соответствии со схемой приведённой на рисунке, в средней части здания на высоте 18 м.
- Стойки в витраже расположены равномерно с шагом 1,5 м.
- Здание расположено в городе Москве.

В нашем случае допустимый прогиб стойки $f_{доп} = 150 \text{ (см)} / 300 = 0,5 \text{ см}$.

Москва расположена в I ветровом районе, ветровое давление для этого района $W_0 = 23 \text{ кгс/м}^2$.

С учётом высоты здания и типа местности определяем коэффициенты: $K = 0,85$ и $C = 0,8$.

Получаем $W_m = 23 \cdot 0,85 \cdot 0,8 = 15,64 \text{ кгс/м}^2$.

Интенсивность распределённой нагрузки равна $q = W_m \cdot D$

Получаем $q = 15,64 \cdot 1,5 / 2 = 11,73 \text{ кгс/м} = 0,1173 \text{ кгс/см}$.

Определяем расчетную нагрузку на единицу поверхности $q_{расч} = 0,1173 \cdot 1,4 = 0,164 \text{ кгс/см}$.

Коэффициент корректировки, учитывающий размеры стеклопакета $k_1 = 1,0$.

Коэффициент, учитывающий прогиб по кромке стекла $k_2 = 1,0$.

На основании полученных данных определяем минимальный момент инерции стойки J_x .

$$J_x > \frac{q_{расч} \cdot L^4}{120 \cdot E \cdot f_{доп}} \cdot k_1 \cdot k_2 = \frac{0,164 \cdot 150^4}{120 \cdot 7,1 \cdot 10^5 \cdot 0,5} \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,95 \text{ см}^4.$$

Выбираем ригель с моментом инерции $J_x > 1,95 \text{ см}^4$, в нашем случае это ригель RE 6020, с моментом инерции $J_x = 2,57 \text{ см}^4$.

Расчет фактического прогиба данного ригеля производим по формуле:

$$f_{факт} = \frac{q_{расч} \cdot L^4}{120 \cdot E \cdot J_x} = \frac{0,164 \cdot 150^4}{120 \cdot 7,1 \cdot 10^5 \cdot 2,57} = 0,38 \text{ см}.$$

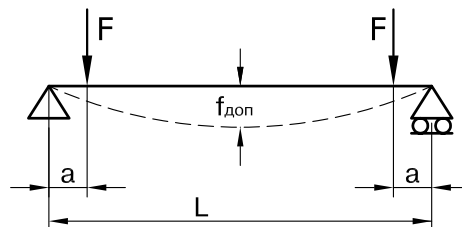
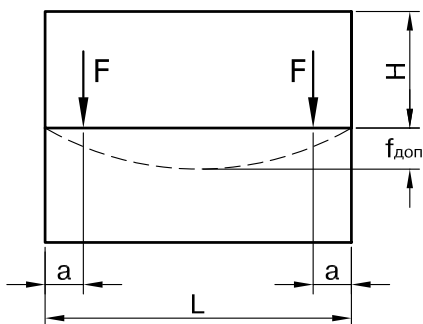
Соблюдается условие соотношения фактического прогиба ригеля к допустимому прогибу:

$$f_{факт} < f_{доп} = 0,38 \text{ см} < 0,5 \text{ см}.$$

Расчёт параметров ригелей на воздействие нагрузки от веса стекла.

Помимо того, что ригели должны быть устойчивы к воздействию ветровых нагрузок, они должны выдерживать нагрузку от веса стекла и от собственного веса.

Нарисуем схему воздействия нагрузки от веса стекла на ригель.



Под воздействием нагрузки от веса стекла и собственного веса ригель изгибается. Расчёт сводится к выбору ригеля с моментом инерции J_y , который удовлетворял бы условию:

$$f_{\text{факт.}} < f_{\text{доп.}}$$

$f_{\text{доп}}$ – максимально допустимый прогиб ригеля. Определяется по СНиП 2.03.06-85.

При заполнении одинарным стеклом - $f_{\text{доп}} = L/200$, при заполнения стеклопакетом - $f_{\text{доп}} = L/300$. При этом допустимый прогиб не должен превышать 0,3 см.

$f_{\text{факт}}$ – фактический прогиб для однопролётной балки со свободными опорами и сосредоточенной нагрузкой (см.рис.).

Фактический прогиб ригеля под воздействием нагрузки от стекла вычисляем по формуле:

$$f_{\text{факт}} = \frac{F \cdot a \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot a^2)}{48 \cdot E \cdot J_y}$$

Где:

$F = H \cdot L \cdot S \cdot \gamma$ - нагрузка на ригель от веса стекла

- L - расстояние между стойками (см);
- H - расстояние между ригелями или высота стекла (см);
- S - толщина стекла (в стеклопакете толщина стекол суммируется) (см);
- $\gamma = 0,0025 \text{ кгс/см}^2$ - плотность стекла (в стеклопакете толщина стекол суммируется) (см);
- a - расстояние от оси стойки до оси установки подкладки под стекло (см), условно принимается - $a = 15 \text{ см}$;
- $E = 7,1 \cdot 10^5 \text{ кгс/см}^2$ - модуль упругости для алюминиевых сплавов;
- $f_{\text{факт}}$ - фактический прогиб ригеля (см);
- J_y - момент инерции ригеля.

Момент инерции ригеля для нагрузки от веса стекла определяем по формуле:

$$J_{y1} = \frac{F \cdot a \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot a^2)}{48 \cdot E \cdot f_{\text{доп}}}$$

Момент инерции ригеля для нагрузки от собственного веса определяем по формуле:

$$J_{y2} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot (L/300)}$$

Где:

- $q = A \cdot \rho$ - вес ригеля (кгс/см);
- A - площадь поперечного сечения ригельного профиля (см²);
- $\rho = 0,00271 \text{ (кг/см}^3\text{)}$ - плотность алюминия

Суммарный момент инерции ригеля определяется, как сумма двух моментов.

$$J_v = J_{y1} + J_{y2}$$

Пример расчёта ригеля на нагрузку от веса стекла.

Произведём расчёт ригеля исходя из условий описанных на стр. 11.4 (пример расчёта ригеля на ветровую нагрузку):

- расстояние между стойками (условно принимаем как ширину стекла) – $L = 150$ см;
- расстояние между ригелями (условно принимаем как высоту стекла) – $H = 170$ см;
- в качестве заполнения используется стеклопакет с формулой 6-12-6 мм.

Определяем вес стекла (стеклопакета):

$$F = H \cdot L \cdot S \cdot \gamma = 170 \cdot 150 \cdot 1,2 \cdot 0,0025 = 76,5 \text{ (кгс)}$$

Допустимый прогиб ригеля - $f_{\text{доп}}$ не должен превышать 0,3 см.

Расчёт необходимого момента инерции ригеля J_y на воздействие нагрузки от веса стекла и собственного веса определяем как сумму двух моментов инерции:

$$J_y = J_{y1} + J_{y2}$$

Минимально допустимый момент инерции ригеля для нагрузки от веса стекла, при $a = 15$ см:

$$J_{y1} = \frac{F \cdot a \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot a^2)}{48 \cdot E \cdot f_{\text{доп}}} = \frac{76,5 \cdot 15 \cdot (3 \cdot 150^2 - 4 \cdot 15^2)}{48 \cdot 7,1 \cdot 10^5 \cdot 0,3} = 7,48 \text{ см}^4$$

Выбираем ригель с большим моментом инерции, в нашем случае это ригель - RE 6022. Вес ригеля RE 6022 равен:

$$q = A \cdot \rho = 4,84 \cdot 0,00271 = 0,0131 \text{ (кгс/см)}$$

Момент инерции ригеля для нагрузки от собственного веса определяем по формуле:

$$J_{y2} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot (L/300)} = \frac{5 \cdot 0,0131 \cdot 150^4}{384 \cdot 7,1 \cdot 10^5 \cdot 0,5} = 0,243 \text{ см}^4$$

Суммарный момент инерции ригеля определяем, как сумму двух моментов инерции:

$$J_y = J_{y1} + J_{y2} = 7,48 + 0,243 = 7,723 \text{ см}^4$$

Ригель - RE 6022 имеет момент инерции $J_y = 14,2 \text{ см}^4$

Проверим выбранный ригель на прогиб под воздействием нагрузки от стекла:

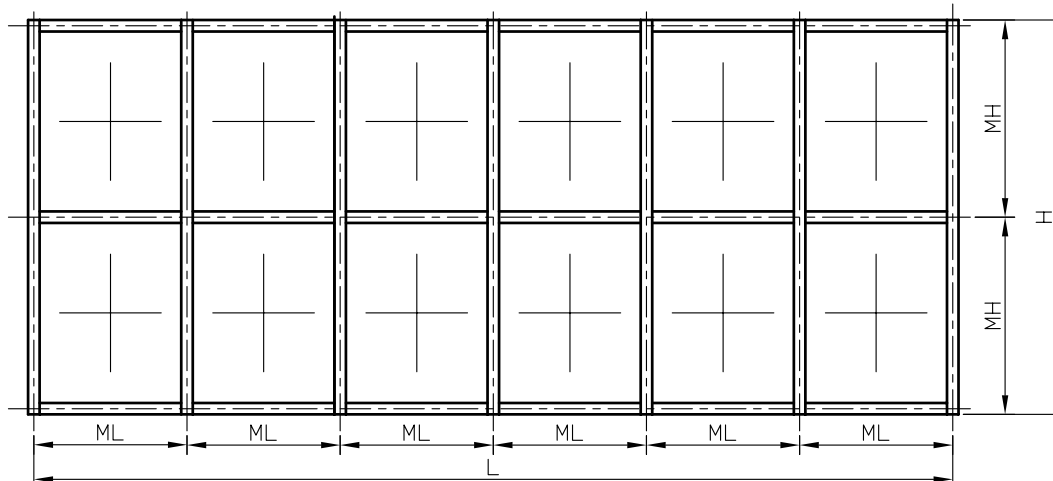
$$f_{\text{факт}} = \frac{F \cdot a \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot a^2)}{48 \cdot E \cdot J_y} = \frac{76,5 \cdot 15 \cdot (3 \cdot 150^2 - 4 \cdot 15^2)}{48 \cdot 7,1 \cdot 10^5 \cdot 14,2} = 0,158 \text{ см}$$

$$f_{\text{факт}} < f_{\text{доп}} = 0,158 \text{ см} < 0,3 \text{ см.}$$

Условие выполняется, следовательно, ригель выбран правильно.

Пример расчёта типовой конструкции.

В данном примере проведём расчёт материалов и комплектующих необходимых для изготовления витража, без открывающихся элементов, на базе серии «RF 50 RR».



Длина витража $L = 9000$ мм, и высота $H = 3500$ мм, расстояние между осями стоек $ML = 1500$ мм. Средний ригель делит высоту витража пополам $MH = H/2 = 1750$ мм.

В качестве заполнения используется стеклопакет толщиной 32 мм.

Верхний и нижний ригели выбраны, для удобства монтажа, с глубиной профиля равной глубине профилей используемых в качестве стоек.

Профили стоек и ригелей выбираются в соответствии со статическими расчётами на воздействие ветровой нагрузки и нагрузки от веса стеклопакета.

В данном примере, условно, выбрана стойка из профиля RE 6024 и ригели - RE 6022 и RE 6024.

Алюминиевые профили:

Шифр	Наименование	Схема порезки, мм.	Количество, шт
RE 6024	Стойка	$H = 3500$	7
	Ригель	$ML - 20 = 1480$	12
RE 6022	Ригель	$ML - 20 = 1480$	6
RE 6050	Стойечная прижимная планка	$H = 3500$	7
	Ригельная прижимная планка	$ML - 55 = 1445$	18
RE 6071	Стойечная декоративная крышка	$H = 3500$	7
RE 6070	Ригельная декоративная крышка	$ML - 51 = 1449$	18

Пластиковые термовставки:

Шифр	Наименование	Схема порезки, мм.	Количество, шт
REP 006	Стойечная термовставка	$H = 3500$	7
	Ригельная термовставка	$ML - 20 = 1480$	18

Уплотнители:

Шифр	Наименование	Схема порезки, мм.	Общая длина, мм
REG 001	Внутренний стойечный уплотнитель	$H - 3 \cdot 50 = 3350$	$7 \cdot 2 \cdot (H - 3 \cdot 50) = 46900$
	Внутренний ригельный уплотнитель	$ML - 28 = 1472$	$18 \cdot 2 \cdot (ML - 28) = 52992$
REG 007	Наружный стойечный уплотнитель	$H = 3500$	$7 \cdot 2 \cdot H = 49000$
	Наружный ригельный уплотнитель	$ML - 55 = 1445$	$18 \cdot 2 \cdot (ML - 55) = 52020$
Бутиловая лента 45 x 1,5 на стойку и ригель		$H = 3500$	$7H = 24500$
		$L = 9000$	$3L = 27000$

Комплектующие изделия:

Шифр	Наименование	Количество, шт
REA 457	Нижний кронштейн для стойки	7
REA 451	Верхний кронштейн для стойки	7
REA 041	Кронштейн для соединения ригеля RE 6022 со стойкой	12
REA 044	Кронштейн для соединения ригеля RE 6024 со стойкой	24
REA 195	Крепёжный комплект для соединения стойки с кронштейнами	7
REA 013	Винт 5,5x44 для крепления прижимных планок с шагом 250 мм	206
REA 019	Винт 4,8x13 для крепления ригельных кронштейнов к стойке	144
REA 018	Винт 3,9x16 для крепления ригеля к кронштейнам	72
REA 029	Опорная подкладка под стеклопакеты	36
REA 036	Дистанционная подкладка под стеклопакеты	36
REA 298	Уплотнительная деталь в месте соединения ригеля со стойкой	36

Стеклопакеты, в количестве 12 шт, размером $MH-49 \times ML-24$ (мм). В нашем случае – 1701×1476 мм.