



ЛЁГКИЕ СТАЛЬНЫЕ ПРОГОНЫ RUUKKI

RAUTA
НАДЁЖНЫЕ РЕШЕНИЯ

ОГЛАВЛЕНИЕ

1.	ВВЕДЕНИЕ.....	3
2.	ПАРАМЕТРЫ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ	4
3.	МАТЕРИАЛ И ДОПУСКИ	9
3.1	Материал.....	9
3.2	Защита от коррозии.....	9
3.3	Допуски	9
4.	О РАБОТЕ ЛЁГКИХ ПРОГОНОВ.....	10
5.	РАСЧЁТНЫЕ СХЕМЫ.....	12
5.1.	Z-образные прогоны со стыками внахлёстку.....	12
5.2.	Z-образные прогоны со стыковыми накладками.....	13
5.3.	Σ - и Ω -образные прогоны.....	14
6.	ОСНОВЫ РАСЧЁТА	14
7.	КРЕПЛЕНИЕ Z-ОБРАЗНЫХ ПРОГОНОВ К ОПОРАМ.....	17
7.1	Прогоны с односторонним профилированным листом.....	18
7.2	Прогоны с двухсторонним профилированным листом	19
8.	СТЫКОВАНИЕ Z- ОБРАЗНЫХ ПРОГОНОВ.....	20
8.1	Стыки внахлёстку	20
8.2	Стыки с накладками	20
9.	РАСЧЁТ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЯ.....	20
9.1	Расчёт обыкновенных болтов	21
9.2	Расчёт самонарезающих болтов и самосверлящих шурупов	22
9.3	Расчёт пиротехнических гвоздей.....	23
9.4	Расчёт заклёпок	24
10.	РАСЧЁТ ПРИ ПОМОЩИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ “ORSI”.....	25
11.	РАСЧЁТНЫЕ ТАБЛИЦЫ	27
11.1.	Однопролётные прогоны.....	27
11.2.	Двухпролётные прогоны	29
11.3.	Многопролётные прогоны с нахлёсткой	31

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I:	пример расчёта 1	32
Приложение II:	пример расчёта 2.....	36
Приложение III:	пример расчёта 3	37
Приложение IV:	нанесение на чертёж размеров отверстий Z- и C-образных прогонов.....	38

1. ОГЛАВЛЕНИЕ

Лёгкие стальные прогоны *Ruikki* изготавливаются из холоднокатанной горячеоцинкованной листовой стали толщиной 1,0-3,5 мм. Лёгкие прогоны представляют собой холодногнутые Z-, Σ -, Ω или С-образные профили высотой поперечного сечения 100-400 мм. Элементы прогонов стандартной длины не имеют, длина их зависит от желания заказчика и транспортных ограничений.



Рис.1.1 Лёгкие стальные прогоны *Ruikki*

Основные места применения лёгких прогонов

Z-образное поперечное сечение

- кровельные прогоны
- стеновые прогоны
- стеновые прогоны при дополнительном утеплении

С-образное поперечное сечение

- стеновые прогоны, боковые смещения обеих полков которых стеснены
- несущая конструкция лёгкого перекрытия

Ω -образное поперечное сечение

- стеновые прогоны

Σ -образное поперечное сечение

- стойки, балки
- элементы рам

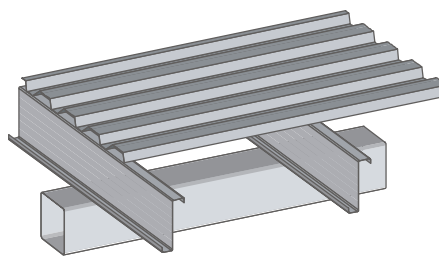
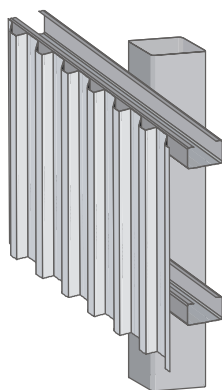


Рис. 1.2 Лёгкие прогоны *Ruikki* в качестве стеновых и кровельных прогонов

Для удобства стыкования Z-образных профилей их полки имеют разную ширину. Это облегчает особенно выполнение стыков внахлестку (более узкую полку профиля вставляют в более широкую полку соседнего профиля). Так же различны ширины верхних и нижних полок С-образных профилей, что позволяет из двух С-образных профилей просто создать замкнутый профиль, а также стыковать их внахлестку, как Z-образные профили. Z- и С-образные профили можно стыковать также при помощи особых накладок. Σ - и Ω -образные профили можно стыковать только при помощи специальных профилей.

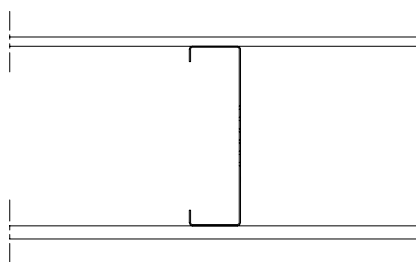
С-образные профили не рекомендуется применять, если стеснено боковое смещение только одной полки (напр. в качестве кровельных прогонов), т.к. нагрузка, действующая в плоскости стенки С-образного профиля, вызывает в профиле крутящий момент. В таких случаях целесообразнее применять Z-образные профили. В Z-образном профиле также возникает некоторый крутящий момент, однако его отрицательное влияние на несущую способность профиля намного меньше, чем у С-образного профиля. В качестве стеновых прогонов, у которых обычно стеснены боковые смещения обеих полок, оба профиля работают одинаково хорошо. Ω -образные профили можно применять без ограничений в принципе везде, насколько это экономически оправдано. Σ -образные профили пригодны к применению в качестве однопролётных прогонов для перекрытия больших пролётов.

В качестве кровельных прогонов в основном применяются Z-образные профили, стыки внахлестку которых обычно расположены в районе опор. Таким образом, около опор, где действуют наибольшие изгибающие моменты, получается двойной профиль. Длину отдельного прогона берут на 20-25% больше, чем длина пролёта, и концы прогонов закрепляются болтами к соседним прогонам. В крайних пролётах, где пролётный момент больше, чем в других пролётах, часто применяют двойной профиль. Применяемо также стыкование прогонов на опорах с помощью специальных стыковых накладок. Применение накладок несколько облегчает монтаж, но расход материала по сравнению со стыкованными внахлестку прогонами получается немного больше.

2. ПАРАМЕТРЫ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ

В таблице 2.1 приведены основные размеры и другие важнейшие параметры Z- и С-образных профилей, в таблице 2.2 - Σ -образных профилей и в таблице 2.3 - Ω -образных профилей. Приведённые в таблицах величины рассчитаны по правилам европейской предварительной нормы ENV 1993-1-3 и согласуются с эстонской предварительной нормой проектирования EPN 3.1.3 (нормы проектирования СНИП холодногнутые профили такого типа не рассматривают).

В моментах инерции и сопротивления, приведённых в таблице, учтена потеря местной стабильности (моменты рассчитаны на основании т.н. эффективного поперечного сечения). Показатели действительны, если обе полки профиля в боковом направлении упёрты.



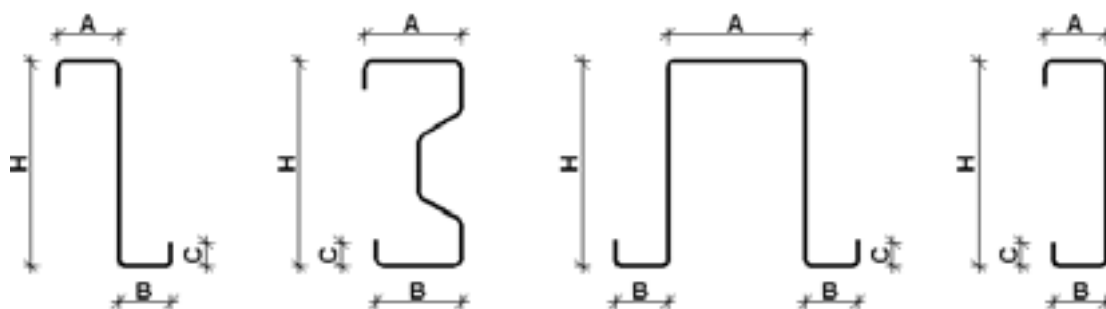
Рис. 2.1 Основные размеры Z-, Σ -, Ω и C-образных профилей

Таблица 2.1 Параметры поперечных сечений Z- и C-образных профилей

Профиль	t мм	H мм	A мм	B мм	C мм	Вес кг/м	$I_{y,eff}$ мм ⁴	$W_{y,eff}$ мм ³	k_h
Z100	1,0	100	45,0	39,0	18,0	1,6	261550	4719	0,217
C100	1,2	100	45,4	39,4	18,0	1,9	341280	6517	0,223
	1,5	100	46,0	40,0	18,0	2,4	452550	9034	0,226
	2,0	100	47,0	41,0	18,0	3,2	603700	11970	0,229
	Z120	1,0	120,0	45,0	39,0	18,0	1,7	388400	5696
C120	1,2	120,0	45,4	39,4	18,0	2,1	509900	7923	0,176
	1,5	120,0	46,0	40,0	18,0	2,6	689400	11370	0,178
	2,0	120,0	47,0	41,0	18,0	3,5	927900	15380	0,180
	Z150	1,0	150,0	45,0	39,0	18,0	2,0	627600	7120
C150	1,2	150,0	45,4	39,4	18,0	2,4	829800	9968	0,136
	1,5	150,0	46,0	40,0	18,0	3,0	1133000	14490	0,132
	2,0	150,0	47,0	41,0	18,0	4,0	1576000	20980	0,134
	Z200A	1,5	200,0	46,0	40,0	18,0	3,6	2137000	19510
C200A	2,0	200,0	47,0	41,0	18,0	4,7	3033000	29220	0,090
	2,5	200,0	48,0	42,0	18,0	5,9	3920000	39170	0,091

6 Лёгкие стальные прогоны Ruikki

Таблица 2.2 Параметры поперечных сечений Z- и C-образных профилей

Профиль	t мм	H мм	A мм	B мм	C мм	Вес кг/м	$I_{y,eff}$ мм ⁴	$W_{y,eff}$ мм ³	k_h
Z200B	1,5	200,0	70,0	62,0	21,5	4,2	2386000	20160	0,157
C200B	2,0	200,0	71,0	63,0	21,5	5,6	3679000	34090	0,151
	2,5	200,0	72,0	64,0	21,5	6,9	4913000	48010	0,153
Z250	1,5	250,0	70,0	62,0	21,5	4,7	3834000	25100	0,116
C250	2,0	250,0	71,0	63,0	21,5	6,3	5966000	42690	0,113
	2,5	250,0	72,0	64,0	21,5	7,9	8046000	60900	0,114
Z300	1,5	300,0	79,0	71,0	26,0	5,6	5987000	31290	0,113
C300	2,0	300,0	80,0	72,0	26,0	7,5	9450000	53840	0,110
	2,5	300,0	81,0	73,0	26,0	9,4	13145000	80110	0,108
Z350	2,0	350	80,0	72,0	30,0	8,4	13680000	65720	~ 0,10
C350	2,5	350	81,0	73,0	30,0	10,5	19060000	97730	~ 0,10
	3,0	350	82,0	74,0	30,0	12,6	23940000	127300	~ 0,10
	3,5	350	83,0	75,0	30,0	14,7	28780000	157500	~ 0,10

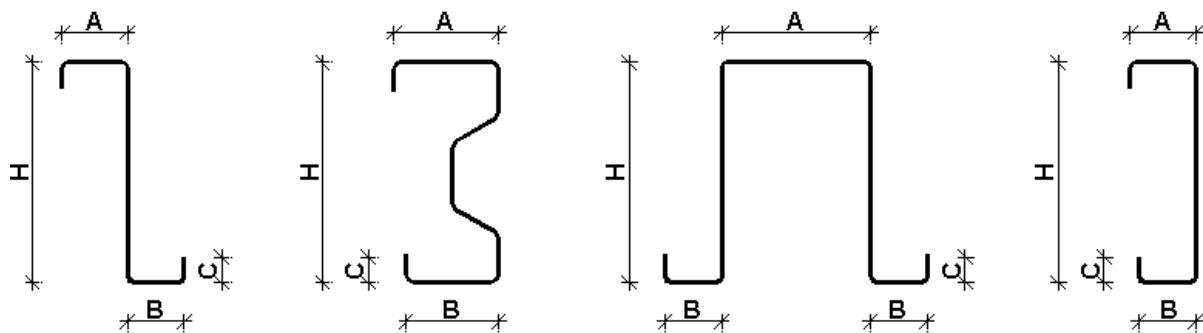


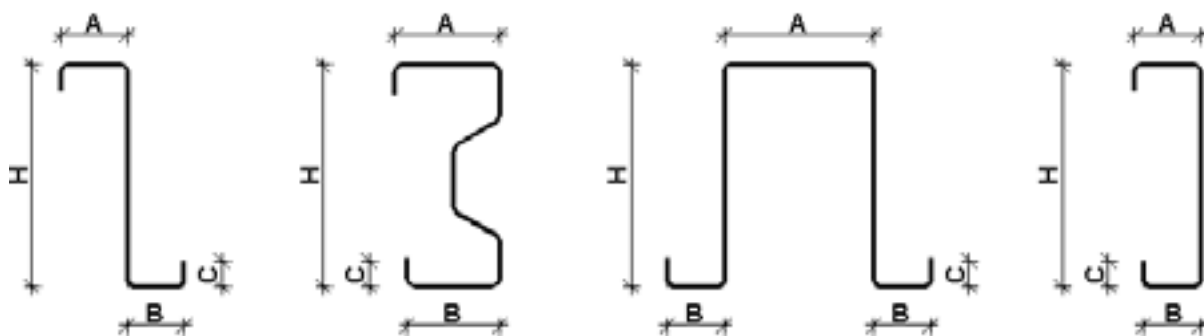
Таблица 2.3 Параметры поперечных сечений Σ -образных профилей

Профиль	t мм	H мм	A мм	B мм	C мм	Вес кг/м	I_{y,eff_4} мм ⁴	W_{y,eff_3} мм ³
$\Sigma 150$	1,5	150	72,0	64,0	20,0	4,0	1390000	16900
	2,0	150	72,0	64,0	20,0	5,3	2007000	25620
	2,5	150	72,0	64,0	20,0	6,6	2577000	33790
	3,0	150	72,0	64,0	20,0	7,8	3074000	40710
$\Sigma 175$	1,5	175,0	72,0	64,0	20,0	4,3	1970000	20590
	2,0	175,0	72,0	64,0	20,0	5,7	2835600	31020
	2,5	175,0	72,0	64,0	20,0	7,0	3646000	40900
	3,0	175,0	72,0	64,0	20,0	8,4	4361000	49400
$\Sigma 200$	1,5	200,0	72,0	64,0	20,0	4,6	2727000	25020
	2,0	200,0	72,0	64,0	20,0	6,1	3908000	37390
	2,5	200,0	72,0	64,0	20,0	7,5	5024000	49230
	3,0	200,0	72,0	64,0	20,0	9,0	6019000	59570
$\Sigma 250$	1,5	250,0	80,0	70,0	25,0	5,4	4815000	34790
	2,0	250,0	80,0	70,0	25,0	7,2	7052000	53580
	2,5	250,0	80,0	70,0	25,0	9,0	9247000	72500
	3,0	250,0	80,0	70,0	25,0	10,7	11120000	88100
$\Sigma 300$	1,5	300,0	80,0	70,0	25,0	6,0	7548000	45600
	2,0	300,0	80,0	70,0	25,0	8,0	11020000	69840
	2,5	300,0	80,0	70,0	25,0	10,0	14400000	93910
	3,0	300,0	80,0	70,0	25,0	11,9	17350000	114300
$\Sigma 350$	1,5	350,0	80,0	70,0	25,0	6,6	10950000	56080
	2,0	350,0	80,0	70,0	25,0	8,8	16120000	87700
	2,5	350,0	80,0	70,0	25,0	10,9	21020000	117300
	3,0	350,0	80,0	70,0	25,0	13,0	25350000	142800
$\Sigma 400$	1,5	400,0	80,0	70,0	25,0	7,2	15070000	66580
	2,0	400,0	80,0	70,0	25,0	9,5	22260000	104600
	2,5	400,0	80,0	70,0	25,0	11,9	29230000	142600
	3,0	400,0	80,0	70,0	25,0	14,2	35290000	173800

8 Лёгкие стальные прогоны *Ruikki*

Таблица 2.4 Параметры поперечных сечений Ω -образных профилей

Профиль	t мм	H мм	A мм	B мм	C мм	Вес кг/м	I_{y,eff_4} мм ⁴	W_{y,eff_3} мм ³
$\Omega 100$	1,0	100,0	100,0	40,0	20,0	3,1	402800	6363
	1,2	100,0	100,0	40,0	20,0	3,7	536500	8935
	1,5	100,0	100,0	40,0	20,0	4,6	747400	13250
	2,0	100,0	100,0	40,0	20,0	6,1	1071000	19840
$\Omega 125$	1,0	125,0	100,0	40,0	20,0	3,4	658000	8153
	1,2	125,0	100,0	40,0	20,0	4,1	880400	11500
	1,5	125,0	100,0	40,0	20,0	5,2	1237000	17250
	2,0	125,0	100,0	40,0	20,0	6,9	1828000	27220
$\Omega 150$	1,0	150,0	100,0	40,0	20,0	3,8	981100	9956
	1,2	150,0	100,0	40,0	20,0	4,6	1317000	14070
	1,5	150,0	100,0	40,0	20,0	5,8	1860000	21220
	2,0	150,0	100,0	40,0	20,0	7,7	2822000	34980
$\Omega 200$	1,0	200,0	120,0	50,0	20,0	4,9	1924000	13880
	1,2	200,0	120,0	50,0	20,0	5,9	2607000	19710
	1,5	200,0	120,0	50,0	20,0	7,4	3727000	29980
	2,0	200,0	120,0	50,0	20,0	9,8	5770000	50520
$\Omega 250$	1,5	250,0	120,0	50,0	20,0	8,5	6086000	38180
	2,0	250,0	120,0	50,0	20,0	11,4	9495000	64650
	2,5	250,0	120,0	50,0	20,0	14,2	13156000	95620



3. МАТЕРИАЛ И ДОПУСКИ

3.1 Материал

Лёгкие стальные прогоны *Ruikki* изготавливаются согласно стандарту EN 10 147 из горячеоцинкованной тонколистовой стали S350GD + Z (соответствующее наименование продукта *Ruikki* S350), механические свойства которой приведены в таблице 3.1. Допуски материала соответствуют требованиям стандарта EN 10 143.

Таблица 3.1 Нормативные величины механических свойств листовой стали S350

Предел текучести f_y (R_{yn}) Н/мм ²	Прочность на растяжение f_u (R_{un}) Н/мм ²	Окончательная деформация A_{80} ^{*)} %
350	420	16

^{*)} Окончательное удлинение в процентах разрушившегося образца относительно его исходной длины $(L_u - L_0)/L_0$; $A_{80} \Rightarrow L_0 = 80$ мм. Применяется также термин изломная растяжимость.

3.2 Защита от коррозии

Стальные прогоны *Ruikki* покрыты слоем цинка толщиной ок. 20 мкм (масса цинка 275 г/м², соответствует классу цинкования 275-N по стандарту SFS 670).

3.3 Допуски

Допуски размеров и начальные деформации лёгких прогонов остаются в следующих пределах:

Номинальная толщина материала	t (мм)	1,00	1,20	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50
Высота поперечного сечения	H	+/- 2 %						
Ширина полки	A	+ 2 мм / - 1 мм						
Ширина полки	B	+/- 1 мм						
Ширина отгиба полки	C	- 10 %						
Прямые углы		+/- 3°						
Начальная кривизна		≤ 0,15 % от длины прогона						
Начальный угол кручения		≤ 1° на погонный метр						

4. О РАБОТЕ ЛЁГКИХ ПРОГОНОВ

Вследствие малой толщины материала и несимметричности поперечного сечения, работа лёгких прогонов несколько отличается от работы например катаных двутавровых профилей. Корректный расчёт их весьма трудоёмок. Для расчёта прогонов в большинстве случаев применяются соответствующие таблицы или графики, в которых учтены качества профилей.

Чтобы избежать ошибок и дать возможность оценки несущей способности прогонов в нетипичных ситуациях, ниже кратко объясняются важнейшие принципы работы лёгких прогонов.

Главные оси **Z-образного профиля** расположены под углом относительно стенки профиля, поэтому действующая в плоскости стенки нагрузка вызывает смещения как в плоскости стенки, так и в перпендикулярной ей плоскости (рис. 4.1 а).

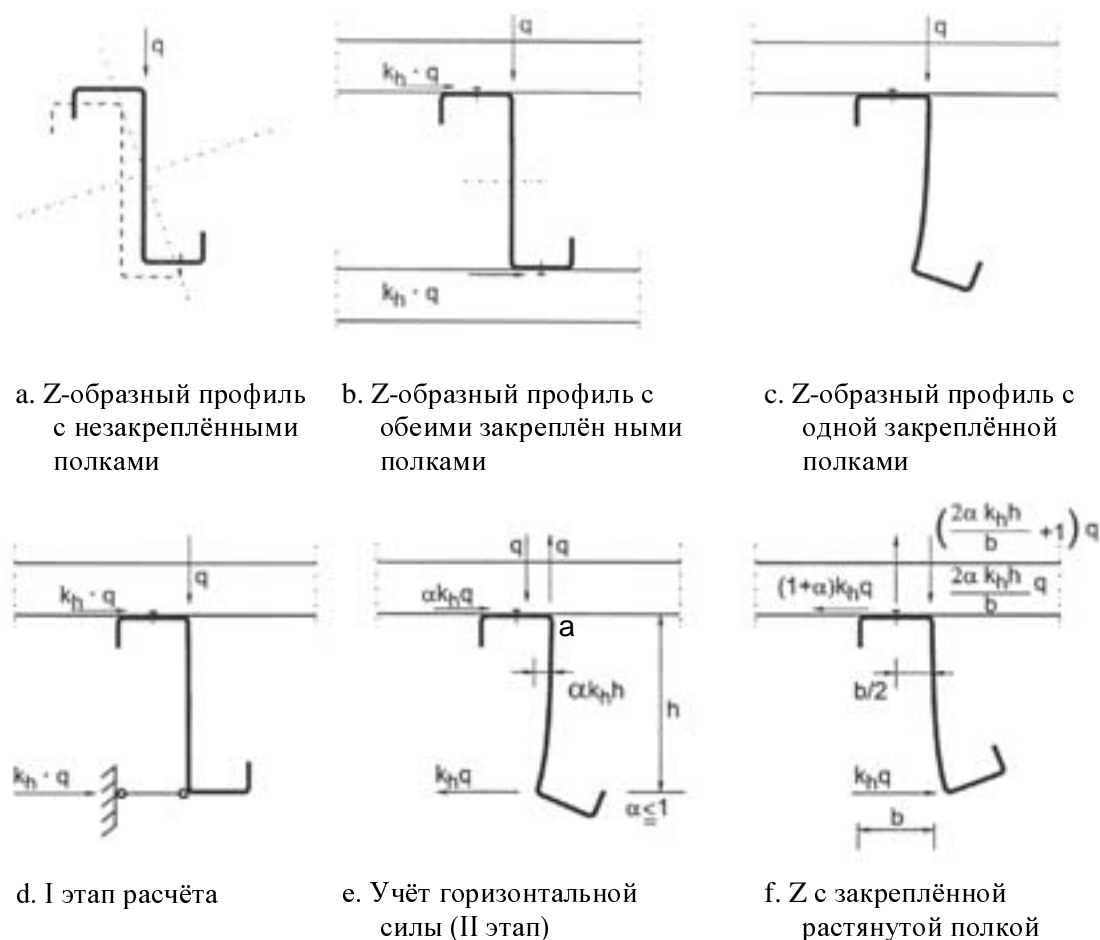


Рис. 4.1 Работа Z-образного профиля

Если обе полки Z-образного профиля в боковом направлении достаточно прочно прикреплены, например к профилированному листу (рис. 4.1 b), то смещение профиля возможно только в плоскости стенки. Величина сил крепления, сопровождающих смещение, равняется $k_h \times q$. Величина коэффициента k_h для Z- и С-образных профилей приведена в таблице 2.1.

Если закреплена только одна полка Z-образного профиля, то другая

(свободная) полка перемещается в боковом направлении, что в свою очередь вызывает изгиб стенки профиля (рис. 4.1c). Прогон на первом этапе рассчитывают как при обеих закреплённых полках (рис. 4.1d), затем свободную полку загружают силой, равной, но противодействующей силе крепления (рис. 4.1e). Часть этой силы через изгиб стенки передаётся на закреплённую полку. Эта сила создаёт относительно точки **a** изгибающий момент, который уравнивается моментом, вызванным перемещением точки приложения вертикальной нагрузки. В связи с этим, дополнительной нагрузки на элементы крепления полки не возникает. Вследствие бокового перемещения полки и изгиба стенки, несущая способность профиля с одной закреплённой полкой меньше, чем у профиля с обеими закреплёнными полками.

Если не закреплена сжатая полка, например при нагрузке, действующей снизу вверх (рис. 4.1f), условия работы прогона и элементов крепления ещё более неблагоприятны, причём увеличиваются также внутренние силы элементов крепления полки. Несущая способность такого Z-образного прогона меньше, чем у Z-образного прогона с закреплённой сжатой полкой.

С-образные профили ведут себя несколько иначе по сравнению с Z-образными профилями. Хотя главные оси С-образного профиля параллельны стенке и полкам, центры тяжести и кручения профиля не совпадают и нагрузка в плоскости стенки вызывает в С-образном профиле с незакреплёнными полками кроме изгибающего момента ещё и крутящий момент (рис. 4.2 а).

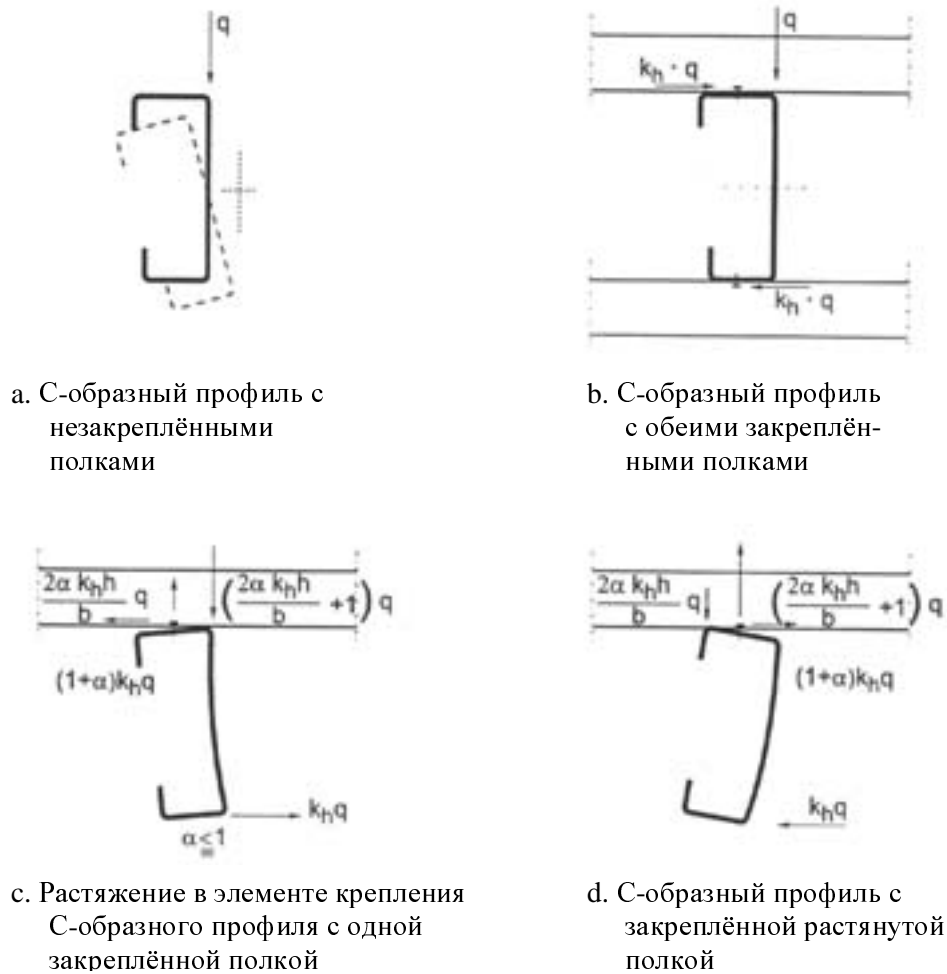


Рис. 4.2 Работа С-образного профиля

Если обе полки С-образного профиля достаточно прочно закреплены (рис. 4.2b), то кручение не может возникать и профиль работает в принципе как Z-образный профиль с обеими закреплёнными полками.

Свободная полка С-образного профиля с закреплённой сжатой полкой перемещается в обратном направлении по сравнению с Z-образным профилем и в элементах крепления возникает дополнительная растягивающая сила (рис. 4.2c). Боковые смещения также больше, чем у аналогичного Z-образного профиля и по этой причине С-образные профили с одной закреплённой полкой применяются редко.

С-образные профили, у которых закреплена только тянутая полка (рис. 4.2d), применять не рекомендуется, так как они работают в неблагоприятных во всех отношениях условиях и обладают небольшой несущей способностью.

Прогибы лёгких прогонов с одной закреплённой полкой до 10% больше, чем у прогонов с обеими закреплёнными полками.

Σ-образные профили являются относительно новой продукцией *Ruukki* и предназначены для применения главным образом в качестве конструктивных элементов лёгких построек (например система, в которой элементы каркаса образуются из двух соединённых друг против друга Σ-образных профилей). Соотношения размеров поперечных сечений профилей выбраны так, чтобы получилось максимальное эффективное поперечное сечение и очень выгодное соотношение веса к несущей способности. Недостатком является здесь невозможность вставления профилей друг в друга и выполнения стыков внахлестку, как у Z-образных профилей.

Ω-образные профили по сравнению с остальными обладают значительно большей боковой жёсткостью, вследствие чего относительно большой является также их несущая способность на продольный изгиб и на перекосяк. Несущая способность Ω-образного профиля не так существенно зависит от совместной работы с облицовочными листами и может быть определена прямым расчётом, исходя из параметров поперечного сечения, приведённых в таблице 2.3, и не применяя расчётные таблицы. Чаще всего Ω-образные профили применяются в качестве стеновых прогонов. Для подпирания Ω-образного профиля всегда рекомендуется использовать специальные опорные элементы. Опорный элемент изготавливается из того же материала той же толщины, что и подпираемый профиль. За необходимую длину опорного элемента на крайней опоре берут высоту профиля или двойную ширину опоры, в зависимости от того, какая из этих величин больше. На промежуточных опорах длина опорного элемента равняется двойной высоте профиля или тройной ширине опоры, опять в зависимости от того, какая из этих величин больше. По сравнению с другими лёгкими прогонами Ω-образный профиль несколько дороже.

5. РАСЧЁТНЫЕ СХЕМЫ

5.1 Z-образные прогоны со стыками внахлестку

В большинстве случаев Z-образные прогоны работают по схеме неразрезной балки с применением стыков внахлестку. Преимуществом стыков внахлестку является обстоятельство, что в районе опор, где изгибающие моменты до двух раз больше, чем пролётные моменты, образуются двойные прогоны (рис. 5.1a), что является оптимальным решением с точки зрения расхода материалов. Длиной перекрытия профилей в обе стороны от опоры принимается обычно $\sim 0,1 L$.

При многопролётном прогоне с равными пролётами наибольший изгибающий момент возникает на внутренних опорах крайних пролётов (рис. 5.1b). Величина момента при четырёх или более пролётах $M = 0,106 qL^2$, при трёхпролётном

прогоне $M \sim 0,1 L^2$. Для принятия этих моментов в крайних пролётах применяют более толстые или двойные профили (рис. 5.1c). Это позволяет воспринимать также действующий в крайних пролётах (большой по сравнению с другими пролётами) пролётный момент. В приведённых в настоящем руководстве графиках расчёта сделано предположение, что в крайних пролётах применяются двойные прогоны.

При двухпролётном прогоне внахлестку (рис. 5.1d) величина опорного момента $M = q L^2/8$, пролётного момента $M_{ava} = 0,07qL^2$. Как правило, профиль прогона определяется здесь пролётным моментом, причём двойной профиль в пролётах обычно не применяется (но образуется на опоре вследствие нахлеста). Применение двойного профиля в пролёте целесообразно только в случае существования подвижных нагрузок, которые могут вызывать пролётные моменты больше, чем описанные выше. Но в таких случаях целесообразнее применять цельные или неразрезные со стыковыми накладками прогоны.

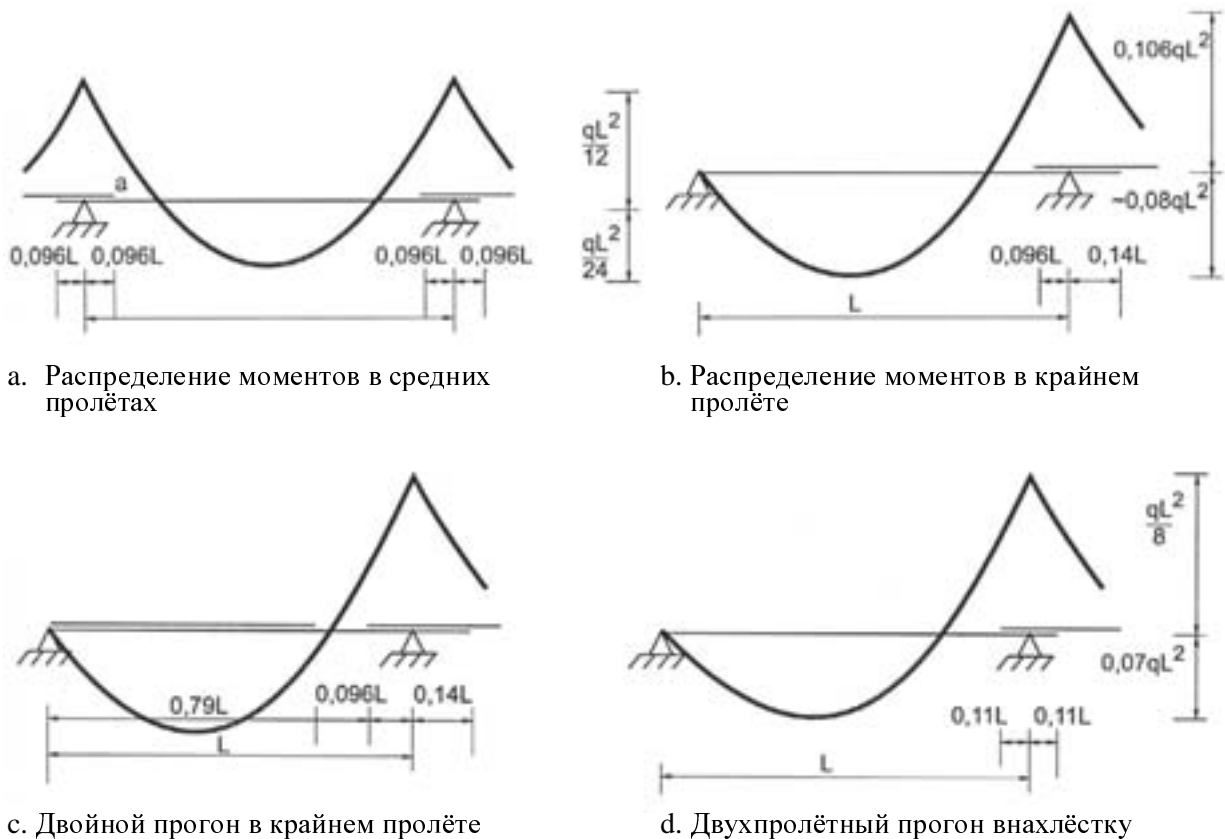


Рис. 5.1 Z-образные прогоны со стыками внахлестку

5.2 Прогоны со стыковыми накладками

Стыковой накладкой на каждой опоре является короткий отрезок Z-образного профиля, к которому прикрепляются прогоны. Длину накладки определяет пространство, необходимое для выполнения отвечающих требованиям болтовых соединений. После некоторого сдвига болтов в их отверстиях прогон начинает работать как неразрезная балка. Принимая в учёт перераспределение изгибающих моментов согласно теории пластичности, опорные и пролётные моменты в предельном состоянии выравниваются (рис. 5.2), что обеспечивает целесо-

14 Лёгкие стальные прогоны *Riikki*

образное использование материала прогонов. По сравнению с прогонами, имеющими стыки внахлестку, Z-образные профили здесь следует выбрать на одну ступень больше, но так как накладки короче, чем нахлесты, то суммарный расход стали не будет существенно больше, чем у прогонов со стыками внахлестку.

В практике прогоны со стыковыми накладками применяются реже, чем прогоны со стыками внахлестку.



Разные этапы распределения изгибающих моментов в прогоне со стыковыми накладками.



- a. Распределение моментов, соответствующее схеме простой балки (до окончательных сдвигов болтов)



- b. Распределение моментов в неразрезной балке (до перераспределения согласно теории пластичности)



- c. Окончательное распределение моментов при достижении предельного состояния по несущей способности

Рис.5.2 Работа Z-образных прогонов со стыковыми накладками

5.3 Σ - и Ω -образные прогоны

Σ - и Ω -образные прогоны чаще всего применяются по одно- или двухпролётной расчётной схеме, в зависимости от длины профиля и пролёта. Стойкое в отношении изгиба стыкование профилей (как например у Z-образных прогонов) невозможно.

6. ОСНОВЫ РАСЧЁТА

В конце настоящего руководства приведены таблицы для расчёта одно- и двухпролётного Z-образного лёгкого прогона и трёх- или многопролётного Z-образного лёгкого прогона со стыками внахлестку. Таблицы действительны при следующих предположениях:

- 1) Верхняя полка прогона прикреплена к профилированным листам^{*)} как минимум на дне каждой второй волны профилированного листа самонарезающими болтами, самосверлящими шурупами или другими элементами крепления и кромки профилированных листов соединены между собой заклёпками, специальными самосверлящими шурупами и т.п. шагом ≤ 500 мм.
- 2) Толщина профилированного листа не менее 0,5 мм.
- 3) При прогоне со стыками внахлётку в крайних пролётах применяется двойной профиль; длина нахлётки в обе стороны от опоры 0,1L.
- 4) Крепления прогонов к опорам и между собой выполнены в соответствии с требованиями глав 7 и 8 настоящего руководства.

Расчётные таблицы составлены на основе европейской нормы ENV 1993-1-3 и согласуются с эстонской нормой проектирования EPN 3.1.3. (нормы СНИП расчёт холодногнутых тонкостенных профилей такого типа не рассматривают).

Для одно- и двухпролётного Z-образного лёгкого прогона приведены таблицы отдельно для предельных состояний по несущей способности и по применению. Таблицы дают максимально допустимый пролёт прогона при данной расчётной нагрузке. Отдельные таблицы для предельных состояний по несущей способности и по применению увеличивают точность расчёта и позволяют использовать различные комбинации нагрузок в зависимости от применяемой нормы проектирования, так как по нормам разных стран предельные состояния по несущей способности и по применению определяют по-разному (например по финской норме при определении прогиба принимается в учёт весь снег, по СНИП – в зависимости от зоны либо часть снега, либо снег не учитывается, по эстонской норме снеговую нагрузку умножают на коэффициент уменьшения ψ_1 и т.д.).

Предельным прогибом прогона во всех случаях принимается

$$f = \frac{L}{200}.$$

При трёх- или многопролётном Z-образном лёгком прогоне со стыками внахлётку прогиб определяющим не станет, поэтому для таких прогонов приведены только таблицы предельного состояния по несущей способности.

Применение таблиц происходит следующим образом (излагаемый расчёт нагрузок проводится согласно эстонской норме EPN и европейской норме ENV).

Предельное состояние по несущей способности:

1. Находят постоянную расчётную нагрузку $g_d = 1,35g_k$, где g_k - постоянная нормативная нагрузка (собственный вес прогонов и опирающихся на прогоны кровельных конструкций).

^{*)} **ПРИМЕЧАНИЕ:** Крепление профилированных листов к прогону должно, кроме вышеизложенного, удовлетворять также требований руководящего материала Rapnilla, касающего профилированных листов.

2. Находят расчётную снеговую нагрузку $q_{s,d} = 1,5q_{s,k}$, где $q_{s,k}$ - нормативная снеговая нагрузка по EPN 1.2.5.
3. Если ветровая нагрузка действует в одном направлении со снеговой нагрузкой, находят комбинированную величину ветровой нагрузки $\psi_0 \times q_{w,k} = 0,6 \times 1,5q_{w,k}$, где $q_{w,k}$ - нормативная ветровая нагрузка.
4. Находят суммарную расчётную нагрузку предельного состояния по несущей способности

$$\Sigma q_d = g_d + q_{s,d} (+ 0,6q_{w,d})$$

ВНИМАНИЕ ! Ветровую нагрузку принимают в учёт только в случае действия её сверху вниз!

5. Выбирают подходящую расчётную таблицу и находят оттуда на основании Σq_d и длины пролёта прогона L необходимый профиль.

Предельное состояние по применению:

6. При одно- или двухпролётном прогоне определяющим может стать прогиб, в этом случае суммарную расчётную нагрузку предельного состояния по применению определяют формулой

$$q_{ser} = g_k + \Psi_1 q_{s,k} = g_k + 0,5q_{s,k}$$

и проверяют по соответствующей таблице предельного состояния по применению, достаточна ли величина выбранного профиля.

У лёгкой крыши необходимой может оказаться проверка однопролётного прогона также на подъёмную силу ветра. Расчётную нагрузку предельного состояния по несущей способности в этом случае находят следующим образом:

$$\Sigma^* q_d = g_{k,inf} - q_{w,d},$$

где $g_{k,inf}$ - действующая на прогон минимальная постоянная нормативная нагрузка.

Эта проверка нужна только в случае $\Sigma^* q_d < 0$, т.е. когда подъёмная сила ветра больше, чем собственный вес крыши. Несущая способность прогона в отношении подъёмной силы ветра, если нижняя (т.е. сжатая) полка прогона не прикреплена к профилированному листу, около 60% от несущей способности прогона в отношении нагрузки, действующей сверху вниз. Обычно это не является определяющим фактором.

При многопролётном Z-образном прогоне подъёмная сила ветра определяющей не станет.

По норме проектирования СНИП расчётные нагрузки предельных состояний по несущей способности и по применению в общем случае находят следующим образом (см. СНИП 2.01.07-85):

- расчётной нагрузке предельного состояния по несущей способности Σq_d , полученной из расчётных таблиц, соответствует расчётная нагрузка по СНИП

$$1,1g + 1,6s (+ 0,9 \times 1,4w_m);$$

- расчётной нагрузке предельного состояния по применению q_{ser} , полученной из расчётных таблиц, соответствует в СНиП т.н. *нагрузка II предельного состояния*

$$g + s^*$$

- где g – постоянная нормативная нагрузка
- s – нормативная снеговая нагрузка в зависимости от зоны снеговой нагрузки (см. СНиП 2.01.07-85 п. 5.1);
- w_m – нормативная ветровая нагрузка в зависимости от зоны ветровой нагрузки, местонахождения и высоты здания (см. СНиП 2.01.07-85 п. 6.3); ветровую нагрузку принимают в учёт только в случае действия её на крышу сверху вниз;
- s^* – долгосрочный компонент нормативной снеговой нагрузки, величина которого в зонах I и II снеговой нагрузки 0, в зоне III – 0,3 кН/м², в зоне IV – 0,5 кН/м² и т.д. (см. СНиП 2.01.07-85 п. 1.7к).

Однопролётный Σ - или Ω -образный прогон, работающий разрезной балкой, можно рассчитать, исходя из эффективного момента сопротивления $W_{y,eff}$. Допустимую расчётную нагрузку прогона в зависимости от пролёта или максимально допустимый пролёт в зависимости от расчётной нагрузки можно определять по формулам

$$\Sigma q_d \leq \frac{8W_{y,eff} f_y}{L^2 \gamma_M} \approx 7,27 \frac{W_{y,eff} f_y}{L^2} \quad \text{или} \quad L \leq \sqrt{7,27 \frac{W_{y,eff} f_y}{\Sigma q_d}}$$

7. КРЕПЛЕНИЕ Z-ОБРАЗНЫХ ПРОГОНОВ К ОПОРАМ

Опорную реакцию прогона находят по формуле

$$R = \gamma \Sigma q_d L,$$

- где γ – коэффициент из таблицы 7.1,
- Σq_d – вся (равномерно распределённая) расчётная нагрузка
- L – длина пролёта прогона.

Таблица 7.1 Коэффициенты опорной реакции γ при равномерно распределённой нагрузке

Количество пролётов	Место расположения опоры	Нахлётка	Стыковая накладка
1	крайняя опора	0,500	0,500
2	крайняя опора	0,375	0,400
	внутренняя опора	1,250	1,200
> 2	крайняя опора	0,400	0,450
	вторая от края опора	1,134	1,100
	прочие внутренние опоры	1,000	1,000

7.1 Прогоны с односторонним профилированным листом

А. Элементы крепления прогона к опоре (обычно короткий отрезок холодногнутого U-образного профиля, рис. 7.1) в случае действия нагрузки сверху вниз рассчитывают на силу $F_1 = R \cos \alpha$ и в случае действия нагрузки снизу вверх $F_2 = R$, где

R - опорная реакция (от нагрузки сверху вниз)

α - уклон крыши (не путать с символом α , на рис. 4.1 и 4.2 который имеет совсем другое значение!).

В качестве элементов крепления обычно применяются болты М 16 класса 8.8; не менее двух болтов на опору. Можно применять и меньшие болты, а в принципе также самонарезающие болты или самосверлящие шурупы, если выполнены все требования по расчёту (см. гл.9).

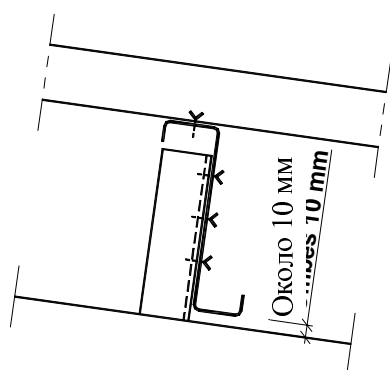
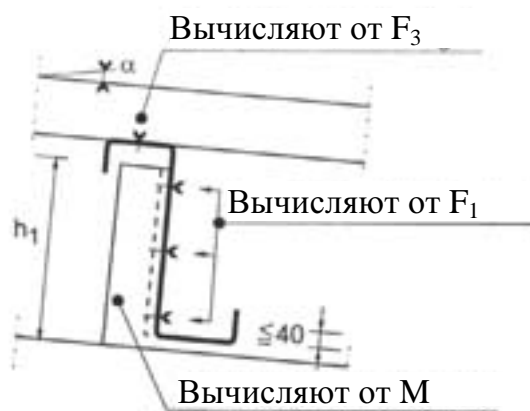


Рис. 7.1 Крепление прогона к опоре



В. Элементы крепления профилированного листа (самонарезающие болты, самосверлящие шурупы) рассчитывают на силу F_3 , которая может быть:

- сила растяжения от всасывания ветра;
- необходимая для крепления прогона сдвигающая сила, если нагрузка направлена сверху вниз (с некоторой ошибкой в сторону увеличения запаса)

$$F_3 = \frac{2k_h \sum q_d \cos \alpha}{n},$$

где k_h - коэффициент из таблицы 2.1

$\sum q_d$ - расчётная нагрузка на погонный метр прогона, действующая сверху вниз

n - количество элементов крепления на погонный метр прогона.

Элементы крепления листа располагают вблизи опоры и симметрично в отношении её. Рекомендуется предусмотреть на дне волн листа с обеих сторон опоры по два самонарезающих болта и на дне соседних к ним волн по одному болту (рис. 7.2).

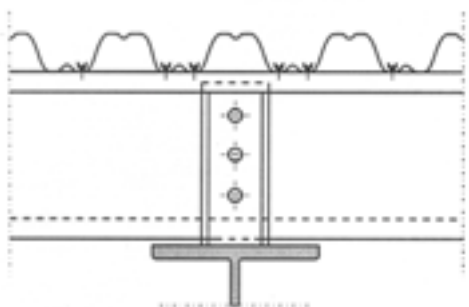


Рис. 7.2 Рекомендуемое крепление профилированного листа вблизи опоры прогона

С. Крепление опоры прогона к несущей конструкции крыши рассчитывают исходя из изгибающего момента

$$M = F_h h,$$

где $F_h = (k_h - \tan \alpha) F_1$, если нагрузка действует сверху вниз и

$F_h = k_h F_2$, если снизу вверх,

причём, независимо от направления нагрузки $F_h \geq 0,05 F_1$,

h - высота поперечного сечения лёгкого прогона.

В качестве опоры обычно применяется холодногнутый (или горячекатаный) U-профиль, который рассчитывается, исходя из того же изгибающего момента.

7.2 Прогоны с двухсторонним профилированным листом

Крепление к опоре прогона с двухсторонним профилированным листом рассчитывают так же, как при прогоне с односторонним листом (рис. 7.1). Крепление обоих профилированных листов к прогону и крепление опоры прогона к несущей конструкции крыши рассчитывают также аналогично прогону с односторонним профилированным листом.

8. СТЫКОВАНИЕ Z-ОБРАЗНЫХ ПРОГОНОВ

При стыковании лёгких прогонов обычно применяются болтовые соединения (в принципе можно применять и самонарезающие болты или самосверлящие шурупы, если выполнено приведённое в конце п. 9.1 дополнительное условие $F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{b,Rd}$). Величина влияющей на соединение силы зависит от величины нагрузки, длины пролёта, типа и расположения соединения. На рис. 8.1 и 8.2 изображено расположение стыков внахлёстку.

8.1 Стыки внахлёстку

В местах стыка (на рисунках обозначены (1), (2), (3)) действуют следующие расчётные усилия:

$$\textcircled{1} \Rightarrow S = 0,435 \Sigma q_d L;$$

$$\textcircled{2} \Rightarrow S = 0,200 \Sigma q_d L \quad (\text{только при усиленном крайнем пролёте});$$

$$\textcircled{3} \Rightarrow S = 0,568 \Sigma q_d L;$$

где Σq_d - максимальная расчётная нагрузка прогона,

L - длина пролёта.

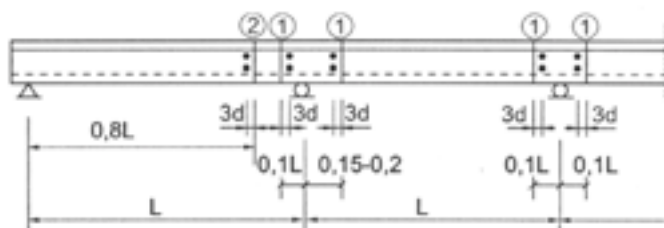


Рис. 8.1 Многопролётный прогон со стыками внахлёстку

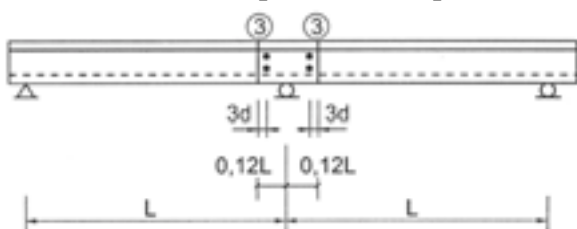


Рис. 8.2 Двухпролётный прогон со стыками внахлёстку

8.2 Стыки с накладками

Стыки с накладками стандартизованы и зависят от профиля прогона. Так как стыки этого типа в практике применяются реже, в настоящем материале соответствующие указания не приводятся. В случае необходимости следует руководствоваться более ранними изданиями руководства "Лёгкие прогоны Ruikki".

9. РАСЧЁТ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЯ

Расстояние от центра отверстия элемента крепления (болта, самонарезающего болта, самосверлящего шурупа, заклёпки и т.п.) до края профиля или листа e

должно быть

- в направлении действия силы $e_1 \geq 3d_n$,
- перпендикулярно направлению действия силы $e_2 \geq 1,5d_n$
(рекомендуется $\geq 3d_n$);

Расстояние между центрами элементов крепления p должно удовлетворять требованию $p \geq 3d_n$,

где d_n - номинальный диаметр самонарезающего болта, самосверлящего шурупа, заклёпки и т.п. (при обычных болтах - диаметр болтового отверстия).

Примечание: При применении пиротехнических звезд, расстояние их от края в любом направлении e , а также расстояние между ними p не должно быть менее $4,5 d_n$.

9.1 Расчёт обычных болтов

Обыкновенные болты рассчитывают согласно европейской норме ENV 1993-1-3 гл.8 (а также согласно эстонской норме проектирования EPN 3.1.3 гл. 8) следующим образом.

а) Несущая способность на срез одного болта:

$$F_{v.Rd} = \frac{0,6f_{ub}A}{\gamma_{Mb}} = 0,48f_{ub}A,$$

где f_{ub} - нормативное сопротивление растяжению материала болта;

A - площадь поперечного сечения болта (если рабочее сечение находится в резьбовой части, то площадь сечения нетто A_s);

$\gamma_{Mb} = 1,25$ - частичный коэффициент запаса несущей способности болтового соединения.

б) Несущая способность на смятие края одного болтового отверстия:

$$F_{b.Rd} = \frac{2,5f_u dt}{\gamma_{Mb}} = 2,0f_u dt,$$

где f_u - нормативное сопротивление растяжению (более тонкого) соединяемого элемента;*);

t - толщина материала (того же) соединяемого элемента;*);

$d \geq 6$ мм - номинальный диаметр болта.

*) **ПРИМЕЧАНИЕ:** Выбирается сопротивление растяжению и толщина элемента, у которого произведение $f_u \times t$ наименьшее.

Дополнительным условием является требование

$$F_{v.Rd} \geq 1,2F_{b.Rd}.$$

Соблюдение этого требования гарантирует равномерное распределение сил между средствами крепления и исключает возможность хрупкого разрушения соединения в случае перегрузки конструкции.

с) **Несущая способность на растяжение** одного болта:

$$F_{t.Rd} = \frac{0,9f_{ub}A_s}{\gamma_{M2}} = 0,72f_{ub}A_s,$$

где A_s - площадь поперечного сечения (нетто) резьбовой части болта.

9.2 Расчёт самонарезающих болтов и самосверлящих шурупов

Нормативная **несущая способность на срез** самонарезающих болтов и самосверлящих шурупов обычно указана в прилагаемом заводом-изготовителем сертификате. При отсутствии сертификата несущую способность на срез можно определить так же, как у обыкновенных болтов. Здесь также действительно требование, что **несущая способность на срез должна превышать прочность на смятие края отверстия элемента крепления не менее 1,2 раза.**

Несущая способность на смятие края отверстия элемента крепления определяется согласно ENV 1993-1-3 гл.8 следующим образом:

$$F_{b.Rd} = 0,8\alpha f_u d_n t,$$

где $\alpha = 3,2\sqrt{\frac{t}{d_n}} \leq 2,1$, если $t = t_1$;

$\alpha = 2,1$, если $t_1 \geq 2,5 t$;

если $1 < \frac{t_1}{t} < 2,5$, то значение α находят путём линейной интерполяции;

t - толщина более тонкого соединяемого элемента (напр. профилированного листа);

t_1 - толщина более толстого соединяемого элемента;

d_n - номинальный диаметр элемента крепления;

остальные обозначения те же, что приведены выше.

Несущая способность на **протаскивание** головки элемента крепления **сквозь лист** определяется при действии статической нагрузки следующим образом (в случае всасывания ветра, а также при подвешенном снизу к прогону профилированном листе необходима проверка):

$$F_{p.Rd} = 0,8d_w t f_u,$$

где d_w - диаметр головки элемента крепления или шайбы под ней;

остальные обозначения те же, что приведены выше.

ПРИМЕЧАНИЕ: Приведённая выше формула действительна при предпосылке, что средство крепления находится в середине дна канавки профилированного листа. Если средство крепления находится на четверти ширины дна канавки (напр. в случае, когда в середине канавки расположена бороздка), найденную величину необходимо умножить на коэффициент 0,9. При наличии двух средств крепления в одной канавке, несущую способность каждого умножают на коэффициент 0,7.

Несущая способность на **выдёргивание** элемента крепления **из основания**:

$$F_{o.Rd} = 0,52 t_{sup} d_n f_{u.s},$$

где t_{sup} - толщина нижнего элемента (т.е. элемента, выдёргивание из которого проверяется);

$f_{u.s}$ - сопротивление растяжению материала этого элемента.

Несущую способность на растяжение элемента крепления $F_{t.Rd}$ рассчитывают так же, как у болтов. Дополнительным условием при этом является то, что несущая способность на растяжение должна быть больше, чем несущая способность на протаскивание головки или на выдёргивание из основания.

9.3 Расчёт пиротехнических гвоздей

Нормативная **несущая способность на срез** пиротехнических гвоздей обычно даётся в сертификате завода-изготовителя. В случае отсутствия сертификата несущую способность на срез можно определять так же, как у обыкновенных или самонарезающих болтов. **Несущая способность на срез гвоздя должна превышать прочность на смятие края отверстия не менее 1,5 раза.**

Несущую способность на смятие края отверстия под гвоздь определяют по формуле

$$F_{b.Rd} = 2,56 f_u d_n t,$$

в которой обозначения те же, что приведены ранее.

Несущую способность **на протаскивание головки гвоздя сквозь лист** определяют следующим образом (при всасывании ветра это необходимо проверить):

$$F_{p.Rd} = 0,8d_w t f_u,$$

где d_w - диаметр головки элемента крепления или шайбы под ней;

t - толщина закрепляемого профилированного листа.

ПРИМЕЧАНИЕ: Приведённая формула действительна при предположении, что средство крепления находится в середине дна канавки профилированного листа. Если гвоздь находится на четверти ширины дна канавки (напр. в случае, когда в середине канавки бороздка), найденную величину необходимо умножить на коэффициент 0,9. При наличии двух гвоздей в одной канавке, несущую способность каждого умножают на коэффициент 0,7.

Несущая способность на выдёргивание гвоздя из основания обычно дана в сертификате изготовителя. В случае отсутствия сертификата, для оценки несущей способности на выдёргивание применяется приближительная формула

$$F_{o.Rd} = 0,4t_{sup} d_n f_{u.s},$$

где t_{sup} - толщина нижнего элемента (т.е. элемента, выдёргивание из которого проверяется), но не более 6 мм;

$f_{u.s}$ - сопротивление растяжению материала этого элемента.

9.4 Расчёт заклёпок

Прочность заклёпки на срез дана в сертификате завода-изготовителя или определяется так же, как у болтов, причём прочность на срез должна превышать прочность на смятие края отверстия заклёпки **не менее, чем в 1,2 раза.**

Прочность на смятие края отверстия заклёпки

$$F_{b.Rd} = 0,8\alpha f_u d_n t,$$

где $\alpha = 3,6 \sqrt{\frac{t}{d_n}} \leq 2,1$, если $t = t_1$;

$\alpha = 2,1$, если $t_1 > 2,5t$;

если $1 < \frac{t_1}{t} < 2,5$, то значение α находят путём линейной интерполяции.

В соединениях, где соединяемые элементы работают на растяжение, заклёпки, как правило, не применяются. Если применение заклёпок всё же окажется необходимым, несущую способность на выдёргивание и на протаскивание следует определять опытным путём.

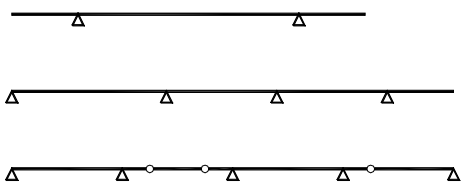
Внимание! Закладная головка заклёпки должна находиться на стороне более тонкого элемента!

10. РАСЧЁТ ПРИ ПОМОЩИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ *ORSI*

Расчёт лёгких прогонов *Ruikki* значительно упрощается применением компьютерной программы *ORSI*. По сравнению с ручным расчётом при помощи таблиц и формул, *ORSI* предлагает значительно более обширные возможности выбора расчётной схемы, нагрузок и средств крепления.

Основные возможности программы излагаются ниже.

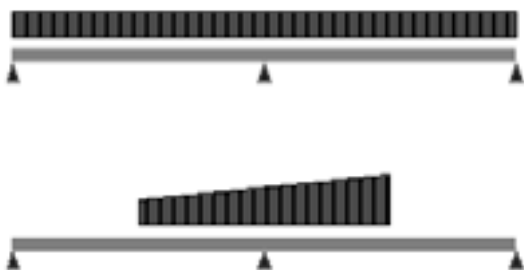
1. *ORSI* позволяет рассчитать как лёгкие прогоны *Ruikki*, так и средства их крепления.
2. Поперечным сечением прогона можно выбрать Z-, C-, Σ - или Ω -образное сечение.
3. Прогон могут быть одно- или многопролётные, работать по схеме разрезной или неразрезной балки или балки Гербера, в одном или обоих концах балки может быть консоль. Пролёты многопролётного прогона могут иметь разную длину.



4. Прогон могут быть неразрезные или сращенные при помощи стыков различного типа (шарнир, стойкий в отношении изгиба стык внахлестку, стойкий в отношении изгиба стык с накладкой).



5. При применении схемы неразрезной балки можно в крайние пролёты, нагруженные большим пролётным моментом, определять двойной прогон.
6. *ORSI* позволяет в месте стыка менять толщину стенки элементов прогонов, но тип поперечного сечения должен быть неизменным во всей длине прогона.
7. *ORSI* позволяет при расчёте прогонов учесть уклон крыши.
8. Действующие на крышу и стены основные нагрузки - снеговую и ветровую - можно определять упрощённо. Кроме того, можно определять действующие на прогоны дополнительные равномерно распределённые и трапециoidalные нагрузки, а также действующие на прогоны в продольном направлении силы сжатия.
- 9.



10. Расчётный алгоритм *ORSI* учитывает европейские нормы; возможен расчёт как по теории эластичности, так и по теории пластичности.
11. Программа позволяет корректировать частичные коэффициенты запаса материала и нагрузки и комбинационные коэффициенты нагрузок с целью приведения их в соответствие с национальными предписаниями страны местонахождения.

11. РАСЧЁТНЫЕ ТАБЛИЦЫ

11.1 Однопролётные прогоны

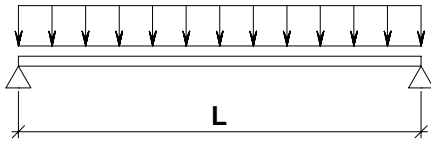


Таблица 11.1.1 Максимальный допустимый пролёт однопролётного Z-образного прогона L (м) в зависимости от расчётной нагрузки предельного состояния по несущей способности Σq_d (кН/м)

Профиль	Расчётная нагрузка Σq_d кН/м										
	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0
Z100 – 1,0	2,8	2,4	2,1	2,0	1,7	1,5	1,4	1,2	1,0	1,0	0,9
Z100 – 1,2	3,3	2,8	2,5	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Z100 – 1,5	3,9	3,3	3,0	2,7	2,4	2,1	1,9	1,6	1,5	1,3	1,2
Z100 – 2,0	4,5	3,9	3,4	3,1	2,7	2,4	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4
Z120 – 1,0	3,1	2,6	2,4	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0
Z120 – 1,2	3,6	3,1	2,8	2,5	2,2	2,0	1,8	1,5	1,4	1,2	1,2
Z120 – 1,5	4,4	3,8	3,4	3,1	2,6	2,4	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4
Z120 – 2,0	5,1	4,4	3,9	3,6	3,1	2,8	2,5	2,2	1,9	1,8	1,6
Z150 – 1,0	3,4	3,0	2,6	2,4	2,1	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1
Z150 – 1,2	4,1	3,5	3,1	2,9	2,5	2,2	2,0	1,7	1,5	1,4	1,3
Z150 – 1,5	4,9	4,3	3,8	3,5	3,0	2,7	2,4	2,1	1,9	1,7	1,6
Z150 – 2,0	5,9	5,1	4,6	4,2	3,6	3,2	2,9	2,5	2,3	2,1	1,9
Z200A – 1,5	5,7	4,9	4,4	4,0	3,5	3,1	2,8	2,4	2,2	2,0	1,8
Z200A – 2,0	7,0	6,1	5,4	4,9	4,3	3,8	3,5	3,0	2,7	2,4	2,3
Z200A – 2,5	8,1	7,0	6,3	5,7	5,0	4,4	4,0	3,5	3,1	2,8	2,6
Z200B – 1,5	5,8	5,0	4,5	4,1	3,5	3,2	2,9	2,5	2,2	2,0	1,9
Z200B – 2,0	7,6	6,6	5,9	5,3	4,6	4,1	3,8	3,3	2,9	2,6	2,4
Z200B – 2,5	9,0	7,8	7,0	6,3	5,5	4,9	4,5	3,9	3,5	3,1	2,9
Z250 – 2,0	8,5	7,3	6,6	6,0	5,2	4,6	4,2	3,6	3,3	3,0	2,7
Z250 – 2,5	10,1	8,8	7,8	7,2	6,2	5,5	5,0	4,4	3,9	3,6	3,3
Z250 – 3,0	11,5	10,0	8,9	8,1	7,0	6,3	5,7	5,0	4,4	4,0	3,7
Z300 – 2,0	9,5	8,2	7,4	6,7	5,8	5,2	4,7	4,1	3,7	3,3	3,1
Z300 – 2,5	11,6	10,1	9,0	8,2	7,1	6,4	5,8	5,0	4,5	4,1	3,8
Z300 – 3,0	13,3	11,5	10,3	9,4	8,1	7,3	6,6	5,7	5,1	4,7	4,3
Z350 – 2,0	10,5	9,1	8,2	7,4	6,4	5,7	5,2	4,5	4,1	3,7	3,4
Z350 – 2,5	12,9	11,1	10,0	9,1	7,9	7,0	6,4	5,5	5,0	4,5	4,2
Z350 – 3,0	14,7	12,7	11,4	10,4	9,0	8,0	7,3	6,3	5,7	5,2	4,8
Z350 – 3,5	16,3	14,1	12,6	11,5	10,0	8,9	8,1	7,0	6,3	5,7	5,3

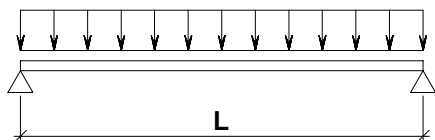


Таблица 11.1.2 Максимальный допустимый пролёт однопролётного Z-образного прогона L (м) в зависимости от расчётной нагрузки предельного состояния по применению q_{ser} (кН/м)

Профиль	Расчётная нагрузка q_{ser} кН/м (предельный прогиб $L/200$)											
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
Z100 – 1,0	2,9	2,7	2,6	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,7	1,6	1,5
Z100 – 1,2	3,2	3,0	2,8	2,7	2,5	2,4	2,4	2,2	2,0	1,9	1,7	1,6
Z100 – 1,5	3,5	3,3	3,1	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4	2,3	2,0	1,9	1,8
Z100 – 2,0	3,9	3,6	3,4	3,2	3,1	3,0	2,9	2,6	2,5	2,3	2,1	2,0
Z120 – 1,0	3,4	3,1	2,9	2,8	2,6	2,5	2,5	2,3	2,1	1,9	1,8	1,7
Z120 – 1,2	3,7	3,4	3,2	3,0	2,9	2,8	2,7	2,5	2,3	2,1	2,0	1,9
Z120 – 1,5	4,1	3,8	3,5	3,4	3,2	3,1	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2	2,1
Z120 – 2,0	4,5	4,2	3,9	3,7	3,6	3,4	3,3	3,1	2,9	2,6	2,4	2,3
Z150 – 1,0	3,9	3,7	3,4	3,3	3,1	3,0	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1	2,0
Z150 – 1,2	4,3	4,0	3,8	3,6	3,4	3,3	3,2	2,9	2,8	2,5	2,3	2,2
Z150 – 1,5	4,8	4,5	4,2	4,0	3,8	3,7	3,5	3,3	3,1	2,8	2,6	2,4
Z150 – 2,0	5,4	5,0	4,7	4,5	4,3	4,1	3,9	3,7	3,4	3,1	2,9	2,7
Z200A – 1,5	6,0	5,5	5,2	4,9	4,7	4,5	4,4	4,1	3,8	3,5	3,2	3,0
Z200A – 2,0	6,7	6,2	5,8	5,5	5,3	5,1	4,9	4,6	4,3	3,9	3,6	3,4
Z200A – 2,5	7,3	6,8	6,4	6,0	5,8	5,6	5,4	5,0	4,7	4,2	3,9	3,7
Z200B – 1,5	6,2	5,7	5,4	5,1	4,9	4,7	4,5	4,2	4,0	3,6	3,3	3,1
Z200B – 2,0	7,1	6,6	6,2	5,9	5,7	5,4	5,3	4,9	4,6	4,2	3,9	3,6
Z200B – 2,5	7,9	7,3	6,9	6,5	6,2	6,0	5,8	5,4	5,1	4,6	4,3	4,0
Z250 – 2,0	8,4	7,8	7,3	7,0	6,7	6,4	6,2	5,7	5,4	4,9	4,5	4,3
Z250 – 2,5	9,3	8,6	8,1	7,7	7,4	7,1	6,8	6,3	6,0	5,4	5,0	4,7
Z250 – 3,0	10,0	9,3	8,7	8,3	7,9	7,6	7,3	6,8	6,4	5,8	5,4	5,1
Z300 – 2,0	9,8	9,1	8,6	8,1	7,8	7,5	7,2	6,7	6,3	5,7	5,3	5,0
Z300 – 2,5	11,0	10,2	9,6	9,1	8,7	8,3	8,1	7,5	7,0	6,4	5,9	5,6
Z300 – 3,0	11,8	11,0	10,3	9,8	9,4	9,0	8,7	8,1	7,6	6,9	6,4	6,0
Z350 – 2,0	11,1	10,3	9,7	9,2	8,8	8,5	8,2	7,6	7,1	6,5	6,0	5,6
Z350 – 2,5	12,4	11,5	10,8	10,3	9,8	9,5	9,1	8,5	8,0	7,2	6,7	6,3
Z350 – 3,0	13,4	12,4	11,7	11,1	10,6	10,2	9,8	9,1	8,6	7,8	7,2	6,8
Z350 – 3,5	14,2	13,2	12,4	11,8	11,3	10,9	10,5	9,7	9,1	8,3	7,7	7,2

11.2 Двухпролётные прогоны

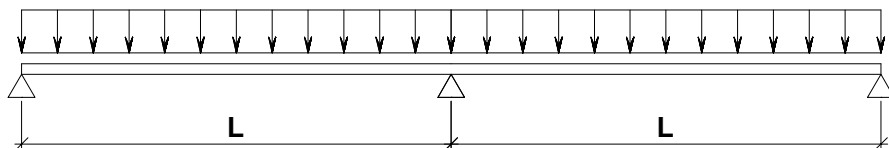


Таблица 11.2.1 Максимальный допустимый пролёт двухпролётного Z-образного прогона L (м) в зависимости от расчётной нагрузки предельного состояния по несущейности Σq_d (кН/м)

Профиль	Расчётная нагрузка Σq_d кН/м										
	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0
Z100 – 1,0	2,8	2,4	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8
Z100 – 1,2	3,3	2,8	2,5	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Z100 – 1,5	3,9	3,3	3,0	2,7	2,3	2,1	1,9	1,6	1,5	1,3	1,2
Z100 – 2,0	4,4	3,8	3,4	3,1	2,7	2,4	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4
Z120 – 1,0	3,1	2,6	2,4	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9
Z120 – 1,2	3,6	3,1	2,8	2,5	2,2	2,0	1,8	1,5	1,4	1,2	1,1
Z120 – 1,5	4,3	3,7	3,3	3,0	2,6	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4
Z120 – 2,0	5,0	4,4	3,9	3,6	3,1	2,7	2,5	2,2	1,9	1,8	1,6
Z150 – 1,0	3,4	3,0	2,6	2,4	2,1	1,8	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0
Z150 – 1,2	4,1	3,5	3,1	2,9	2,5	2,2	2,0	1,7	1,5	1,4	1,2
Z150 – 1,5	4,9	4,2	3,8	3,4	3,0	2,7	2,4	2,1	1,9	1,7	1,6
Z150 – 2,0	5,9	5,1	4,6	4,2	3,6	3,2	2,9	2,5	2,3	2,1	1,9
Z200A – 1,5	5,7	4,9	4,4	4,0	3,5	3,1	2,8	2,4	2,2	2,0	1,8
Z200A – 2,0	7,0	6,0	5,4	4,9	4,3	3,8	3,5	3,0	2,7	2,4	2,2
Z200A – 2,5	8,1	7,0	6,2	5,7	4,9	4,4	4,0	3,5	3,1	2,8	2,6
Z200B – 1,5	5,8	5,0	4,5	4,1	3,5	3,1	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8
Z200B – 2,0	7,5	6,5	5,8	5,3	4,6	4,1	3,7	3,2	2,9	2,6	2,4
Z200B – 2,5	9,0	7,7	6,9	6,3	5,5	4,9	4,5	3,8	3,4	3,1	2,9
Z250 – 2,0	8,4	7,3	6,5	6,0	5,1	4,6	4,2	3,6	3,2	3,0	2,7
Z250 – 2,5	10,1	8,7	7,8	7,1	6,2	5,5	5,0	4,3	3,9	3,5	3,3
Z250 – 3,0	11,4	9,9	8,9	8,1	7,0	6,2	5,7	4,9	4,4	4,0	3,7
Z300 – 2,0	9,5	8,2	7,3	6,7	5,8	5,2	4,7	4,1	3,6	3,3	3,0
Z300 – 2,5	11,6	10,0	9,0	8,2	7,1	6,3	5,8	5,0	4,5	4,1	3,8
Z300 – 3,0	13,2	11,4	10,2	9,3	8,1	7,2	6,6	5,7	5,1	4,6	4,3
Z350 – 2,0	10,5	9,1	8,1	7,4	6,4	5,7	5,2	4,5	4,0	3,6	3,3
Z350 – 2,5	12,8	11,1	9,9	9,0	7,8	7,0	6,4	5,5	4,9	4,5	4,2
Z350 – 3,0	14,6	12,6	11,3	10,3	8,9	8,0	7,3	6,3	5,6	5,1	4,7
Z350 – 3,5	16,3	14,1	12,6	11,5	9,9	8,9	8,1	7,0	6,3	5,7	5,3

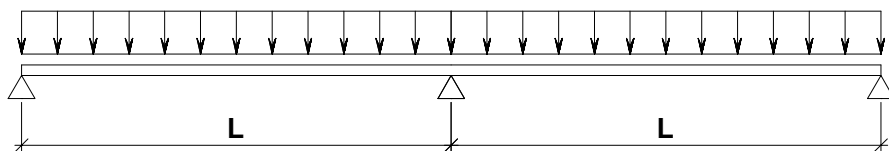


Таблица 11.2.2 Максимальный допустимый пролёт двухпролётного Z-образного прогона L (м) в зависимости от расчётной нагрузки предельного состояния по применению q_{ser} (кН/м)

Профиль	Расчётная нагрузка q_{ser} кН/м (предельный прогиб $L/200$)											
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
Z100 – 1,0	3,9	3,7	3,4	3,3	3,1	3,0	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1	2,0
Z100 – 1,2	4,3	4,0	3,8	3,6	3,4	3,3	3,2	2,9	2,8	2,5	2,3	2,2
Z100 – 1,5	4,7	4,4	4,1	3,9	3,8	3,6	3,5	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4
Z100 – 2,0	5,2	4,9	4,6	4,3	4,1	4,0	3,8	3,6	3,4	3,0	2,8	2,6
Z120 – 1,0	4,5	4,2	3,9	3,7	3,6	3,4	3,3	3,1	2,9	2,6	2,4	2,3
Z120 – 1,2	5,0	4,6	4,4	4,1	3,9	3,8	3,7	3,4	3,2	2,9	2,7	2,5
Z120 – 1,5	5,5	5,1	4,8	4,5	4,3	4,2	4,0	3,7	3,5	3,2	2,9	2,8
Z120 – 2,0	6,0	5,6	5,3	5,0	4,8	4,6	4,4	4,1	3,9	3,5	3,3	3,1
Z150 – 1,0	5,3	4,9	4,6	4,4	4,2	4,0	3,9	3,6	3,4	3,1	2,9	2,7
Z150 – 1,2	5,8	5,4	5,1	4,8	4,6	4,4	4,3	4,0	3,7	3,4	3,1	3,0
Z150 – 1,5	6,5	6,0	5,6	5,4	5,1	4,9	4,8	4,4	4,1	3,8	3,5	3,3
Z150 – 2,0	7,2	6,7	6,3	6,0	5,7	5,5	5,3	4,9	4,6	4,2	3,9	3,7
Z200A – 1,5	8,0	7,4	7,0	6,6	6,3	6,1	5,9	5,5	5,1	4,7	4,3	4,1
Z200A – 2,0	9,0	8,3	7,9	7,5	7,1	6,9	6,6	6,1	5,8	5,2	4,9	4,6
Z200A – 2,5	9,8	9,1	8,6	8,1	7,8	7,5	7,2	6,7	6,3	5,7	5,3	5,0
Z200B – 1,5	8,3	7,7	7,2	6,9	6,6	6,3	6,1	5,7	5,3	4,8	4,5	4,2
Z200B – 2,0	9,6	8,9	8,4	8,0	7,6	7,3	7,1	6,6	6,2	5,6	5,2	4,9
Z200B – 2,5	10,6	9,8	9,2	8,8	8,4	8,1	7,8	7,2	6,8	6,2	5,7	5,4
Z250 – 2,0	11,3	10,5	9,9	9,4	8,9	8,6	8,3	7,7	7,2	6,6	6,1	5,7
Z250 – 2,5	12,5	11,6	10,9	10,3	9,9	9,5	9,2	8,5	8,0	7,3	6,8	6,3
Z250 – 3,0	13,4	12,5	11,7	11,1	10,6	10,2	9,9	9,2	8,6	7,8	7,3	6,8
Z300 – 2,0	13,2	12,2	11,5	10,9	10,4	10,0	9,7	9,0	8,5	7,7	7,1	6,7
Z300 – 2,5	14,7	13,6	12,8	12,2	11,7	11,2	10,8	10,0	9,4	8,6	8,0	7,5
Z300 – 3,0	15,9	14,7	13,8	13,2	12,6	12,1	11,7	10,8	10,2	9,3	8,6	8,1
Z350 – 2,0	14,9	13,8	13,0	12,4	11,8	11,4	11,0	10,2	9,6	8,7	8,1	7,6
Z350 – 2,5	16,6	15,5	14,5	13,8	13,2	12,7	12,3	11,4	10,7	9,7	9,0	8,5
Z350 – 3,0	18,0	16,7	15,7	14,9	14,2	13,7	13,2	12,3	11,5	10,5	9,7	9,2
Z350 – 3,5	19,1	17,7	16,7	15,8	15,2	14,6	14,1	13,1	12,3	11,2	10,4	9,7

11.3 Многопролётные прогоны с нахлёткой

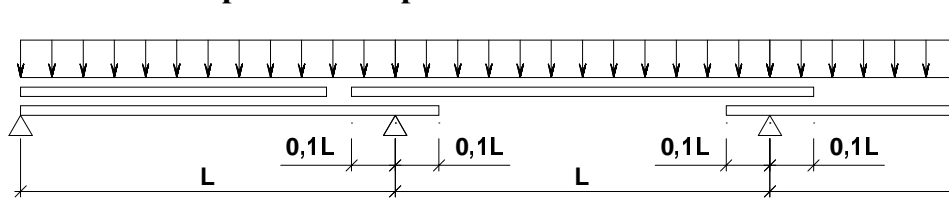


Таблица 11.3.1 Максимальный допустимый пролёт многопролётного Z-образного прогона с нахлёткой L (м) в зависимости от расчётной нагрузки предельного состояния по несущей способности Σq_d (кН/м)

Профиль	Расчётная нагрузка Σq_d кН/м										
	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0
Z100 – 1,0	3,7	3,2	2,9	2,6	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2
Z100 – 1,2	4,3	3,7	3,3	3,1	2,7	2,3	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4
Z100 – 1,5	5,0	4,4	3,9	3,6	3,1	2,8	2,6	2,2	2,0	1,8	1,7
Z100 – 2,0	5,7	5,0	4,5	4,2	3,6	3,2	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9
Z120 – 1,0	4,0	3,5	3,2	2,9	2,5	2,2	2,0	1,7	1,5	1,4	1,2
Z120 – 1,2	4,7	4,1	3,7	3,3	2,9	2,6	2,4	2,1	1,8	1,7	1,5
Z120 – 1,5	5,6	5,0	4,4	4,0	3,5	3,1	2,9	2,4	2,2	2,0	1,9
Z120 – 2,0	6,4	5,7	5,1	4,7	4,1	3,7	3,3	2,9	2,6	2,3	2,2
Z150 – 1,0	4,5	4,0	3,5	3,1	2,8	2,5	2,3	1,9	1,7	1,5	1,3
Z150 – 1,2	5,2	4,6	4,1	3,8	3,3	2,9	2,7	2,3	2,1	1,8	1,7
Z150 – 1,5	6,3	5,6	5,0	4,5	4,0	3,6	3,2	2,8	2,5	2,3	2,1
Z150 – 2,0	7,6	6,7	6,0	5,5	4,7	4,2	3,8	3,4	3,0	2,8	2,5
Z200A – 1,5	7,4	6,4	5,7	5,3	4,6	4,1	3,7	3,2	2,9	2,6	2,4
Z200A – 2,0	9,0	7,8	7,0	6,4	5,6	5,0	4,6	3,9	3,5	3,2	3,0
Z200A – 2,5	10,2	9,0	8,1	7,4	6,4	5,7	5,2	4,5	4,1	3,7	3,4
Z200B – 1,5	7,5	6,5	5,8	5,3	4,6	4,1	3,8	3,3	2,9	2,7	2,4
Z200B – 2,0	9,7	8,4	7,6	6,9	6,0	5,4	4,9	4,3	3,8	3,6	3,2
Z200B – 2,5	11,4	10,0	9,0	8,2	7,2	6,4	5,8	5,1	4,6	4,1	3,9
Z250 – 2,0	10,8	9,5	8,5	7,8	6,8	6,1	5,5	4,8	4,2	3,9	3,6
Z250 – 2,5	12,9	11,3	10,1	9,3	8,0	7,3	6,6	5,7	5,1	4,7	4,3
Z250 – 3,0	14,3	12,7	11,4	10,4	9,1	8,1	7,4	6,5	5,8	5,2	4,9
Z300 – 2,0	12,1	10,6	9,6	8,7	7,5	6,7	6,1	5,4	4,9	4,4	4,0
Z300 – 2,5	14,5	12,8	11,7	10,6	9,2	8,2	7,5	6,5	5,8	5,3	4,9
Z300 – 3,0	16,7	14,6	13,1	12,0	10,5	9,4	8,5	7,5	6,6	6,1	5,6
Z350 – 2,0	13,4	11,6	10,4	9,6	8,4	7,5	6,8	6,0	5,3	4,8	4,4
Z350 – 2,5	16,0	14,1	12,6	11,6	10,1	9,1	8,3	7,2	6,5	5,9	5,5
Z350 – 3,0	18,1	16,0	14,3	13,2	11,5	10,3	9,4	8,2	7,3	6,7	6,2
Z350 – 3,5	20,1	17,7	15,9	14,6	12,7	11,4	10,4	9,1	8,1	7,4	6,9

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I: пример расчёта 1

Расчитать многопролётные Z-образные кровельные прогоны *Ruikki* со стыками внахлётку, если уклон крыши 1:10 (т.е. $\alpha = 5,71^\circ$), пролёты прогонов $L = 6,0$ м и шаг прогонов 2,5 м.

На прогоны воздействуют с кровельного покрытия следующие нормативные нагрузки:

- постоянная нагрузка
(собственный вес прогона, кровельного покрытия и т.п.) $g_k = 0,3 \text{ кН/м}^2$;
- снеговая нагрузка $q_{s,k} = 1,2 \text{ кН/м}^2$;
- ветер (всасывание) $q_{w,k} = -0,42 \text{ кН/м}^2$.

1. Расчётные нагрузки прогона в предельном состоянии по несущей способности

- постоянная нагрузка: $g_{d,sup} = 1,35 \times 0,3 \times 2,5 \approx 1,01 \text{ кН/м}$;
 $g_{d,inf} = 1,0 \times 0,3 \times 2,5 = 0,75 \text{ кН/м}$;
- снеговая нагрузка: $q_{s,d} = 1,5 \times 1,2 \times 2,5 = 4,50 \text{ кН/м}$;
- ветровая нагрузка: $q_{w,d} = -1,5 \times 0,42 \times 2,5 = -1,575 \text{ кН/м}$;
- вся расчётная нагрузка: $\Sigma q_{d,1} = 1,01 + 4,50 = \underline{\underline{5,51 \text{ кН/м}}}$;
 $\Sigma q_{d,2} = 0,75 - 1,575 \approx -0,83 \text{ кН/м}$.

Так как расчётная нагрузка, соответствующая **всасыванию ветра** $\Sigma q_{d,2}$ мала по сравнению с нагрузкой, действующей сверху вниз (менее 60%), то она не станет решающей с точки зрения несущей способности прогона.

Предельное состояние по применению не станет определяющим у многопролётных прогонов со стыками внахлётку, следовательно нагрузку предельного состояния по применению в данном случае определить нет необходимости.

2. Выбор профиля прогона

Выбираем из таблицы 10.3.1 многопролётных прогонов со стыками внахлётку на основании расчётной нагрузки $\Sigma q_d = 5,51 \text{ кН/м}$ и пролёта $L = 6,0$ м профиль **Z250 - 2,5**. Допустимый пролёт при нагрузке 5.51 кН/м получается (с помощью интерполяции) $\sim 6,3$ м.

3. Болты для крепления прогона к опоре

Максимальная опорная реакция (см. табл. 7.1):

$$R = \gamma \Sigma q_d L = 1,134 \times 5,51 \times 6,0 = 37,5 \text{ кН};$$

сила, действующая на болты крепления:

$$F_1 = R \cos \alpha = 37,5 \times \cos 5,71^\circ = 37,3 \text{ кН}.$$

В качестве болтов крепления обычно применяются М 16 класс 8.8, но так как крыша лёгка и силы незначительны, выбираем болты **М 10 класс 8.8**.

Несущая способность на срез одного болта:

$$F_{v.Rd} = 0,48f_{ub}A = 0,48 \times 800 \times 78,5 \times 10^{-3} = 30,1 \text{ кН/болт};$$

несущая способность на смятие одного болтового отверстия:

$$F_{b.Rd} = 2,0f_u d t = 2,0 \times 480 \times 10 \times 2,5 \times 10^{-3} = 24,0 \text{ кН/болт}.$$

Дополнительное условие:

$$F_{v.Rd} = 30,1 \text{ кН} > 1,2 F_{b.Rd} = 1,2 \times 24,0 = 28,8 \text{ кН}; \quad \Rightarrow \quad \text{ОК!}$$

Взяв **два болта М 10 класс 8.8**, получаем несущую способность соединения

$$F_{b.Rd} = 2 \times 24,0 = 48,0 \text{ кН} > F_1 = 37,3 \text{ кН}. \quad \Rightarrow \quad \text{ОК!}$$

3.а Попытаемся выполнить то же соединение с применением **самосверлящих шурупов Ø8 мм**.

Предполагаем, что толщина опоры прогона t_1 не менее 4 мм. Выбираем стальные закалённые самосверлящие шурупы по финскому стандарту SS 141370 с нормативной несущей способностью на срез согласно сертификату $F_{v.Rk} = 16,3 \text{ кН}$.

Расчётная несущая способность на срез самосверлящего шурупа:

$$F_{v.Rd} = \frac{F_{v.Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{16,3}{1,25} = 13,0 \text{ кН}.$$

Необходимые величины для определения несущей способности на смятие шурупного отверстия:

$$\alpha_1 = 3,2 \sqrt{\frac{t}{d_n}} = 3,2 \sqrt{\frac{2,5}{8,0}} = 1,79, \quad \text{если } t = t_1;$$

$$\alpha_2 = 2,1, \quad \text{если } t_1 \geq 2,5t;$$

Интерполируем, исходя из соотношения толщин $\frac{t_1}{t} = \frac{4}{2,5} = 1,6; \Rightarrow \alpha = 1,91;$

$$F_{b.Rd} = 0,8\alpha f_u d_n t = 0,8 \times 1,91 \times 480 \times 8,0 \times 2,5 \times 10^{-3} = 14,7 \text{ кН}.$$

Дополнительное условие:

$$F_{v.Rd} = 13,0 \text{ кН} < 1,2 F_{b.Rd} = 1,2 \times 14,7 = 17,6 \text{ кН}; \quad \Rightarrow \quad \text{условие не выполнено!}$$

Так как условие $F_{v.Rd} \geq 1,2F_{b.Rd}$ не выполнено, нельзя при такой толщине элементов согласно нормам применять самосверлящие шурупы или самонарезающие болты.

4. Опора прогона и крепление её к ферме

Момент крепления опоры прогона $M = F_h h$,
где h – высота прогона ($h = 250$ мм),

$$F_h = (k_h - \operatorname{tg} \alpha) F_1 \geq 0,05 F_1;$$

Из таблицы 2.1 $\Rightarrow k_h = 0,113$;

$$F_h = (0,113 - \operatorname{tg} 5,71^\circ) \times 37,3 = 0,49 \text{ кН} < 0,05 F_1 = 0,05 \times 37,3 = 1,86 \text{ кН};$$

Итак принимаем $F_h = 1,86$ кН

$$M = 1,86 \times 0,25 = 0,465 \text{ кНм.}$$

Если элемент крепления изготовлен из стали Fe 360 ($f_y = 235$ Н/мм²):

$$W_z \geq \frac{M \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{46500 \times 1,1}{235} = 2177 \text{ мм}^3 = 2,18 \text{ см}^3.$$

В качестве элемента крепления прогона выбираем (см. рис. 7.1 и 7.2) холодногнутый U-образный профиль 60×40×4, у которого $W_z = 3,11 \text{ см}^3$.

Элемент крепления необходимо приварить к верхнему поясу кровельной фермы угловым швом $a = 3 \dots 4$ мм по периметру поперечного сечения элемента.

ПРИМЕЧАНИЕ. Характеризующей сварной шов величине европейских норм a соответствует в нормах проектирования СНиП величина $0,7x$ высота катета шва.

5. Взаимное соединение прогонов

Наибольшее усилие, передаваемое в узлах соединения прогонов (см. п. 8.1)

$$S = 0,568 \Sigma q_d L = 0,568 \times 5,51 \times 6 = 18,8 \text{ кН};$$

В каждом месте соединения можно применять по два болта М 10 класс 8.8 (несущая способность одного болта 24,0 кН – см. выше).

С точки зрения несущей способности и здесь возможно было бы применение самонарезающих болтов или самосверлящих шурупов, однако согласно нормам это не допускается, поскольку не выполнено условие пластичности соединения $F_{v,Rd} > 1,2 F_{b,Rd}$.

6. Крепление профилированного листа к прогонам

Предполагаем, что профилированным листом является *Ruikki* PP-45 × 0,7 с шагом волн 150 мм. Нормативная прочность на растяжение материала листа $f_u = 420$ Н/мм². Профилированный лист к прогонам прикрепляется самосверлящими шурупами (согласно конструктивным требованиям) в торцах листа на дне каждой волны, к промежуточным прогонам – на дне каждой второй волны. Таким образом, максимальный шаг шурупов - $2 \times 150 = 300$ мм.

$$\text{Количество шурупов на один метр } n = \frac{1}{0,300} = 3,33.$$

Усилие крепления (т.е. **сила среза** в направлении плоскости кровельного покрытия) на один шуруп (болт):

$$F_3 \leq \frac{2k_h q_d \cos \alpha}{n} = \frac{2 \times 0,113 \times 5,51 \times \cos 5,71^\circ}{3,33} = 0,372 \text{ кН.}$$

В качестве элементов крепления выбираем самонарезающие болты (или самосверлящие шурупы) $\varnothing 4,8$ мм.

Согласно стандарту SS 141370 нормативная несущая способность на срез закалённого самонарезающего болта (самосверлящего шурупа) $\varnothing 4,8$ мм $F_{v.Rk} = 5,2$ кН.

$$\text{Расчётная несущая способность на срез: } F_{v.Rd} = \frac{5,2}{1,25} = 4,16 \text{ кН.}$$

$$\text{Расчётная несущая способность на смятие: } \frac{t_1}{t} = \frac{2,5}{0,7} = 3,57 > 2,5 ; \Rightarrow \alpha = 2,1.$$

$$F_{b.Rd} = 0,8 \alpha f_u d_n t = 0,8 \times 2,1 \times 420 \times 4,8 \times 0,7 \times 10^{-3} = 2,37 \text{ кН} > F_3 = 0,372 \text{ кН;}$$

Также выполнено условие пластичности соединения:

$$F_{v.Rd} = 4,16 \text{ кН} > 1,2 F_{b.Rd} = 1,2 \times 2,37 = 2,84 \text{ кН.}$$

Растягивающее усилие от всасывания ветра на один элемент крепления:

$$F_3' = \frac{\sum q_{d2}}{n} = \frac{-0,83}{3,33} = -0,25 \text{ кН.}$$

Несущая способность **на протаскивание** головки болта (самосверлящего шурупа) сквозь лист при условии, что диаметр шайбы под головкой болта d_w не менее 14 мм (при применении самонарезающих болтов и самосверлящих шурупов, соответствующих финским стандартам, это требование в общем выполнено):

$$F_{p.Rd} = 0,8 d_w f_u^t = 0,8 \times 14 \times 0,7 \times 420 \times 10^{-3} = 3,29 \text{ кН} > |F_3'| = 0,25 \text{ кН.}$$

Несущая способность **на выдёргивание** болта из прогона:

$$F_{o.Rd} = 0,52 t_{ser} d_n f_{u.s} = 0,52 \times 2,5 \times 4,8 \times 480 \times 10^{-3} = 3,0 \text{ кН} > |F_3'| = 0,25 \text{ кН;}$$

\Rightarrow **ОК!**

Таким образом, несущая способность крепления профилированного листа самонарезающих болтов (самосверлящих шурупов) $\varnothing 4,8$ мм во всех отношениях достаточна.

7. Взаимное соединение профилированных листов

Профилированные листы соединяются между собой в продольном направлении заклёпками диаметром не менее 4 мм с шагом ≤ 500 мм.

Приложение II: пример расчёта 2

Рассчитать однопролётный Z-образный прогон, если пролёт $L = 7,5$ м и шаг прогонов 2,5 м. На прогоны действуют с крыши те же нормативные нагрузки, что и в примере 1 ($g_k = 0,3$ кН/м²; $q_{s,k} = 1,2$ кН/м²; $q_{w,k} = -0,42$ кН/м²).

1. Расчётная нагрузка прогона

Расчётная нагрузка прогона в предельном состоянии по несущей способности та же, что и в примере 1:

$$\Sigma q_{d,1} = 1,01 + 4,50 = 5,51 \text{ кН/м (сверху вниз);}$$

$$\Sigma q_{d,2} = 0,75 - 1,575 \approx -0,83 \text{ кН/м (снизу вверх).}$$

У однопролётного прогона определяющим может стать и прогиб. Расчётная нагрузка прогона в предельном состоянии по применению:

$$q_{ser} = g_k + 0,5q_{s,k} = 2,5 \times (0,3 + 0,5 \times 1,2) = 2,25 \text{ кН/м (сверху вниз).}$$

2. Выбор профиля прогона

Исходя из расчётной нагрузки предельного состояния по несущей способности $\Sigma q_d = 5,51$ кН/м и длины пролёта прогона $L = 7,5$ м, из таблицы 10.1.1 получаем подходящий профиль **Z350-3,0**. (Интерполируя при нагрузке 5,51 кН/м получаем допустимый пролёт $\sim 7,6$ м).

Проверим жёсткость прогона, исходя из расчётной нагрузки предельного состояния по применению $q_{ser} = 2,25$ кН/м из таблицы 10.1.2. Убедимся, что жёсткость профиля Z350-3,0 достаточна, если пролёт прогона не превышает 9,45 м, следовательно достаточна и жёсткость прогона.

3. Болты крепления прогона к опоре

Максимальная опорная реакция однопролётного прогона:

$$R = \frac{\Sigma q_d L}{2} = \frac{5,51 \times 7,5}{2} = 20,7 \text{ кН.}$$

Для крепления прогона применяются два болта М 10 класс 8.8 – см. пример 1.

Опора прогона и крепление её к ферме рассчитывается так же, как в примере 1. Аналогичен приведённому в примере 1 также расчёт крепления профилированных листов и решение взаимного соединения листов.

Приложение III: пример расчёта 3

Рассчитать определённый в примере 2 профиль как Σ -образный.

$$\begin{aligned}\Sigma q_d &= 5,51 \text{ кН/м} \\ q_{ser} &= 2,25 \text{ кН/м} \quad - \text{ см. пример 2.}\end{aligned}$$

Из формулы

$$\Sigma q_d \leq \frac{8W_{y,eff}}{L^2} \frac{f_y}{\gamma_M} \approx 7,27 \frac{W_{y,eff} f_y}{L^2}$$

можем вывести величину необходимого эффективного момента сопротивления:

$$W_{y,eff} \geq \frac{\Sigma q_d L^2}{7,27 f_y} = \frac{5,51 \times 7500^2}{7,27 \times 350} = 121,8 \times 10^3 \text{ мм}^3.$$

Из таблицы 2.2 найдём, что обладающими необходимой несущей способностью профилями являются:

- | | | |
|------------------------------|--|---|
| 1) $\Sigma 350 \times 3$: | $W_{y,eff} = 142,8 \times 10^3 \text{ мм}^3$;
вес 13,0 кг/м; | $I_{y,eff} = 2535 \times 10^4 \text{ мм}^4$; |
| 2) $\Sigma 400 \times 2,5$: | $W_{y,eff} = 142,6 \times 10^3 \text{ мм}^3$;
вес 11,9 кг/м. | $I_{y,eff} = 2923 \times 10^4 \text{ мм}^4$; |

Благодаря меньшему весу выбираем $\Sigma 400 \times 2,5$.

Проверим прогиб прогона:

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{q_{ser} L^4}{EI_{y,eff}} = \frac{5 \times 2,25 \times 7500^4}{384 \times 2,1 \times 10^5 \times 2923 \times 10^4} = 15,1 \text{ мм} < \frac{L}{200} = 37,5 \text{ мм}.$$

следовательно жёсткость выбранного прогона достаточна.

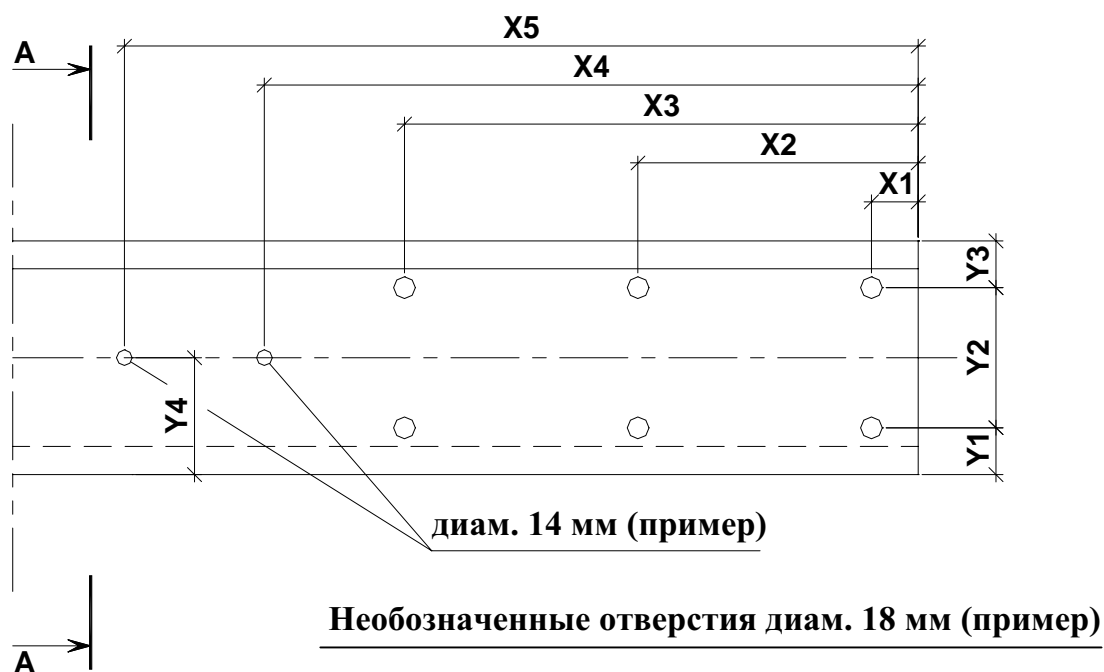
Расчёт однопролётного Ω -образного прогона проводится точно так же.

У работающих неразрезной балкой Σ - и Ω -образных профилей определяющим станет совместное действие изгибающего момента и опорной реакции на внутренних опорах. Так как приведённая выше методика расчёта влияния опорной реакции в учёт не принимает, она не приемлема при неразрезной балке. Необходимо пользоваться компьютерной программой *ORSI*.

Приложение IV: нанесение на чертёж размеров отверстий Z- и С-образных прогонов

В случае необходимости проделывания отверстий в Z- и С-образных прогонах на заводах *Ruukki* необходимо представить соответствующие чертежи, при составлении которых следует придерживаться следующих указаний:

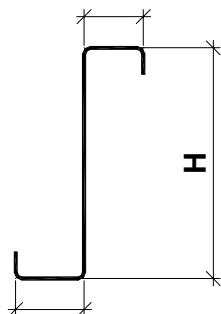
- Расположение прогона во время нанесения размеров должна соответствовать указанному на сечении А – А.
- Расстояния всех болтовых отверстий даются отдельно от правого торца элемента.
- Указывается тип профиля (Z 200В, С150, ...) и толщина материала.
- Для каждого прогона (даже в зеркальном отображении) составляется отдельный чертёж.



A - A

Z/C 100 - Z/C 250

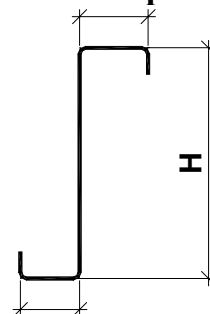
Более узкая полка



Более широкая полка

Z/C 300

Более широкая полка



Более узкая полка

Типы и размеры отверстий

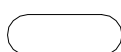
На заводах *Ruikki* в Z- и С-образных прогонах можно проделать отверстия следующей формы и размерами.

Линия прогонов

- Максимальная толщина материала 3 мм.
- Продолговатые отверстия возможны только в направлении вдоль прогона.
- Возможно проделать до двух рядов отверстий



ø 6; 10; 12; 14; 18; 26



18×32; 14×24; 14×18; 12×18

Pivatic

- Штамп можно повернуть на 90°.
- Возможно проделать несколько рядов отверстий



- отверстия ø 3-16 мм, максимальная толщина материала 3 мм
 - отверстия ø 18-26 мм, максимальная толщина материала 2,5 мм
- ø 3; 3,5; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 26



- максимальная толщина материала 2 мм
- 18×32; 14×24; 14×18; 12×18

RAUTA
Фасады ■ Кровли ■ Здания

Главный офис Rauta
04665 Украина, г. Киев,
ул. Старокиевская 10Г, БЦ Вектор
+38 044 364 85 73
info@rautagroup.com
www.rautagroup.com