

Статика и динамика в горном туризме

ТК «Вестра»

подготовил Макаров Алексей

Москва
2020

План лекции:

- 1) Свойства материалов страховочных цепей
- 2) Влияние различных факторов и узлов на прочность материалов
- 3) Прочность точек страховки
- 4) Виды страховочных цепей
 - Усилия в цепи самостраховки
 - Усилия в цепи спуска/подъема по перилам (и с верхней страховкой)
 - Усилия в цепи спуска/подъема двух человек
 - Усилия при выпуске лидера с нижней страховкой на вертикали
 - Усилия в цепи при движении траверсом
 - Усилия при выпуске лидера с нижней страховкой на склоне
 - Усилия при устройстве переправ
- 7) Распределение усилий в ветвях станций

Текстильные материалы страховочных цепей:

- 1) Динамические веревки
- 2) Статические веревки
- 3) Репшнур
- 4) Нейлоновая (полиамидная) стропа
- 5) Полиэтиленовая стропа - Dyneema или Spectra
- 6) Арамидные материалы (кевлар)

Веревки:

1) Динамическая - веревка, предназначенная для страховки

Основное свойство динамических верёвок — это способность амортизировать динамический удар, возникающий при срыве с фактором падения больше 1

Удлинение при максимальной нагрузке для динамических веревок составляет 30-40%

2) Статическая - веревка, предназначенная для спуска и подъема

статическая верёвка имеет ограниченную эластичность и не предназначена для амортизации больших динамических нагрузок.

Статическая веревка может выдержать падение с фактором меньше 1

Удлинение при максимальной нагрузке для статических веревок не регламентируется и может составлять 15-20%

Удлинение для статических и динамических веревок отличается $\approx$ в 2 раза

Основные требования стандартов EN892/ UIAA101 для динамических веревок

Параметр	Single	Half	Twin
Диаметр	не регламентируется	не регламентируется	не регламентируется
Вес	не регламентируется	не регламентируется	не регламентируется
Сдвиг оплетки	+/-20мм	+/-20мм	+/-20мм
Статическое удлинение	не более 10%	не более 12%	не более 10%*
Динамическое удлинение	не более 40%	не более 40%	не более 40%*
Усилие первого рывка	не более 12kN	не более 8kN	не более 12kN*
Число рывков UIAA	не менее 5	не менее 5	не менее 12*

* – тест проводится на сдвоенной веревке

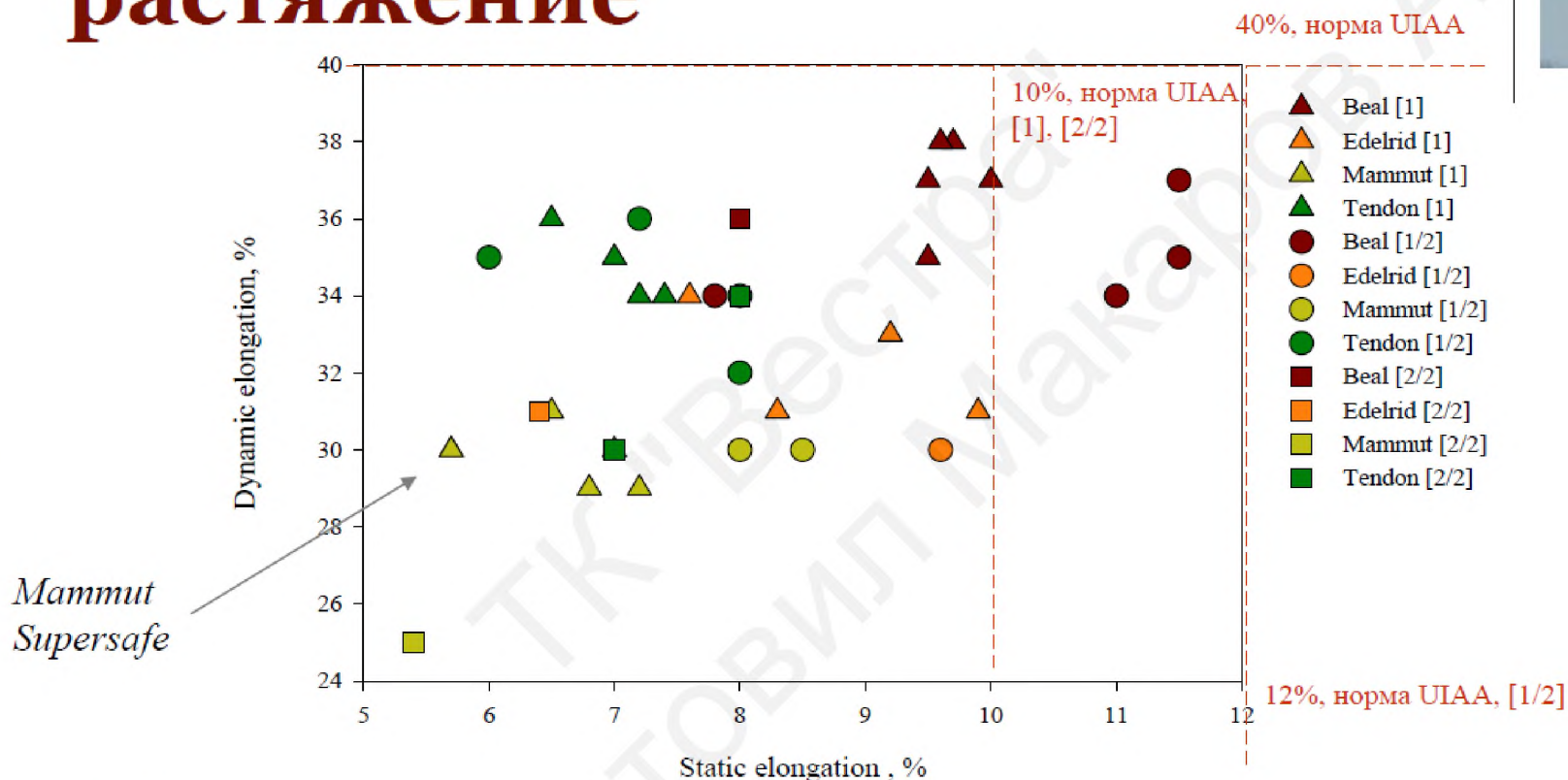
Основные требования стандартов ГОСТ-Р EN1891-2012 и EN1891 для статических веревок

Параметр	Веревки типа А	Веревки типа В
Диаметр	8,5-16 мм	8,5-16 мм
Коэффициент узловязания	не более 1,2	не более 1,2
Сдвиг оплетки	не более 20 мм	не более 15 мм
Статическое удлинение	не более 5 %	не более 5 %
Усадка	не регламентируется	не регламентируется
Количество рывков (f=1)	не менее 5	не менее 5
Прочность без узлов	не менее 22 kN	не менее 18 kN
Прочность с узлами	не менее 15 kN (минимум 3 мин)	не менее 12 kN (минимум 3 мин)

Данные веревок

Brand	Name	Type	Diameter (mm)	Weight (g/m)	UIAA falls	Impact force (kN)	Static elongation (%)	Dynamic elongation (%)	Sharp Edge
Tendon	Ambition 10.2	[1]	10.2	66	12.5	8	7.4	34	No
Tendon	Ambition 10.5	[1]	10.5	68	10	8.5	7.2	34	No
Tendon	Trust 11	[1]	11	78	16.5	8.4	7	35	No
Tendon	Trust 11.4	[1]	11.4	83	20.5	8.6	6.5	36	No
Tendon	Master 7.8	[1/2]	7.8	38	6	5.7	8	32	No
Tendon	Master 8.5	[1/2]	8.5	48	10	5.5	8	34	No
Tendon	Ambition 8.5	[1/2]	8.5	46	11	5.5	6	35	No
Tendon	Ambition 9.1	[1/2]	9.1	52	13.5	5.5	7.2	36	No
Tendon	Master 7.8	[2/2]	7.8	38	16.5	8.5	7	30	No
Tendon	Master 8.5	[2/2]	8.5	48	15	8	8	34	No
Beal	Stinger	[1]	9.4	59	7	8.2	9.5	37	No
Beal	Booster	[1]	9.7	63	9	7.3	9.7	38	Yes
Beal	Tiger	[1]	10	61	7	7.6	10	37	Yes
Beal	Flyer	[1]	10.2	64	10	7.4	9.6	38	Yes
Beal	Apollo	[1]	11	75	16	7.7	9.5	35	Yes
Beal	Ice Line	[1/2]	8.1	42	7	4.9	11.5	37	No
Beal	Cobra	[1/2]	8.6	48	16	5.1	11.5	35	Yes
Beal	Pro Mountain	[1/2]	8.8	47	10	5.8	7.8	34	No
Beal	Verdon	[1/2]	9	49	15	5.3	11	34	Yes
Beal	Ice Twin	[2/2]	7.7	37	15	7.4	8	36	Yes
Mammut	Revelation	[1]	9.2	55	5.5	9.5	7.2	29	No
Mammut	Infinity	[1]	9.5	58	7	9.1	6.8	29	No
Mammut	Eternity	[1]	10	66	10	8.8	7	30	No
Mammut	Supersafe	[1]	10.2	69	11.5	8.8	5.7	30	Yes
Mammut	Galaxy	[1]	10	65	7.5	8.8	6.5	31	No
Mammut	Flex	[1]	11	77	12.5	9	5.7	30	No
Mammut	Phoenix	[1/2]	8	41	8.5	6	8.5	30	No
Mammut	Genesis	[1/2]	8.5	48	12.5	6	8	30	No
Mammut	Twilight	[2/2]	7.5	38	16	9.9	5.4	25	Yes
Edelrid	Falcon	[1]	9.4	58	6.5	8.7	8.3	31	No
Edelrid	Eagle	[1]	9.8	62	7.5	9.4	7.6	34	No
Edelrid	Osprey	[1]	10.5	71	9.5	9.2	9.2	33	No
Edelrid	Condor	[1]	11	77	14	9.8	9.9	31	Yes
Edelrid	Merlin	[1/2]	8	44	13.5	6.7	9.6	30	No
Edelrid	Colibri	[2/2]	7.6	39	17	9.7	6.4	31	Yes

Динамическое и статическое растяжение



- Статическое растяжение определяет комфортность лазанья с верхней страховкой и используя веревку как перила
- Динамическое растяжение больше характеризует инертность веревки

Вспомогательные веревки - репшнур

ДИАМЕТР

Вспомогательные шнуры испытываются подобно веревкам, только предварительная нагрузка ниже. Шнуры должны иметь согласно EN 564 диаметры 4, 5, 6, 7 и 8 мм. Меньшие диаметры (2 мм – лавинные шнуры, 3 мм – шнур для молотка) не соответствуют норме.

ПРОЧНОСТЬ НА РАЗРЫВ

Минимальную прочность шнуров согласно EN 564 указывает следующая таблица:

Диаметр (мм)	Минимальная прочность (кН)
4	3,2
5	5,0
6	7,2
7	9,8
8	12,8

Удлинение полиамидного репшнура можно считать аналогичным статическим веревкам, но может быть ниже

Репшнур также бывает с сердечником из полиэтилена (Dyneema) и арамида (кевлара). Оплетка при этом обычно сделана из полиамида. Кроме того, может применяться полиэстер.

Прочность этих материалов выше.

Но удлинение под нагрузкой существенно ниже.

Для Dyneema может составлять от 1,5% при низких нагрузках, но не превышает 10% при разрыве

Стропы также могут быть из:

- Полиамида
- Полиэтилена
- Арамида
- Смешанных материалов

Удлинение строп соответствует удлинению веревок и репшнуров из соответствующих материалов

При длине петли 60см (дюйм 2,54см)



Влажность уменьшает прочность полиамидных материалов на 4-7%, замерзание во влажном состоянии уменьшает прочность на 18-22%

Часть прочности после первого намокания теряется навсегда.

Загрязнение веревки глинистыми частицами уменьшает прочность на 10 и более процентов

К сильному ослаблению ведет воздействие ультрафиолета

Изменение прочностных свойств веревки

Фактор	% уменьшения прочности
Перегибы в узлах и на карабинах	До 60%
Влажность	4 – 7% (до 40%)
Обледенение	18 – 22%
Старение (деполимеризация)	Не более 5 лет с момента выпуска
Загрязнение	10%

Все узлы ослабляют прочность веревки порядка на 30-50%.
Из таблицы видно, как узлы влияют на прочность веревки.

вид узла	уменьшение прочности в %
<i>Узлы для связывания веревки и петли</i>	
Двойной ткацкий	44%
Встречная восьмерка	53%
Встречный проводник	59%
<i>Узлы для привязывания к опоре</i>	
Девятка	30%
Восьмерка	45%
Двойной булинь	47%
Одинарный булинь	48%
Бабочка	49%
Проводник	50%

Дупеета теряет прочность существенно сильнее
как в узлах, так и на перегибах

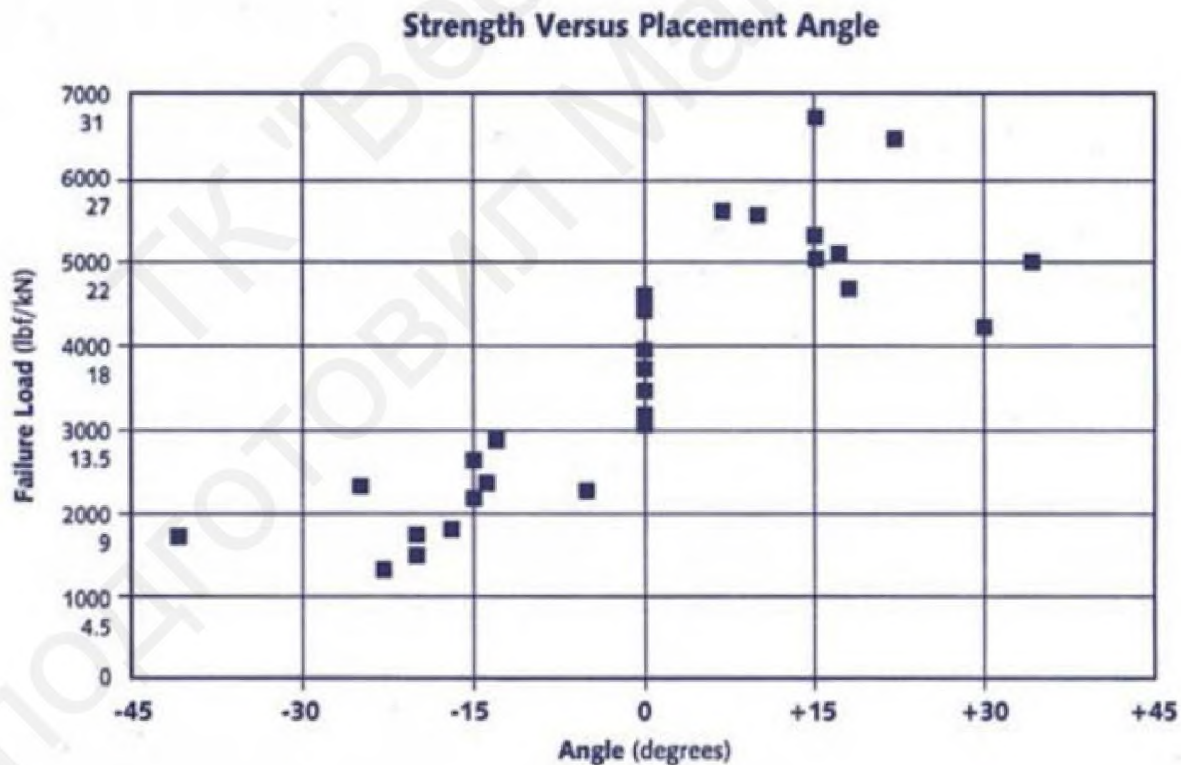
Все узлы ослабляют прочность веревки порядка на 30-50%.
Из таблицы видно, как узлы влияют на прочность веревки.
Снижение прочности зависит от материала.

Вид узла	Веревка с оплеткой, диаметр в мм				
	11	9	7 (репшнур)	5 (репшнур)	4 (репшнур)
Статическая прочность без узла	100%	100%	100%	100%	100%
Встречный	75-80%	75-80%	75-80%	75-80%	75-80%
Булинь	71	67	75	72	64
Проводник	71	67	72	60	61
Ткацкий	63	59	59	62	53
Стремя	63	60	66	72	62
Восьмерка	76	70	79	74	64

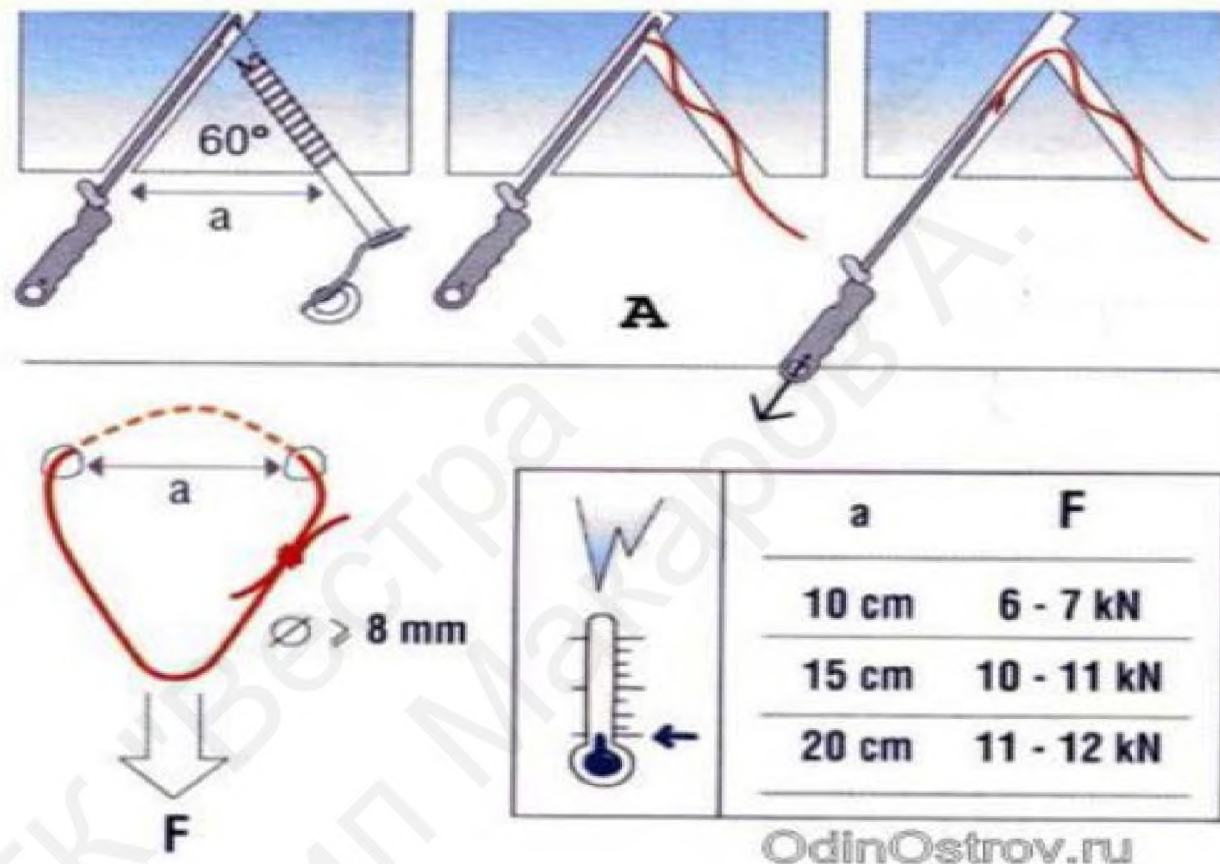
Прочность ледовых точек

Ледобуров:

Длина бура	22 см	17 см	13 см
Количество образцов	86	113	63
Средняя нагрузка, кН	22,3	21,6	19
Максимальная нагрузка, кН	40,4	37,1	36,8
Минимальная нагрузка, кН	12,2	8,8	10,6



Петля Абалакова (проушина):



Прочность снежных точек:

Усилия вырыва (кг) ледоруба при страховке на снегу

	Страховка за головку ледоруба	Тросик за середину древка	Тросик за середину древка с лопатой
Свежий снег	50—110	100—140	160—175
Плотный спрессованный снег	250—310	300—350	350—400

Прочность скальных точек:

1) Закладных элементов 4-11кН (если удачно положить)

2) Скальных крючьев

а) якорных средних 1,3т (крюконоги) 1,1 (красноярский)

б) обычных из мягкой стали

Тип крючьев (из стали СТ-20)	Ширина крюка, мм	Длина крюка, мм		Усилие вырыва (перпендикулярно к длине крюка), кг
		общая	рабочей части	
Вертикальные	25	125	80	660—1200
Горизонтальные	20	90	40	400—700
Вертикальные	40	85	40	700—900
Лепестковые	40	70	30	450—600

3) Френдов и камалотов 8-12кН

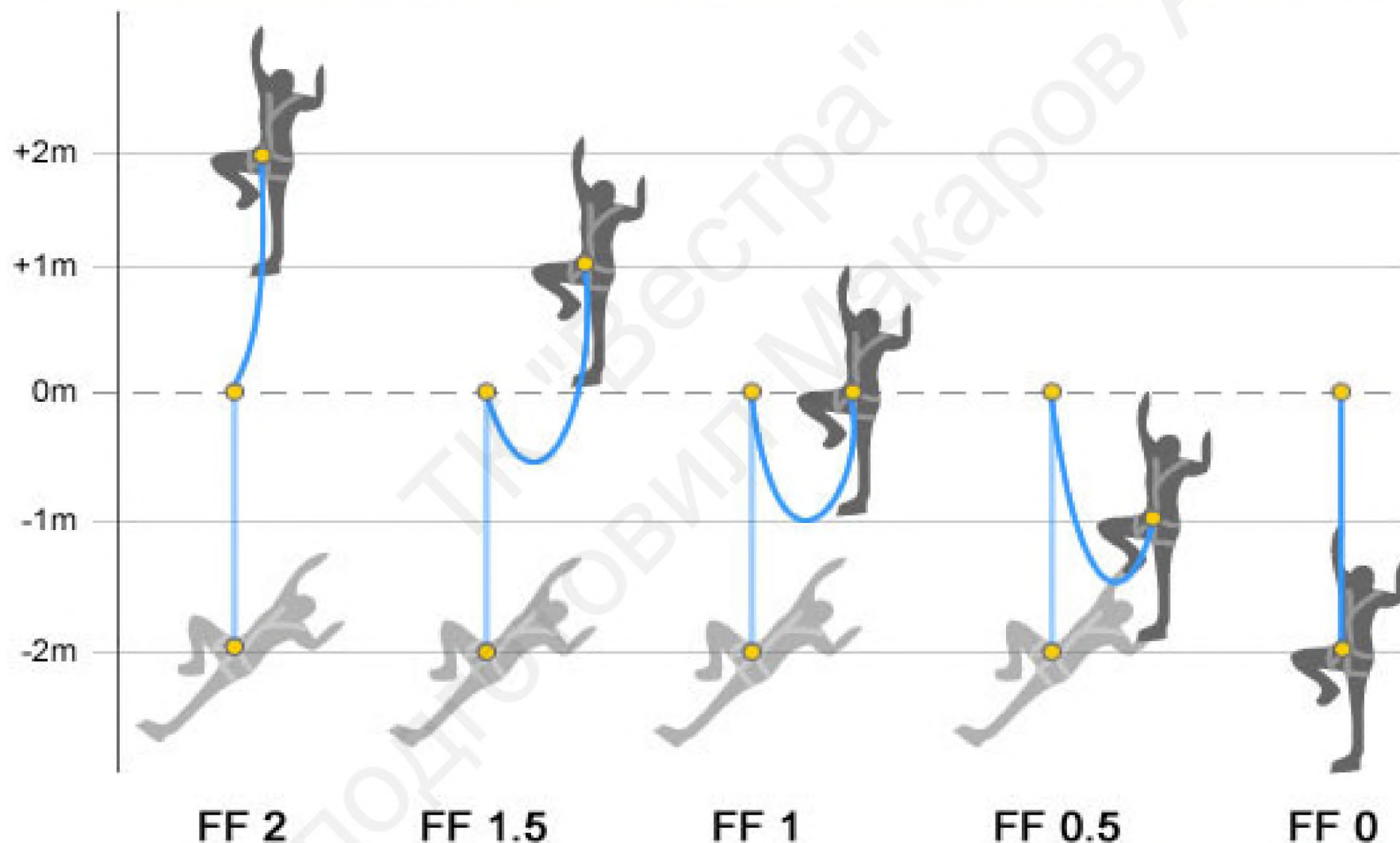
4) Шлямбуров от 22кН

Виды страховочных цепей

- 1) Цепь самостраховки
- 2) Цепь спуска/подъема по перилам (с верхней страховкой)
- 3) Цепь спуска/подъема двух человек
- 4) Цепь при движении траверсом
- 5) Цепь при выпуске лидера с нижней страховкой на вертикали
- 6) Цепь при выпуске лидера с нижней страховкой на склоне
- 7) Цепь при устройстве переправ

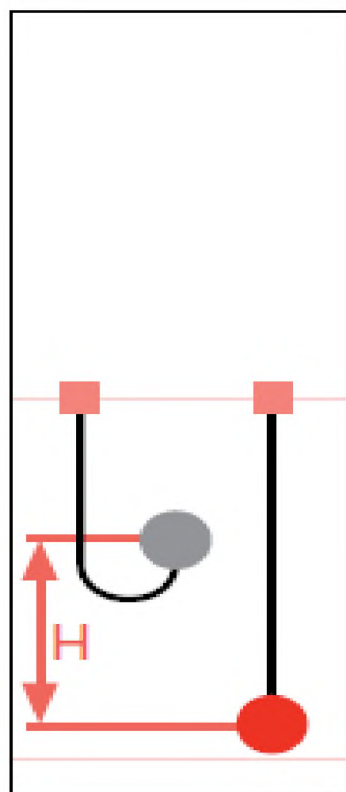
Цепь самостраховки: станция - самостраховка - беседка - тело

Элементы самостраховки рассчитаны на 15кН, тело человека согласно стандартам UIAA может без серьезных нарушений выдержать рывок 12кН, и точно не больше 18кН

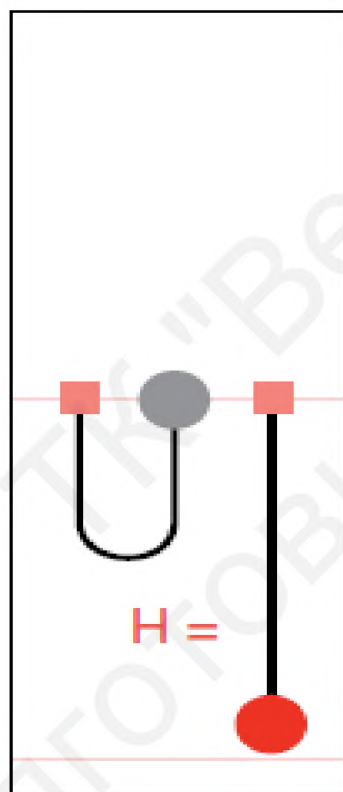


Графическое изображение факторов падения:

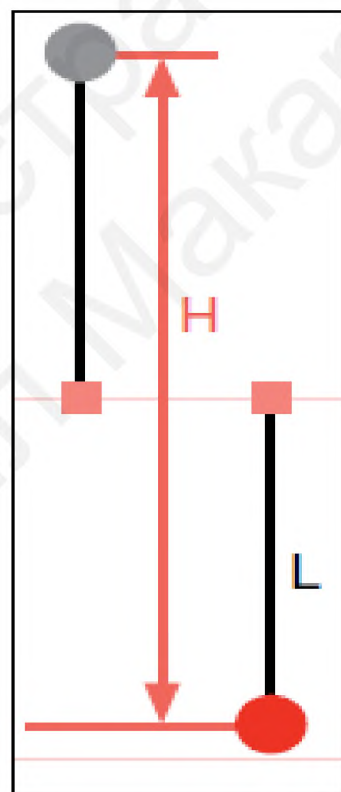
- исходное положение
- положение после падения
- точка крепления



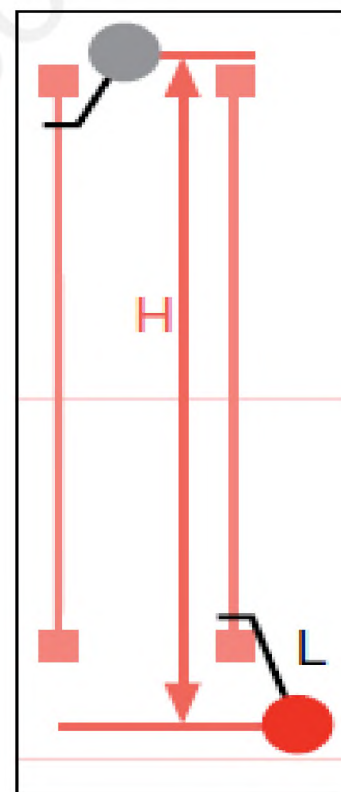
$f = 0,5$



$f = 1$



$f = 2$



$f > 2$

Формулы для вычисления силы рывка при срыве на вертикали:

$$1) F=2 \cdot P \cdot (ff / (x/L) + 1),$$

где $P=m \cdot g$,

$ff=H/L$, фактор рывка

x/L , удлинение веревки

$$2) F=P+((P)^2+2 \cdot k \cdot P \cdot ff)^{0.5},$$

где $P=m \cdot g$,

$ff=H/L$, фактор рывка

$$k=U \cdot (U-1.568) / 2.791$$

Формула 2 вычисляется из закона сохранения энергии:

потенциальная энергия падения переходит в потенциальную энергию веревки.

Энергия падения: $mg(H+x)$

Энергия веревки (пружины): $k \cdot x^2 / 2L$, где $kx/L=F$ сила в веревке

$$kx^2 / 2L - mgx - mgh = 0$$

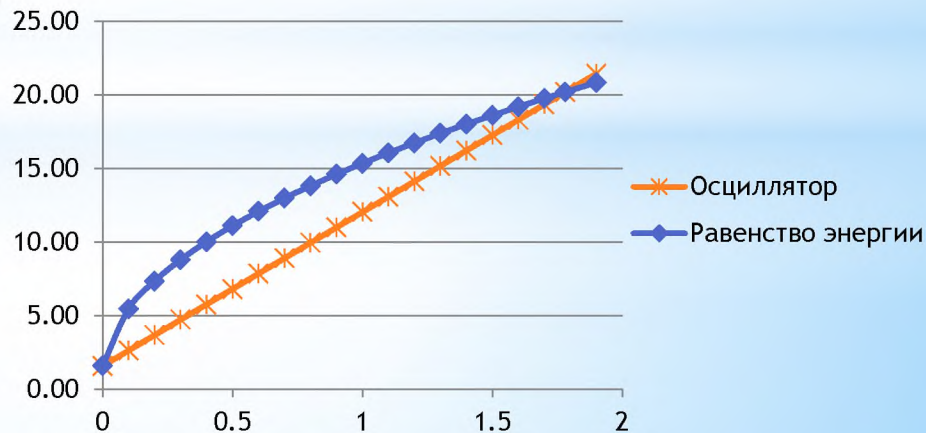
$$x = mg \pm ((mg)^2 + 2kmg(H/L))^{0.5} / (k/L)$$

$$F = mg + ((mg)^2 + 2kmg(H/L))^{0.5}$$

Сила рывка при срыве на самостраховку из динамической веревки

Срыв на самостраховку									
Гармонический осциллятор без демпфирования $F=2*P*(ff/(x/L)+1)$, где $P=m*g$					Равенство энергии $F=P+((P)^2+2*k*P*ff)^{0.5}$, где $P=m*g$, $k=U*(U-1.568)/2.791$				
ff, Фолл-Фактор	x/L, Удлинение веревки	m, Вес туриста, кг	F, сила рывка, кН	P, внешняя сила, кН	U, ImpactForce, кН	k, Жесткость	F, Сила рывка, кН	x, Удлинение веревки, м	
2	0.3	80	12.03	0.785	10.88	36.30	11.48644555	0.316427072	
1.9			11.51				11.2169421	0.309002826	
1.78			10.88				10.88404945	0.299832344	
1.7			10.46				10.65588622	0.293546934	
1.6			9.94				10.36304237	0.285479711	
1.5			9.41				10.06095846	0.277157943	
1.4			8.89				9.748700374	0.268555899	
1.3			8.37				9.425165164	0.259643194	
1.2			7.85				9.089034895	0.250383522	
1.1			7.32				8.738712987	0.240732901	
1			6.80				8.372234025	0.230637187	
0.9			6.28				7.987132146	0.220028452	
0.8			5.75				7.580242096	0.208819499	
0.7			5.23				7.147385334	0.196895219	
0.6			4.71				6.68284781	0.184098201	
0.5			4.18				6.178450449	0.17020313	
0.4			3.66				5.621740191	0.15486695	
0.3			3.14				4.992002728	0.137519026	
0.2			2.62				4.249649137	0.117068768	
0.1			2.09				3.296754843	0.090818563	
0			1.57				1.569064	0.043224366	

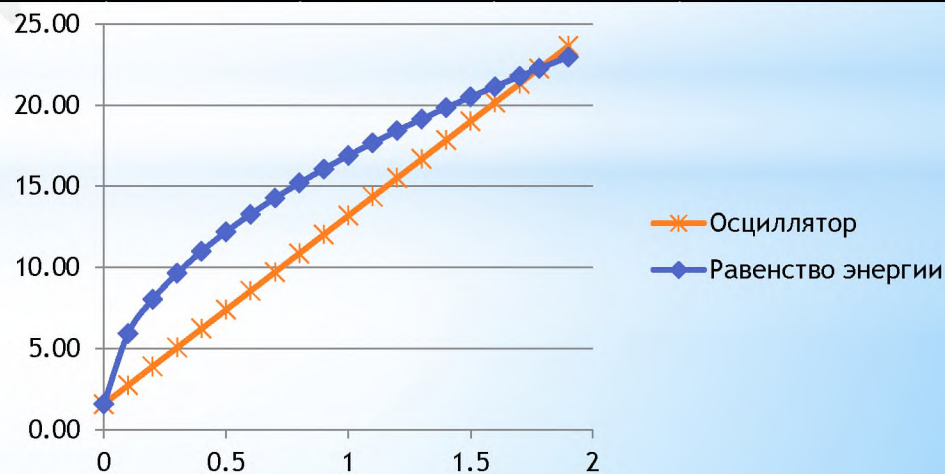
Опасная сила рывка достигается при факторе 2



Сила рывка при срыве на самостраховку из статической веревки

Гармонический осциллятор без демпфирования				Срыв на самостраховку				
$F=2*P*(ff/(x/L)+1)$, где $P=m*g$				Равенство энергии				
				$F=P+((P)^2+2*k*P*ff)^{0.5}$, где $P=m*g$, $k=U*(U-1.568)/2.791$				
ff, Фолл-Фактор	x/L, Удлинение веревки	m, Вес туриста, кг	F, сила рывка, кН	P, внешняя сила, кН	U, ImpactForce, кН	k, Жесткость	F, Сила рывка, кН	x, Удлинение веревки, м
2	0.2	80	17.26	0.785	15.53	77.69	16.4182571	0.211333234
1.9			16.48				16.02341211	0.206250851
1.78			15.53				15.53565381	0.199972503
1.7			14.91				15.20131666	0.195668967
1.6			14.12				14.77216176	0.190144953
1.5			13.34				14.32941638	0.184446004
1.4			12.55				13.87170127	0.178554366
1.3			11.77				13.39738679	0.172449065
1.2			10.98				12.90452426	0.166105015
1.1			10.20				12.39075098	0.159491806
1			9.41				11.85315547	0.152571961
0.9			8.63				11.28808054	0.145298405
0.8			7.85				10.69082487	0.137610623
0.7			7.06				10.05517086	0.129428585
0.6			6.28				9.372596475	0.120642594
0.5			5.49				8.630866044	0.111095156
0.4			4.71				7.811271247	0.10054546
0.3			3.92				6.882496492	0.088590417
0.2			3.14				5.784059723	0.074451511
0.1			2.35				4.362993115	0.056159764
0			1.57				1.569064	0.020196746

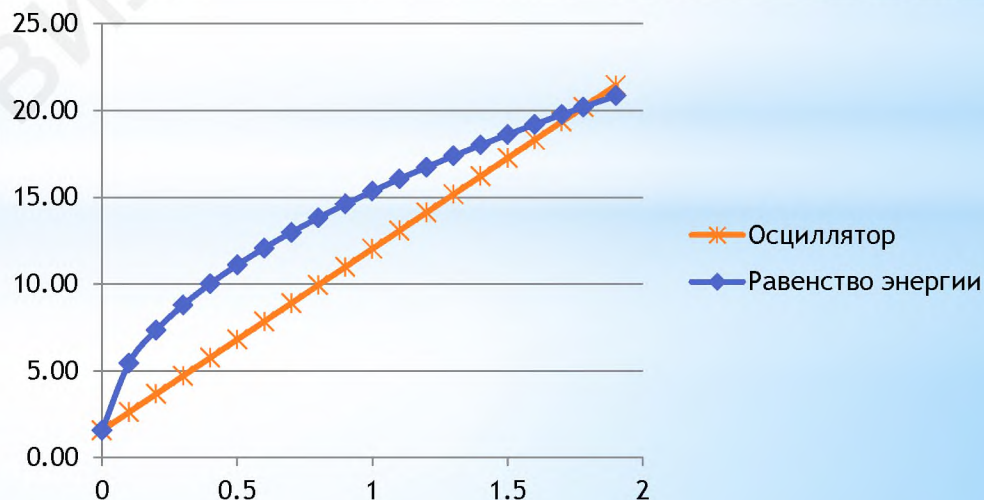
Опасная сила рывка достигается при факторе 1, при срыве с фактором 2 вероятность травмы очень велика



Сила рывка при срыве на самостраховку из материала типа Dyneema

Гармонический осциллятор без демпфирования				Срыв на самостраховку				
$F=2 \cdot P \cdot (ff/(x/L)+1)$, где $P=m \cdot g$				Равенство энергии $F=P+((P)^2+2 \cdot k \cdot P \cdot ff)^{0.5}$, где $P=m \cdot g$, $k=U \cdot (U-1.568)/2.791$				
ff, Фолл-Фактор	x/L, Удлинение веревки	m, Вес туриста, кг	F, сила рывка, кН	P, внешняя сила, кН	U, ImpactForce, кН	k, Жесткость	F, Сила рывка, кН	x, Удлинение веревки, м
2	0.135	80	24.81	0.785	22.26	165.03	23.55527177	0.142731663
1.9			23.65				22.97939706	0.139242187
1.78			22.26				22.26798072	0.134931405
1.7			21.33				21.7803155	0.131976429
1.6			20.17				21.15432262	0.128183265
1.5			19.00				20.50847215	0.124269776
1.4			17.84				19.84074516	0.120223727
1.3			16.68				19.14875551	0.11603066
1.2			15.52				18.42964889	0.111673279
1.1			14.35				17.67996319	0.107130606
1			13.19				16.89543018	0.102376779
0.9			12.03				16.07068538	0.09737929
0.8			10.87				15.19882804	0.092096327
0.7			9.70				14.27072402	0.08647254
0.6			8.54				13.27384024	0.080431986
0.5			7.38				12.19015628	0.073865473
0.4			6.22				10.99206404	0.066605709
0.3			5.06				9.633212996	0.058371838
0.2			3.89				8.023634181	0.048618698
0.1			2.73				5.933322676	0.035952589
0			1.57				1.569064	0.009507643

Опасная сила рывка достигается при факторе 0.5, при срыве с фактором 2 травма неминуема, вероятность травмы при срыве с фактором 1 крайне велика. Применять изделия из материалов типа Дайнима можно только для позиционирования.



Сила рывка при срыве на вертикали на материал типа Dyneema с учетом деформаций тела и обвязки

Срыв на вертикали									
Гармонический осциллятор без демпфирования					Равенство энергии				
$F=2*P*(ff/(x/L)+1)$, где $P=m*g$					$F=P*((P)^2+2*k*P*ff)^{0.5}$, где $P=m*g$, $k=U*(U-1.568)/2.791$				
ff, Фолл-Фактор	x/L, Удлинение веревки	m, Вес туриста, кг	Выдача, доли L	F, сила рывка, кН	P, внешняя сила, кН	U, ImpactForce, кН	k, Жесткость	F, Сила рывка, кН	x, Удлинение веревки, м
2	0.15	80	0.1	14.12	0.785	12.74	51.00	13.45927419	0.26392536
1.9				13.49				13.13958803	0.257656576
1.78				12.74				12.7446906	0.24991296
1.7				12.24				12.47401658	0.244605264
1.6				11.61				12.12659397	0.23779259
1.5				10.98				11.76818757	0.230764534
1.4				10.36				11.39768468	0.223499275
1.3				9.73				11.01377097	0.215971041
1.2				9.10				10.61487533	0.208149024
1.1				8.47				10.19909359	0.199995884
1				7.85				9.76408043	0.191465632
0.9				7.22				9.306891418	0.182500529
0.8				6.59				8.823744032	0.173026404
0.7				5.96				8.309639982	0.162945244
0.6				5.33				7.757735725	0.152122853
0.5				4.71				7.158219334	0.140366827
0.4				4.08				6.496117618	0.127383554
0.3				3.45				5.746439932	0.112682988
0.2				2.82				4.861154421	0.095323263
0.1				2.20				3.720033731	0.072946819
0				1.57				1.569064	0.030768062

С учетом деформаций тела и обвязки при срыве с фактором, близким к 2, есть вероятность остаться в живых, но стоит ли рисковать?

Нельзя использовать «дейзи-чейн» для самостраховки, а если нет другого выхода, однозначно следует выбрать нейлоновый, а не Dyneema.

Сила рывка при срыве на вертикали на динамическую веревку с тяжелым рюкзаком

Срыв на самостраховку									
Гармонический осциллятор без демпфирования				Равенство энергии					
$F=2*P*(ff/(x/L)+1)$, где $P=m*g$				$F=P*((P)^2+2*k*P*ff)^{0.5}$, где $P=m*g$, $k=U*(U-1.568)/2.791$					
ff, Фолл-Фактор	x/L, Удлинение веревки	m, Вес туриста, кг	F, сила рывка, кН	P, внешняя сила, кН	U, ImpactForce, кН	k, Жесткость	F, Сила рывка, кН	x, Удлинение веревки, м	
2	0.3	100	15.04	0.981	13.60	58.63	16.17756177	0.275928253	
1.9			14.38				15.79439083	0.269392801	
1.78			13.60				15.32107765	0.261319861	
1.7			13.08				14.99665859	0.255786494	
1.6			12.42				14.58025609	0.248684236	
1.5			11.77				14.1506946	0.241357536	
1.4			11.11				13.70664163	0.233783665	
1.3			10.46				13.24652342	0.225935782	
1.2			9.81				12.76845887	0.217781802	
1.1			9.15				12.27016836	0.209282843	
1			8.50				11.7488444	0.200391021	
0.9			7.85				11.20096291	0.191046226	
0.8			7.19				10.62199742	0.181171257	
0.7			6.54				10.0059679	0.170664114	
0.6			5.88				9.3446888	0.159385184	
0.5			5.23				8.626428255	0.147134365	
0.4			4.58				7.833292041	0.13360645	
0.3			3.92				6.935436111	0.11829241	
0.2			3.27				5.875570577	0.100215097	
0.1			2.62				4.510665315	0.076934956	
0			1.96				1.96133	0.0334529	

Срыв туриста с тяжелым рюкзаком или тяжелого туриста с рюкзаком на динамическую самостраховку может превысить ее стандартную прочность 15кН, поэтому не стоит выходить выше станции даже на динамической самостраховке

Сила рывка при движении по перилам на

жумаре

Срыв при движении по статическим перилам на жумаре

Гармонический осциллятор без демпфирования				Равенство энергии				
$F=2*P*(ff/(x/L)+1)$, где $P=m*g$				$F=P+((P)^2+2*k*P*ff)^{0.5}$, где $P=m*g$, $k=U*(U-1.568)/2.791$				
ff, Фолл-Фактор	x/L, Удлинение веревки	m, Вес туриста, кг	F, сила рывка, кН	P, внешняя сила, кН	U, ImpactForce, кН	k, Жесткость	F, Сила рывка, кН	x, Удлинение веревки, м
2	0.2	80	17.26	0.785	19.42	124.22	20.54358197	0.165386441
1.9			16.48				20.04407061	0.161365117
1.78			15.53				19.4269984	0.156397367
1.7			14.91				19.00400979	0.15299209
1.6			14.12				18.46104587	0.14862095
1.5			13.34				17.90086673	0.144111219
1.4			12.55				17.321723	0.139448813
1.3			11.77				16.72154734	0.134617089
1.2			10.98				16.09786703	0.129596141
1.1			10.20				15.44768314	0.124361825
1			9.41				14.767299	0.118884381
0.9			8.63				14.05206926	0.113126412
0.8			7.85				13.29601938	0.107039821
0.7			7.06				12.49124325	0.100560957
0.6			6.28				11.62689614	0.093602517
0.5			5.49				10.68739178	0.086039022
0.4			4.71				9.648865225	0.077678347
0.3			3.92				8.471285232	0.06819822
0.25			3.53				7.808851264	0.062865284
0.2			3.14				7.077063048	0.056974011
0.15			2.75				6.248123571	0.050300621
0.1			2.35				5.268472089	0.04241392
0.05			1.96				4.003321305	0.032228803
0			1.57				1.569064	0.012631775

Жумар портит оплетку веревки при 4кН, разрушение веревки происходит при 6-7кН

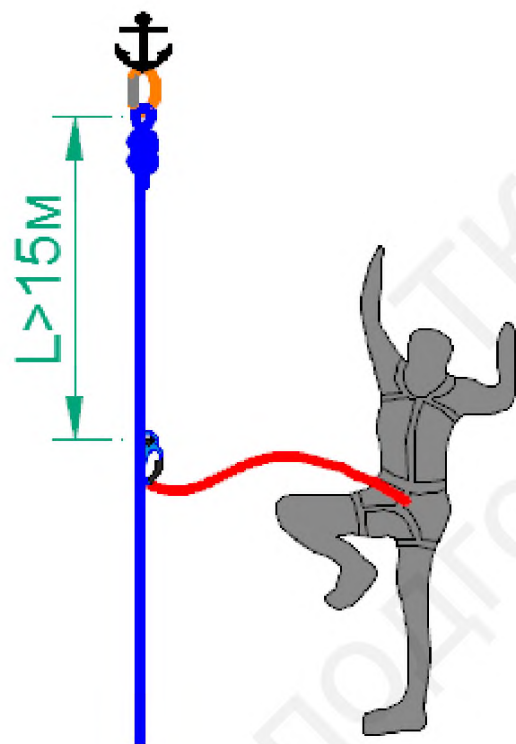
Выход на уровень подключения жумара

При длине самостраховки жумара $L=0.75\text{м}$

БЕЗОПАСНО

фактор <0.05

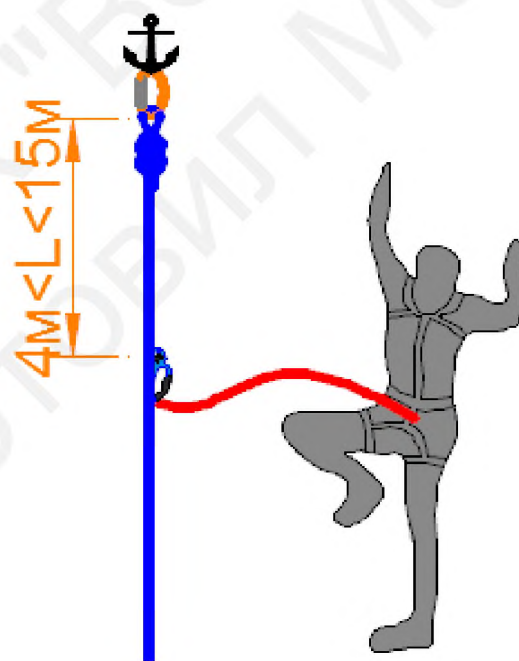
$F < 4\text{кН}$



ОПАСНО

$0.05 < \text{фактор} < 0.2$

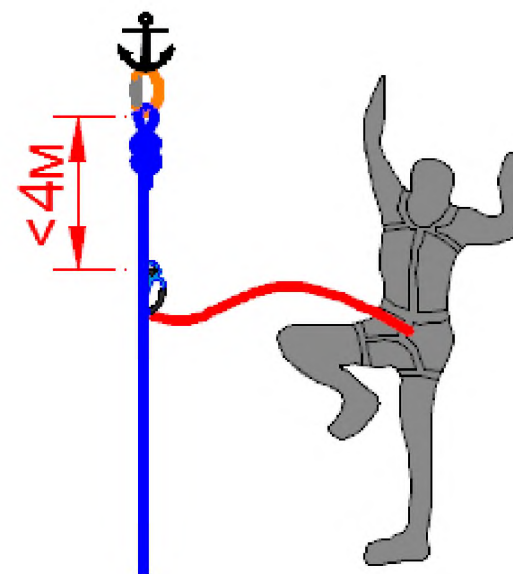
$4\text{кН} < F < 7\text{кН}$



ОЧЕНЬ ОПАСНО

фактор >0.2

$F > 7\text{кН}$



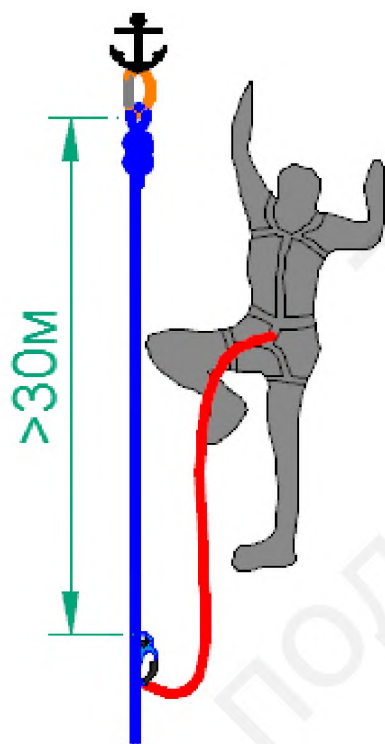
Выход выше уровня подключения жумара

При длине самостраховки жумара $L=0.75\text{м}$

БЕЗОПАСНО

фактор <0.05

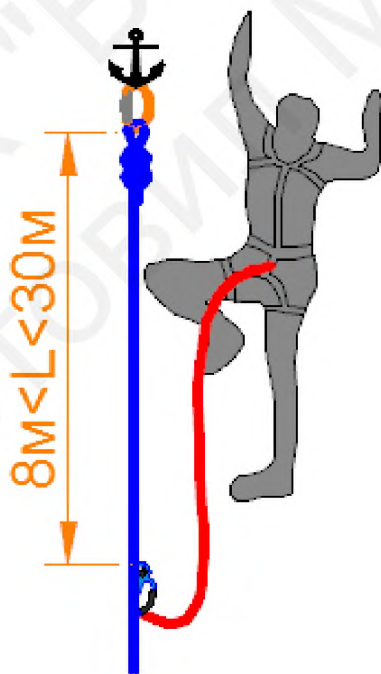
$F < 4\text{кН}$



ОПАСНО

$0.05 < \text{фактор} < 0.2$

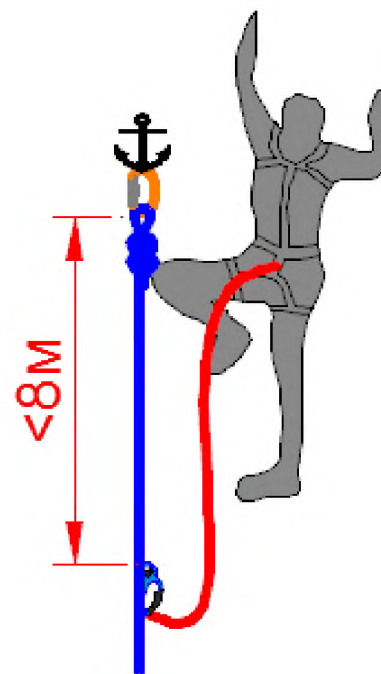
$4\text{кН} < F < 7\text{кН}$



ОЧЕНЬ ОПАСНО

фактор >0.2

$F > 7\text{кН}$



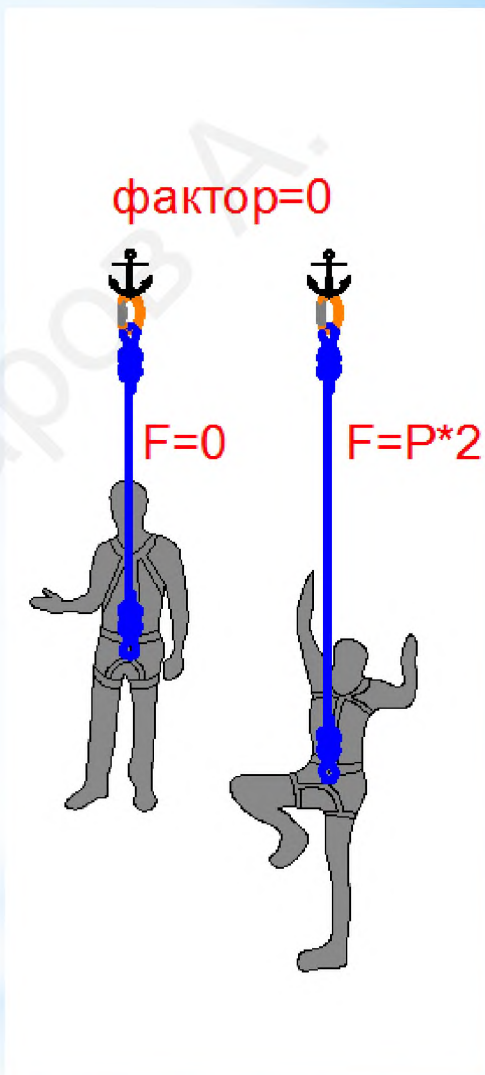
1) Рывок при спуске по перилам может составлять от 1,6кН при максимально аккуратном спуске до 5кН при спуске агрессивными прыжками

2) Аналогичным может быть рывок при движении с верхней страховкой или спуске легко пострадавшего

3) Спуск дюльфером может быть осуществлен с точки, выдерживающей минимум двойной вес дюльферающего, поэтому точку допустимо испытывать двойным весом. При этом особенно аккуратно нужно двигаться вблизи от точки, нагружать перила максимально плавно

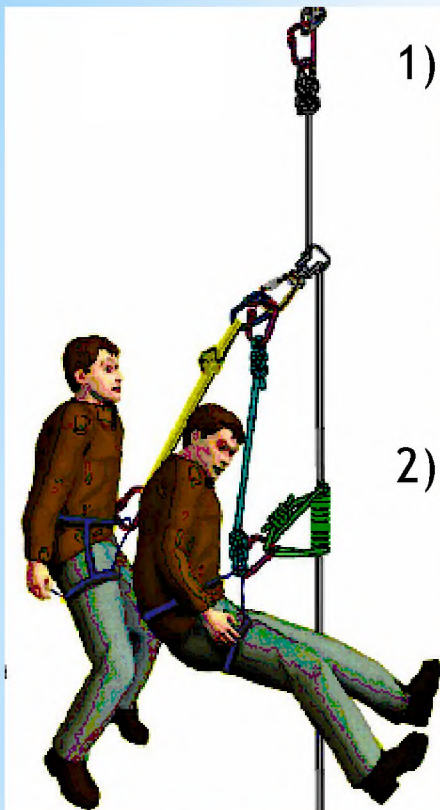
3) Наиболее опасным при спуске легко пострадавшего является переход перегиба на небольшом расстоянии от станции. Фактор при этом может приближаться к 1, а нагрузка - к 12кН

4) Использование схватывающих узлов позволяет гасить часть нагрузки при срыве дюльферающего или легко пострадавшего



Сила рывка при срыве двоих на вертикали на статическую веревку

Срыв при прохождении перегиба пострадавшим и сопровождающим									
Гармонический осциллятор без демпфирования $F=2*P*(ff/(x/L)+1)$, где $P=m*g$				Равенство энергии $F=P+((P)^2+2*k*P*ff)^{0.5}$, где $P=m*g$, $k=U*(U-1.568)/2.791$					
ff, Фолл-Фактор	x/L, Удлинение веревки	m, Вес туриста, кг	F, сила рывка, кН	P, внешняя сила, кН	U, ImpactForce, кН	k, Жесткость	F, Сила рывка, кН	x, Удлинение веревки, м	
2	0.2	160	34.52	1.569	31.07	328.42	46.99730982	0.143100161	
1.9			32.95				45.84843099	0.139601988	
1.78			31.07				44.42914481	0.135280462	
1.7			29.81				43.45624563	0.132318122	
1.6			28.24				42.20738098	0.128515506	
1.5			26.67				40.91890046	0.124592265	
1.4			25.11				39.58677634	0.120536135	
1.3			23.54				38.2062483	0.116332622	
1.2			21.97				36.77162209	0.111964389	
1.1			20.40				35.27599086	0.107410403	
1			18.83				33.71083962	0.102644739	
0.9			17.26				32.06546645	0.09763481	
0.8			15.69				30.32610461	0.092338699	
0.7			14.12				28.47453197	0.086700923	
0.6			12.55				26.48574574	0.08064535	
0.5			10.98				24.3237965	0.07406252	
0.4			9.41				21.93360851	0.066784736	
0.3			7.85				19.22271788	0.058530457	
0.2			6.28				16.01165094	0.048753213	
0.1			4.71				11.841607	0.036056019	
0			3.14				3.138128	0.009555156	



- 1) При спуске/подъеме двоих усилия в элементах цепи могут превышать прочность элементов. Поэтому при транспортировке вся система спуска/ подъема дублируется, получается так называемая «зеркальная система»
- 2) При очень аккуратном спуске/ подъеме двоих нагрузки в цепи вдвое превышают дюльферные, то есть составляют от 4кН. Поэтому допустимо при снятии зависшего на дюльфере находиться вдвоем на одной веревке
- 3) Наиболее опасен при спуске/подъеме двоих момент прохождения перегиба, особенно если станция находится рядом с перегибом. При резком перегибе станцию необходимо размещать как можно дальше от него
- 4) Единственное средство страховки, которое может погасить усилия от срыва двоих до приемлемых за счет протравливания, это «тандем-прусик»

Страховка «Тандем Прусик»

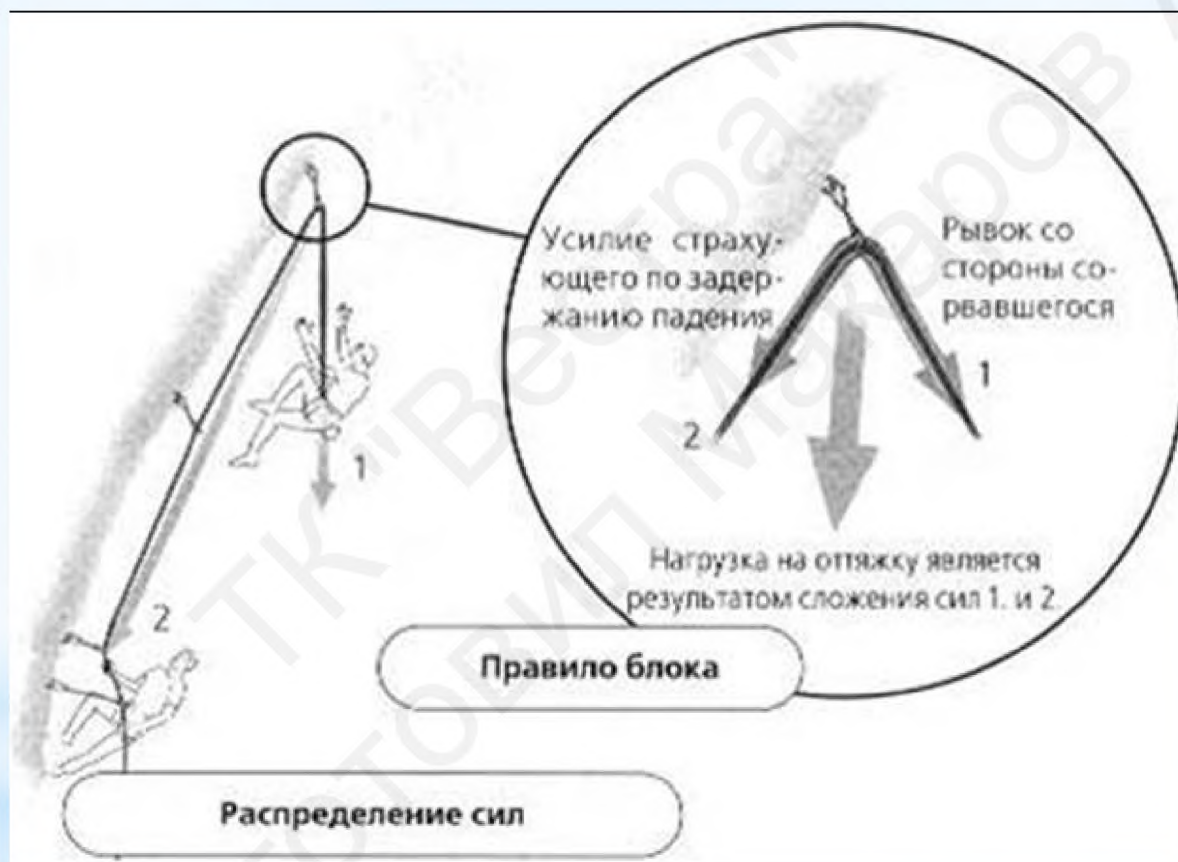


Сила рывка при срыве лидера с нижней страховкой

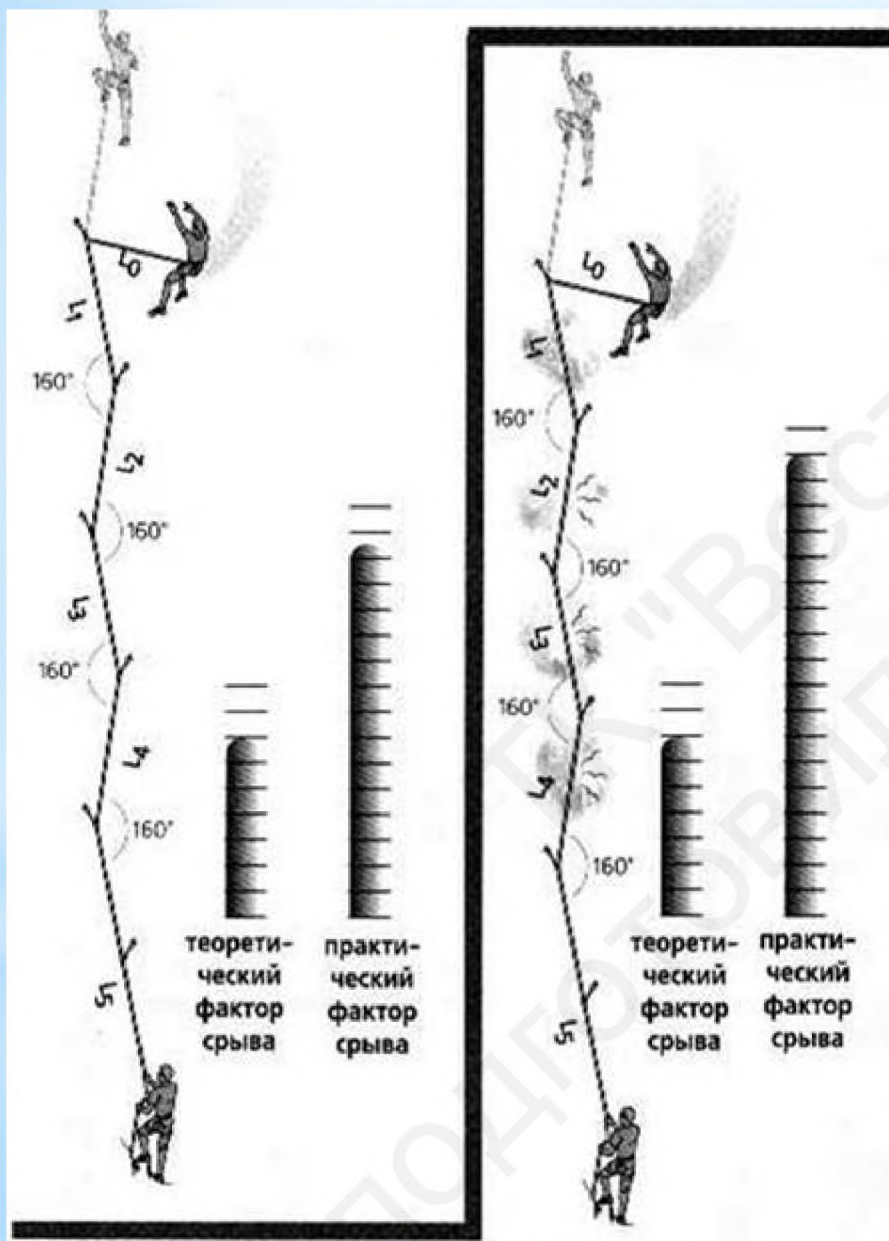
Срыв на самостраховку									
Гармонический осциллятор без демпфирования $F=2*P*(ff/(x/L)+1)$, где $P=m*g$					Равенство энергии $F=P+((P)^2+2*k*P*ff)^{0.5}$, где $P=m*g$, $k=U*(U-1.568)/2.791$				
ff, Фолл-Фактор	x/L, Удлинение веревки	m, Вес туриста, кг	F, сила рывка, кН	P, внешняя сила, кН	U, ImpactForce, кН	k, Жесткость	F, Сила рывка, кН	x, Удлинение веревки, м	
2	0.3	80	12.03	0.785	10.88	36.30	11.48644555	0.316427072	
1.9			11.51				11.2169421	0.309002826	
1.78			10.88				10.88404945	0.299832344	
1.7			10.46				10.65588622	0.293546934	
1.6			9.94				10.36304237	0.285479711	
1.5			9.41				10.06095846	0.277157943	
1.4			8.89				9.748700374	0.268555899	
1.3			8.37				9.425165164	0.259643194	
1.2			7.85				9.089034895	0.250383522	
1.1			7.32				8.738712987	0.240732901	
1			6.80				8.372234025	0.230637187	
0.9			6.28				7.987132146	0.220028452	
0.8			5.75				7.580242096	0.208819499	
0.7			5.23				7.147385334	0.196895219	
0.6			4.71				6.68284781	0.184098201	
0.5			4.18				6.178450449	0.17020313	
0.4			3.66				5.621740191	0.15486695	
0.3			3.14				4.992002728	0.137519026	
0.2			2.62				4.249649137	0.117068768	
0.1			2.09				3.296754843	0.090818563	
0			1.57				1.569064	0.043224366	

- 1) Допустимо использование только динамической веревки.
- 2) Выбирать веревку при срыве нельзя!
- 3) Нагрузка при срыве лидера превышает поперечную прочность карабина, поэтому необходимо ввязывать веревку в лидера, либо использовать оппозитные карабины
- 4) В случае использования старых/жестких веревок, желательно протравливание веревки страхующим

Распределение сил на верхнюю точку при срыве лидера на вертикали

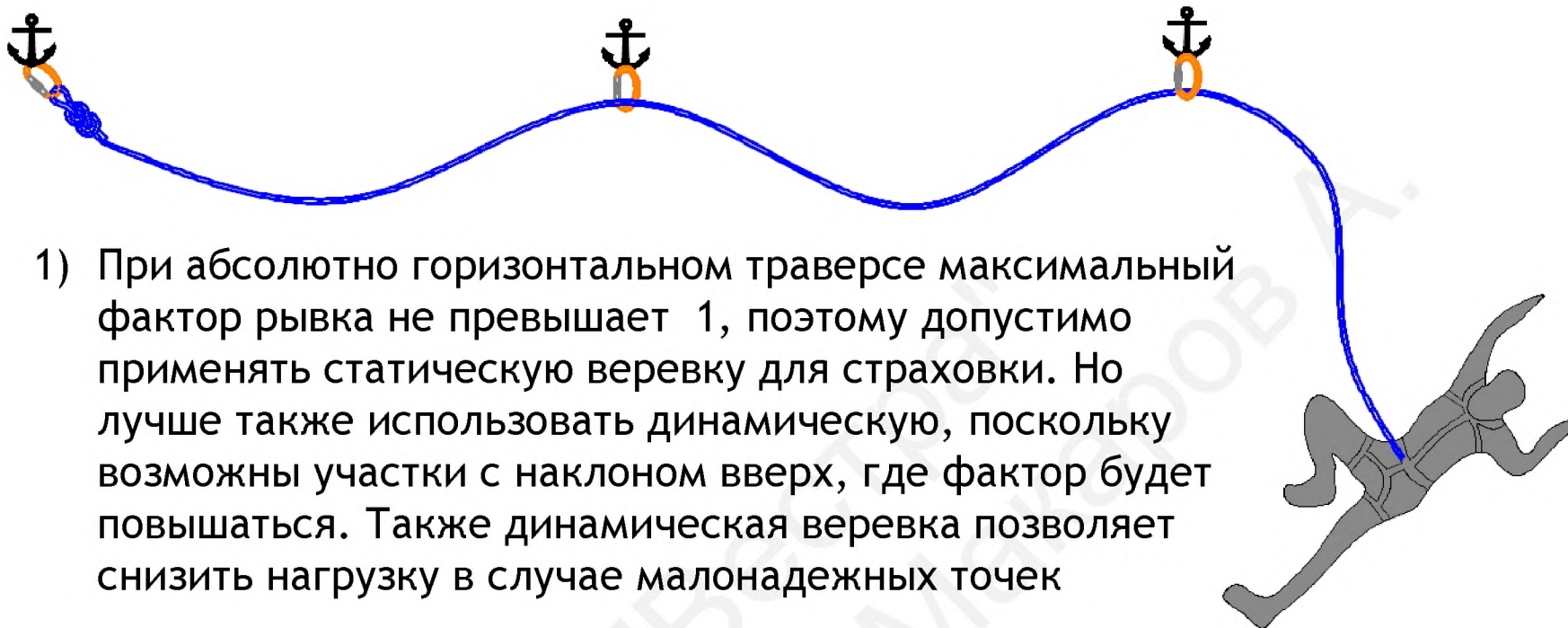


Увеличение силы, действующей на верхнюю точку, при трении в системе страховки



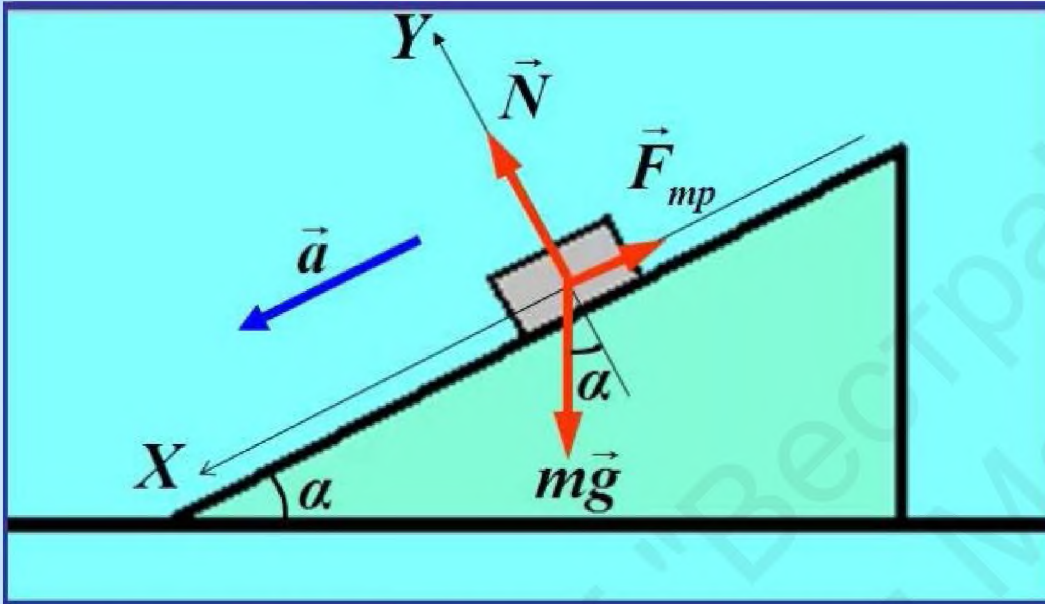
Согласно закону сложения сил на верхнюю промежуточную точку страховки действует сила равная 1,66 силы, которая действует на сорвавшегося. Коэффициент 1,66 возникает из-за того, что часть усилия рывка тратится на преодоление силы трения в карабине, если бы силы трения не было то на точку действовала бы сила равная двойной силе рывка.

Максимальная нагрузка на верхнюю точку $12\text{кН} \cdot 1,66 = 20\text{кН}$. С коэффициентом запаса в 10% это 22кН, то есть нормируемая прочность карабинов, оттяжек и петель.



- 1) При абсолютно горизонтальном траверсе максимальный фактор рывка не превышает 1, поэтому допустимо применять статическую веревку для страховки. Но лучше также использовать динамическую, поскольку возможны участки с наклоном вверх, где фактор будет повышаться. Также динамическая веревка позволяет снизить нагрузку в случае малонадежных точек
- 2) Даже при траверсе усилия в цепи превышают поперечную прочность карабина, поэтому веревку имеет смысл ввязывать либо встегивать в лидера оппозитными карабинами
- 3) При срыве в трещину на закрытом леднике усилия редко превышают поперечную прочность карабина, поскольку имеет место протравливание веревки. Использование оппозитных карабинов требуется в основном при прохождении снежных мостов (страховка со станции) или в других случаях, когда веревка закреплена с одного конца

Силы, действующие на тело на склоне



$P = F_x = mg \sin \alpha - \mu \cos \alpha$,
где F_x - сила, действующая
вдоль оси x
 μ - коэффициент трения

Коэффициент трения по льду кожа-резина 0,2-0,6

Коэффициент трения по гладкой скале кожа-резина 0,3-0,7

$kx^2/2L - P \cdot x - P \cdot S = 0$, где S - длина движения по склону,
 x - величина растяжения веревки

$F = P + ((P)^2 + 2kP(S/L))^{0.5}$, где $P = mg \sin \alpha - \mu \cos \alpha$

Силы, действующие на тело на склоне при срыве на динамической веревке на льду

Срыв на склоне								
m, Вес туриста, кг	U, ImpactForce, кН	k, Жесткость	мю, К-т трения					
80	12.00	44.85	0.3					
Угол, градусов								
	90	80	70	60	50	40	30	20
P, внешняя сила, кН								
г, Фолл-Фактор	0.785	0.732	0.657	0.562	0.450	0.324	0.188	0.047
2	12.67	12.21	11.53	10.62	9.44	7.96	6.01	2.96
1.9	12.37	11.92	11.26	10.36	9.22	7.76	5.86	2.88
1.8	12.07	11.63	10.98	10.10	8.98	7.56	5.71	2.81
1.7	11.75	11.32	10.69	9.83	8.74	7.36	5.55	2.73
1.6	11.42	11.01	10.39	9.56	8.50	7.15	5.39	2.65
1.5	11.09	10.68	10.08	9.27	8.24	6.93	5.23	2.57
1.4	10.74	10.35	9.76	8.98	7.98	6.71	5.06	2.48
1.3	10.38	10.00	9.43	8.67	7.71	6.48	4.88	2.39
1.2	10.01	9.64	9.09	8.36	7.42	6.24	4.70	2.30
1.1	9.62	9.26	8.73	8.03	7.13	5.99	4.50	2.20
1	9.21	8.87	8.36	7.68	6.82	5.72	4.30	2.10
0.9	8.78	8.45	7.97	7.32	6.49	5.45	4.09	2.00
0.8	8.33	8.02	7.55	6.94	6.15	5.16	3.87	1.89
0.7	7.85	7.55	7.11	6.53	5.78	4.85	3.63	1.77
0.6	7.33	7.05	6.64	6.09	5.39	4.51	3.38	1.64
0.5	6.77	6.51	6.12	5.61	4.96	4.15	3.10	1.50
0.4	6.15	5.91	5.56	5.09	4.49	3.75	2.80	1.35
0.3	5.45	5.23	4.91	4.49	3.96	3.29	2.45	1.17
0.2	4.62	4.43	4.15	3.79	3.33	2.76	2.04	0.97
0.1	3.55	3.40	3.17	2.88	2.51	2.06	1.50	0.70
0	1.57	1.46	1.31	1.12	0.90	0.65	0.38	0.09

Силы, действующие на верхнюю точку на склоне при срыве на динамической веревке на льду

Срыв на склоне								
m, Вес туриста, кг	U, ImpactForce, кН	k, Жесткость	мю, К-т трения					
80	12.00	44.85	0.3					
Угол, градусов								
	90	80	70	60	50	40	30	20
N, реакция на точке/станции, кН								
г, Фолл-Фактор	0.785	0.732	0.657	0.562	0.450	0.324	0.188	0.047
2	21.04	20.27	19.14	17.62	15.68	13.21	9.97	4.91
1.9	20.54	19.79	18.69	17.20	15.30	12.89	9.73	4.79
1.8	20.03	19.30	18.22	16.77	14.91	12.56	9.47	4.66
1.7	19.51	18.79	17.74	16.33	14.51	12.22	9.22	4.53
1.6	18.97	18.27	17.24	15.87	14.10	11.87	8.95	4.40
1.5	18.41	17.73	16.73	15.39	13.68	11.51	8.68	4.26
1.4	17.83	17.17	16.21	14.91	13.24	11.14	8.39	4.12
1.3	17.23	16.60	15.66	14.40	12.79	10.76	8.10	3.97
1.2	16.61	16.00	15.09	13.87	12.32	10.36	7.80	3.82
1.1	15.97	15.37	14.50	13.33	11.83	9.94	7.48	3.66
1	15.29	14.72	13.88	12.75	11.32	9.50	7.14	3.49
0.9	14.58	14.03	13.23	12.15	10.78	9.04	6.80	3.32
0.8	13.83	13.31	12.54	11.51	10.21	8.56	6.43	3.13
0.7	13.03	12.53	11.81	10.84	9.60	8.04	6.03	2.94
0.6	12.17	11.70	11.02	10.11	8.95	7.49	5.61	2.72
0.5	11.24	10.80	10.17	9.32	8.24	6.89	5.15	2.49
0.4	10.21	9.81	9.22	8.44	7.46	6.22	4.64	2.24
0.3	9.04	8.68	8.15	7.45	6.57	5.47	4.06	1.95
0.2	7.66	7.35	6.89	6.28	5.52	4.58	3.38	1.61
0.1	5.89	5.64	5.26	4.77	4.16	3.42	2.49	1.16
0	2.60	2.43	2.18	1.86	1.49	1.08	0.63	0.16

Отсюда видно, что при использовании динамической веревки и углах ледового склона до 40 градусов допустимо делать станцию на одном ледобуре (например, в случае использования приема «ледобурная дорожка»)

Силы, действующие на тело при срыве на склоне на статической веревке

Срыв на склоне								
m, Вес туриста, кг	U, ImpactForce, кН	k, Жесткость	мю, К-т трения					
80	19.40	123.95	0.3					
Угол, градусов								
	90	80	70	60	50	40	30	20
P, внешняя сила, кН								
г, Фолл-Фактор	0.785	0.732	0.657	0.562	0.450	0.324	0.188	0.047
2	20.52	19.79	18.71	17.26	15.39	13.00	9.86	4.88
1.9	20.02	19.31	18.26	16.84	15.01	12.68	9.61	4.76
1.8	19.51	18.82	17.79	16.40	14.62	12.35	9.36	4.63
1.7	18.98	18.31	17.31	15.96	14.22	12.01	9.10	4.51
1.6	18.44	17.78	16.81	15.50	13.81	11.66	8.84	4.37
1.5	17.88	17.24	16.30	15.03	13.39	11.30	8.56	4.24
1.4	17.30	16.68	15.77	14.54	12.95	10.93	8.28	4.09
1.3	16.70	16.11	15.22	14.03	12.50	10.55	7.98	3.95
1.2	16.08	15.50	14.65	13.50	12.02	10.15	7.68	3.79
1.1	15.43	14.88	14.05	12.95	11.53	9.73	7.36	3.63
1	14.75	14.22	13.43	12.38	11.02	9.29	7.03	3.47
0.9	14.04	13.53	12.78	11.77	10.48	8.83	6.68	3.29
0.8	13.28	12.80	12.09	11.13	9.90	8.35	6.30	3.11
0.7	12.48	12.02	11.35	10.45	9.29	7.83	5.91	2.91
0.6	11.62	11.19	10.56	9.72	8.64	7.27	5.49	2.70
0.5	10.68	10.28	9.70	8.92	7.93	6.67	5.02	2.47
0.4	9.64	9.28	8.75	8.05	7.14	6.00	4.52	2.21
0.3	8.46	8.14	7.68	7.05	6.25	5.24	3.94	1.92
0.2	7.07	6.80	6.40	5.87	5.19	4.34	3.25	1.58
0.1	5.26	5.05	4.74	4.34	3.82	3.18	2.36	1.13
0	1.57	1.46	1.31	1.12	0.90	0.65	0.38	0.09

Видим, что максимальный угол склона, при котором допустимо выпускать лидера на статической веревке, составляет около 40 градусов

Силы, действующие на верхнюю точку при срыве на склоне на статической веревке

Срыв на склоне								
m, Вес туриста, кг	U, ImpactForce, кН	k, Жесткость	мю, К-т трения					
80	19.40	123.95	0.3					
Угол, градусов								
	90	80	70	60	50	40	30	20
N, реакция на точке/станции, кН								
г, Фолл-Фактор	0.785	0.732	0.657	0.562	0.450	0.324	0.188	0.047
2	34.07	32.86	31.06	28.65	25.54	21.58	16.36	8.11
1.9	33.24	32.06	30.31	27.95	24.92	21.05	15.95	7.90
1.8	32.39	31.24	29.53	27.23	24.27	20.50	15.54	7.69
1.7	31.51	30.39	28.73	26.49	23.61	19.94	15.11	7.48
1.6	30.61	29.52	27.90	25.73	22.93	19.36	14.67	7.26
1.5	29.68	28.62	27.05	24.94	22.23	18.77	14.21	7.03
1.4	28.72	27.70	26.17	24.13	21.50	18.15	13.74	6.79
1.3	27.73	26.74	25.26	23.29	20.74	17.51	13.25	6.55
1.2	26.70	25.74	24.32	22.41	19.96	16.84	12.75	6.30
1.1	25.62	24.69	23.33	21.50	19.14	16.15	12.22	6.03
1	24.49	23.61	22.30	20.54	18.29	15.42	11.66	5.75
0.9	23.30	22.46	21.21	19.54	17.39	14.66	11.08	5.46
0.8	22.05	21.25	20.07	18.48	16.44	13.85	10.47	5.16
0.7	20.71	19.96	18.84	17.35	15.43	13.00	9.81	4.83
0.6	19.28	18.58	17.53	16.13	14.34	12.07	9.11	4.48
0.5	17.72	17.07	16.11	14.82	13.16	11.07	8.34	4.09
0.4	16.00	15.41	14.53	13.36	11.86	9.96	7.50	3.67
0.3	14.05	13.52	12.74	11.70	10.38	8.70	6.53	3.19
0.2	11.74	11.29	10.62	9.74	8.62	7.21	5.40	2.62
0.1	8.74	8.39	7.88	7.20	6.34	5.27	3.91	1.87
0	2.60	2.43	2.18	1.86	1.49	1.08	0.63	0.16

Отсюда видно, что при использовании статической веревки и углах ледового склона до 30 градусов допустимо делать станцию на одном ледобуре (например, в случае использования приема «ледобурная дорожка»)

Силы, действующие на верхнюю точку при срыве на склоне на статической веревке с учетом протравливания 10% веревки страхующим

m, Вес туриста, кг	U, ImpactForce, кН	k, Жесткость	мю, К-т трения	Срыв на склоне				
				Z, выдача в-ки, %L				
80	20.19	134.71	0.3	0.1				
				Угол, градусов				
				60	50	40	30	20
г, Фолл-Фактор				P, внешняя сила, кН				
				0.562	0.450	0.324	0.188	0.047
2	7.89	7.13	6.01	4.50	2.55	0.07	-3.20	-8.38
1.9	7.37	6.63	5.53	4.06	2.16	-0.26	-3.46	-8.51
1.8	6.83	6.11	5.04	3.61	1.75	-0.61	-3.72	-8.64
1.7	6.29	5.58	4.54	3.14	1.34	-0.96	-3.99	-8.78
1.6	5.72	5.04	4.02	2.66	0.91	-1.32	-4.27	-8.91
1.5	5.14	4.47	3.49	2.17	0.47	-1.70	-4.55	-9.06
1.4	4.53	3.89	2.94	1.66	0.01	-2.09	-4.85	-9.21
1.3	3.91	3.29	2.37	1.13	-0.46	-2.49	-5.16	-9.36
1.2	3.26	2.66	1.77	0.58	-0.96	-2.91	-5.48	-9.52
1.1	2.58	2.01	1.15	0.01	-1.47	-3.34	-5.81	-9.69
1	1.87	1.32	0.50	-0.59	-2.00	-3.80	-6.15	-9.86
0.9	1.13	0.60	-0.18	-1.22	-2.57	-4.28	-6.52	-10.04
0.8	0.34	-0.16	-0.90	-1.89	-3.17	-4.78	-6.91	-10.24
0.7	-0.50	-0.97	-1.67	-2.60	-3.80	-5.32	-7.32	-10.44
0.6	-1.40	-1.84	-2.49	-3.36	-4.48	-5.90	-7.76	-10.66
0.5	-2.38	-2.78	-3.39	-4.19	-5.23	-6.53	-8.24	-10.90
0.4	-3.46	-3.83	-4.38	-5.11	-6.05	-7.23	-8.77	-11.17
0.3	-4.68	-5.01	-5.50	-6.15	-6.98	-8.02	-9.38	-11.47
0.2	-6.14	-6.42	-6.83	-7.38	-8.08	-8.96	-10.09	-11.83
0.1	-8.02	-8.24	-8.56	-8.98	-9.51	-10.17	-11.02	-12.30
0	-11.90	-12.01	-12.16	-12.35	-12.57	-12.82	-13.09	-13.38

При срыве на снежном склоне прочность станции может быть очень мала, поэтому необходимо сильно протравливать веревку страхующим. Из этой таблицы видно, что для угла склона в 50 градусов протравливание веревки на станции из двух ледорубов должно составить не менее 10% всей длины веревки. Отрицательные значения усилий означают, что протравливание веревки избыточно.

Усилия, действующие при натяжении переправы

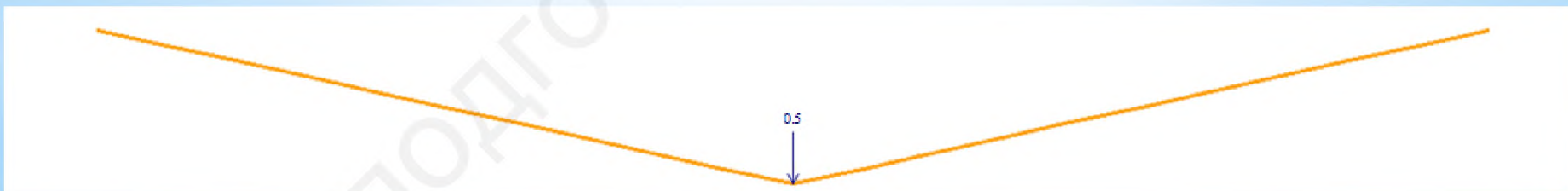
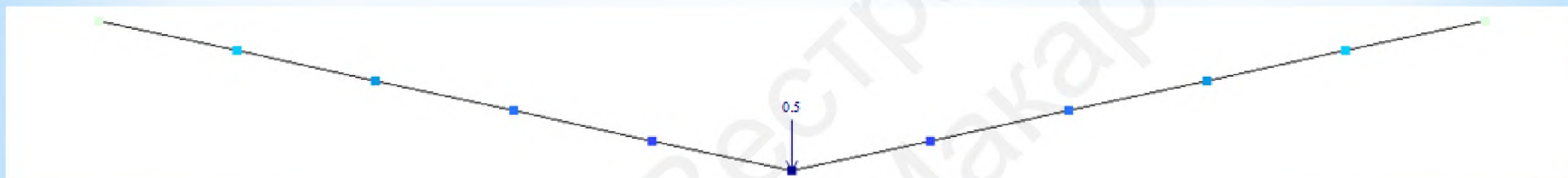
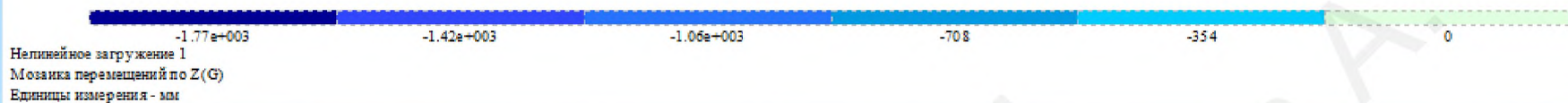
В целях оценки усилий, действующих при натяжении переправ, посчитана геометрически нелинейная задача, определены условные усилия и перемещения.

Максимальное удлинение статической веревки принято равным 20%. Модуль упругости принят постоянным (физически линейная задача) в связи с отсутствием требуемых данных

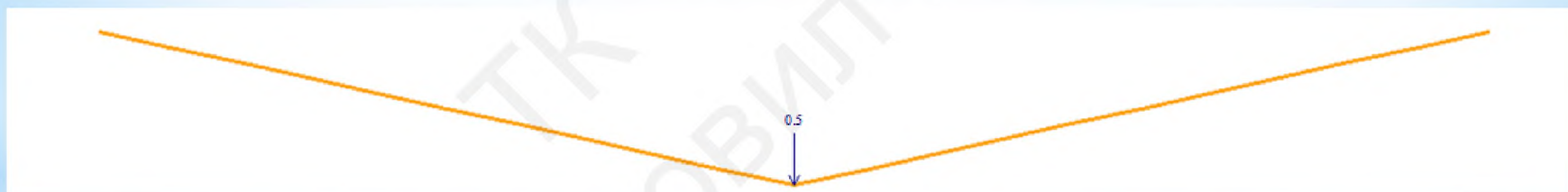
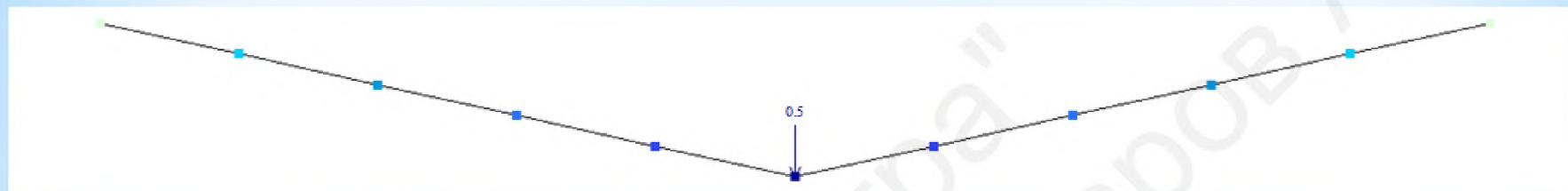
Динамическую задачу посчитать нет возможности, поскольку неизвестна часть требуемых данных. Коэффициент динамичности для статической задачи условно принят равным 6 ($80\text{кг} \cdot 6 \approx 0,5\text{т}$).

Ниже приведены ориентировочные перемещения и усилия для переправы с минимальным натяжением, с натяжением с фактором тяги 12 (максимально допустимым), с натяжением с фактором тяги 18 (недопустимым). Фактором тяги называется произведение количества тянущих на кратность полиспаста.

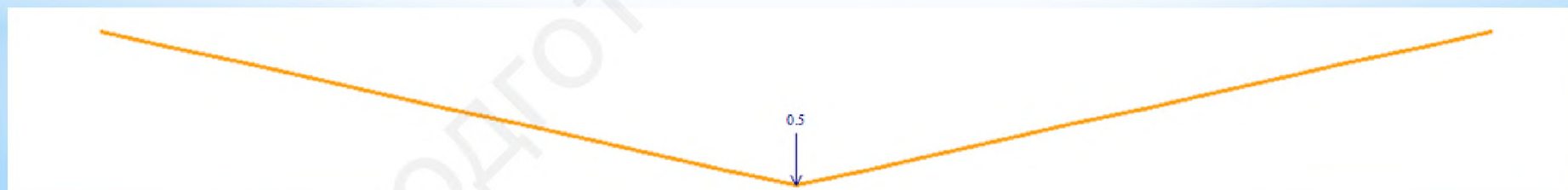
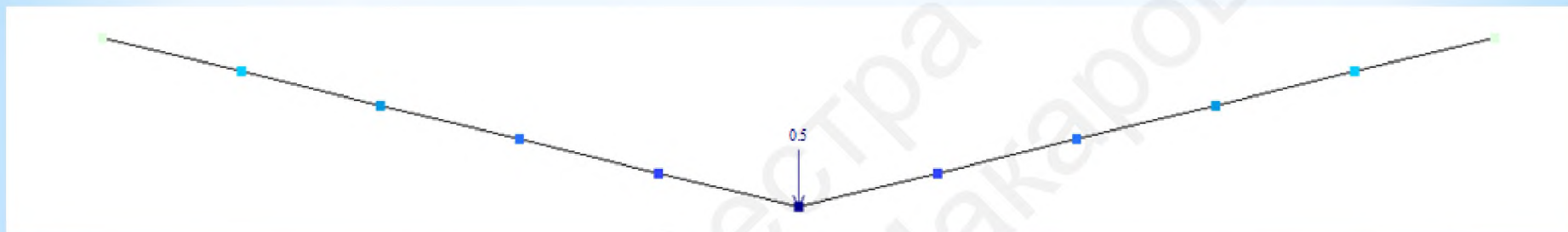
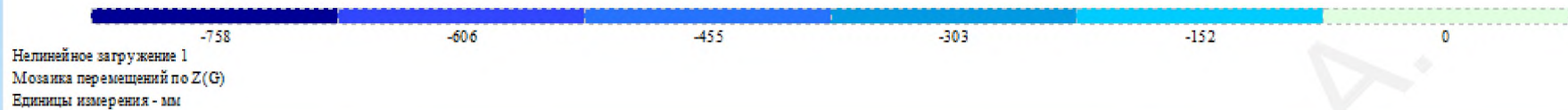
Практически не натянутая переправа L=10м



Натянутая с фактором тяги 12 (предельно допустимым) переправа L=10м



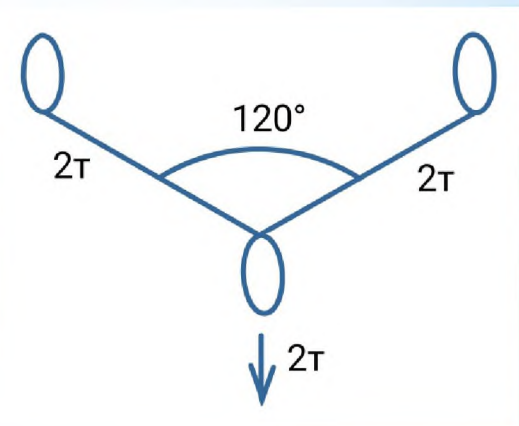
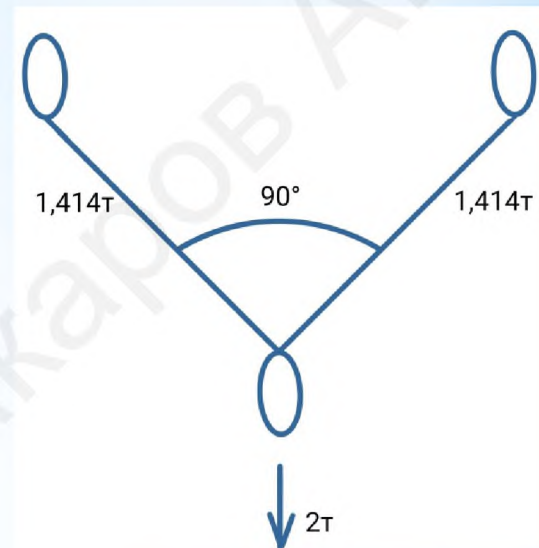
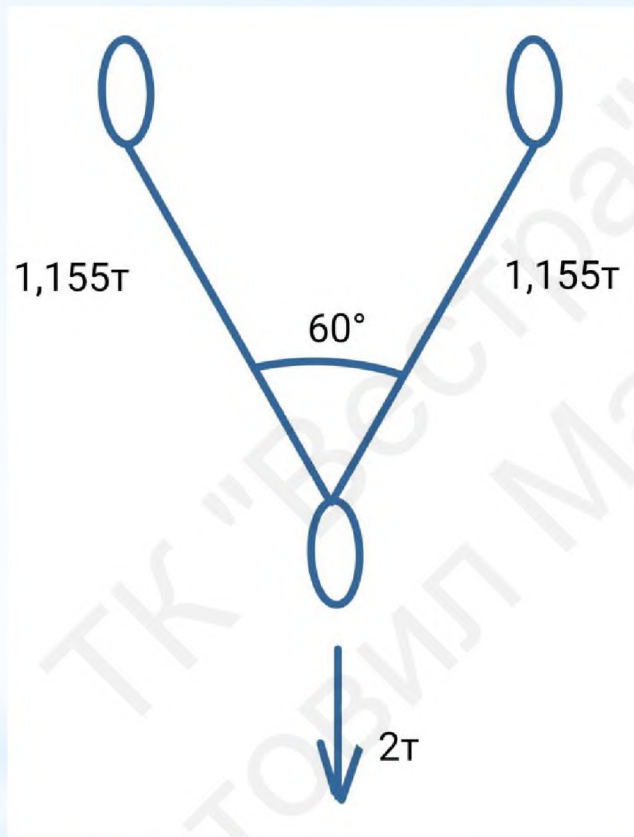
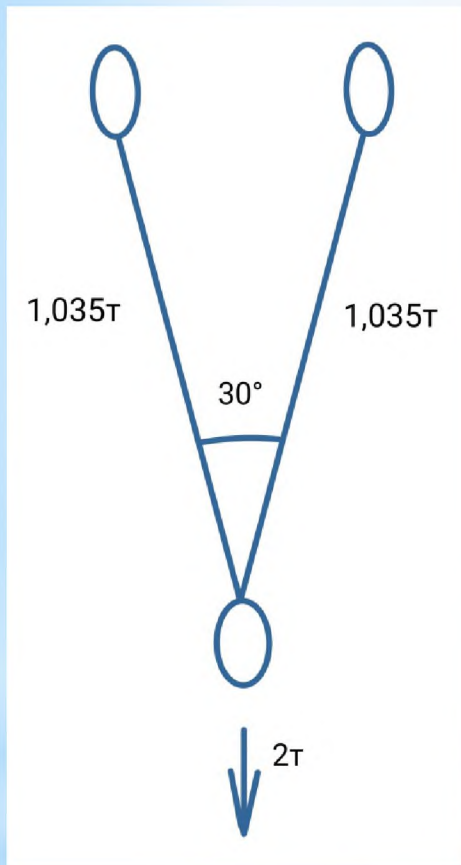
Перетянутая с фактором тяги 18 (недопустимым) переправа L=10м



Выводы

- 1) В случаях, когда провис переправы не ограничен, нет необходимости сильно натягивать переправу. Тогда усилия в переправе будут не велики, можно использовать одну веревку. Также одну, не слишком натянутую веревку, следует использовать при слабых опорах.
- 2) В случаях, когда требуется минимальный провис переправы, лучше использовать две веревки, которые натягиваются равномерно. Это позволяет уменьшить провис и не приводит к очень большим нагрузкам на опоры переправы.
- 3) Чрезмерное перетягивание веревки (с фактором тяги больше 12) может привести к обрыву переправы и приводит к очень большим нагрузкам на опоры переправы.

Распределение усилий в ветвях станций



Распределение усилий в ветвях станций

Выводы

- 1) В случаях, когда ветви станции отклоняются от линии нагрузки не более, чем на 15 градусов (угол между ветвями станции не более 30 градусов), усилия в ветвях практически не увеличиваются
- 2) В случаях, когда ветви станции отклоняются от линии нагрузки более, чем на 60 градусов (угол между ветвями станции более 120 градусов), усилия в ветвях увеличиваются более чем вдвое, объединение точек в станцию теряет смысл
- 3) Точки в составе станции необходимо выполнять так, чтобы точка выдерживала усилие, которое может воздействовать на неё с учетом данного эффекта