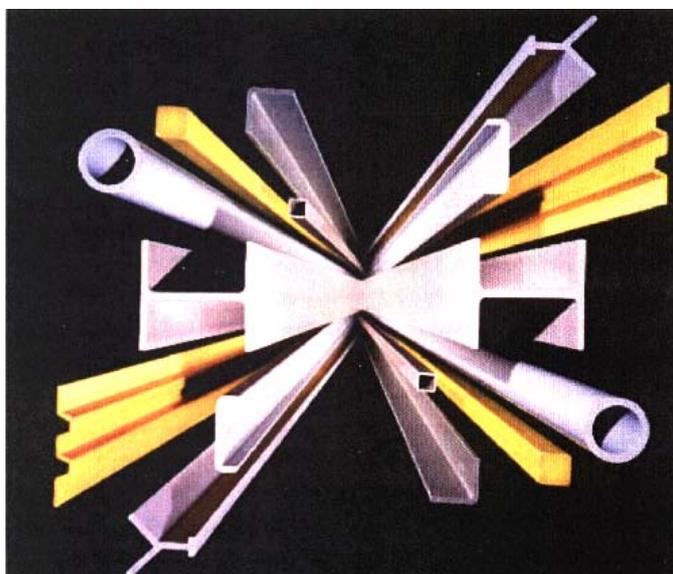


Стекловолоконный композит.

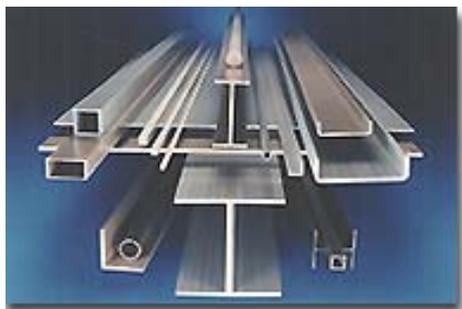


Информационный справочник.

Содержание:

Введение.....	3-6
Параметры и свойства.....	7
Глава 1. Физико-механические свойства.....	7
Свойства смол.....	7
Физико-механические свойства профилей.....	8
Типичные электрические свойства профилей всех сечений.....	11
Геометрические характеристики поперечного сечения.....	11
Допускаемые отклонения геометрических параметров.....	14
Глава 2. Таблицы нагрузок для изогнутых частей и соединений.....	16
Допустимые напряжения.....	17
Формула отклонения балки.....	21
Таблицы допустимых равномерных нагрузок.....	27
1 Боковая поддержка.....	27
2 Боковая поддержка.....	28
Глава 3. Таблицы нагрузок сжатых элементов.....	29
Программа тестирования колонн из стекловолоконного композита.....	30
Коэффициент эффективной длины, K	32
Таблицы допустимых сжимающих напряжений и стрессов.....	33
Глава 4. Клеевые соединения.....	35
Преимущества использования клея.....	35
Рекомендуемые типы клеевых соединений.....	36
Глава 5. Механические соединения.....	39
Таблицы нагрузок болтовых соединений.....	41
Несущая способность стандартных болтовых отверстий в суперструкт-х балках и колоннах.....	45
Глава 6. Механическая обработка изделий из стекловолоконного композита.....	47
Глава 7. Химическая совместимость.....	48

Стандартные профили из стеклокомпозита



Конструкции



Системы платформ из стекловолокна идеальны для использования в высоко-коррозийной среде.

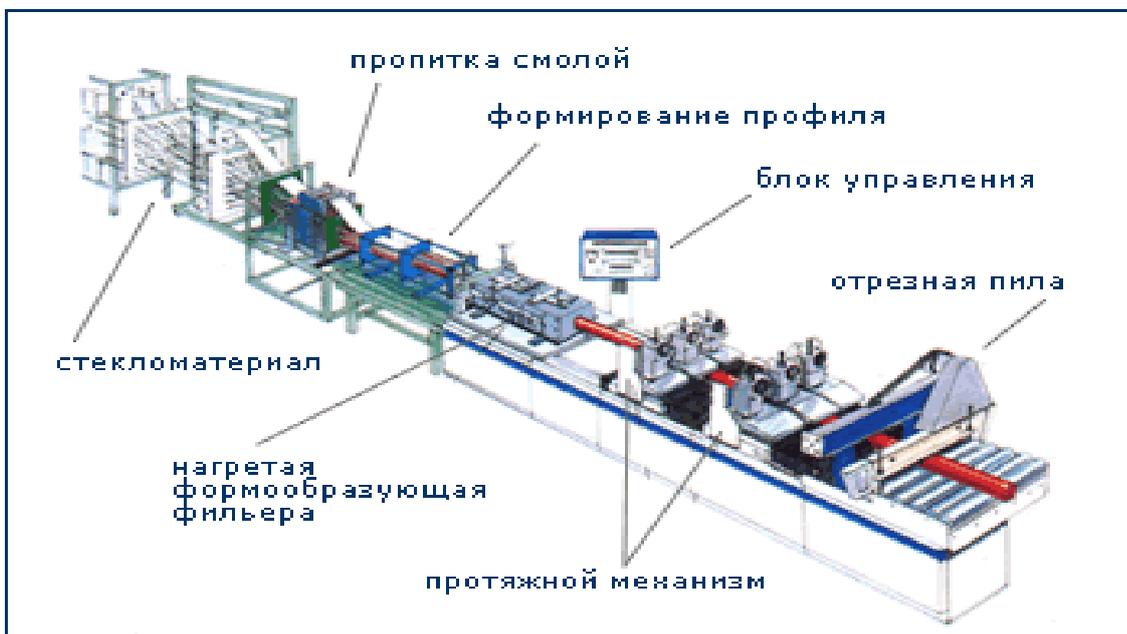


Мосты из стеклокомпозита легко установить даже в трудно доступных местах.



Интегрированная система строительства - легкий вес, простая установка, не требует обслуживания.

Производство



Пултрузия - непрерывный технологический процесс получения профилей путём непрерывной вытяжки через нагретую формообразующую фильеру стекломатериалов, пропитанных термореактивной смолой. В фильере происходит управляемый термореактивный процесс полимеризации смолы. На выходе получается полностью сформированный профиль в заданной конфигурации. При этом готовые изделия на 70% и более состоят из стеклонеполнителя. Готовый профиль не требует какой-либо дальнейшей обработки. Длина изделия не ограничена и определяется пожеланиями заказчика. Профили из стеклокомпозита легко окрашиваются благодаря отличной адгезии.

Преимущества Процесса

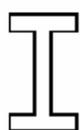
Данный процесс обеспечивает максимальную гибкость в дизайне профилей. Так как процесс непрерывен, длина ограничена лишь возможностями перевозки заказчика.

По заказу в композит можно заложить определенные характеристики прочности.

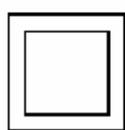
Цвет однороден по всему перекрестному разделу профиля, во многих случаях это устраняет потребность в дополнительной покраске.

По средством процесса пултрузии возможно производить как простые так и сложные профили, это упрощает постпроизводственную сборку компонентов. Использование данных профилей повышает качество готовых изделий и структур.

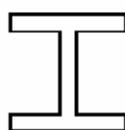
Стандартные профили, выпускаемые на производстве “Rison Inter” и далее описываемые в данном информационном справочнике в разрезе выглядят следующим образом:



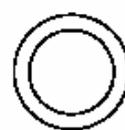
Двутавр



Квадратная
труба



Широкополочная
балка



Круглая труба



Равнополочный
угол

Стандартные стекловолоконные профили выпускаются в следующих сериях:

- Серия 1500 – Полиэстеровая основа;
- Серия 1525 - Полиэстеровая основа; Огнестойкая;
- Серия 1625 – Винилэстеровая основа; Огнестойкая;

Области применения

- ✓ Гражданское и промышленное строительство
- ✓ Мосты, переходы
- ✓ Коммуникации
- ✓ Транспорт
- ✓ Химическая промышленность
- ✓ И другие

Изделия из стекловолоконного композита аттестованы Американским обществом по испытанию материалов (ASTM - The American Society for Testing and Materials) на тесты физико-механических свойств, химических свойств, тесты на пожарную безопасность и экологическую безвредность.



ASTM стандарты принимаются к использованию в масштабе всего мира и охватывают такие отрасли как металлургия, гражданское и промышленное строительство, перерабатывающие отрасли, текстильная промышленность, нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность, химическая промышленность, энергетика, охрана окружающей среды, потребительские товары, медицинские услуги и аппараты.

Испытания

Типовые свойства, приведенные в табл. 2.3 – 2.7 в этом руководстве были получены, по средством тестов образцов, которые были отобраны из поточной линии. Испытания, выполнены согласно Американскому обществу по испытанию материалов (ASTM) и другим стандартным процедурам. Короткое описание, представлено здесь как введение для проектировщика.

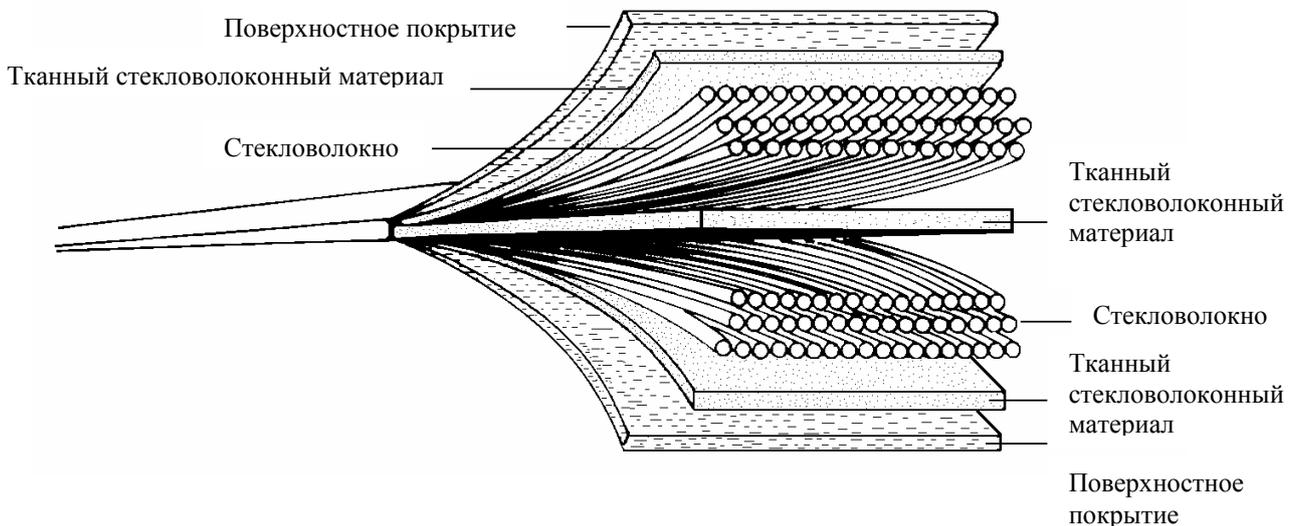
Пределная прочность при изгибе (Американское общество по испытанию материалов D790)

Пределные напряжения при изгибе были определены следующим образом. Профиль/экземпляр поместили на поддержки, максимально возможное напряжение в центре профиля – это и есть предельное напряжение при изгибе.

Пределная прочность при сжатии (Американское общество по испытанию материалов D695)

Пределная сжимающая сила – это сила, требуемая для разрушения экземпляра.

Структура



ПАРАМЕТРЫ И СВОЙСТВА

Глава 1. Физико-механические свойства

Стекловолоконный композит, изготовленный методом пултрузии, производится на основе тканых и не тканых стекловолоконистых материалов (наполнителей) и различных смол (связующих). Пултрузия даёт возможность проектировать компоненты изделия с определенными характеристиками и широким диапазоном структурных свойств в конечном изделии.

Типичные структурные изделия содержат от 45 % до 75% наполнителя. Этот тип композита широко используется в пултрузионной промышленности и обладает стандартными механическими свойствами, которые при необходимости могут изменяться. Пределы прочности, например, могут измениться от 40 МПа до 1000 МПа, в зависимости от наполнителей, ориентации волокна и выбора смолы.

Первичный используемый тип - Е-стекло. Другие наполнители являются более дорогостоящими, в связи с чем в строительстве используются реже.

Таблица 1-1. Типовые свойства волокна.

Свойство	Е-Стекло
Плотность (Mg/m ³)	2.60
Предел прочности при растяжении (GPa)	3.4
Модуль упругости при растяжения (GPa)	10.5
Удлинение до разрыва (%)	4.8

Свойства смол.

На определение используемого типа смолы влияют различные факторы, например такие как, коррозионность окружающей среды, температурное влияние, необходимость в огнестойкости.

Полиэстеры - первичные смолы, используемые в пултрузии. Доступен широкий диапазон полиэстеров с различными характеристиками. Свойства и потребность в этих различных смолах определяются конечным продуктом.

Огнестойкие полиэстеры также доступны. Огнестойкость может изменяться путем смешивания различных смол. Некоторые из доступных результатов спецификации воспламеняемости и испытаний представлены далее в Материальных Свойствах (табл. 2.4). Для наивысшей огнестойкости, применяются фенольная или другие специальные смолы.

Винилэстеровые смолы также используются в процессе пултрузии. Они применяются, для улучшения химической стойкости. Из-за их химической реакции с наполнителями, физические свойства профиля возможно увеличить до 15 %.

Таблица 1-2. Типовые свойства смол

Свойство	Polyester	Vinyl ester	Тест
Предел прочности при растяжении (MPa)	77.2	181.4	ASTM D638
Удлинение%	4.5	5	ASTM D638
Предел прочности при изгибе (MPa)	122.8	137.9	ASTM D790

Модуль упругости при изгибе (Гра)	3.0	3.7	ASTM D790
Деформация при температуре (°C)	71.1	104.4	ASTM D648
Предел прочности при срезе (короткая балка) (МПа)	31.0	37.9	ASTM D2344

Физико-механические свойства профилей
Прямоугольные трубы, квадратные трубы, круглые трубы, швеллеры, углы
МЕТРИЧЕСКАЯ ВЕРСИЯ

Табл. 1-3

СВОЙСТВА	ASTM test	ед. измерения	1500/1525 серии	1625 серия
Механические свойства				
Предел прочности при растяжении (вдоль)	D638	Мпа	226,9	257,8
Предел прочности при растяжении (поперёк)	D638	Мпа	51,6	55
Модуль упругости при растяжении (вдоль)	D638	Гра	17,2	20,6
Модуль упругости при растяжении (поперёк)	D638	ГПа	5,5	6,9
Предел прочности при сжатии (вдоль)	D695	Мпа	226,9	257,8
Предел прочности при сжатии (поперёк)	D695	Мпа	113,4	137,5
Модуль упругости при сжатии (вдоль)	D695	Гра	20,6	20,6
Модуль упругости при сжатии (поперёк)	D695	Гра	6,9	8,2
Предел прочности при изгибе (вдоль)	D790	Мпа	226,9	257,8
Предел прочности при изгибе (поперёк)	D790	Мпа	75,6	85,9
Модуль упругости при изгибе (вдоль)	D790	Гра	11	13,7
Модуль упругости при изгибе (поперёк)	D790	Гра	5,5	6,9
Модуль эластичности	полное сечение ²	Гра	19,2-22,0	19,2-22
Швеллер	полное сечение ²	Гра	19,2	19,2
Квадратная и прямоугольная трубы	полное сечение ²	Гра	22	22
Модуль среза	полное сечение ²	Гра	2,9	2,9
Максимальная несущая способность (вдоль)	D953	Мпа	206,2	206,2
Максимальная несущая способность (поперек)	D953	Мпа	123,7	123,7
Коэффициент Пуассона (вдоль)	D3039	mm/mm	0,35	0,35
Коэффициент Пуассона (поперек)	D3039	mm/mm	0,15	0,15
Физические свойства				
Твёрдость по Барколю	D2583		45	45
Водопоглощение	D570	%Max	0,6	0,6
Плотность	D792	Mg / M ³	1,66-1,93	1,66-1,93
Коэффициент линейного расширения (вдоль)	D696	10 ⁻⁶ / K	8	8
Теплопроводимость (активная)	C177	W/MK	0,58	0,58

проводимость) (перпенд.)				
Электрические свойства				
Дуга сопротивления (вдоль)	D495	секунды	120	120
Электрическая прочность (вдоль)	D149	kV/mm	1,58	1,58
Электрическая прочность (перпенд.)	D149	kV/mm	7,9	7,9
Диэлектрическая постоянная проницаемость (перпенд.)	D150	@ 60 Hz	5,2	5,2

Табл. 1-4

Свойства	ASTM Test	1525	1625
Класс-я воспламеняемости	UL94	(VO)	(VO)
Туннельный тест	ASTM E-84	25 Max	25 Max
Тушение воспламеняемости	ASTM D635	не тлеющий	не тлеющий
NBS дымовая камера	ASTM E662	650	650
Сопротивление пламени (воспламенение/ горение)	FTMS 406-2023	55/30 секунд	55/30 секунд

Двутавр и широкополочная балка

Табл. 1-5

Механические свойства	ASTM test	единица измерения	1500/1525 серии	1625 серия
Полная секция				
Модуль эластичности	полное сечение ²	Гра	26,8-27,6	26,8-27,6
(12,7mm толщина профиля)	полное сечение ²	Гра	26,8	26,8
(6,4mm и 9,5mm толщина профиля)	полное сечение ²	Гра	27,6	27,6
Модуль среза (поперечный)	полное сечение ²	Гра	3,4	3,4
Напряжение при изгибе (упругость)	полное сечение ²	Мра	226,9	226,9
Полочки – механические свойства				
Предел прочности при растяжении (вдоль)	D638	Мра	275	317,3
Модуль упругости при растяжении вдоль	D638	Гра	28,6	28,6
Предел прочности при сжатии (вдоль)	D695	Мра	315,7	362,1
Предел прочности при сжатии (поперёк)	D695	Мра	122,4	140,2
Модуль упругости при сжатии (вдоль)	D695	Гра	26,5	26,5
Модуль упругости при сжатии (поперёк)	D695	Гра	13,1	13,1
Предел прочности при изгибе (вдоль)	D790	Мра	295,2	339,3
Модуль упругости при изгибе (вдоль)	D790	Гра	13,7	13,7
Максимальная несущая способность вдоль	D953	Мра	226,9	261,2
Максимальная несущая способность вдоль ³	D953	Мра	158,1	182,2
Коэффициент Пуассона (вдоль)	D3039	mm/mm	0,35	0,35

Коэффициент Пуассона (поперек)	D3039	mm/mm	0,12	0,12
--------------------------------	-------	-------	------	------

Перегородка – механические свойства				
Предел прочности при растяжении (вдоль)	D638	Mpa	208,3	240,6
Предел прочности при растяжении (поперёк)	D638	Mpa	72,2	82,5
Модуль упругости при растяжении (вдоль)	D638	Gpa	21,3	21,3
Модуль упругости при растяжении (поперёк)	D638	Gpa	9,6	9,6
Предел прочности при сжатии (вдоль)	D695	Mpa	257,8	296,5
Предел прочности при сжатии (поперёк)	D695	Mpa	97,6	112,3
Модуль упругости при сжатии (вдоль)	D695	Gpa	19,2	19,2
Модуль упругости при сжатии (поперёк)	D695	Gpa	13,1	13,1
Предел прочности при изгибе (вдоль)	D790	Mpa	297,8	342,4
Предел прочности при изгибе (поперёк)	D790	Mpa	119,3	136,8
Модуль упругости при изгибе (вдоль)	D790	Gpa	13,1	13,1
Модуль упругости при изгибе (поперёк)	D790	Gpa	12,0	12
Максимальная несущая способность (вдоль)	D953	Mpa	233,6	268,1
Максимальная несущая способность (вдоль)	D953	Mpa	206,2	237,2
Коэффициент Пуассона (вдоль)	D3039	mm/mm	0,35	0,35
Коэффициент Пуассона (поперек)	D3039	mm/mm	0,12	0,12
Физические свойства				
Твёрдость по Барколю	D2583		33	39
Водопоглощение	D570	%Max	0,6	0,6
Плотность	D792	Mg / M ^ 3	1,66-1,93	1,66-1,93
Коэффициент линейного расширения (вдоль)	D696	10 ^ - 6K ^ -1	8	8
Теплопроводимость (активная проводимость) (перпенд.)	C177	W/Mk	0,58	0,58
Электрические свойства				
Дуга сопротивления (вдоль)	D495	секунды	120	120
Электрическая прочность (вдоль)	D149	kV/mm	1,58	1,58
Электрическая прочность (перпенд.)	D149	kV/mm	7,9	7,9
Диэлектрическая постоянная проницаемость (перпенд.)	D150	,@ 60 Hz	5,2	5,2

Табл. 1-6

ASTM Test			
Свойство		1525	1625
Класс-я воспламеняемости	UL94	(VO)	(VO)
Туннельный тест	ASTM E-84	25 Max	25 Max
Тушение воспламеняемости	ASTM D635	Не тлеющий	Не тлеющий
NBS дымовая камера	ASTM E662	650	650

Соппротивление пламени (воспламенение/ горение)	FTMS 406-2023	55/30 (секунды)	55/30 (секунды)
--	---------------	--------------------	--------------------

Типичные электрические свойства профилей всех сечений.

Таблица 1-7

Электрические свойства	1500 1525 & 1625 Series
Электрическая прочность, ASTM D149 (перпенд.)	7.9 kV/mm
Электрическая прочность, ASTM D149 (вдоль)	1.58 kV/mm
Диэлектрическая постоянная, 60 Hz., ASTM D150 (перпенд.)	5.2
Фактор рассеивания/утечки 60 Hz., ASTM D150 (перпенд.)	0.03
Дуга сопротивления, ASTM-D495 (указывает значение измер-е в продольном направлении)	120 секунд

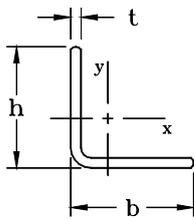
Сохранение свойств при различных температурах

Таблица 1-8

	Температура	1500/1525 серия	1625 серия
Предельное напряжение	37° C	85%	90%
	51° C	70%	80%
	65° C	50%	80%
	79° C	Не рекомендуется	75%
	93° C	Не рекомендуется	50%
	-70° C	90%	95%
	Модуль эластичности	37° C	100%
51° C		90%	95%
65° C		85%	90%
79° C		Не рекомендуется	88%
93° C		Не рекомендуется	85%
-70° C		90%	95%

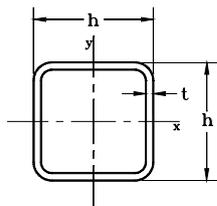
В конструкциях нуждающихся в более высоком сохранении свойств, рекомендуется использование специально разработанных для высоких температур смоловых систем. Например, 1625 серия Винолоэстэр

Геометрические характеристики поперечного сечения.



Равнополочный уголок.

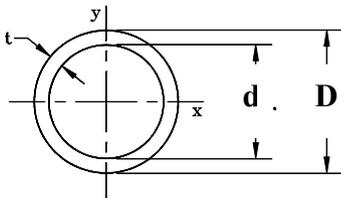
высота	ширина	толщина	площадь	вес	X - оси и Y - оси			
h	b	t	A mm ²	M kg/m	I mm ⁴	W mm ³	i mm	Rz mm
25,4	25,4	3,18	144	0,25	8574	487	7,72	4,61
38,1	38,1	3,18	225	0,39	31342	1155	11,81	7,21
38,1	38,1	4,76	332	0,57	44204	1658	11,54	7,16
50,18	50,18	4,76	453	0,78	110634	3058	15,63	9,74
76,2	76,2	4,76	695	1,2	394171	7135	23,82	14,91
76,2	76,2	9,53	1347	2,33	716418	13355	23,07	14,68
50,8	50,8	3,18	305	0,53	77253	2106	15,91	9,8
50,8	50,8	6,4	595	1,03	140728	3944	15,38	9,68



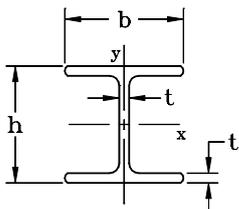
Квадратная труба

высота	толщина	площадь	вес	X - оси и Y - оси		
h	t	A mm ²	M kg/m	I mm ⁴	W mm ³	i mm
25,4	3,18	274	0,47	22518	1773	9,06
38,1	3,18	435	0,75	88116	4626	14,23
44,45	3,18	514	0,89	144890	6519	16,79
44,45	6,35	957	1,66	235753	11050	15,69
50,8	3,18	592	1,03	221810	8733	19,36
50,8	6,35	1116	1,93	371445	14624	18,24

Круглая труба

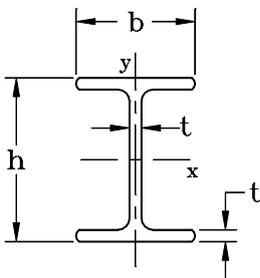


Внешний диаметр	Внутрен. диаметр	толщина	площадь	вес	X - оси и Y - оси		
D	d	t	A mm ²	M kg/m	I mm ⁴	W mm ³	i mm
31,75	25,4	3,18	285	0,49	29469	1857	10,17
38,1	31,75	3,18	348	0,6	53569	2812	12,4



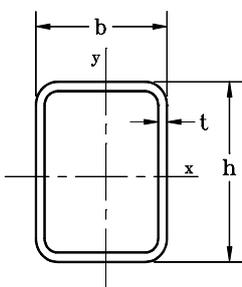
Широкополочная балка

Выс.	Шир.	Толщ.	плоч.	вес	X - ось			Y - ось		
					I	W	i	I	W	i
h	b	t	A mm ²	M kg/m	mm ⁴	mm ³	mm	mm ⁴	mm ³	mm
152,4	152,4	9,53	4236	7,34	16964344	222630	63,29	5542163	72732	36,17
203,2	203,2	9,53	5387	9,85	41768408	411107	85,7	13175265	129677	48,13



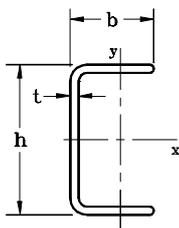
Двутавр

Выс.	Шир.	Толщ.	Площ	Вес	X - ось			Y - ось		
					I	W	i	I	W	i
h	b	t	A mm ²	M kg/m	mm ⁴	mm ³	mm	mm ⁴	mm ³	mm
101,6	50,8	6,35	1237	2,14	1885487	37117	39,04	136982	5393	10,52



Прямоугольная труба

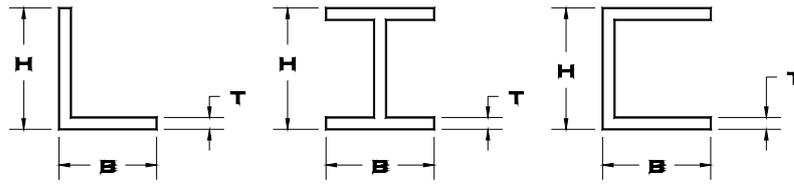
высота	ширина	толщина	площадь	Вес	X - ось			Y - ось		
h	b	t	A	M	I	W	i	I	W	i
			mm ²	kg/m	mm ⁴	mm ³	mm	mm ⁴	mm ³	mm
111,76	36,32	3,3	888	1,54	1202784	21513	36,81	202372	11128	15,1



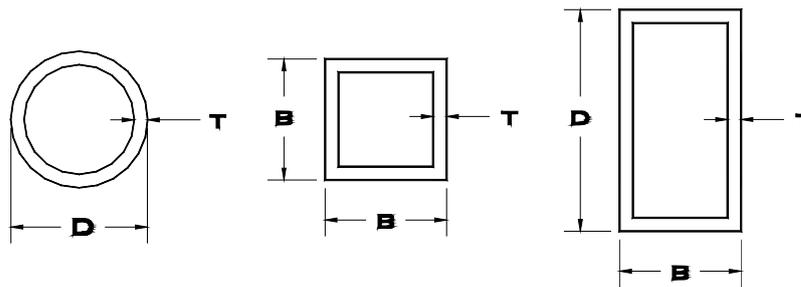
Швеллеры

выс	шир-а	толщ.	плоч.	вес	X - ось			Y - ось		
h	b	t	A	M	I	W	i	I	W	i
			mm ²	kg/m	Mm ⁴	mm ³	mm	mm ⁴	mm ³	mm
75	25	5	549,3	0,95	387400	10330	26,55	26350	1466	6,9270
100	30	4	589,7	1,02	768400	15370	36,09	41620	1835	8,407
100	40	5	824,6	1,43	1146000	22930	57,29	115300	3966	11,81
150	50	4	949,7	1,64	2985000	39800	56,06	204400	5342	14,66
150	50	6	1394	2,41	4243000	56570	55,17	345100	7849	15,72
200	60	8	2372	4,11	12430000	124300	72,39	668900	14680	16,79
200	80	8	2698	4,67	15440000	154400	75,64	1541000	26100	23,9

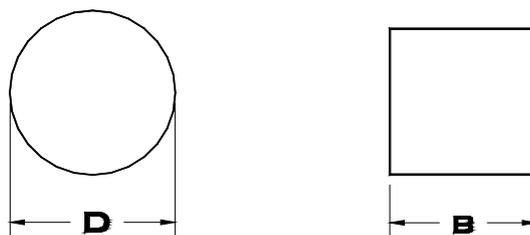
Допускаемые отклонения геометрических параметров.



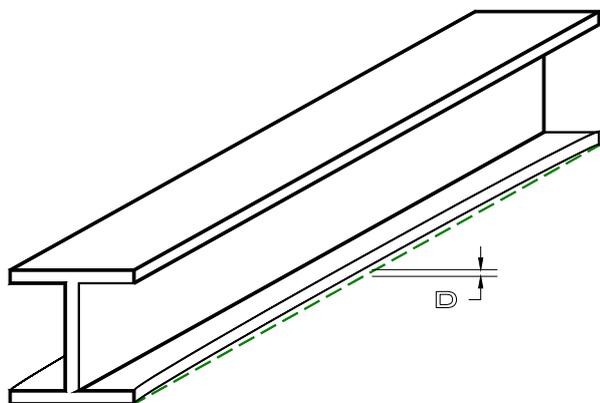
Допустимое отклонение от размера						
	Углы		Двутавр		Швеллеры	
Размеры	Допустимое отклонение ±	Отклонение ±	Допустимое отклонение ±	Отклонение ±	Допустимое отклонение ±	Отклонение ±
Толщина (Т)	10%	0.25 mm Minimum	10%	0.25 mm Minimum	10%	0.25 mm Minimum
Полочка (В)	5%	2.4 mm Maximum	5%	2.4 mm Maximum	5%	2.4 mm Maximum
Высота(Н)	5%	2.4 mm Maximum	5%	2.4 mm Maximum	5%	2.4 mm Maximum



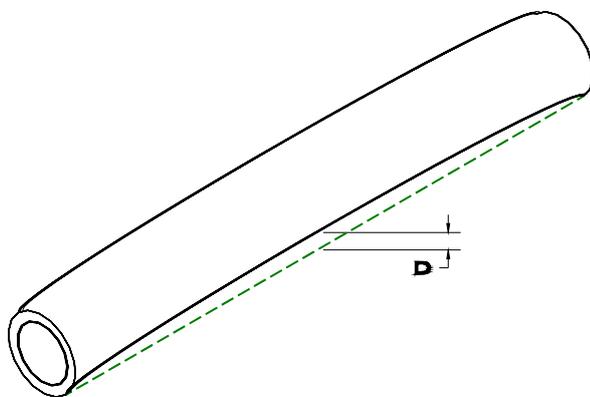
Размеры (D) или (B)	Допустимое отклонение высоты от угла или диаметра
До 50 mm	± 0.50 mm
50 – 100 mm	± 1 mm
Свыше 100 mm	± 1.5%
Ра (Т)	Допустимое отклонение
До 2.54 mm	±20%
2.54 mm и СВЫШЕ	±15%



Размеры (D) или (B)	Допустимое отклонение от номинальных размеров
До 75 mm	$\pm .010''$ (0.25 mm)



Допустимое отклонение от прямой (D)		
Длина	Отклонение	Отклонение на часть
До 1.52 m	2.1 mm/m	2.1 mm x длина (L)
1.52 m и выше	4.2 mm/m	4.2 mm x длина (L)



Допустимое отклонение от прямой (D)		
Диаметр/Высота	Отклонение	Отклонение на часть
До 50 mm	1.7 mm/m	1.7 mm x длина (L)
50 mm выше	2.5 mm/m	2.5 mm x длина (L)

Глава 2. Таблицы нагрузок для изогнутых частей и соединений.

Деформация балки – Пултрузионная балка разрабатывается с учетом приложенной силы и деформации.

Волоконно укрепленные композитовые балки имеют как изгибную деформацию так и деформацию среза. Деформация среза наиболее очевидна при коэффициенте длины пролета к деформации менее 20. При небольших пролетах, деформация среза включает существенную часть фактических деформаций; в связи с этим, проектировщику необходимо всегда учитывать деформацию среза.

Хотя тестирование образцов – хороший метод контроля за качеством, композитовые материалы неоднородны и обладают различными свойствами в перегородках и полочках. Определение возможной деформации должно основываться на тестировании полной секции.

Методика и примеры расчетов Таблиц Допустимых Равномерных Нагрузок (Таблица 3.4, 3.5) были рассчитаны на основе физических свойств полученных из испытаний полных секций. Таблицы Нагрузок основываются на простой поддержке и равномерной нагрузке. Для расчета возможной деформации была использована следующая формула:

$$\Delta = \frac{5wL^4}{384 EI} + \frac{wL^2}{8A'G} \quad \text{Где: } A' = kA_w \text{ (mm}^2\text{)}$$

A_w = Площадь среза (mm²)

k = Коэффициент среза (Табл.3.2)

E_x = Модуль эластичности (GPa)

G = Модуль твердости (Модуль среза) (GPa)

I = Момент инерции (mm⁴)

L = Длина пролета (m)

Δ = Деформация (mm)

w = Нагрузка на балку (N/m)

Допустимые напряжения

Волоконно укрепленные композитовые балки при различных видах нагрузок подвергаются напряжениям: сжатию, изгибу и срезу. Наиболее распространенным видом повреждения для изогнутых частей длинного пролета, является местная деформация сжимающихся полочек, в то время как при коротких пролетах – деформация среза в плоскости.

Фактор безопасности

Допустимые напряжения представленные в Таблицах Допустимых Равномерных Нагрузок основываются на предельном сжимающем напряжении, силе изгиба и силе среза с учетом фактора безопасности. Для местной потери устойчивости при продольном изгибе и изгибных напряжениях фактор безопасности принимается 2.5, и при напряжениях среза фактор безопасности равен 3. Для расчета допустимых напряжений изгиба и напряжений среза используют следующие формулы:

$V = f_v(A_w)$; где f_v = допустимое напряжение на срез = 31/3 = 10,3 МПа

$M = f_b(W_x)$; где f_b = допустимое напряжение на изгиб = 227.6/2.5 = 91.0 МПа

Местная потеря устойчивости при продольном изгибе сжатых полочек для двутавра, широкополочной балки, квадратной и прямоугольной трубы определяется по следующей формуле:

$$\sigma_x^{cr} = \frac{\pi^2}{12} \left(\frac{t_f}{b} \right)^2 \left[\sqrt{q} \left(2 \sqrt{(E_x)_f (E_y)_f} \right) + p \left((E_y)_f (v_{xy})_f + 2(G_{xy})_f \right) \right]$$

Где: σ_x = допускаемое напряжение

q и p = константы определенные коэффициентом сдерживания (ζ) в месте соединения плит/пластин.

Двутавр и широкополочная балка:

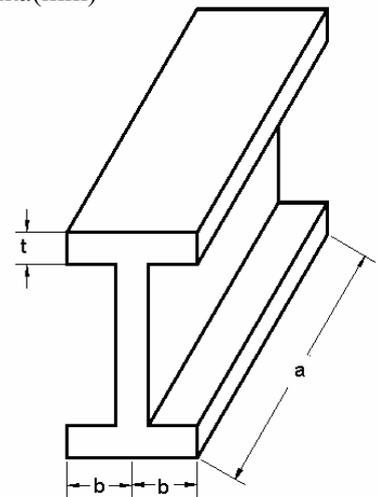
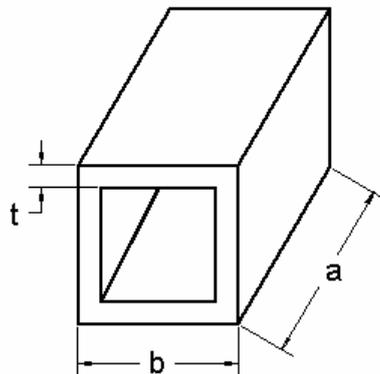
$$p = 0.3 + \left(\frac{0.004}{\zeta - 0.5} \right); \quad q = 0.025 + \left(\frac{0.065}{\zeta + 0.4} \right); \quad \zeta = \frac{2b_w(E_y)_f}{b_f(E_y)_w}; \quad b = \frac{b_f}{2}$$

Квадратные секции:

$$p = 2.0 + \left(\frac{0.002}{\zeta - 1.3} \right); \quad q = 1.0 + \left(\frac{0.08}{\zeta + 0.2} \right); \quad \zeta = \frac{b_w(E_y)_f}{b_f(E_y)_w}; \quad b = \frac{b_f}{2}$$

Где:

- σ_x^{cr} = Допускаемое напряжение (МПа)
- b = Половина длины сжатого борта двутавр/широкополочная балка(mm)
- b = Длина сжатой полочки квадратной секции, $b=b_f$ (mm)
- b_f = Длина полочки (mm)
- b_w = Высота секции (mm)
- E_x = Продольный модуль эластичности (МПа)
- E_y = Поперечный модуль эластичности (МПа)
- f = Полочка
- G_{xy} = Модуль твердости (Модуль среза) (МПа)
- p = Константа определенная коэффициентом сдерживания (ζ)
- q = Константа определенная коэффициентом сдерживания (ζ)
- t = Толщина сжатой полочки/перегородки (mm)
- ζ = Коэффициент сдерживания сжатых плит
- w = Перегородка

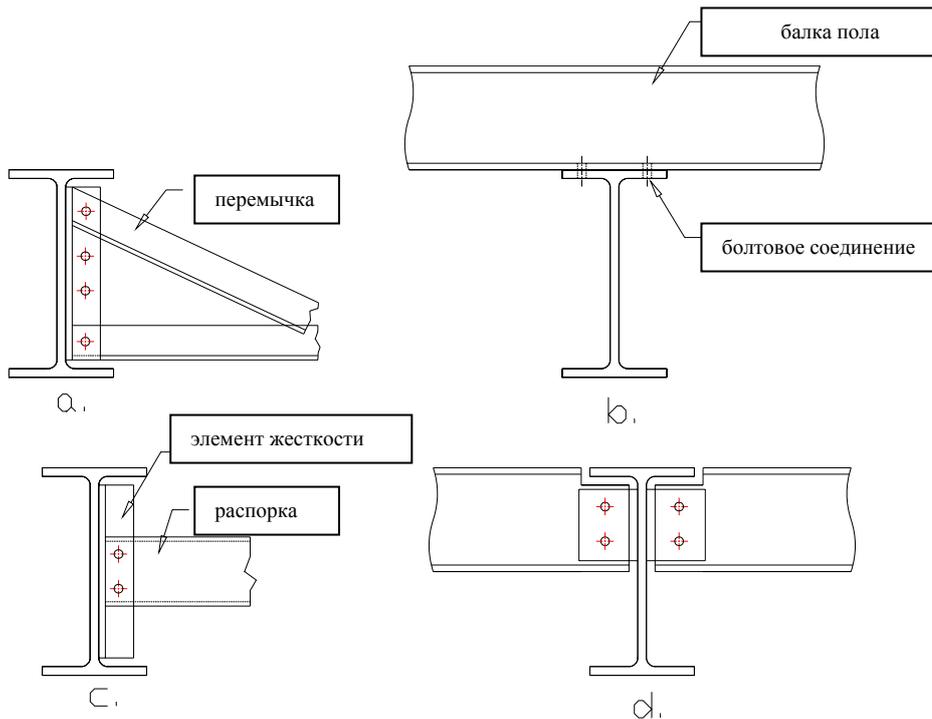


Расчет напряжения на швеллеры

Двутавры, широкополочные балки и квадратные секции, описываемые выше, нагружены в плоскости симметрии и согнуты в плоскости нагрузки. Швеллеры в свою очередь ведут себя так лишь в случае нагрузки через центр среза. В обычных конструкциях данная ситуация встречается крайне редко, поэтому, верхняя полочка швеллера должна быть в достаточной мере закреплена чтобы сопротивляться вращению вызванному смещенной нагрузкой.

Боковая скручивающая деформация

Допустимые Равномерные Нагрузки выведены с учетом адекватной боковой поддержки для изогнутых частей. На рисунках а. – d. представлены обычно используемые виды креплений, предоставляющие достаточную боковую/поперечную жесткость. Необходимо иметь ввиду, что интервалы между креплениями также должны быть адекватны. В случае если боковая/поперечная поддержка не используется, проектировщик должен высчитать коэффициент боковой скручивающей деформации. Таблицы Допустимых Равномерных Нагрузок (3.4, 3.5) содержат колонку – Допустимая нагрузка, общая деформация балок без боковой/поперечной поддержки. Используется фактор безопасности – 2.5.



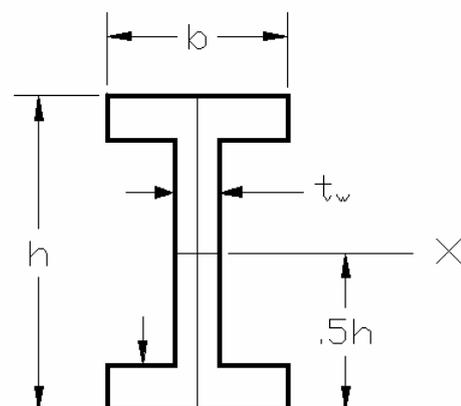
Для двутавра и широкополочной балки :

Формула расчета боковой скручивающей деформации

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{KL_b} \sqrt{\left(\frac{\pi E_y}{KL_b}\right)^2 C_w I_y + E_y I_y G J}$$

Где, для двутавра и широкополочной балки:

$$C_w = \frac{h^2 I_y}{4}$$



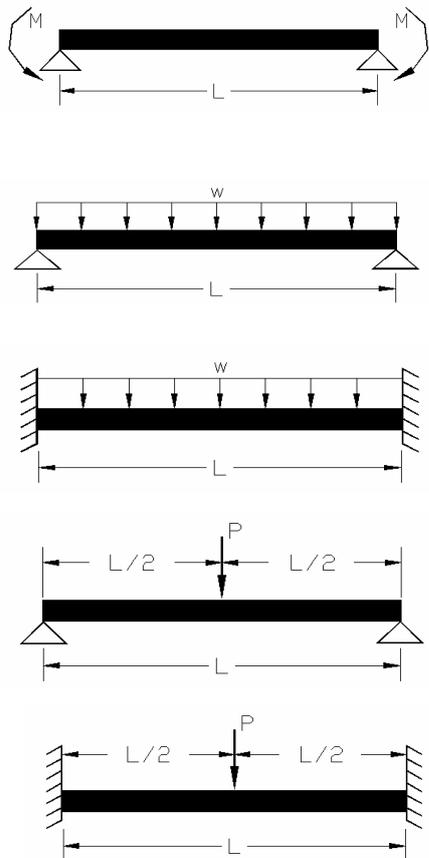
$$J = \frac{1}{3}(2bt_f^3 + ht_w^3)$$

- C_w = Постоянная искривления (mm^6)
 J = Постоянная кручения (mm^4)
 C_b = Постоянная момента отклонения/колебания
 M_{cr} = Критический момент (N-m.)
 L_b = Длина пролета между точками имеющими боковую/поперечную поддержку (mm)
 E_y = Модуль эластичности для изгиба по оси у-у (GPa)
 (Для простоты используйте значение E_x , значения очень близки) $E_y \approx E_x$
 G = Модуль сдвига (GPa)
 K = Коэффициент эффективной длины
 I_y = Момент инерции по оси у-у (mm^4)

C_b – момент регулировки уклона, зависящий от типа нагрузки и состояния ограничителей.
Значения в Таблице 3.1

Таблица 2.1 Коэффициент боковой/поперечной деформации и крепление концов

Боковая/ поперечная поддержка по	Момент регулировки наклона (C_b)	Коэффициент эффективной длины (K)
--	--	---

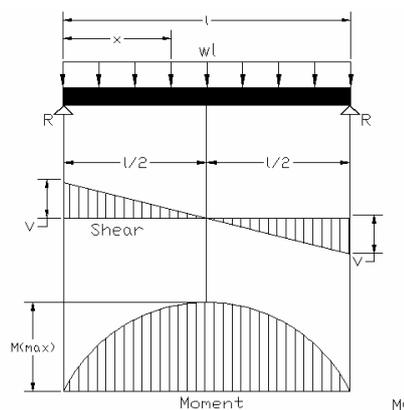


оси у		
Нет	1.0	1.0
Нет Полная	1.13 0.97	1.0 0.5
Нет Полная	1.30 0.86	1.0 0.5
Нет Полная	1.35 1.07	1.0 0.5
Нет Полная	1.70 1.04	1.0 0.5

Формула отклонения балки

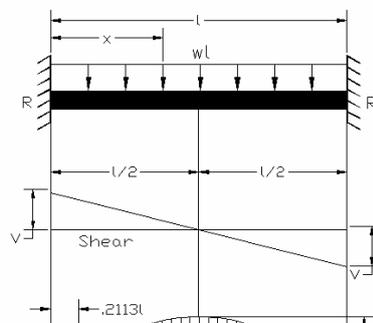
Равномерная нагрузка на простую баку

$$\begin{aligned}
 \text{Total Equiv. Uniform Load} &= wl \\
 \Delta_{\text{max. (at midpoint)}} &= \frac{5wl^4}{384EI} + \frac{wl^2}{8GA'} \\
 \Delta_x &= \frac{wx}{24EI} (l^3 - 2lx^2 + x^3) \\
 R \text{ is } V &= \frac{wl}{2} \\
 V_x &= w \left(\frac{l}{2} - x \right) \\
 M_{\text{max. (at midpoint)}} &= \frac{wl^2}{8} \\
 M_x &= \frac{wx}{2} (l - x)
 \end{aligned}$$

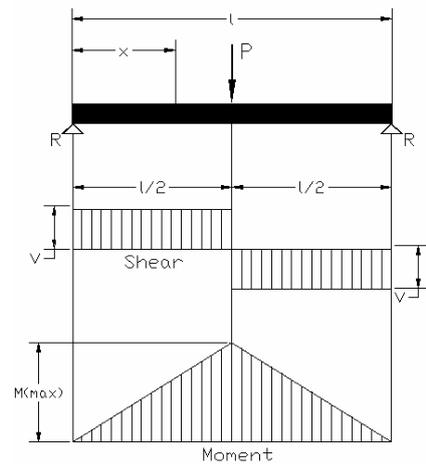


Примечание: Обращайтесь к Таблицу 3.2 Площадь среза и коэффициент среза

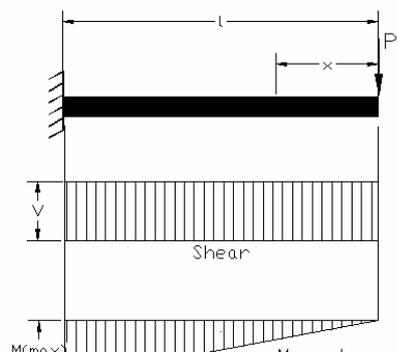
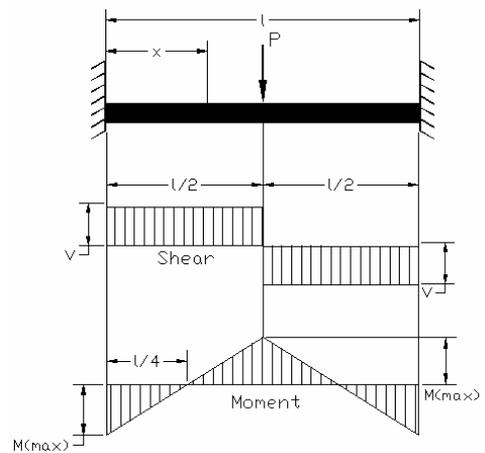
$$\begin{aligned}
 \text{Total Equiv. Uniform Load} &= \frac{2wl}{3} \\
 \Delta_{\text{max. (at midpoint)}} &= \frac{wl^4}{384EI} + \frac{wl^2}{8GA'} \\
 \Delta_x &= \frac{wx^2}{24EI} (l - x)^2 \\
 R \text{ is } V &= \frac{wl}{2} \\
 V_x &= w \left(\frac{l}{2} - x \right) \\
 M_{\text{max. (at midpoint)}} &= \frac{wl^2}{8}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \text{Total Equiv. Uniform Load} &= 2P \\
 \Delta \text{ max. (at point of load)} &= \frac{Pl^3}{48 EI} + \frac{Pl}{4GA'} \\
 \Delta_x \left(\text{when } x < \frac{l}{2} \right) &= \frac{Px}{48 EI} (3l^2 - 4x^2) \\
 V &= \frac{P}{2} \\
 M \text{ max. (at point of load)} &= \frac{Pl}{4} \\
 M_x \left(\text{when } x < \frac{l}{2} \right) &= \frac{Px}{2}
 \end{aligned}$$



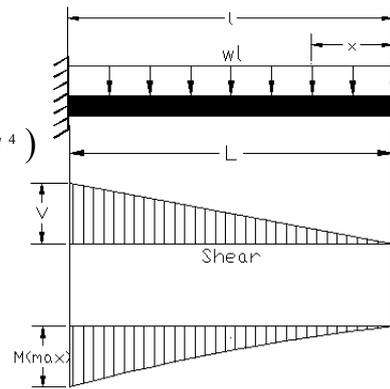
$$\begin{aligned}
 \text{Total Equiv. Uniform Load} &= P \\
 \Delta \text{ max. (at midpoint)} &= \frac{Pl^3}{192 EI} + \frac{Pl}{4GA'} \\
 \Delta_x \left(\text{when } x < \frac{l}{2} \right) &= \frac{Px^2}{48 EI l^2} (3l - 4x) \\
 V &= \frac{P}{2} \\
 M \text{ max. (at center and ends)} &= \frac{Pl}{8} \\
 M_x \left(\text{when } x < \frac{l}{2} \right) &= \frac{P}{8} (4x - l)
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \text{Total Equiv. Uniform Load} &= 8P \\
 \Delta_{\text{max. (at free end)}} &= \frac{Pl^3}{3EI} + \frac{Pl}{GA'} \\
 \Delta_x &= \frac{P}{6EI} (2l^3 - 3l^2x + x^3) \\
 R \text{ is } V &= P \\
 M_{\text{max. (at fixed end)}} &= Pl \\
 M_x &= Px
 \end{aligned}$$

Равномерная нагрузка, балка кронштейн

$$\begin{aligned}
 \text{Total Equiv. Uniform Load} &= 4wl \\
 \Delta_{\text{max. (at free end)}} &= \frac{wl^4}{8EI} + \frac{wl^2}{2GA'} \\
 \Delta_x &= \frac{w}{24EI} (x^4 - 4l^3x + 3l^4) \\
 R \text{ is } V &= wl \\
 V_x &= wx \\
 M_{\text{max. (at fixed end)}} &= \frac{wl^2}{2} \\
 M_x &= \frac{wx^2}{2}
 \end{aligned}$$



Две концентрированные нагрузки равным образом расположенные на балке с простой поддержкой

$$\begin{aligned}
 \text{Total Equiv. Uniform Load} &= \frac{8Pa}{l} \\
 \Delta_{\text{max. (at center)}} &= \frac{Pa}{EI} \left(\frac{l^2}{8} - \frac{a^2}{6} \right) + \frac{Pa}{GA'} \\
 \Delta_x \text{ (when } x < a) &= \frac{Px}{6EI} (3la - 3a^2 - x^2) \\
 \Delta_x \text{ (when } x > a \text{ and } < (l-a)) &= \frac{Pa}{6EI} (3lx - 3x^2 - a^2) \\
 R \text{ is } V &= P \\
 M_{\text{max. (between loads)}} &= Pa \\
 M_x \text{ (when } x < a) &= Px
 \end{aligned}$$

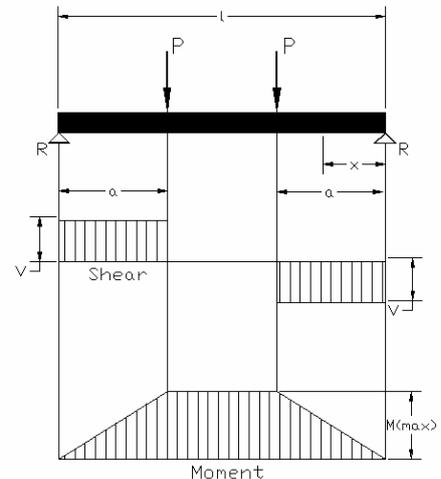
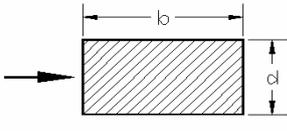
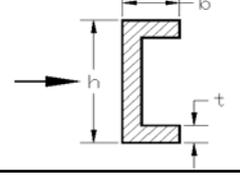
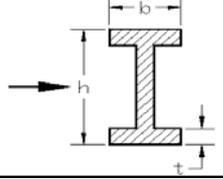
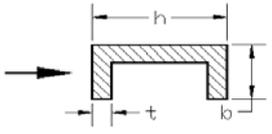
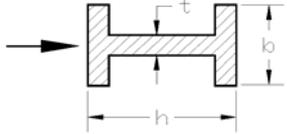
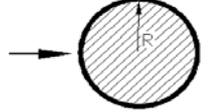
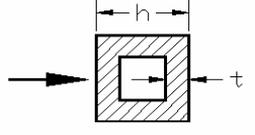
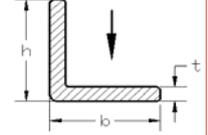
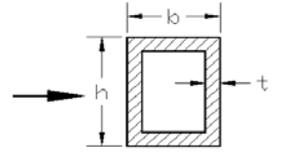
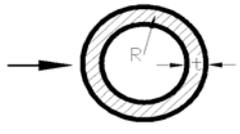


Таблица 2.2 Площади и коэффициенты среза при различных поперечных сечениях

Для расчета A' , $A' = kA_w$							
Поперечное сечение	Тип	Площадь среза	k	Поперечное сечение	Тип	Площадь среза	k
	Прямоугольник	$A_w = bd$	5/6		Швеллер	$A_w = 2bt$	5/6
	Широкополочная балка и двутавр	$A_w = 2bt$	5/6		Швеллер	$A_w = ht$	1
	Широкополочная балка и двутавр	$A_w = th$	1		Круг	$A_w = \pi R$	8/9
	Квадратная труба	$A_w = 2th$	1		Угловая секция	$A_w = th$	1
	Прямоугольная труба	$A_w = 2tb$	5/6		Круглая труба	$A_w = 2\pi Rt$	1/4

Прим:  Стрелки обозначают направление сил среза k = Коэфф. среза A_w = Площадь среза
 Прим: Значения округлены для удобства. Для точного коэфф. обращайтесь Timoshenko's Beam Theory.

Коэффициент - длина к деформации

Таблица 2.3

Пролет m	Пролет mm	Д/Д=80	Д/Д=100	Д/Д=150	Д/Д=180	Д/Д=240	Д/Д=360	Д/Д=500
		Деформация (mm)						
0,25	250	3,13	2,50	1,67	1,39	1,04	0,69	0,50
0,50	500	6,25	5,00	3,33	2,78	2,08	1,39	1,00
0,75	750	9,38	7,50	5,00	4,17	3,13	2,08	1,50
1,00	1000	12,50	10,00	6,67	5,56	4,17	2,78	2,00
1,25	1250	15,63	12,50	8,34	6,95	5,22	3,48	2,50
1,50	1500	18,75	15,00	10,00	8,34	6,26	4,17	3,00
1,75	1750	21,87	17,50	11,67	9,73	7,30	4,87	3,50
2,00	2000	25,00	20,00	13,34	11,12	8,35	5,56	4,00
2,25	2250	28,12	22,50	15,00	12,51	9,39	6,26	4,50
2,50	2500	31,25	25,00	16,67	13,90	10,44	6,96	5,00
2,75	2750	34,37	27,50	18,34	15,29	11,48	7,65	5,50
3,00	3000	37,49	30,00	20,00	16,68	12,52	8,35	6,00
3,25	3250	40,62	32,50	21,67	18,07	13,54	9,04	6,50
3,50	3500	43,74	35,00	23,34	19,46	14,58	9,74	7,00
3,75	3750	46,87	37,50	25,01	20,85	15,66	10,44	7,50
4,00	4000	49,99	40,00	26,67	22,24	16,70	11,13	8,00
4,25	4250	53,11	42,50	28,34	23,63	17,74	11,83	8,50
4,50	4500	56,24	45,00	30,01	25,02	18,79	12,52	9,00
4,75	4750	59,36	47,50	31,67	26,41	19,83	13,22	9,50
5,00	5000	62,49	50,00	33,34	27,80	20,83	13,92	10,00
5,25	5250	65,61	52,50	35,01	29,19	21,92	14,61	10,50
5,50	5500	68,73	55,00	36,67	30,58	22,96	15,31	11,00
5,75	5750	71,86	57,50	38,34	31,97	23,96	16,00	11,50
6,00	6000	74,98	60,00	40,01	33,36	25,00	16,70	12,00
6,25	6250	78,11	62,50	41,68	34,75	26,04	17,40	12,50
6,50	6500	81,23	65,00	43,34	36,14	27,08	18,09	13,00
6,75	6750	84,35	67,50	45,01	37,53	28,13	18,79	13,50
7,00	7000	87,48	70,00	46,68	38,92	29,17	19,48	14,00
7,25	7250	90,60	72,50	48,34	40,31	30,21	20,18	14,50
7,50	7500	93,73	75,00	50,01	41,70	31,35	20,88	15,00
7,75	7750	96,85	77,50	51,68	43,09	32,26	21,57	15,50
8,00	8000	99,97	80,00	53,34	44,48	33,33	22,27	16,00
8,25	8250	103,10	82,50	55,01	45,87	34,38	22,96	16,50
8,50	8500	106,22	85,00	56,68	47,26	35,42	23,66	17,00
8,75	8750	109,35	87,50	58,35	48,65	36,46	24,36	17,50
9,00	9000	112,47	90,00	60,01	50,04	37,50	25,05	18,00
9,25	9250	115,59	92,50	61,68	51,43	38,54	25,75	18,50
9,50	9500	118,72	95,00	63,35	52,82	39,58	26,44	19,00

Пролет	Пролет	Д/Д=80	Д/Д=100	Д/Д=150	Д/Д=180	Д/Д=240	Д/Д=360	Д/Д=500
m	mm	Деформация (mm)						
9,75	9750	121,88	97,50	65,00	54,17	40,63	27,08	19,50
10,00	10000	125,00	100,00	66,67	55,56	41,67	27,78	20,00
10,25	10250	128,13	102,50	68,33	56,94	42,71	28,47	20,50
10,50	10500	131,25	105,00	70,00	58,33	43,75	29,17	21,00
10,75	10750	134,38	107,50	71,67	59,72	44,79	29,86	21,50
11,00	11000	137,50	110,00	73,33	61,11	45,83	30,56	22,00
11,25	11250	140,63	112,50	75,00	62,49	46,87	31,25	22,50
11,50	11500	143,75	115,00	76,67	63,88	47,91	31,94	23,00
11,75	11750	146,88	117,50	78,33	65,27	48,95	32,64	23,50
12,00	12000	150,00	120,00	80,00	66,65	49,99	33,33	24,00
12,25	12250	153,13	122,50	81,67	68,04	51,03	34,03	24,50
12,50	12500	156,25	125,00	83,33	69,43	52,07	34,72	25,00
12,75	12750	159,38	127,50	85,00	70,81	53,11	35,42	25,50
13,00	13000	162,50	130,00	86,66	72,20	54,15	36,11	26,00
13,25	13250	165,63	132,50	88,33	73,59	55,19	36,81	26,50
13,50	13500	168,75	135,00	90,00	74,98	56,23	37,50	27,00
13,75	13750	171,88	137,50	91,66	76,36	57,27	38,20	27,50
14,00	14000	175,00	140,00	93,33	77,75	58,31	38,89	28,00
14,25	14250	178,13	142,50	95,00	79,14	59,35	39,58	28,50
14,50	14500	181,25	145,00	96,66	80,52	60,39	40,28	29,00
14,75	14750	184,38	147,50	98,33	81,91	61,43	40,97	29,50
15,00	15000	187,50	150,00	100,00	83,30	62,47	41,67	30,00
15,25	15250	190,63	152,50	101,66	84,68	63,51	42,36	30,50
15,50	15500	193,75	155,00	103,33	86,07	64,55	43,06	31,00
15,75	15750	196,88	157,50	105,00	87,46	65,59	43,75	31,50
16,00	16000	200,00	160,00	106,66	88,85	66,63	44,45	32,00
16,25	16250	203,13	162,50	108,33	90,23	67,67	45,14	32,50
16,50	16500	206,25	165,00	109,99	91,62	68,71	45,83	33,00
16,75	16750	209,38	167,50	111,66	93,01	69,75	46,53	33,50
17,00	17000	212,50	170,00	113,33	94,39	70,79	47,22	34,00
17,25	17250	215,63	172,50	114,99	95,78	71,83	47,92	34,50
17,50	17500	218,75	175,00	116,66	97,17	72,87	48,61	35,00
17,75	17750	221,88	177,50	118,33	98,55	73,91	49,31	35,50
18,00	18000	225,00	180,00	119,99	99,94	74,95	50,00	36,00
18,25	18250	228,13	182,50	121,66	101,33	75,99	50,70	36,50
18,50	18500	231,25	185,00	123,33	102,72	77,03	51,39	37,00
18,75	18750	234,38	187,50	124,99	104,10	78,07	52,09	37,50
19,00	19000	237,50	190,00	126,66	105,49	79,11	52,78	38,00
19,25	19250	240,63	192,50	128,33	106,88	80,15	53,47	38,50
19,50	19500	243,75	195,00	129,99	108,26	81,19	54,17	39,00
19,75	19750	246,88	197,50	131,66	109,65	82,23	54,86	39,50

Таблицы допустимых равномерных нагрузок.

Широкобортная балка

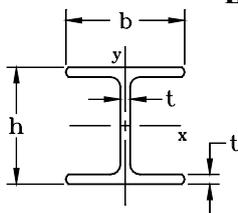


Таблица 2.4

152.4x152.4 x 9.5 1500/1525/1625 Series		Пределная сила среза в плоскости (МПа)		48,3		Балка с обычной поддержкой и равномерной нагрузкой при различных коэфф. Д/Д (кг/м) Максимальная длина пролета= 1,07 м					
		Пределная изгибная сила (МПа)		227,6							
E = 27.5 GPa G = 3.4 GPa		Пределная сила местной деформации (МПа)		156,2		Кoeff. Д/Д					
I _x =1.69*10 ⁷ mm ⁴ W _x =2.22*10 ⁵ mm ³		Простая поддержка и равномерная нагрузка									
A _w =1.45*10 ³ mm ² M = 7.34 kg/m											
Пролет (м)	Допустимая нагрузка, балка без боковой/поперечной поддержки, 2.5x Фактор безопасности (N/m)	Допустимая нагрузка при сжатии, 2.5x Фактор безопасности (N/m)	Допустимая нагрузка при изгибе, 2.5x Фактор безопасности (N/m)	Допустимая нагрузка при срезе на перегородку, 3x Фактор безопасности (N/m)							
					100	150	180	240	360		
1,75	47707	36334	52945	26690				21604	14403		
2	28545	27818	40536	23354			20380	15285	10190		
2,25	18222	21980	32028	20759		17863	14886	11165	7443		
2,5	12243	17804	25943	18683		13406	11172	8379	5586		
2,75	8574	14714	21440	16985		10297	8580	6435	4290		
3	6214	12364	18016	15569	12101	8068	6723	5042	3362		
3,25	4634	10535	15351	14372	9648	6432	5360	4020	2680		
3,50	3541	9084	13236	13345	7809	5206	4338	3254	2169		
3,75	2763	7913	11530	12456	6405	4270	3558	2669	1779		
4	2196	6955	10134	11677	5316	3544	2953	2215	1477		
4,25	1772	6160	8977	10990	4459	2973	2477	1858	1239		
4,5	1451	5495	8007	10380	3776	2517	2098	1573	1049		
4,75	1202	4932	7186	9833	3225	2150	1791	1344	896		
5	1007	4451	6486	9342	2775	1850	1542	1156	771		

Заметка: Выделенные числа обозначают регулирующую нагрузку
Д/Д – коэффициент отношения длины к деформации

Таблица 2.5

203.2x203.2 x 9.5 1500/1525/1625 Series		Пределная сила среза в плоскости (МПа) 48,3		Балка с обычной поддержкой и равномерной нагрузкой при различных коэф. Д/Д					
E = 27.5 GPa G = 3.4 GPa		Пределная изгибная сила (МПа) 227,6		(кг/м) Максимальная L _b = 1.52 м					
I _x =4.18*10 ⁷ мм ⁴ W _x =4.11*10 ⁵ мм ³ A _w =1.93E3 мм ² M= 9.85 kg/lm		Пределная сила местной деформации (МПа) 156,2							
		Простая поддержка и равномерная нагрузка		Коэфф. Д/Д					
Пролет (м)	Допустимая нагрузка, балка без боковой/поперечной поддержки, 2.5x Фактор безопасности (N/m)	Допустимая нагрузка при сжатии, 2.5x Фактор безопасности (N/m)	Допустимая нагрузка при изгибе, 2.5x Фактор безопасности (N/m)	Допустимая нагрузка при срезе на перегородку, 3x Фактор безопасности (N/m)	100	150	180	240	360
2.5	35405	18489	47896	24911				21604	14403
2.75	24417	15280	39584	22646			20380	15285	10190
3.00	17419	12840	33261	20759		17863	14886	11165	7443
3.25	12787	10940	28341	19162		13406	11172	8379	5586
3.50	9618	9433	24437	17794		10297	8580	6435	4290
3.75	7388	8217	21287	16607	12101	8068	6723	5042	3362
4.00	5780	7222	18709	15569	9648	6432	5360	4020	2680
4.25	4596	6398	16573	14654	7809	5206	4338	3254	2169
4.50	3707	5706	14783	13839	6405	4270	3558	2669	1779
4.75	3028	5122	13268	13111	5316	3544	2953	2215	1477
5.00	2502	4622	11974	12456	4459	2973	2477	1858	1239
5.25	2089	4193	10861	11862	3776	2517	2098	1573	1049
5.50	1760	3820	9896	11323	3225	2150	1791	1344	896
5.75	1496	3495	9054	10831	2775	1850	1542	1156	771
6.00	1281	3210	8315	10380					
6.25	1105	2958	7663	9964					
6.50	960	2735	7085	9581					
6.75	838	2536	6570	9226					
7.00	736	2358	6109	8897					
7.25	650	2198	5695	8590					

Примечание: Выделенные числа обозначают регулируемую нагрузку

Глава 3. Таблицы нагрузок сжатых элементов.

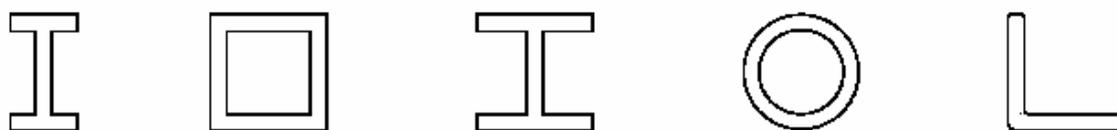
Цель данной главы заключается в предоставлении проектировщикам информации, которая может послужить основой при конструировании колонн из стекловолоконного композита.

Тестировались колонны различной длины. При проведении испытаний колонна находилась в вертикальном положении с шарнирной фиксацией концов, учитывался соответствующий коэффициент эффективной длины (K).

Колонны были сжаты по осям, с измерением осевого отклонения и смещения поперечного центра. Осевая нагрузка в сравнении с поперечным смещением были представлены в схематичной форме и была определена предельная нагрузка.

Исследовательская работа, описанная в данной главе, представляет собой тщательное изучение поведения стекловолоконных колонн при использовании их в качестве опорных элементов конструкций в гражданском строительстве.

Было исследовано пять различных по своей конфигурации профилей:



Квадратные трубы толщиной 3.17 mm и 6.35 mm, различных размеров от 38.1mm до 101.6 mm. Круглые трубы толщиной 3.17 mm и 6.35 mm, с диаметром 38.1 mm и 50.8 mm.

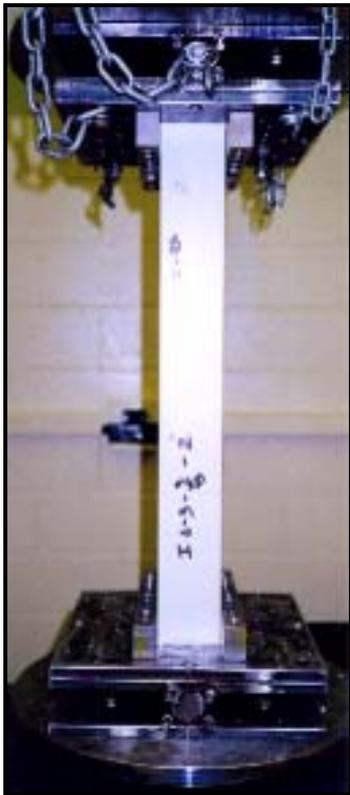
Широкополочные балки с толщиной полочек и перегородки равной 6.35 mm и 9.35 mm. Размеры от 101.6 mm до 254 mm. Двутавры толщина полочек и перегородки 3.17 mm и 9.35 mm, размеры 101.6 mm x 50.8 mm и 23.2 mm x 101.6 mm. Угловые секции толщиной 3.17 mm, 9.35 mm и 12.7 mm, размеры 76.2 mm x 76.2mm, 101.6 mm x 101.6 mm и 152.4 mm x 152.4mm.

Задачи исследования заключались в предоставлении:

1. Данных по нагрузкам колонн пяти конфигураций с учетом длины колонны и фактора эффективной длины (K)
2. по допустимым сжимающим напряжениям
3. по допустимым осевым сжимающим нагрузкам

Программа тестирования колонн из стекловолоконного композита.

Длина композитовых колонн варьируется от 3 до 6 метров. Тест полномасштабных колонн производился по осевой сжимающей нагрузке в вертикальном положении:



Композитные материалы для колонн создаются со смолами на полиэстеровой и винилоэстеровой основе, усиленные E-стекл. волокнами, могут быть как огнестойкими, так и нет.

Расчётная формула для квадратной трубы
(для коротких колонн)

$$\sigma_{ult} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{i}\right)^2}$$

Для круглой трубы и двутавра
(для коротких колонн)

$$\sigma_{ult} = 30 - \frac{1}{7} \frac{KL}{i} \quad \text{Для круглой трубы}$$

$$\sigma_{ult} = 25 - \frac{5}{38} \frac{KL}{i} \quad \text{Для двутавра}$$

Где : σ_{ult} = Предельное сжимающее напряжение (ksi)
 K = Коэффициент эффективной длины
 L = Длина колонны (mm)
 i = Радиус инерции сечения (mm)

Для широкобортных балок
(для коротких колонн)

$$\sigma_{ult} = \Phi k \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_f}{b_f} \right)^2$$

Где: E = Модуль эластичности по направлению нагрузки
 ν = Коэффициент Пуассона
 t_f = Толщина полочки (mm)
 b_f = Ширина полочки (mm)
 Φ = 0.8, коэффициент для учета ортотропии материала
 k = 0.5 рекомендуется для свободно выступающих полочек широкобортной балки
 k = 4.0 рекомендуется для фиксированной перегородки широкобортной балки

Данная формула также может быть применена при расчёте предельной силы колонны из углового профиля.

Деформация от кручения уголка определяет предельную силу нагружения угловой колонны. Вычисляется по формуле:

$$\sigma_{ult,ft} = \Phi \frac{E}{2(1+\nu)} \left(\frac{t_f}{b_f} \right)^2$$

Исходя из тестов рекомендуемый коэффициент $\Phi = 0.8$, для учёта ортотропии материала.
 b_f - ширина полочки (mm)

Расчётная формула для длинных колонн

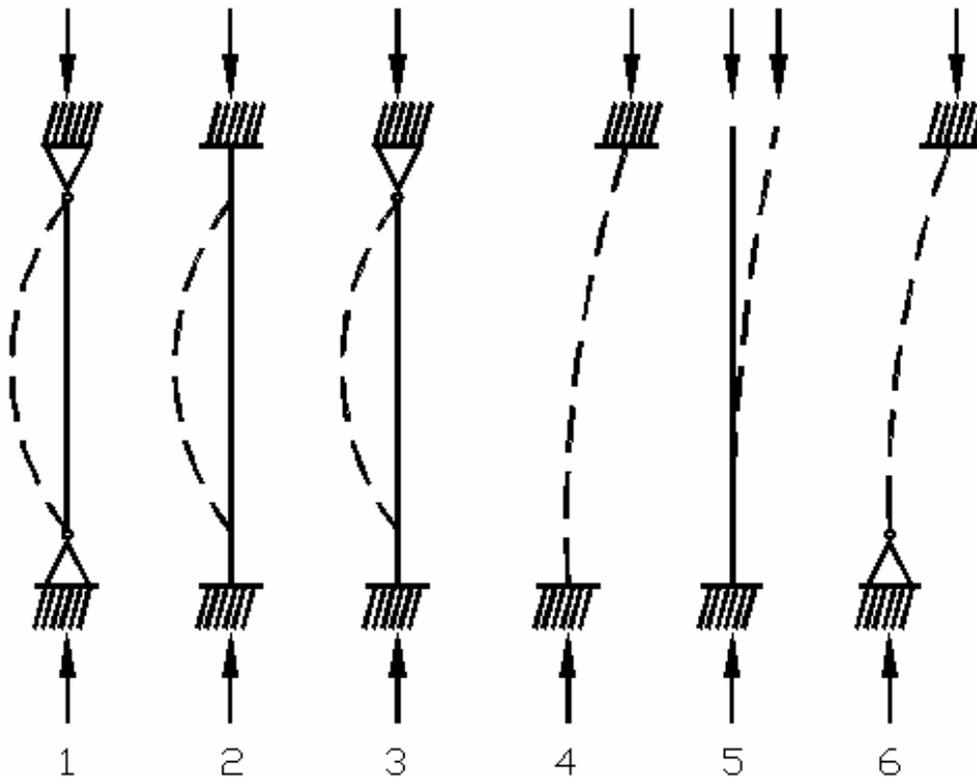
Изгибная деформация является общим поведением длинной стекловолоконной колонны под осевым сжимающим напряжением. Согласно результатам тестов, предельное сопротивление продольному изгибу композитовых колонн соответствует уравнению деформации Эйлера:

Для всех типов длинных колонн

$$\sigma_{ult,Euler} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{i} \right)^2}$$

Коэффициент эффективной длины , К .

Крепление концов	Рекомендуемое значение К
1. Шарнир – Шарнир	1.00
2. Фиксированный-Фиксированный	0.65
3. Шарнир –Фиксированный	0.80
4. Фиксированный – Смещенный фиксированный	1.20
5. Фиксированный – Смещенный свободный	2.10
6. Шарнирный - Смещенный фиксированный	2.00



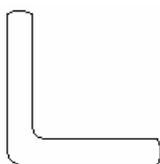
Примечание: Пунктиром обозначена упругая линия изогнутой колонны.

Таблицы допустимых сжимающих напряжений и нагрузок

Данные таблицы предоставляют информацию о допустимых напряжениях (F_a) и допустимых нагрузках (P_a) для колонн из квадратных труб, круглых труб, широкополочных балок, двутавров и уголков. Разработанные таблицы основываются на ряде критериев:

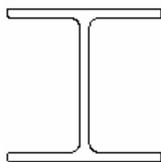
1. На результатах тестов
2. Температура при испытаниях 23 С°
3. Фактор безопасности = 3.0
4. Коэффициент эффективной длины, $K= 1.0$
5. Модуль эластичности по направлению нагрузки, $E = 3 \times 10^6$ psi
6. Коэффициент Пуассона $\nu = 0.36$
7. Без повреждения колонны

Таблицы допустимых сжимающих напряжений и стрессов



СВК профили стандартной структуры
Равноплочный угол

76 x 76 x 6.4mm 1500/1525/1625 серия $A = 916 \text{ mm}^2$, $r_z = 14.7 \text{ mm}$ Допустимые осевые напряжения и нагрузки				
Эффективная длина колонны (KL) (m)	KL/r	Fa (MPa)	Pa (N)	
0.30	20.2	14.09	12924	Короткая
0.45	30.4	14.09	12924	Короткая
0.60	40.5	14.09	12924	Длинная
0.75	50.6	14.09	12924	Длинная
0.90	60.7	14.09	12924	Длинная
1.05	70.8	13.57	12447	Длинная
1.20	81.0	10.39	9529	Длинная
1.35	91.1	8.21	7529	Длинная
1.50	101.2	6.65	6099	Длинная
1.65	111.3	5.49	5040	Длинная
1.80	121.4	4.62	4235	Длинная
1.95	131.5	3.93	3609	Длинная
2.10	141.7	3.39	3112	Длинная
2.25	151.8	2.95	2711	Длинная
2.40	161.9	2.60	2382	Длинная
2.55	172.0	2.30	2110	Длинная
2.70	182.1	2.05	1882	Длинная
2.85	192.3	1.84	1689	Длинная
3.00	202.4	1.66	1525	Длинная



Широкополочная балка

203.2 x 203.2 x 9.5 mm
 1500/1525/1625 Серии
 $A = 5690 \text{ mm}^2$, $r = 48.3 \text{ mm}$
 Допустимые осевые напряжения
 и нагрузки

Эффективная длина колонны (KL) (m)	KL/r	Fa (MPa)	Pa (N)	
0.30	6.2	22.91	130376	Короткая
0.45	9.3	22.91	130376	Короткая
0.60	12.4	22.91	130376	Короткая
0.75	15.5	22.91	130376	Короткая
0.90	18.6	22.91	130376	Короткая
1.05	21.8	22.91	130376	Короткая
1.20	24.9	22.91	130376	Короткая
1.35	28.0	22.91	130376	Короткая
1.50	31.1	22.91	130376	Короткая
1.65	34.2	22.91	130376	Короткая
1.80	37.3	22.91	130376	Короткая
1.95	40.4	22.91	130376	Короткая
2.10	43.5	22.91	130376	Короткая
2.25	46.6	22.91	130376	Короткая
2.40	49.7	22.91	130376	Короткая
2.55	52.8	22.91	130376	Короткая
2.70	55.9	21.75	123750	Длинная
2.85	59.1	19.52	111066	Длинная
3.00	62.2	17.62	100237	Длинная
3.15	65.3	15.98	90918	Длинная
3.30	68.4	14.56	82841	Длинная
3.45	71.5	13.32	75794	Длинная
3.60	74.6	12.23	69609	Длинная
3.75	77.7	11.27	64152	Длинная
3.90	80.8	10.42	59312	Длинная
4.05	83.9	9.67	55000	Длинная
4.20	87.0	8.99	51142	Длинная
4.35	90.1	8.38	47675	Длинная
4.50	93.2	7.83	44550	Длинная
4.65	96.4	7.33	41722	Длинная
4.80	99.5	6.88	39155	Длинная

Глава 4. Клеевые соединения

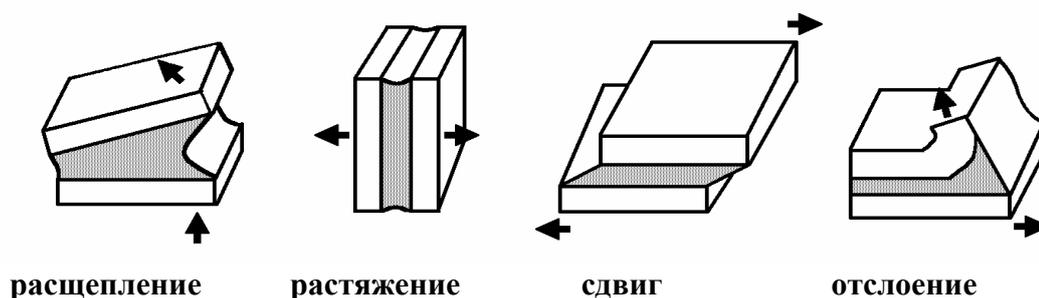
По возможности клеи желательно сочетать с любыми другими способами соединений. Существует множество различных формул для связующих веществ; основные используемые со стекловолоконным композитом это:

1. Эпоксидные (например, линия клеев Araldite2000)
2. Акриловые
3. Полиэстэровые

Преимущества использования клея

- Более равномерно распределяет нагрузку
- Гладкая поверхность
- Снижает вес
- Соединяет разнородные материалы (металлы, бетон)
- Обеспечивает герметичность соединения
- Сглаживает различное температурное распространение

Четыре основных напряжения действующих на соединение:



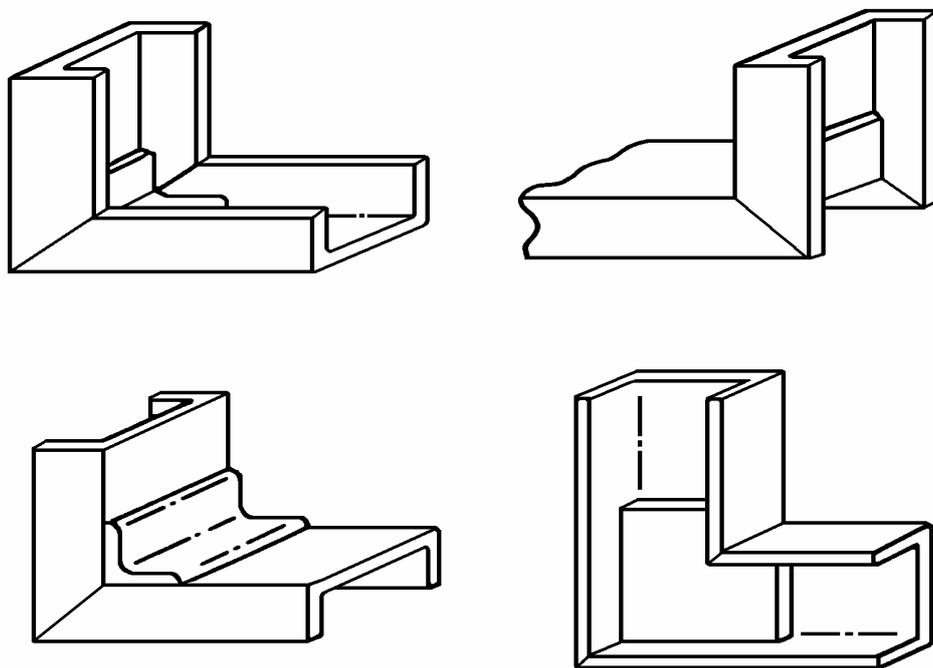
Расщепление и отслоение это особенные случаи растягивающего напряжения, включающие большие углы напряжения на соединение. Соединения при прямом сдвиге и растяжении прочнее и более надежны, чем при расщеплении и отслоении.

Симметрия нагрузки на соединение должна быть на высоком уровне. (Данная аксиома правдива для любых материалов и соединений, например, таких как болтовые и сварочные.)

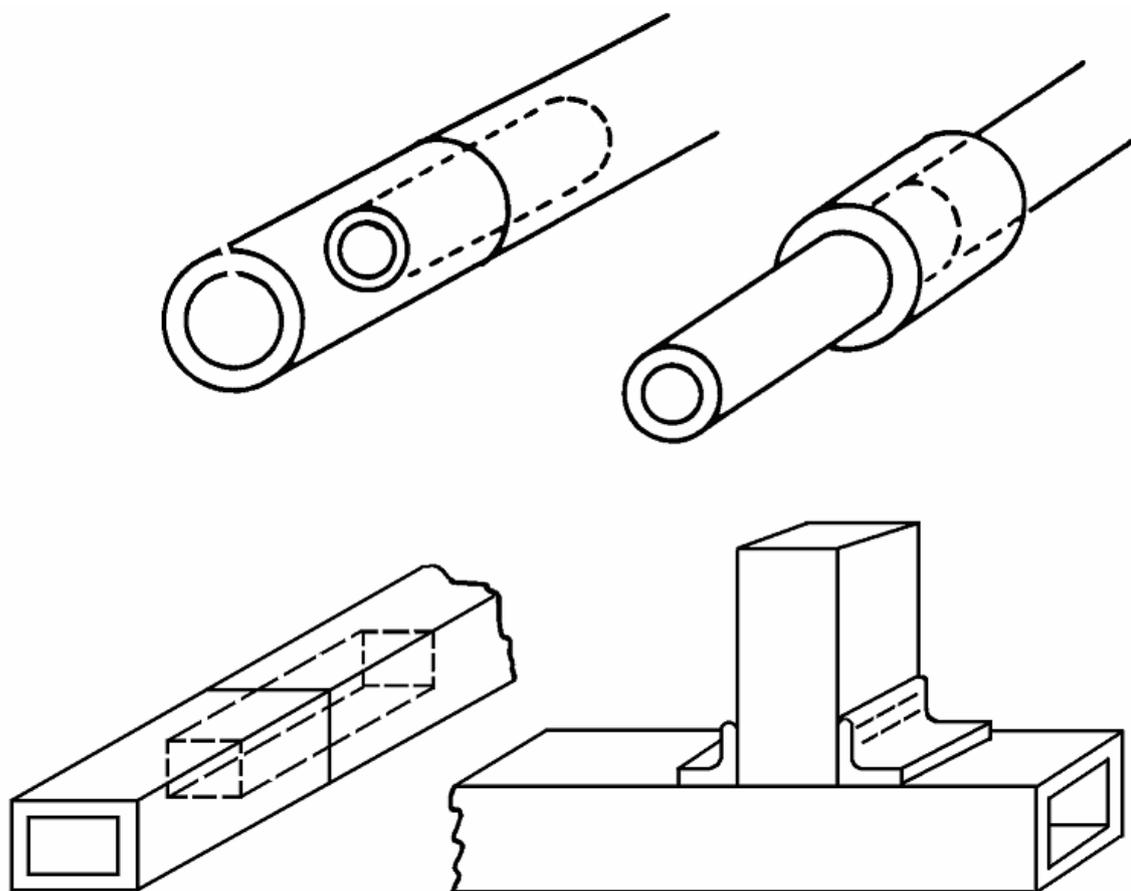
Подготовка поверхности

1. Протереть поверхность растворителем (солювент, уайтспирит или толуол, в рекомендуемых соотношениях).
2. Избавиться от лоска, снять поверхностную пленку (наждачная бумага, легкая пескоструйка).
3. Избавиться от пыли
4. Склеивание (следуйте рекомендациям производителя клея)

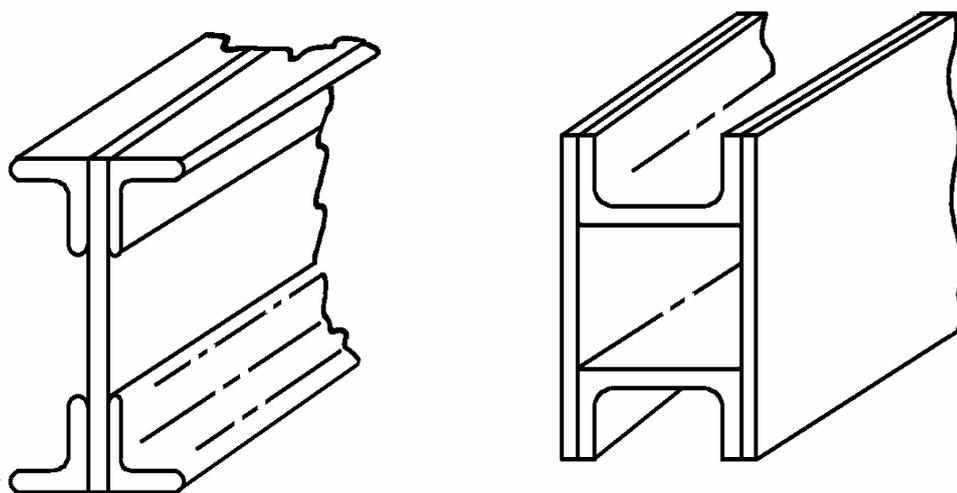
Рекомендуемые типы клеевых соединений
Швеллеры



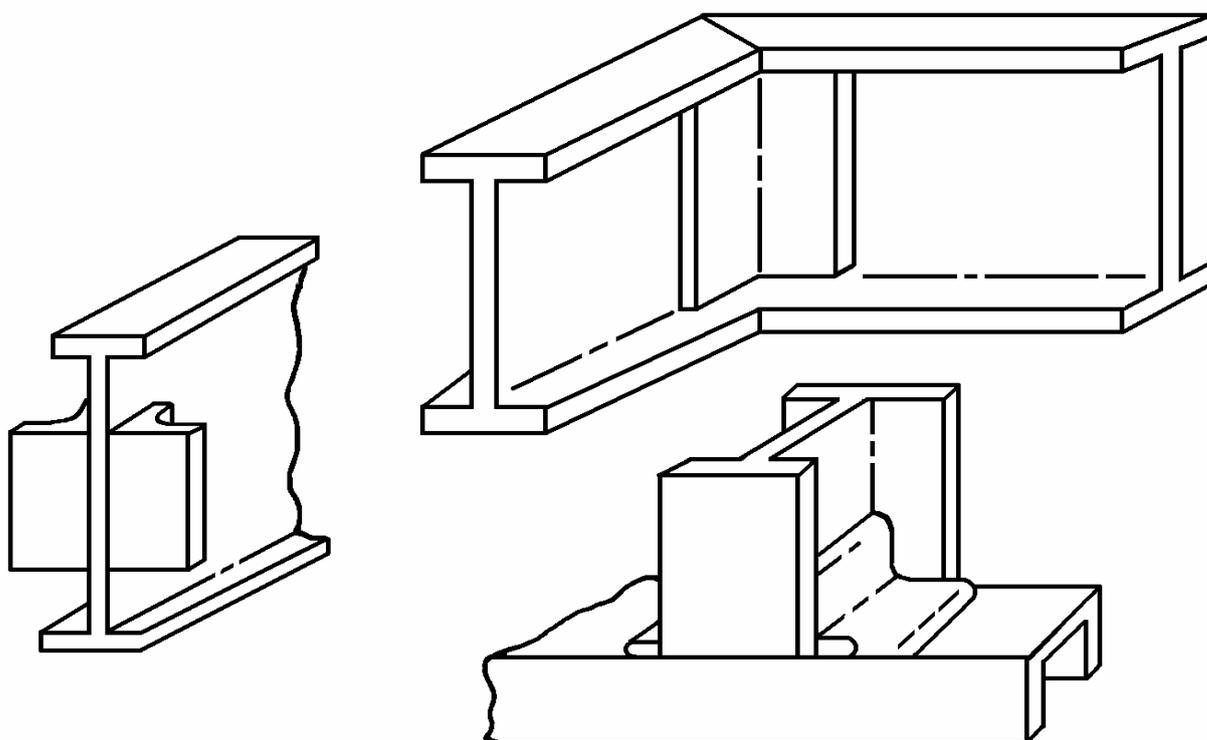
Трубы



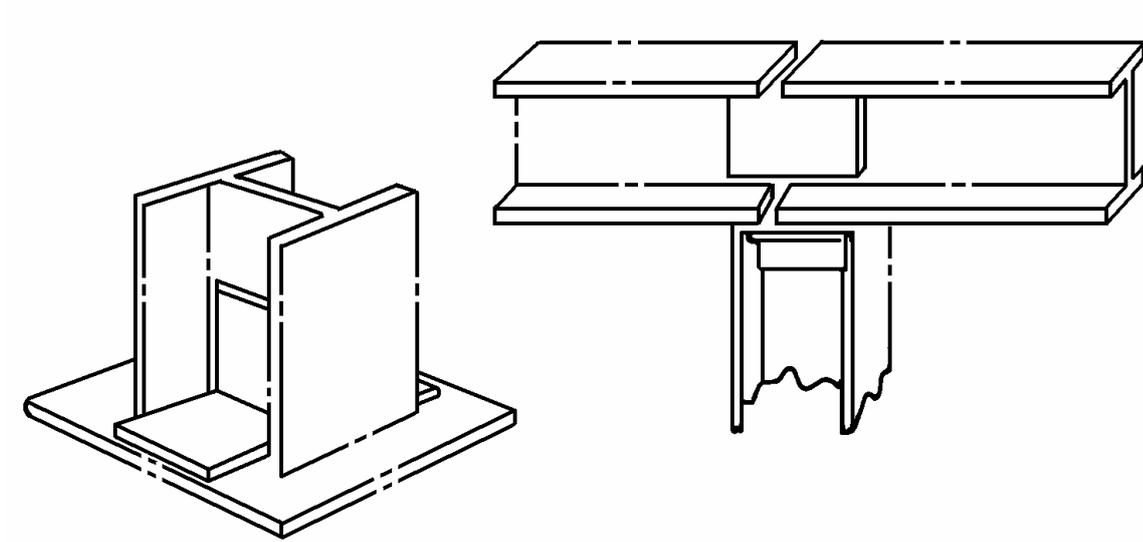
Балки



Двутавр



Платформы



Глава 5. Механические соединения

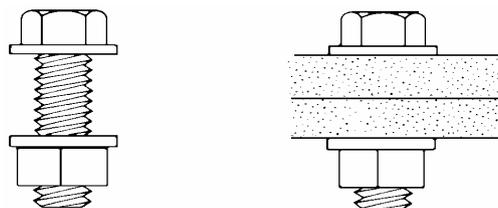
Винт

Используется для соединения стекловолоконных профилей с металлом.



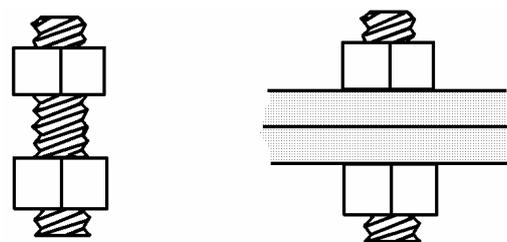
Болт и гайка

Используется для соединения профилей друг с другом. Желательно применять шайбы с целью распределения нагрузки.



Суперштифт и гайки

Стекловолоконный стержень с резьбой и гайками. Используется в высококоррозийной среде.

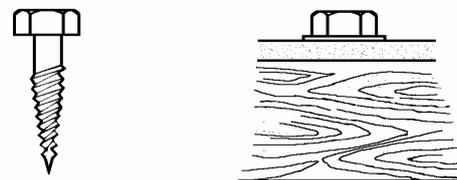


Болты и отверстия с резьбой



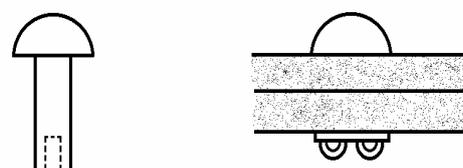
Стягивающий винт

Может использоваться при соединении профилей с деревом. Необходимо использовать шайбы для распределения нагрузки. Не рекомендуется использовать для соединения стекловолокна со стекловолокном.



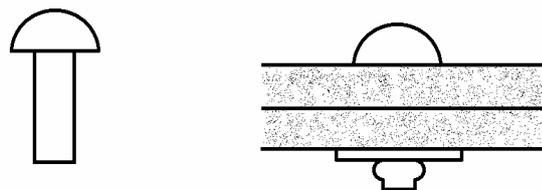
Трубчатая заклёпка

Используется с металлической подкладкой или шайбой. Необходим доступ с двух сторон профиля.



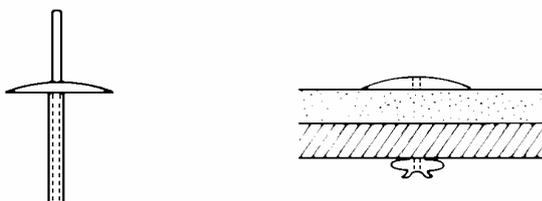
Сплошная заклёпка

Используется с подкладкой или шайбой. Необходим доступ с двух сторон профиля.

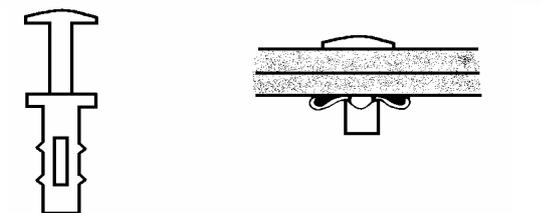


Глухая [односторонняя] заклёпка

Односторонняя сборка. Стекловолокно с металлом, рекомендуется использовать шайбу.

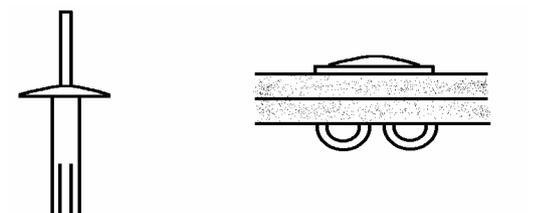


Нейлоновая заклёпка



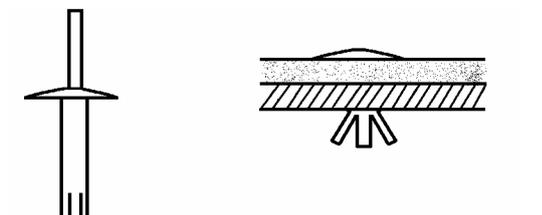
T-заклёпка (Aluminum)

Стекловолокно со стекловолокном. Хорошее распределение нагрузки.

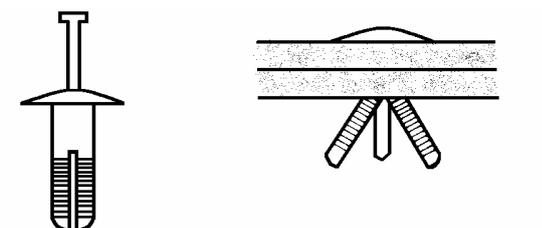


DRIVE заклёпка(Aluminum)

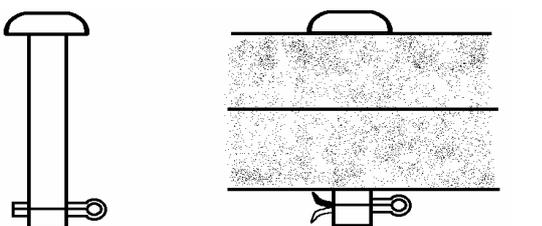
Стекловолокно с металлом. Односторонний демонтаж.



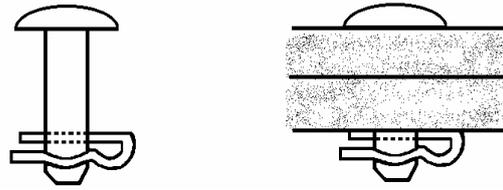
DRIVE заклёпка (Nylon)



Карабин и разводной шплинт (Metal)

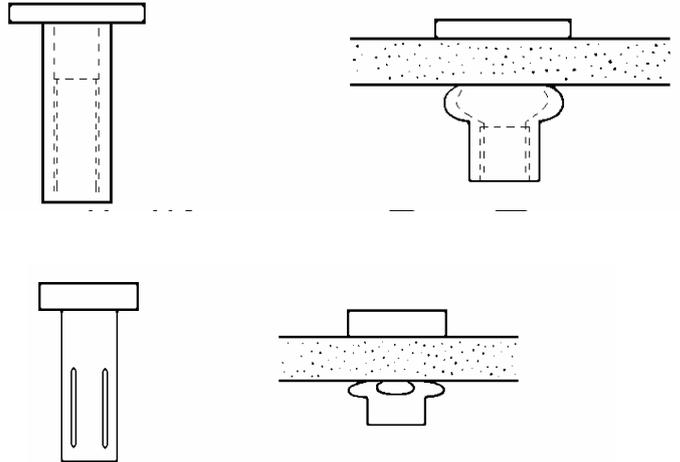


Карабин и шпилька (Nylon)



Глухая резьбовая вставка

Накладывает металлическую резьбу на профиль.



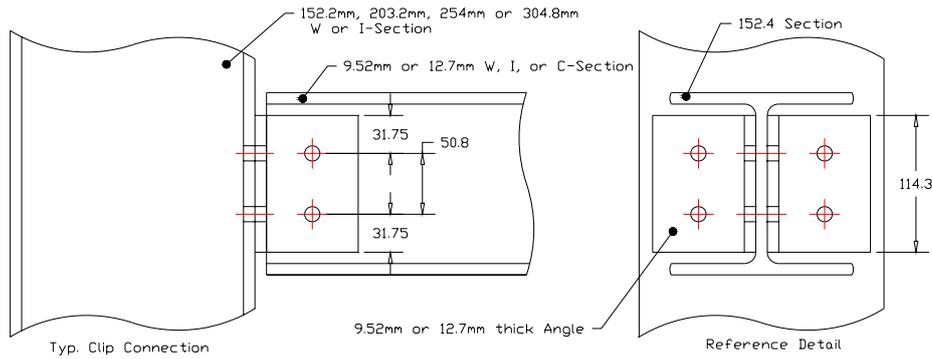
Таблицы нагрузок болтовых соединений

Расчет данных таблиц был разработан на основе тестирования полной суперструктурной угловой секции. Учитывалось следующее:

1. Результаты теста
2. Комнатная температура (22.8C°)
3. Коэффициент запаса прочности не учитывался. Нагрузки равномерны
4. Предельная несущая способность 228 МПа
5. 4% деформация отверстий при напряжении смятия равном 83МПа
6. Без повреждения композитного материала
7. Без химического воздействия
8. Только болтовые соединения; клей не применяется.
9. Прочность на сдвиг полной секции через полочку угла =23.4Мпа (1500/1525); 26.9 Мпа (1625)

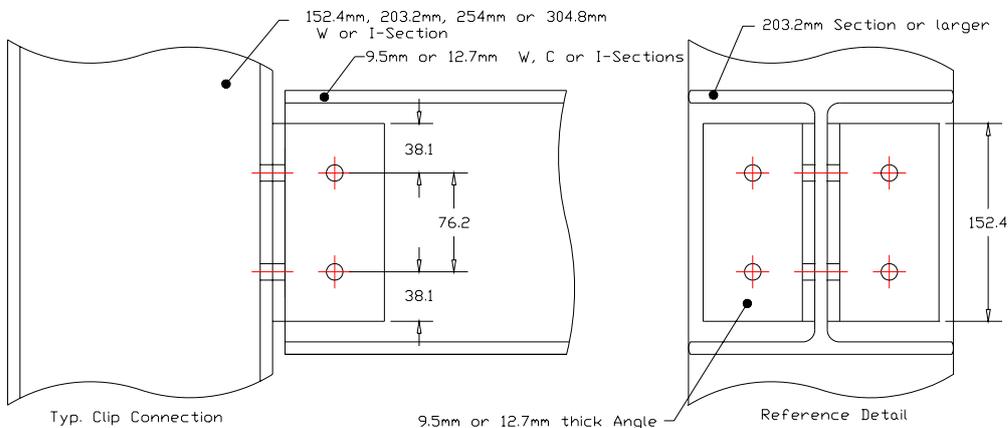
1500/1525 Серии Суперстр. углы

Толщина соединит. уголка (mm)	Длина соединит. уголка (mm)	Диам. отверстия (mm)	Диам. болта (mm)	# углов в соединении	# болтов в срезе	# болтов в перегород. балки	# болтов вход. в колонну	Предельная нагрузка на срез через полочку угла (N)	Предельная несущая способность соединения (N)	Допустимая грузоподъем. для 4% деформации отверстия(N)	Предел. нагрузка на угловое соединение до разрушения (N)
9.5	114.3	14.3	12.7	2	4	2	4	51,041	110,088	40,032	51,041
9.5	114.3	17.5	15.9	2	4	2	4	51,041	137,610	50,040	51,041
12.7	114.3	14.3	12.7	2	4	2	4	68,054	146,784	53,376	68,054
12.7	114.3	17.5	15.9	2	4	2	4	68,054	183,480	66,720	68,054



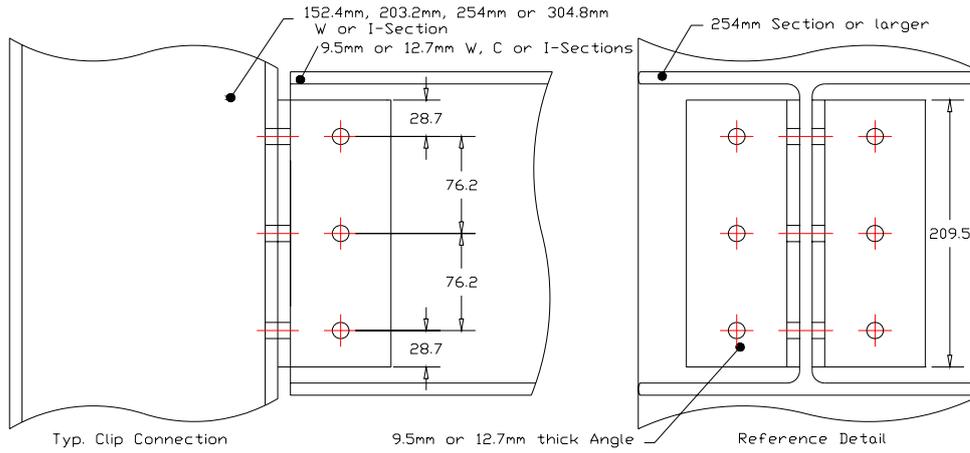
1500/1525 Серии Суперстр. углы

Толщина соединит. уголка (mm)	Длина соединит. уголка (mm)	Диам. отверстия (mm)	Диам. болта (mm)	# углов в соединении	# болтов в срезе	# болтов в перегород. балки	# болтов вход. в колонну	Предельная нагрузка на срез через полочку угла (N)	Предельная несущая способность соединения (N)	Допустимая грузоподъем. для 4% деформации отверстия(N)	Предел. нагрузка на угловое соединение до разрушения (N)
9.5	152.4	14.3	12.7	2	4	2	4	68,054	110,088	40,032	68,054
9.5	152.4	17.5	15.9	2	4	2	4	68,054	137,610	50,040	68,054
12.7	152.4	14.3	12.7	2	4	2	4	90,739	146,784	53,376	90,739
12.7	152.4	17.5	15.9	2	4	2	4	90,739	183,480	66,720	90,739



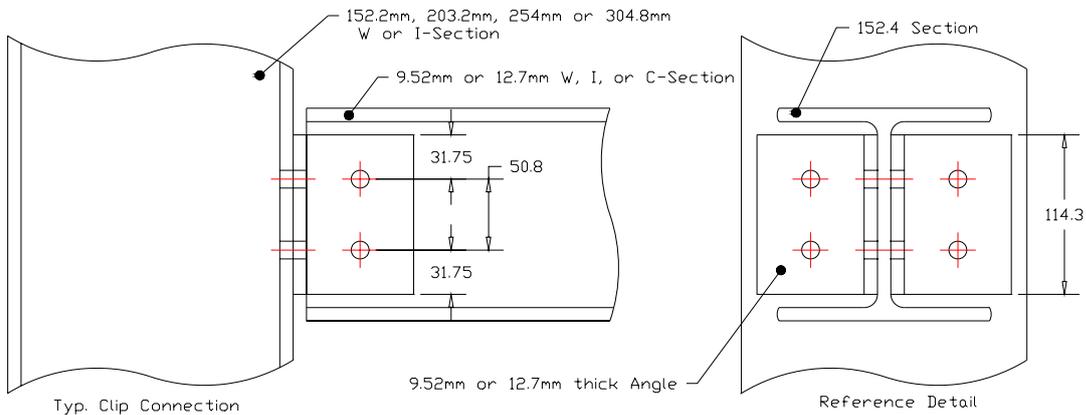
1500/1525 Серия Суперстр. углы

Толщина соединит. уголка (mm)	Длина соединит. уголка (mm)	Диам. отверстия (mm)	Диам. болта (mm)	# углов в соединении	# болтов в срезе	# болтов в перегород. балки	# болтов вход. в колонну	Предельная нагрузка на срез через полочку угла (N)	Предельная несущая способность соединения (N)	Допустимая грузоподъем. для 4% деформации отверстия(N)	Предел. нагрузка на угловое соединение до разрушения (N)
9.5	209.6	14.3	12.7	2	6	3	6	93,575	165,132	60,048	93,575
9.5	209.6	17.5	15.9	2	6	3	6	93,575	206,415	75,060	93,575
12.7	209.6	14.3	12.7	2	6	3	6	124,766	220,176	80,064	124,766
12.7	209.6	17.5	15.9	2	6	3	6	124,766	275,220	100,080	124,766



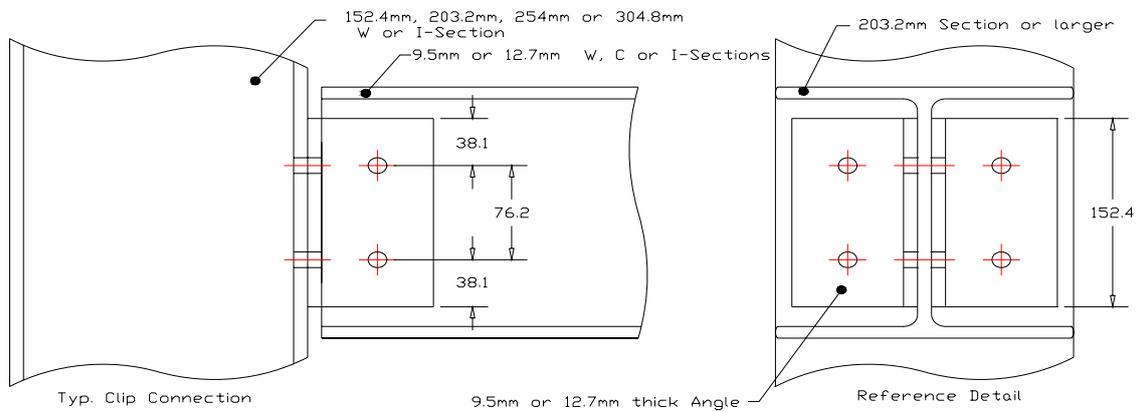
1625 Серия Суперстр. углы

Толщина соединит. уголка (mm)	Длина соединит. уголка (mm)	Диам. отверстия (mm)	Диам. болта (mm)	# углов в соединении	# болтов в срезе	# болтов в перегород. балки	# болтов вход. в колонну	Предельная нагрузка на срез через полочку угла (N)	Предельная несущая способность соединения (N)	Допустимая грузоподъем. для 4% деформации отверстия(N)	Предел. нагрузка на угловое соединение до разрушения (N)
9.5	114.3	14.3	12.7	2	4	2	4	58,547	110,088	40,032	58,547
9.5	114.3	17.5	15.9	2	4	2	4	58,547	137,610	50,040	58,547
12.7	114.3	14.3	12.7	2	4	2	4	78,062	146,784	53,376	78,062
12.7	114.3	17.5	15.9	2	4	2	4	78,062	183,480	66,720	78,062



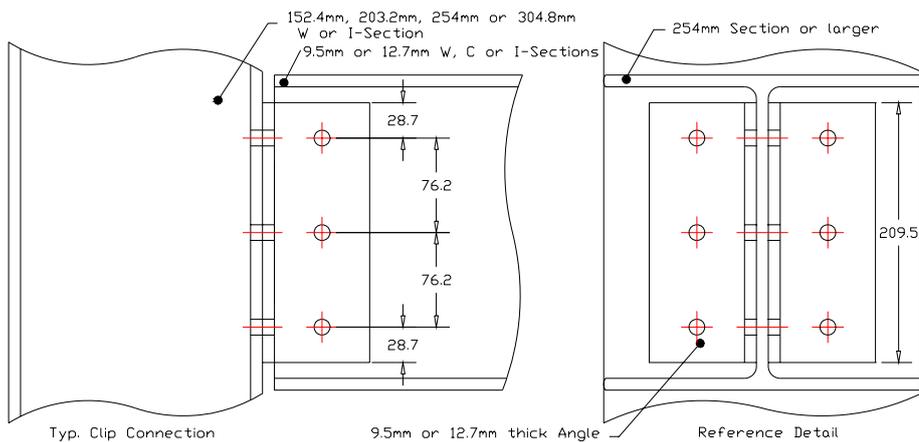
1625 Серия Суперстр. углы

Толщина соединит. уголка (mm)	Длина соединит. уголка (mm)	Диам. отверстия (mm)	Диам. болта (mm)	# углов в соединении	# болтов в срезе	# болтов в перегород. балки	# болтов вход. в колонну	Предельная нагрузка на срез через полочку угла (N)	Предельная несущая способность соединения (N)	Допустимая грузоподъем. для 4% деформации отверстия(N)	Предел. нагрузка на угловое соединение до разрушения (N)
9.5	152.4	14.3	12.7	2	4	2	4	78,062	110,088	40,032	78,062
9.5	152.4	17.5	15.9	2	4	2	4	78,062	137,610	50,040	78,062
12.7	152.4	14.3	12.7	2	4	2	4	104,083	146,784	53,376	104,083
12.7	152.4	17.5	15.9	2	4	2	4	104,083	183,480	66,720	104,083



1625 Серия Суперстр. углы

Толщина соединит. уголка (mm)	Длина соединит. уголка (mm)	Диам. отверстия (mm)	Диам. болта (mm)	# углов в соединении	# болтов в срезе	# болтов в перегород. балки	# болтов вход. в колонну	Предельная нагрузка на срез через полочку угла (N)	Предельная несущая способность соединения (N)	Допустимая грузоподъем. для 4% деформации отверстия(N)	Предел. нагрузка на угловое соединение до разрушения (N)
9.5	209.6	14.3	12.7	2	6	3	6	107,336	165,132	60,048	107,336
9.5	209.6	17.5	15.9	2	6	3	6	107,336	206,415	75,060	107,336
12.7	209.6	14.3	12.7	2	6	3	6	143,114	220,176	80,064	143,114
12.7	209.6	17.5	15.9	2	6	3	6	143,114	275,220	100,080	143,114



Примечание: Максимальный сдвиг/ошибка соединения до разрушения без клея приблизительно 8.9mm, с клеем 2.6 mm. Клей не влияет на грузоподъемность соединения, но влияет на количество сдвигов/ошибок в соединении.

Несущая способность стандартных болтовых отверстий в суперструкт-х балках и колоннах

Таблицы 6.1 и 6.2 представляют несущую способность бортов и перегородки секций различных балок и колонн. Таблицы нагрузок основываются на следующем:

1. Предельное продольное несущее напряжение бортовой секции 228 МПа.
2. Предельное поперечное несущее напряжение перегородки 207 МПа.
3. 4% деформация отверстий продольного несущего напряжения бортиков 83МПа.
4. 4% деформация отверстий поперечного несущего напряжения перегородки 78 МПа.
5. Без учета коэффициента запаса прочности.
6. Тесты проводились при комнатной температуре (22.8 С°).
7. Без применения клеев.
8. Без учета вращающего момента болта.

Таблица 6.1

Несущая способность болтовых отверстий в суперструкт-х балках и колоннах 1500/1525 серии

Толщина (mm)	Диаметр болта (mm)	# болтов в колонне	# болтов в балке	4% деформация отверстия при несущей нагрузке на перегородку балки в поперечном направлении(N)	Предельная несущая способность перегородки в поперечном направлении (N)	4% деформация отверстия при несущей нагрузке на борта колонны в продольном направлении(N)	Предельная несущая способность бортов колонны в продольном направлении(N)
6.4	12.7	2	1	4,170	11,398	13,344	36,696
6.4	12.7	4	2	8,340	22,796	26,688	73,392
6.4	12.7	6	3	12,510	34,194	40,032	110,088
9.5	12.7	2	1	9,174	25,020	20,016	55,044
9.5	12.7	4	2	18,348	50,040	40,032	110,088
9.5	12.7	6	3	27,522	75,060	60,048	165,132
12.7	12.7	2	1	12,232	33,360	26,688	73,392
12.7	12.7	4	2	24,464	66,720	53,376	146,784
12.7	12.7	6	3	36,696	100,080	80,064	220,176
6.4	15.9	2	1	5,213	14,248	16,680	45,870
6.4	15.9	4	2	10,425	28,495	33,360	91,740
6.4	15.9	6	3	15,638	42,743	50,040	137,610
9.5	15.9	2	1	11,468	31,275	25,020	68,805
9.5	15.9	4	2	22,935	62,550	50,040	137,610
9.5	15.9	6	3	34,403	93,825	75,060	206,415
12.7	15.9	2	1	15,290	41,700	33,360	91,740
12.7	15.9	4	2	30,580	83,400	66,720	183,480
12.7	15.9	6	3	45,870	125,100	100,080	275,220

Примечание: Данные представлены для болтовых соединений без клея.

Поперечная несущая способность 6.4mm суперструктурных профилей, на перегородку = 141 МПа 4% удлинение = 52 МПа

Таблица 6.2 Несущая способность болтовых отверстий в суперструкт-х балках и колоннах 1625 серии

Толщина (mm)	Диаметр болта (mm)	# болтов в колонне	# болтов в балке	4% деформация	Предельная	4% деформация	Предельная
				отверстия при несущей нагрузке на перегородку балки в поперечном направлении(N)	несущая способность перегородки в поперечном направлении (N)	отверстия при несущей нагрузке на борта колонны в продольном направлении(N)	несущая способность бортов колонны в продольном направлении(N)
6.4	12.7	2	1	5,226	13,066	15,568	42,256
6.4	12.7	4	2	10,453	26,132	31,136	84,512
6.4	12.7	6	3	15,679	39,198	46,704	126,768
9.5	12.7	2	1	10,550	28,773	23,352	63,384
9.5	12.7	4	2	21,100	57,546	46,704	126,768
9.5	12.7	6	3	31,650	86,319	70,056	190,152
12.7	12.7	2	1	14,067	38,364	31,136	84,512
12.7	12.7	4	2	28,134	76,728	62,272	169,024
12.7	12.7	6	3	42,200	115,092	93,408	253,536
6.4	15.9	2	1	6,533	16,333	19,460	105,640
6.4	15.9	4	2	13,066	32,665	38,920	52,820
6.4	15.9	6	3	19,599	48,998	58,380	105,640
9.5	15.9	2	1	13,188	35,966	29,190	79,230
9.5	15.9	4	2	26,375	71,933	58,380	158,460
9.5	15.9	6	3	39,563	107,899	87,570	237,690
12.7	15.9	2	1	17,584	47,955	38,920	105,640
12.7	15.9	4	2	35,167	95,910	77,840	211,280
12.7	15.9	6	3	52,751	143,865	116,760	316,920

Примечание: Данные представлены для болтовых соединений без клея.

Поперечная несущая способность 6.4mm суперструктурных профилей 1625 серии , на перегородку =162 МПа 4% удлинение =65 МПа

Размещение отверстий под заклепки и болты в профилях

Коэффициент размещения	дистанция / диаметр болта	
	Диапазон	Рекомендуется
Расстояние до края – торец	2.0-4.5	3.0
Расстояние до края – боковина	1.5-3.5	2.0
Расстояние между отверстиями	4.0-5.0	5.0

Рекомендации уровня вращения

ASTM A325	Low Torque 37.5% of Bolt Proof	High Torque 75% of Bolt Proof
Размер болта	Вращение (N m)	Вращение (N m)
13	39	77
16	77	153

Глава 6. Механическая обработка изделий из стекловолоконного композита

Все операции механической обработки (точение, сверление, фрезерование, резка) вполне приемлемы при изготовлении изделий из стеклокомпозита. Также может использоваться для получения отверстий холодная штамповка.

Для поперечной и продольной резки погонажных профилей применяются стационарные и мобильные циркульные пилы для обработки алюминия или древесины, а также ручным электроинструментом. В целях получения качественного среза используются скоростные дисковые пилы с алмазным напылением. Окружная скорость дисковой пилы не ниже 3000 м/мин.

Обработка отверстий производится свёрлами с алмазным или с эльборовым (нитридабор) напылением на настольно-сверлильных станках и ручным электроинструментом. Окружная скорость инструмента от 45 до 150 м/мин. и подача от 0,05 до 0,10 мм/об.

Точение, фрезерование и нарезка резьбы могут производиться на станках скорость резанья на которых в интервале от 180 до 300 м/мин. В качестве инструмента используются резцы, оснащённые алмазным, эльборовым или корундовыми вставками. При индивидуальном производстве применяются резцы, фрезы и свёрла, оснащённые твёрдым сплавом, а также из быстрорежущей стали.

Шлифование и зачистка поверхности производится на спецстанках и ручным электроинструментом абразивной лентой на бумажной или тканной основе зернистостью от 40 до 100 и абразивным корундовым кругом.

При всех видах механической обработки охлаждение инструмента и удаление стружки производится сжатым воздухом.

Для удаление стружки и пыли рабочее место должно быть оборудованно местной и локальной вытяжной вентиляцией с пылесборником. Рабочий персонал, выполняющий механическую обработку стеклокомпозита должен иметь индивидуальные средства защиты (перчатки, респиратор, очки и т.д.) согласно нормам и правилам по охране труда.

Глава 7. Химическая совместимость

Таблица 7.1

Химическая совместимость			
Химическая среда	Концентрация %	1500/1525	1625
		С°	С°
уксусная кислота	0-50	нр	38
уксусный ангидрид	--	нр	нр
ацетон	100	нр	нр
нитрил акрила	100	нр	нр
бутиловый спирт	--	нр	нр
этиловый спирт	10	нр	65
этиловый спирт	100	нр	нр
изопропиловый спирт	10	нр	65
изопропиловый спирт	100	нр	нр
метиловый спирт	10	нр	65
метиловый спирт	100	нр	нр
метил изобутиловый спирт	--	нр	65
вторичный бутиловый спирт	--	нр	65
квасцы	100	65	65
квасец калия	--	38	38
хлорид алюминия	10	нр	65
гидроокисид алюминия	5-20	нр	65
алюминивый сульфат калия	100	65	65
раствор аммиака, (водный)	0-10	нр	38
аммиак газообразный	--	нр	38
ацетат аммония	25	нр	38
дикарбонат аммоний	15	нр	49
дисульфит аммония	--	нр	49
карбонат аммония	25	нр	38
соль аммония лимонной кислоты	10	нр	49
фторид аммония	--	нр	49
гидроокисид аммония	5	нр	49
гидроокисид аммония	10	нр	49
гидроокисид аммония	20	нр	49
нитрат аммония	15	49	65
персульфат аммония	5-20	нр	65
фосфат аммония	--	нр	49
сульфат аммония	15	49	65
мышьяковая кислота	--	нр	71
ацетат бария	100	нр	нр
карбонат бария	100	нр	нр
хлорид бария	100	нр	38
гидроокисид бария	10	нр	нр
сульфат бария	100	нр	38
сульфид бария	10	нр	нр
пиво	--	нр	49
бензол	100	нр	нр
бензол в керосине	5	нр	71
бензол серной кислоты	5-20	38	65
бензойная кислота	5-20	нр	38
0-бунзоил бензойной кислоты	--	нр	71
бензиловый спирт	100	нр	нр
бензиловый хлорид	100	нр	нр

бура	5-20	68	65
латунивый	--	нр	71
бутиловый ацетат	--	нр	нр
масляная кислота (бутилен гликоль)	5-30	нр	49
бутилен гликоль	100	65	65
хлорид кадмия	--	нр	71
цианид кадмия металлический	--	нр	49
bisulfite кальция	--	65	71
карбонат кальций	10	нр	38
хлорид кальция	10	нр	38
хлорат кальция	10	нр	38
гидроокись кальция	5-20	нр	38
гидрохлорит кальция	10	нр	49
нитрат кальция	5	49	65
сульфат кальция	10	49	65
сульфит кальция	--	65	71
каприловая кислота	--	нр	71
углекислый газ	--	65	71
дисульфид углерода	100	нр	нр
монооксид углерода	--	38	65
тетрахлорид углерода	100	нр	38
угольная кислота	10	38	49
углерод метил целлюлоза (Carbon methyl cellulose)	--	нр	49
касторовое масло	100	65	65
хлорированный воск	10	нр	49
диоксид хлорин /воздух	--	нр	71
диоксид хлора, влажный газ	--	нр	71
хлор сухой газ	--	нр	71
хлор влажный газ	--	нр	71
хлор жидкий	--	нр	нр
хлор вода	10	нр	49
хлороуксусная кислота	0-50	нр	38
хлоробензол	--	нр	нр
хлороформ	100	нр	нр
хлорсульфоновая кислота	--	нр	нр
хромовая кислота	5	нр	38
хромовая кислота	20	нр	49
хромовая кислота	30	нр	нр
сульфат хрома	--	65	71
лимонная кислота	5 -- 30	49	65
кокосовое масло	--	нр	71
хлорид меди	5	65	82
цианид меди	5	65	82
фторидмеди	--	нр	71
нитратмеди	--	65	нр
медное покрытие	--	нр	49
электролиты меди	--	нр	71
медный штейн	--	нр	71
красная медь	--	нр	71
сульфат меди	--	65	71
кукурузное масло	100	нр	38
раствор крахмала	--	нр	71
сахар	100	нр	65
хлопковое масло	--	нр	71

сырая нефть	100	нр	65
цыклогексан	--	нр	49
пары циклогексана	--	нр	нр
деионизированная вода	--	65	65
моющие средства класса сульфонаты	--	нр	71
фосфат диаммония	--	нр	71
дибромфенол	--	нр	нр
дибутиловый эфир	--	нр	49
двухлор бензол	--	нр	нр
дихлорэтилен	--	нр	нр
гликоль дифилен	--	нр	71
диэтиловый эфир	100	нр	нр
диэтиловый фталат	--	нр	71
фталат диоктил	--	нр	71
гликоль дипропилен	100	нр	49
додециловый спирт	--	нр	71
эфир, жирные кислоты	--	65	71
этилацетат	100	нр	нр
этилбензол	--	нр	нр
этиловый эфир	--	нр	нр
этиленгликоль	100	38	65
двухлор этилен	--	нр	нр
жирные кислоты	10	49	65
хлорид железа	10	49	65
нитрат железа	10	49	65
сульфат железа	10	49	65
хлорид железа	--	65	71
нитрат железа	--	65	71
сульфат железа	--	65	71
8-8-8 удобрение	--	нр	49
кислота fluobogic	--	нр	49
кремневофтористая кислота	--	нр	71
формальдегид	5-30	нр	38
муравьиная кислота	25	нр	38
топливный газ	--	нр	71
горючее	100	нр	38
естественный воздух	--	нр	71
авто бензин	--	нр	71
авиационный бензин	--	нр	71
этил бензина	--	нр	71
кислый бензин	--	нр	71
глюконовая кислота	--	нр	71
глюкоза	100	65	82
глицерин	100	65	82
этилен гликоль	--	65	71
пропилен гликоль	--	65	71
гликолевая кислота	--	нр	71
позолочивание	--	нр	71
гептан	100	38	65
гексан	100	38	65
гликоль гексален	--	65	71
гидравлическая жидкость	100	нр	49
гидробромноватая кислота	5-50	38	65
соляная кислота	10-30	нр	49

кислота гидроцинка	--	65	71
гидрофтористая кислота	--	нр	нр
гидрокремнефтористая кислота	10	нр	71
гидрозины	100	нр	нр
бромид водорода, сухой	--	нр	нр
бромид водорода, влажный газ	--	нр	71
хлорид водорода, сухой газ	--	нр	71
хлорид водорода, влажный газ	--	нр	71
перекись водорода	--	нр	49
водородный сухой сульфид	--	нр	71
водородный водный сульфид	--	нр	71
фторид водорода	--	нр	нр
гидросульфит	--	нр	49
гипохлористая кислота	--	нр	71
железо металлизация	--	нр	71
железо стальное	--	нр	71
изопропиловый амин	--	нр	38
пальметиновый изопропил	--	65	71
реактивное топливо	--	нр	71
керосин	--	нр	71
молочная кислота	--	нр	71
лауриловый хлорид	--	нр	71
додекановая (лауриновая) кислота	--	нр	71
уксуснокислый свинец	100	нр	49
хлорид свинца	10	49	65
нитрат свинца	10	нр	38
освинцовывание	--	нр	71
левуниновая кислота	--	нр	71
олифа	--	65	71
бромид лития	--	65	71
хлорид лития	25	нр	49
сульфат лития	--	65	71
гидрооксид лития	10	нр	49
дисульфит магния	--	нр	71
карбонат магния	10	38	65
хлорид магния	10	38	65
гидрооксид магния	10	нр	49
нитрат магния	10	нр	49
сульфат магния	10	38	49
малеиновая кислота	100	65	65
двухлористая ртуть	10	49	49
хлорид ртути	10	49	65
метанол	--	нр	71
метилен хлорид	--	нр	нр
метилэтилкетон	--	нр	нр
карбитол изобутил метил	--	нр	нр
кетонизобутилметил	--	нр	нр
метил стирол	--	нр	нр
минеральная нефть	100	65	65
дисульфид молибдена	--	нр	71
монохлорноватая уксусная кислота	--	нр	нр
моноэтаноламик	--	нр	нр
моторная нефть	100	65	65
тетрадекановая кислота	--	--	71

naptha	100	65	65
хлорид никеля	10	49	65
нитрат никеля	10	49	65
никелирование: 4%-ая борная кислота	--	нр	71
электролиты никеля: 11%-ый сульфат никеля, 2 % хлорид никеля, 1%-ая борная кислота			
никелирование: 44%-ый сульфат никеля, 4%-ый нашатырный спирт, 1%-ая борная кислота	--	нр	71
сульфат никеля	10	49	65
азотная кислота	5-30	нр	38
пары азотной кислоты	--	нр	нр
nibrobebzene	--	нр	нр
octonoic acid	--	нр	71
нефтяное, кислое сырье	100	нр	49
нефть, сладкое сырье	100	нр	49
масляная кислота	100	49	65
щавельная кислота	--	нр	нр
оливковое масло	--	65	71
щавелевая кислота	--	65	71
пероксид отбеливает :			
2%-ый пероксид натрия - 96 %, 0,025 % соли Эпсома, 5%-ый силикат натрия 42 °Be, 1,4% серная кислота 66 ° Be	--	65	71
фенол	10	нр	нр
сульфоновая кислота	--	нр	нр
фосфорная кислота	5-10	38	65
пары фосфорной кислоты	--	65	71
фосфор	--		
пентоксид	--	65	71
фосфор трихлорид	100	нр	нр
фталевая кислота	100	нр	49
соление кислоты: (травильная кислота)	--	65	71
пикриновая кислоты	--	65	71
поливинилацетат	--	нр	71
многовиниловый алкоголь (polivinil)	--	нр	38
поливинилхлорид с 35 (медный зажим частей)	--	нр	49
алюминиевый сульфат калия	10	49	65
бикарбонат калия	--	нр	49
бромид калия	10	нр	49
карбонат калия	10	нр	49
хлорид калия	100	нр	49
дихромат калия	100	нр	49
феррицианид калия	--	65	71
железностианид калия	--	65	71
гидрооксид калия	10	нр	65
нитрат калия	10	49	65
перманганат калия	100	38	65
персульфат калия	--	нр	71
сульфат калия	10	49	65
пропионовая кислота	1-50	нр	49
пропионовая кислота	50-100	нр	нр
пропион гликоль	100	65	65
pulp paper mill effluent	--	нр	71
пиридин	--	нр	нр
салициловая кислота	--	нр	60

морская вода	--	65	65
очищенные сточные воды	--	нр	38
себациновая кислота	--	нр	71
селеновая кислота	--	нр	71
нитрат серебра	--	65	71
посеребрение (4%-ый серебряный цианид, 7%-ый цианид калия, 5%-ый цианид натрия, 2%-ый карбонат калия)	--	нр	71
мыло	--	нр	71
ацетат натрия	--	нр	71
бензоат натрия	--	нр	71
дикарбонат натрия	--	65	71
дифторид натрия	--	нр	71
дисульфат натрия	--	65	71
дисульфит натрия	--	65	71
бромат натрия	--	65	60
бромид натрия	--	65	71
карбонат натрия	0-25	нр	71
хлорат натрия	--	нр	71
поваренная соль	--	65	71
хлорит натрия	25	нр	71
хромат натрия	--	65	71
цианид натрия	--	нр	71
дихромат натрия	--	65	71
дифосфат натрия	--	65	71
феррицианид натрия	--	65	71
фторид натрия	--	нр	49
фторосиликат натрия	--	нр	49
натрий гексаметафосфат	--	нр	38
гидрооксид натрия	0-5	нр	65
гидрооксид натрия	5-25	нр	65
гидрооксид натрия	50	нр	65
гидросульфат натрия	--	нр	71
натрий хлорнаватистокислый	10	нр	49
лаурилсульфат натрия	--	65	71
монофосфат натрия	--	65	71
нитрат натрия	--	65	71
силикат натрия	--	нр	49
сульфат натрия	--	65	71
сульфид натрия	--	нр	49
сульфит натрия	--	нр	49
натрий тетраборат	--	65	71
натрий thiocyanate	--	нр	71
тиосульфат натрия	--	нр	71
натрий триполифосфат	--	нр	71
сульфонат ксилола натрия	--	нр	71
электролит натрия	--	нр	71
сырая нефть натрия (неочищенная)	--	65	71
нефть sova	--	65	71
тетрахлорид олова	--	65	71
дихлористое олово	--	65	71
стеариновая кислота	--	65	71
стирол	--	нр	нр
сахар, свекла и ликер тростника	--	нр	71
сахарная сахароза	--	65	71

сульфаминовая кислота	--	нр	71
сульфалиновая кислота	--	нр	71
сульфатный detergents	--	нр	71
диоксид серы, влажный или сухой	--	нр	71
трёхокись серы	--	нр	71
серная кислота	0-30	65	71
серная кислота	30-50	нр	71
серная кислота	50-70	нр	49
серасодержащая кислота	10	нр	38
фосфористая кислота (76 % P2O5)	--	нр	71
талловое нефть	--	нр	65
дубильная кислота	--	нр	49
винная кислота	--	65	71
хлорид тионил	--	нр	нр
металлизация олова			
18 % stannous fluoroborate, 7%-ое олово,			
9 % fluoroboric кислота, 2%-ая борная кислота	--	нр	71
толуол	--	нр	нр
толуол sulfonic кислота	--	нр	71
трансформаторное масло			
(минеральные нефтяные типы, типы хлоро-фенила)	--	нр	нр
трихлор уксусная кислота	50	нр	71
трихлорэтилен	--	нр	нр
трихлоропенол	--	нр	нр
фосфат tricresyl +A618	--	нр	49
сульфонат тридецилбензен	--	нр	71
тринатрийфосфат	--	нр	71
скипидар	--	нр	38
мочевина	--	нр	60
растительное масло	--	65	71
уксус	--	65	71
виниловый ацетат	--	нр	нр
вода;			
дионизированная	--	65	71
обессоленная	--	65	71
дистиллированная	--	65	71
свежая	--	65	71
солёная	--	65	71
морская	--	65	71
белый ликер (завод целлюлозы)	--	нр	71
ксилол	--	нр	нр
хлорат цинка	--	65	71
цинковый нитрат	--	65	71
электролиты цинка (9%-ый цинковый цианид,			
4%-ый цианид натрия, 9%-ая гидроокись натрия)	--	нр	49
цинк, планирующий решение: (49%-ый цинк, fluoroborate)			
5%-ый нашатырный спирт, 6%-ый аммоний fluoroborate)	--	нр	71
сульфат цинка	--	65	71

“--” = В любой концентрации

“нр” = Не рекомендуется

