

Узлы в туристической практике

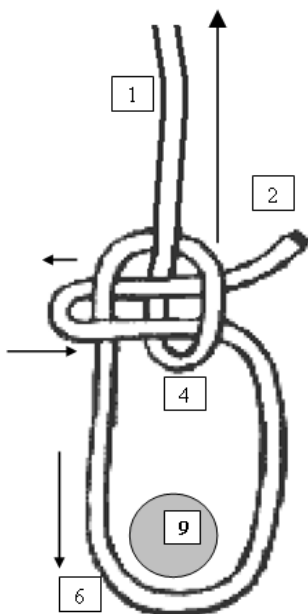
С. Романов

Введение

Практически ни один горный поход, восхождение или спуск в пещеру не обходится без использования верёвки. Поэтому каждый турист должен хорошо знать и уметь завязывать различные узлы, принятые в туристической практике. В трудах различных авторов описывается до нескольких тысяч различных узлов. Однако это великое множество узлов не может быть использовано в туризме (альпинизме, спелеологии). Основными критериями отбора узлов являются следующие:

- Узел должен «держаться» на современных синтетических верёвках. (Не развязываться и не проскальзывать под переменной нагрузкой или в рывке).
- Узел должен легко развязываться после использования.
- Узел должен быть хорошо запоминаем, узнаваем, быстро и легко вязаться.
- Узел не должен сильно уменьшать прочность верёвки.

В результате в списке остаются 25-30 полезных узлов, из которых только 5-8 используются в постоянной практике.



Основные термины

В книге «Морские узлы»[1] используются термины:

1. **коренной конец** – конец троса, закрепленный неподвижно или не используемый при вязке узла; противоположен ходовому концу;
2. **ходовой конец** – незакрепленный свободный конец троса, которым начинают движение при вязке узла;
3. **петля (открытая)** – ходовой (или коренной) конец троса, изогнутый вдвое таким образом, что не перекрещивается с самим собой;
4. **кольшка (закрытая петля)** – петля, сделанная ходовым или коренным концом троса так, что трос перекрещивается сам с собой;
5. **полуузел** – одинарный перехлест двух разных концов одного и того же троса или двух концов разных тросов. Это первая половина прямого или бабьего узла;
6. **обнос** – обхват тросом какого-либо предмета (бревна, столба, другого троса, кольца, рыма, скобы, гака и пр.), сделанный таким образом, что оба конца троса не перекрещиваются;
7. **шлаг** – полный оборот (на 360 градусов) каната вокруг какого-либо предмета (бревна, столба, другого троса, кольца, рыма, скобы, гака и пр.), сделанный так, что после этого конец троса направлен в противоположную сторону;
8. **полуштык** – обнос тросом какого-либо предмета (бревна, столба, другого троса, кольца, рыма, скобы, гака и пр.) с последующим перекрещиванием тросом своего конца под прямым углом, без его пропускания в образовавшуюся закрытую петлю (не путать с названием узла “простой полуштык”).
9. Предмет, вокруг которого производится вязка узла.

Рис. 1 Схема элементов и нагрузок узла.

Почему узел не развязывается

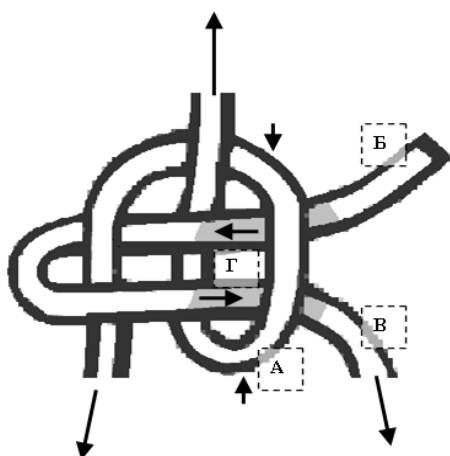


Рис. 2 Сжатие участков верёвки, находящихся в проти-водвижении шлагом.

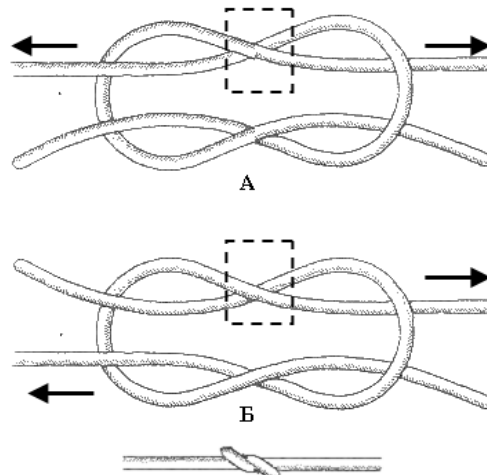


Рис. 3 А - Прямой узел, Б – воровской, В – вид затянутого узла сбоку.

На Рис. 1 показана схема казачьего узла. Стрелками показаны силы, действующие на различные части узла, причём длина стрелок пропорциональна величине действующих сил. За счёт сил трения натяжение верёвки постепенно ослабевает, становясь равным нулю на свободной части ходового конца.

Т.к. сила трения между двумя поверхностями $F_{тр} = \mu N$, где μ – коэффициент трения, N – сила сдвливания поверхностей друг с

другом. Таким образом, узел должен сжимать два конца верёвки, находящихся в противодвижении.

На Рис. 2 показано, как находящиеся в противодвижении части концы **Б** и **В** стягиваются петлёй **А**, создавая в области **Г** повышенное трение. Возникшее трение является трением покоя – Конец **Б** остаётся неподвижным при затягивании узла.

На Рис. 3 показаны узлы для связывания двух верёвок. Пунктиром выделяются зоны трения. На Рис. 3-В видно, что концы в выделенных зонах прижимаются друг к другу при растягивании коренных концов. В узле Рис. 3-А верёвки находятся в противодвижении – узел держит, хотя и проскальзывает. В узле Рис. 3-Б в выделенной зоне оказываются концы, движущиеся в одном и том же направлении – верёвки легко скользят и узел не держит.

Современные верёвки изготавливаются из синтетических материалов. По сравнению со старыми верёвками из растительных волокон, они имеют меньший коэффициент трения и более растяжимы. Поэтому многие узлы, державшие на старых верёвках, на современных верёвках скользят или распускаются.

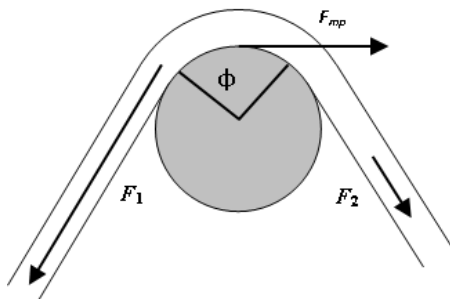


Рис. 4 Изменение натяжения в верёвке, охватывающей предмет

Другим способом увеличения силы трения является обнос верёвки вокруг какого-либо предмета. Сила трения в этом случае зависит от угла охвата предмета φ : $F_{тр} = F_1(1 - e^{-\mu\varphi})$, $e=2.7$, φ – в радианах. В Таб. 1 показано ослабление натяжения верёвки в зависимости от числа оборотов вокруг предмета и коэффициента трения.

Таб. 1 Ослабление натяжения в зависимости от коэффициента трения μ и числа шлагов

μ	Количество шлагов					
	0.5	1	1.5	2	2.5	3
0.10	1.4	1.9	2.6	3.5	4.8	6.6
0.15	1.6	2.6	4.1	6.6	10.6	16.9
0.20	1.9	3.5	6.6	12.3	23.1	43.4
0.25	2.2	4.8	10.6	23.1	50.8	111.3
0.30	2.6	6.6	16.9	43.4	111.3	285.7
0.35	3.0	9.0	27.1	81.3	244.2	733.1

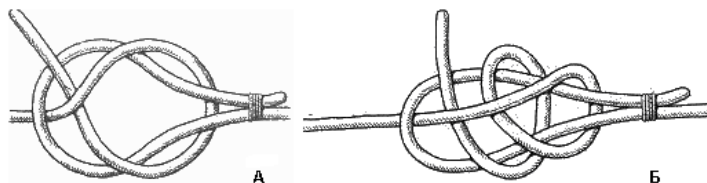


Рис. 5 А - шкотовый, Б – брам-шкотовый узлы

В ряде узлов трение усиливается дополнительным сдавливанием витков верёвки. При использовании этого метода натяжение ходового конца значительно ослабляется и его фиксация становится более эффективной (Рис. 5).

Как узел ослабляет верёвку

Альпинистская верёвка представляет собой заключённый в оплётку пучок жгутов, свитых из бесконечных синтетических волокон (Рис. 6). В статических верёвках, используемых для организации перил, применяется предварительное натяжение волокон для уменьшения степени удлинения под нагрузкой. Усилие разрыва статической верёвки должно быть не менее 18 кН – 22 кН (для 9 мм и 10 мм верёвок соответственно). Эти параметры измеряются на прямой (не имеющей изгибов и узлов) верёвке.



Рис. 6 Альпинистская верёвка

До определённого предела волокна в верёвке могут растягиваться, не теряя своих свойств. После снятия нагрузки происходит восстановление исходной формы и размеров. Такая деформация называется упругой.

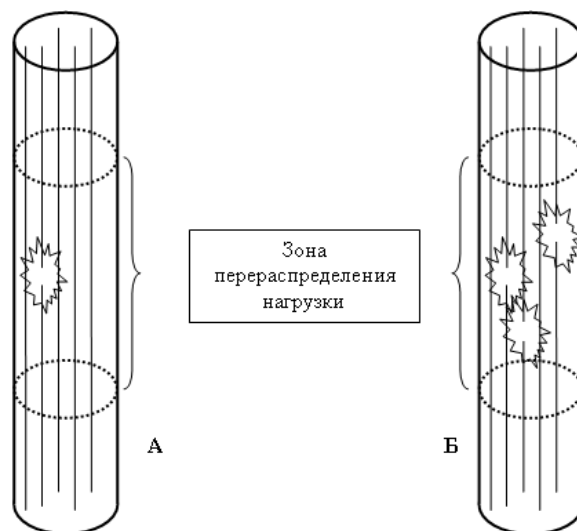


Рис. 7 Разрыв волокон верёвки при увеличении нагрузки

При дальнейшем повышении нагрузки волокна теряют свои упругие свойства – это зона пластической деформации. После снятия такой нагрузки волокна остаются деформированными и первоначальную форму не восстанавливают.

Если продолжать увеличивать нагрузку на верёвку, то вблизи предела прочности начинают происходить разрывы наиболее слабых волокон. В случае свободной верёвки эти разрывы происходят в местах, случайно расположенных по всей её длине. При этом более прочные волокна, окружающие место разрыва, принимают на себя долю нагрузки разорвавшегося волокна (Рис. 7-А). Учитывая, что в поперечном сечении верёвки находится несколько десятков тысяч волокон микронного диаметра, прочностные характеристики верёвки не нарушаются.

За счёт сил трения, не дающих волокну проскальзывать внутри верёвки, разорванное волокно на некотором расстоянии от места разрыва способно удерживать нагрузку также как и неповреждённое. При превышении предела количество разрывов возрастает, и среднее расстояние между ними уменьшается. В результате возрастает количество разорванных волокон, находящихся в некомпенсируемой трением области (Рис. 7-Б). При дальнейшем увеличении нагрузки наступает ситуация, волокна не могут принять на себя перераспределение нагрузки после очередного микроразрыва. Происходит лавинное нарастание перегрузки на уцелевшие волокна и верёвка рвётся.

Сдавливание. При сдавливании верёвки происходит деформация волокон. Упругая деформация (волокна восстанавливают свою форму после снятия нагрузки) при больших нагрузках переходит в пластическую (волокно не может восстановить исходную форму). В зонах пластической деформации происходит концентрация напряжений. Поэтому, именно в этих местах будут происходить разрывы волокон. Как видно на фотографии (Рис. 6) внутренняя часть верёвки достаточно неоднородна. А это значит, что при сдавливании отдельные волокна будут испытывать поперечные нагрузки в десятки и сотни раз большие общей нагрузки на верёвку (Рис. 8).



Рис. 8 Деформация волокон при сдавливании

Изгиб. Если верёвка огибает какой-нибудь предмет, то в месте изгиба возникают дополнительные напряжения. Растяжение волокон, внешних по отношению к изгибу, возрастает, а внутренние слои испытывают поперечное сдавливание давлением со стороны предмета и внешних слоёв (Рис. 9). В результате, во внешних слоях возрастает число микроразрывов и образуется область концентрации напряжений, в которой при больших нагрузках прочностные характеристики верёвки будут ухудшаться. Фактически, для каждого типа верёвок существует предельный радиус петли, начиная с которого прочностные характеристики верёвки резко ухудшаются. У верёвок с плотной оплёткой этот радиус больше, чем у верёвок с рыхлой оплёткой.

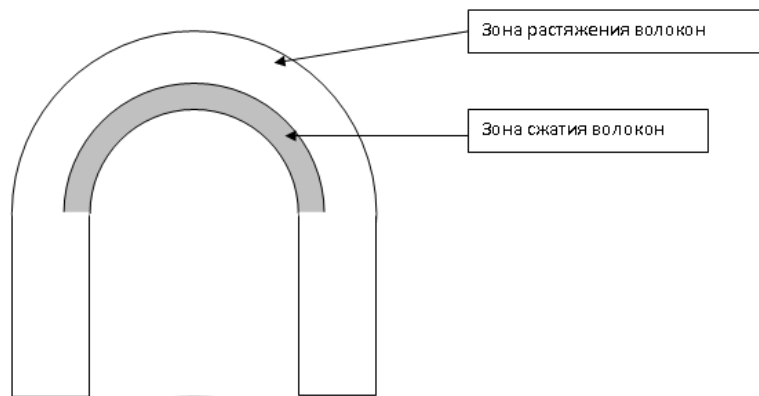


Рис. 9 Деформация волокон верёвки при охвате предмета.

Опасность локального сдавливания ещё и в том, что большое количество дефектов образуется на достаточно малом участке. В этом случае микроразрывы не будут компенсироваться трением между волокнами, и верёвка порвётся при меньшем усилии.

Проскальзывание. При проскальзывании верёвки через узел выделяется энергия Q , вызывающая нагрев трущихся частей узла. $Q = \mu Fs$, где μ – коэффициент трения, F – сила сдавливания, s – длина проскальзывания. Выделившееся тепло постепенно рассеивается. Если верёвка проскальзывает быстро и под большой нагрузкой (например, рывок при срыве альпиниста), то тепло не успевает рассеяться, и происходит локальный перегрев оплётки, приводящий к разрыву оболочки. При медленном проскальзывании процессы теплообмена отводят часть тепла от трущихся слоёв и эффект может не наблюдаться. Поэтому статические испытания прочности узлов могут давать неверный результат. В частности проскальзывание схватывающего узла на 5-15 см при рывке с фактором 0.5 вызывает оплавление узла. При проскальзывании сжатой узлом верёвки возможно смещение корда относительно оплётки, а также изменение степени скрученности волокон корда (Рис. 10).

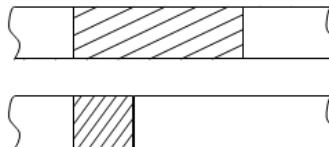


Рис. 10 Изменение скручивания верёвки при уменьшении длины скрученного участка

Скручивание. Обычно скручивание верёвок мало. Однако при затягивании узла скручивание верёвки может возрасти т.к. поворот начала скрученного участка относительно конца практически не меняется, а длина участка уменьшается (Рис. 10). Скручивание может приводить как к увеличению напряжений внутри верёвки, так и к изменению её жёсткости.

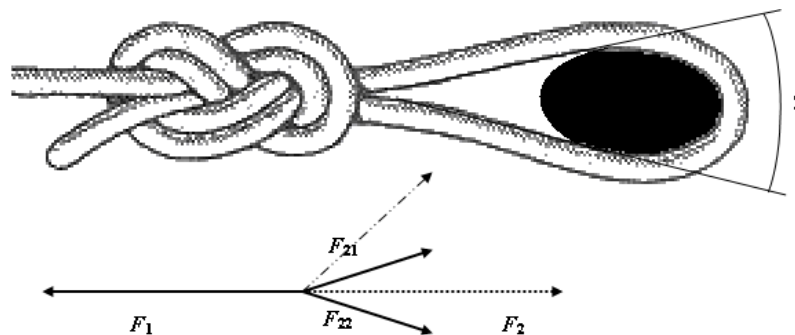


Рис. 11 Охват петлёй предмета и силы действующие на узел

К факторам, повышающим нагрузку на верёвку, следует также отнести степень отклонения выходящих из узла концов петли от линии действия силы (Рис. 12). При охвате петлёй предмета, концы петли расходятся на угол γ , тем больший, чем меньше расстояние от узла до предмета. F_2 , приложенная к объекту, является суммой проекций сил натяжения концов петли F_{21} и F_{22} . При увеличении γ значения F_{21} и F_{22} растут (штрих пунктирная линия). Их величины описываются формулой $F_{21} = F_{22} = F_1 / (2 \cos(\gamma/2))$.

Таб. 2 Зависимость натяжения концов петли от угла γ

γ	F_{21}/F_1	γ	F_{21}/F_1	γ	F_{21}/F_1	γ	F_{21}/F_1	γ	F_{21}/F_1
0	0.50	120	1.00	60	0.58	140	1.46	160	2.88
15	0.50	125	1.08	75	0.63	145	1.66	165	3.83
30	0.52	130	1.18	90	0.71	150	1.93	170	5.74
45	0.54	135	1.31	105	0.82	155	2.31	175	11.46

И последнее. Намокание, обледенение и загрязнение верёвки приводят к изменению её физических характеристик. Не импрегнированные полиамидные верёвки поглощают до 7% влаги. При этом у новых верёвок может существенно измениться связь между сердцевинной и оплёткой. В общем случае прочность верёвки снижается. Новая полиамидная верёвка после первой сушки «садится» на 10%. Из доступных мне данных неясно, влияет ли намокание верёвки на прочность узла. Все приводимые таблицы

показывают однозначное снижение прочности. Однако не ясно, связано ли оно с общим ухудшением качества самой верёвки, или мокрый узел даёт дополнительное снижение прочности. Анализ данных по булиню, приведённых в книге «Спелеология под землёй»[1], показывает, что относительная прочность узла не меняется, а ослабевает сама верёвка.

Верёвки из полимерных волокон подвержены старению, особенно под действием ультрафиолетового излучения и различных химических агентов. Например, нельзя использовать стиральный порошок при мытье верёвки. При этом сильно меняются их физико-химические свойства (в результате распада полимерных цепочек волокна падает прочность волокон, появляются микротрещины и разрывы). Поэтому ослабление такой верёвки узлами может вдвое превосходить ослабление новой верёвки.

Таким образом, при большой нагрузке:

- Чем меньше узлов – тем лучше.
- Калышка или обнос малого диаметра снижает прочность узла.
- Уменьшение сдавливания коренного конца увеличивает прочность узла
- Сдавливание ходового конца снижает скользкость узла (узел меньше ползёт под нагрузкой)
- Сдавливание ходового конца не снижает прочности узла, но снижает прочность верёвки (при последующем использовании в этом месте верёвка может быть прослаблена).
- Узлы, в которых происходит проскальзывание веревки, могут перегреваться при рывке.
- Верёвки с жёсткой оплёткой труднее завязывать, а узлы получаются менее прочными.
- Скручивание верёвки при затягивании узла понижает прочность и затрудняет развязывание.
- Короткая петля вокруг большого предмета ослабляет узел.
- Нельзя сушить новую верёвку с затянутыми узлами.

Таб. 3 Прочность верёвки с узлом в процентах от прочности свободной верёвки

№	вид узла	Прочность верёвки с узлом 1, %		
		[3]	[4]	[5]
Узлы для связывания веревки и петли				
1	Двойной ткацкий (грейпвайн)	75-95	56	
2	Встречная восьмерка		47	65
3	Встречный проводник		41	
Узлы для привязывания к опоре				
1	Девятка 2	Правильно	70-85	70
		Ошибочно	60-75	
2	Восьмерка 2	Правильно	65-75	55
		Ошибочно	55-65	
3	Двойной булинь	65-70	53	
4	Одинарный булинь 3		52	70
5	Австрийский проводник	60-70	51	
6	Проводник 4		50	66

Примечание:

- Данные разных авторов сильно различаются между собой (по всей вероятности использовались разные методики).
- При ошибочной вязке коренной конец входит в узел по меньшему радиусу (см. описание узла)
- У разных авторов указывается, что собственно булинь ослабляет верёвку на 15% – 20%. Испытания были независимыми, проводились на разных типах верёвки с разной степенью загрязнения и старения. С другой стороны, если включать снижение прочности самой верёвки, например при замораживании – выходим на эти цифры. В общем-то это правильно.
- В современной практике этот узел считается недостаточно надёжным.

Таб. 4 Сопоставление прочности узлов на сухой и мокрой верёвках.

Вид узла	Состояние веревки	Прочность
Проводник	Сухая	50 %
	Мокрая	43 %
Восьмерка	сухая	55 %
	мокрая	52 %
Девятка	Сухая	74 %
	мокрая	67 %

Примечание:

- взято из [4].
- вероятно, прочности верёвок всё-таки занижены.
- по данным статических испытаний [2,6] прочность узла на мокрой верёвке возрастает на 1%, а на заледенелой верёвке уменьшается на 2%. Поэтому прочность верёвки с завязанным узлом уменьшается, в основном, за счёт изменения прочности самой верёвки. По динамическим рывкам данных нет.

Вязка узлов

- Вязка узлов – весьма ответственный процесс. От того, как вы или ваш напарник завяжете узел, могут зависеть жизни всех членов команды. Список узлов, даваемых в этом пособии достаточно мал. В книге Л.Скрягина «Морские узлы» описываются около 140 узлов. В этой же книге есть ссылки на работы, содержащие несколько тысяч узлов. Однако такое множество узлов в походе ни к чему. Основные критерии отбора узлов для туризма были сформулированы во введении. Повторим их ещё раз:

- Узел не должен сильно уменьшать прочность верёвки
- Узел должен «держаться» на современных синтетических верёвках. (Не развязываться и не проскальзывать под нагрузкой).
- Узел должен легко развязываться после использования
- Узел должен быть хорошо запоминаем, быстро и легко вязаться.
-
- Горные восхождения, передвижение по пещерам – это сложная работа, требующая огромного физического и эмоционального напряжения, предельной концентрации внимания. В этих условиях многократно возрастает вероятность ошибок в самых элементарных действиях. Поэтому процедура завязывания узлов должен быть доведен до полного автоматизма. Рисунок должен быть настолько запоминаем, что человек, уже плохо представляющий, сколько часов он тащит транспортный мешок по бесконечным перилам, мог бы сразу заметить, что с узлом что-то не так.
- С другой стороны существует стандартный набор узлов, известный всем туристам. В литературе подробно описаны их свойства и особенности. Проведены тесты прочности. И вряд ли кто-нибудь из них пойдёт по верёвке, закреплённой неизвестно каким узлом. Пусть даже он лучше всех остальных.

Все данные приводятся для узлов, завязанных 10.4 мм верёвке без учёта длины петель и ходового конца. Везде, где верёвки должны идти параллельно, они должны идти именно параллельно, т.к. перекрещивание верёвок вызывает дополнительные напряжения, что снижает прочность узла и затрудняет его развязывание.

Узлы, отмеченные звёздочкой (*) – обязательные для изучения.

•

Контрольные (стоповые) узлы

Контрольные узлы используются для исключения возможности втягивания ходового конца (хвоста верёвки) в основной узел. Контрольные узлы завязываются ходовым концом вокруг коренного конца основного узла таким образом, что коренной конец контрольного узла оказывается параллельным коренному концу основного узла.

Стоповые узлы предназначены для утолщения верёвки. Они используются для предотвращения проскальзывания верёвки в отверстие или щель.

Эти узлы могут являться элементами более сложных узлов.

Контрольный, простой, стоповый *

Самый простой из известных узлов. При завязывании ходовой конец верёвки один раз обносят вокруг её коренного конца и пропускают в образовавшуюся калышку (Рис. 12).



Рис. 12 Простой стоповый узел

Стоповый узел

Контрольный узел (Рис. 13) аналогичен стоповому, но завязывается так, что внутри петли оказывается коренной конец основного узла. При этом концы контрольного узла должны быть параллельны коренному концу основного узла.

Это самый маленький из узлов. Внутри узла верёвка сильно изгибается. Будучи слабо затянут, может распускаться на упругой верёвке. Сильно затянутый узел трудно развязать. (По идее основной узел не должен проскальзывать. Если верёвка испытала такой рывок, что сильно затянулся контрольный, то основной узел лучше просто отрезать). Лучше не использовать.

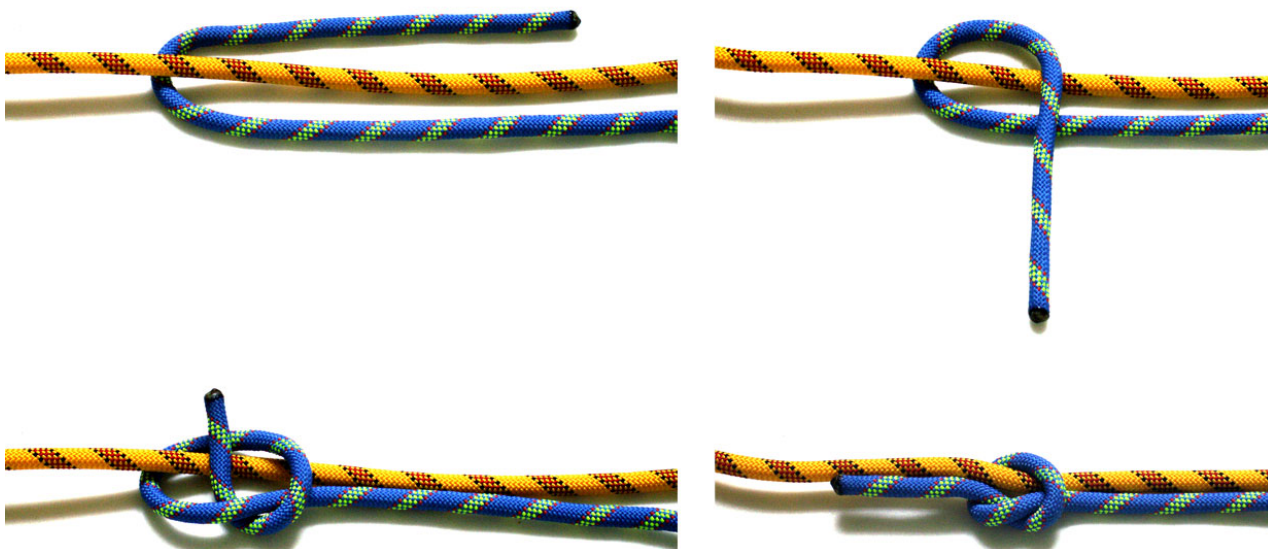


Рис. 13 Последовательность вязки контрольного узла

Стоповый восьмёркой

Если при вязке простого узла перед тем, как пропускать ходовой конец в петлю выполнить полушлаг, то получится восьмёрка (Рис. 14). Она прочнее и легче отдаётся (развязывается). Использовать его в качестве контрольного не о стоит потому, что ходовой конец направлен перпендикулярно верёвке (может застревать, сбрасывать камни или просто мешаться).

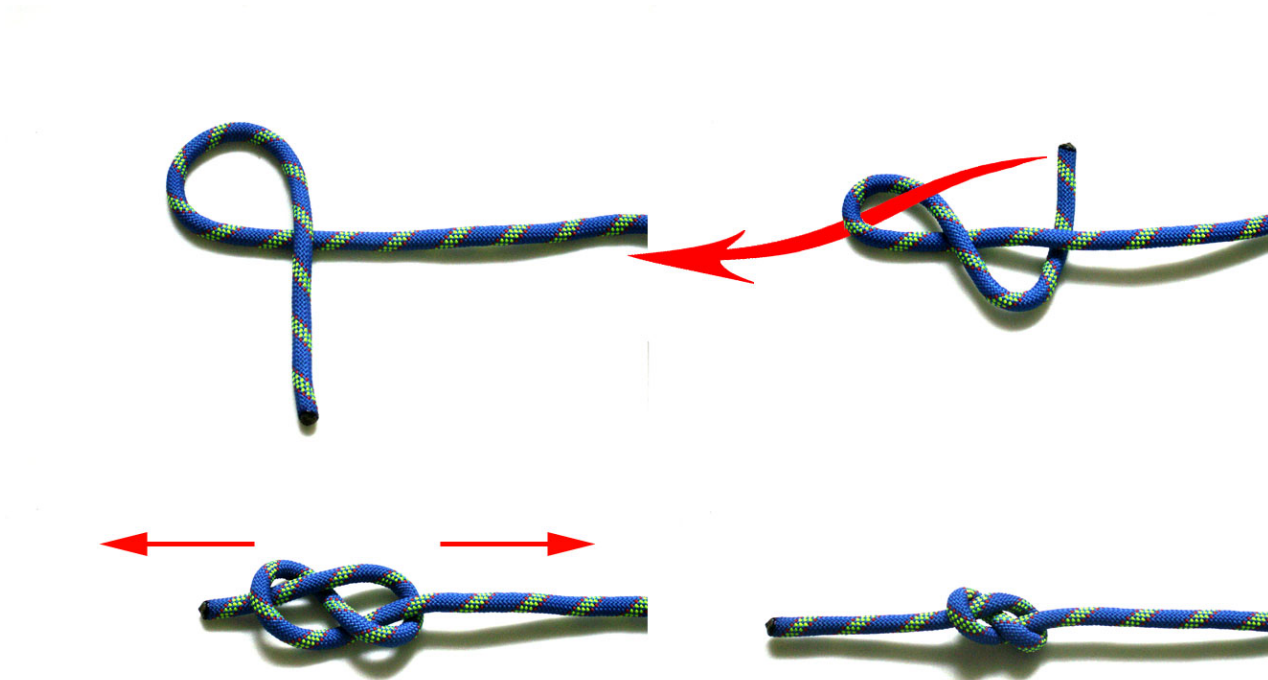


Рис. 14 Последовательность вязки стоповой восьмёрки

Двойной контрольный (полугрейпвайн, полурыбацкий) *

Двойной контрольный (Рис. 15) отличается от простого дополнительным шлагом внутри петли. Концы узла, также как и у простого, параллельны коренному концу основного узла. Практически не нагружает верёвку. При вязке хорошо затягивается и не развязывается. Это обусловлено тем, что средняя часть узла охватывает входной и выходной полушлага и прижимает их к верёвке. Следует применять на упругих верёвках, и в случаях, когда узел часто бьётся по рельефу. Трудно развязывается.

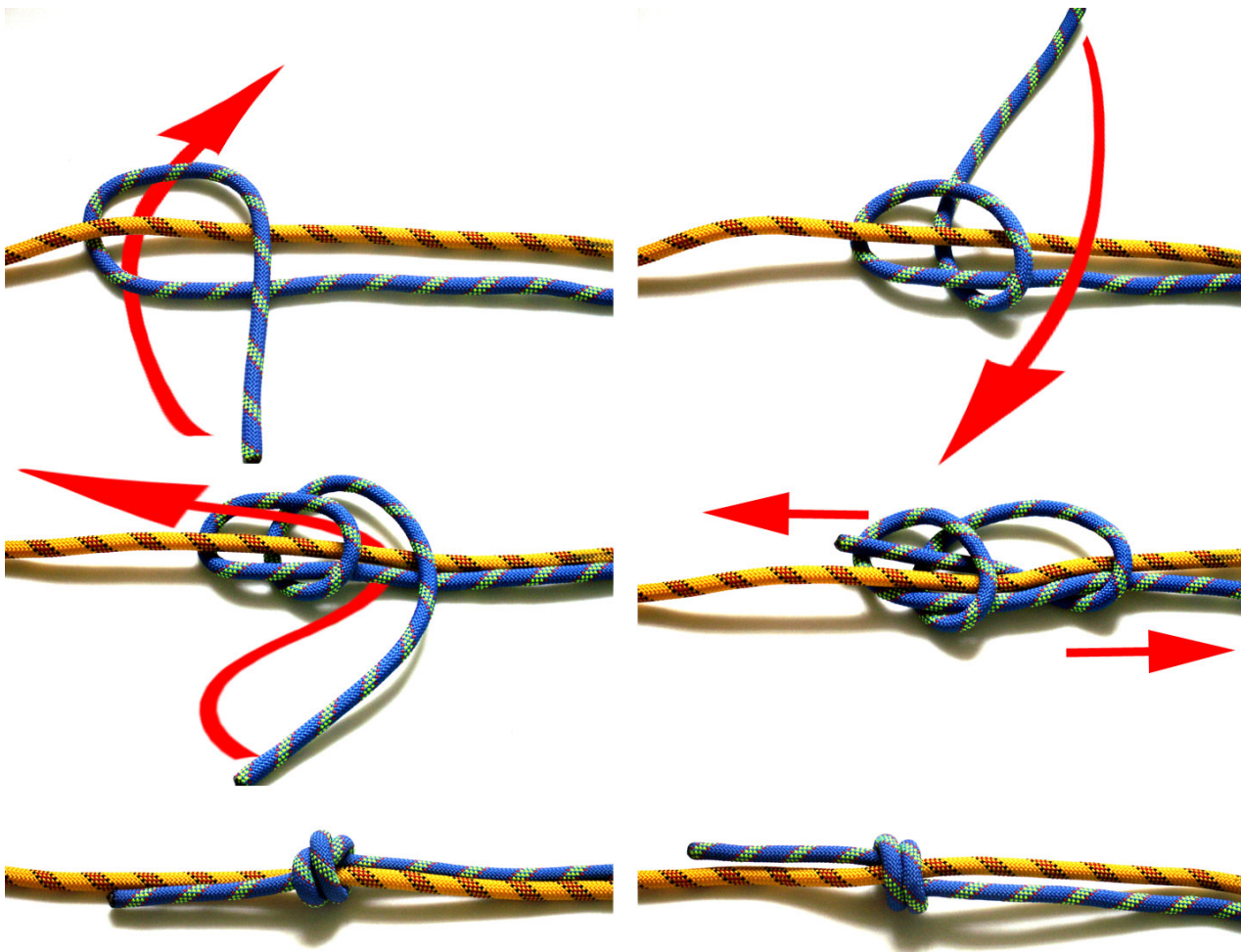


Рис. 15 Последовательность вязки двойного контрольного

Узлы для привязывания верёвки к карабину (проводники)

В эту группу входят незатягивающиеся узлы, оканчивающиеся петлёй. Эти узлы предназначены для прикрепления основной верёвки к страховочной системе и для организации перил. То есть там, где предъявляются повышенные требования к безопасности и возможны предельные нагрузки на верёвку. В этой группе всего четыре узла. Остальные узлы для привязывания верёвки будут рассмотрены в других группах. Ранее в эту группу входил и узел проводника – контрольный (простой) выполненный сложенной вдвое верёвкой. Однако он сильно ослабляет и деформирует верёвку и ползет под нагрузкой. Прочность верёвки с проводником может быть менее 30% от прочности верёвки. Поэтому теперь узел запрещён к применению.

Проводник восьмёрка (фламандская петля)*

Проводник восьмёркой является достаточно прочным и простым узлом. Он относительно легко завязывается, а после нагрузки не требует очень больших усилий для развязывания. Рисунок узла легко запоминаем и узнаваем. Узел вяжется достаточно просто: сложенный вдвое конец верёвки обносят на полный шлаг вокруг (сдвоенного) коренного конца и пропускают в образовавшуюся петлю. На этом простота вязки заканчивается по той простой причине, что:

Параметр	Значение
Прочность узла	65-75%
Длина верёвки	40 см
Лёгкость развязывания	относительная

- Коренной конец верёвки должен оказаться на внешней стороне петли (пройти по большему радиусу), иначе узел ослабит верёвку ещё на 10% и будет хуже развязываться.
- Концы петли, которой вяжется узел, не должны перекрещиваться (создаст дополнительные напряжения и узел будет труднее развязать).
- Узел необходимо хорошо затянуть, чтобы уменьшить проскальзывание.
- Считается, что восьмёрку можно использовать без контрольного узла. Однако, упругая верёвка и частые удары о рельеф распускают узел. В этих случаях обязательно завязывать двойной контрольный на ходовом конце (рекомендуется конец длиной 50 см).

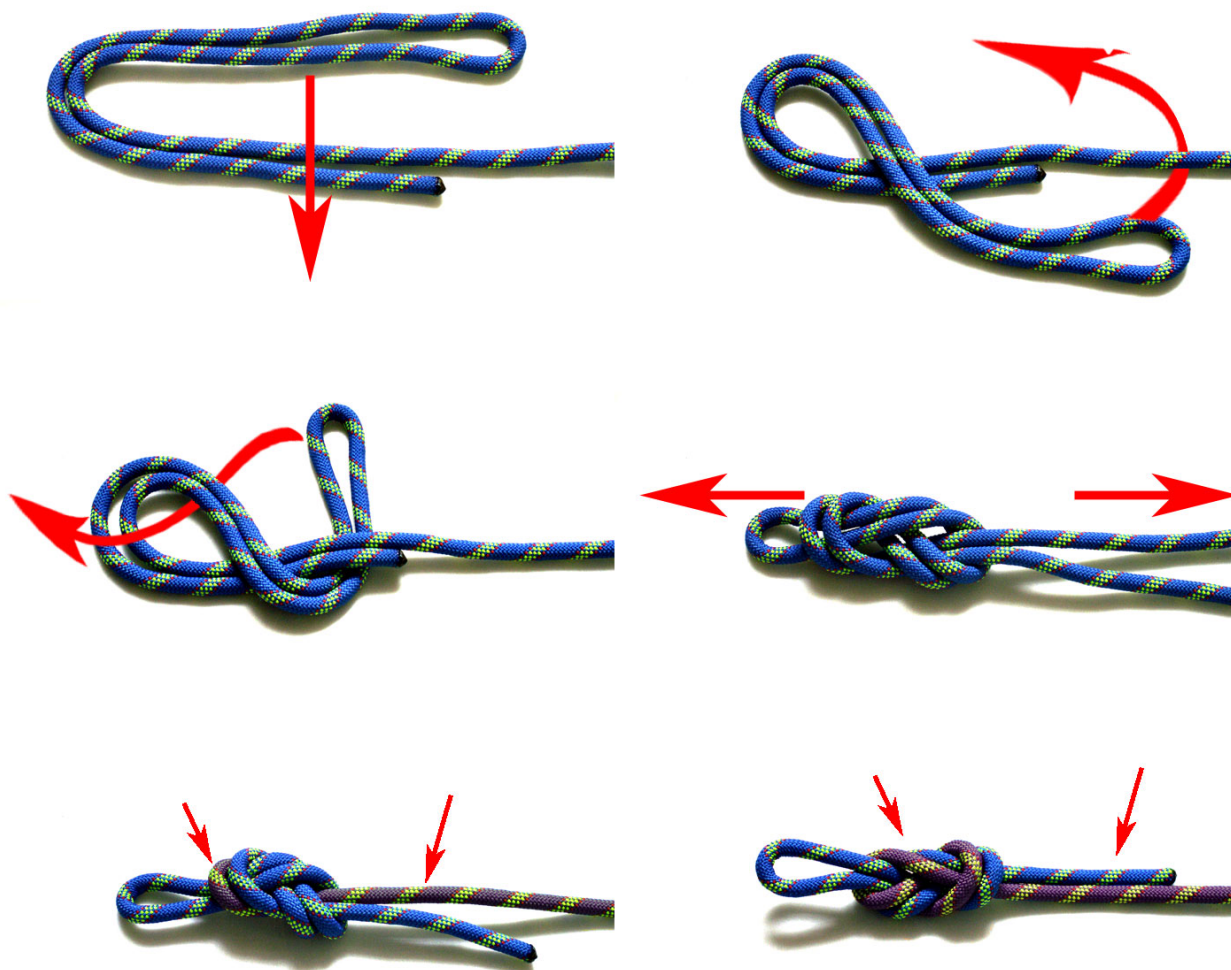


Рис. 16 Проводник восьмёркой

Для вязывания системы в страховочную верёвку применяется вязка одним концом: на расстоянии длины узла + длина петли + свободный конец вяжут стоповый восьмёркой. Узел оставляют незатянутым. Ходовым концом формируют петлю, проходящую через силовой элемент страховочной системы. Далее ходовой конец прикладывают к выходящей из узла части петли и, всё время касаясь коренного конца, вводят его в узел. Ходовой конец нигде не должен перехлёстывать участок, по которому скользит. После того, как ходовой конец будет вытянут из узла, а петля приобретёт надлежащий размер, узел затягивают (и не забывают контрольный).

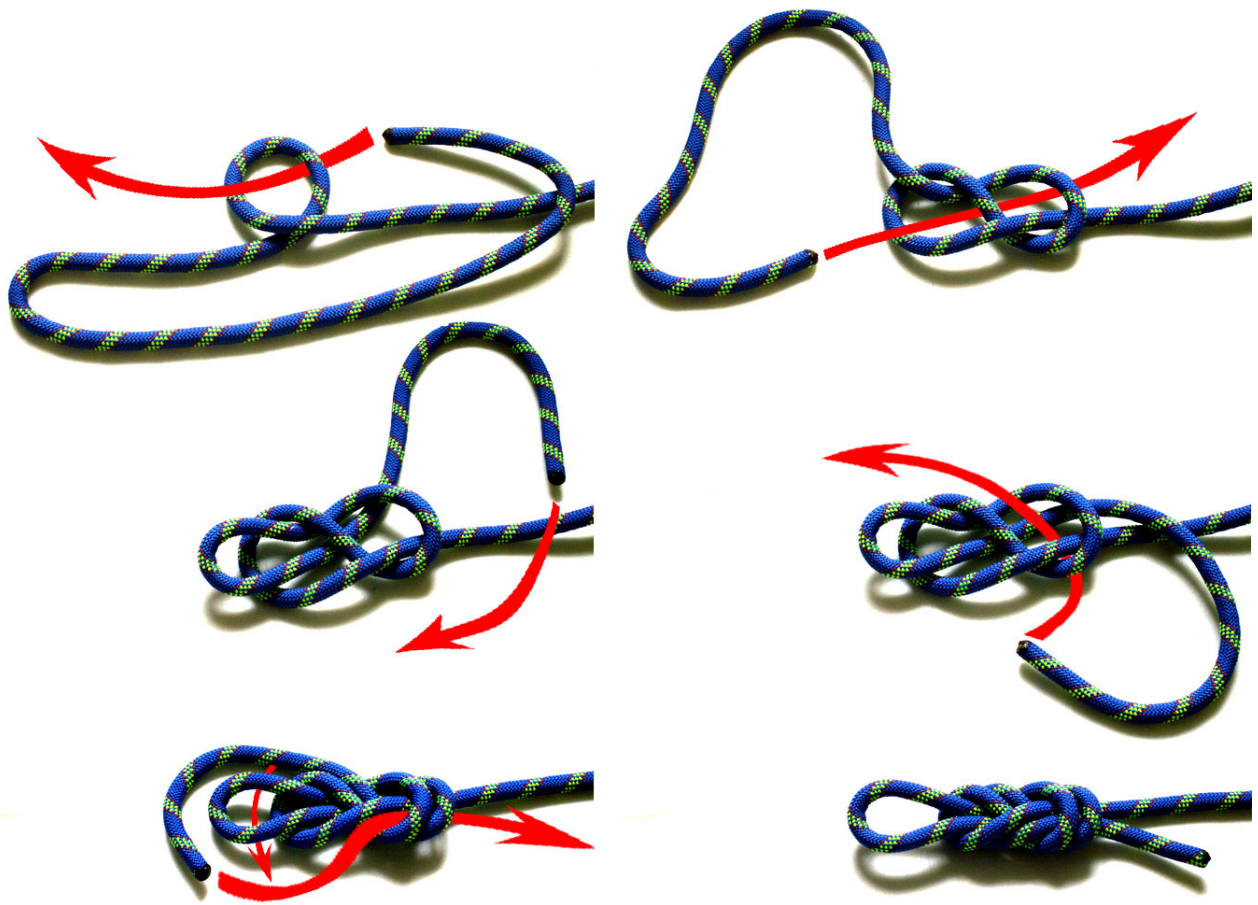


Рис. 17 Проводник восьмёркой одним концом

Узел можно нагружать либо за коренной конец верёвки, либо за оба конца, если они идут параллельно. Если угол между нагруженными коренным и ходовым концами будет больше 90° (например, узел завязан на середине верёвки), то может начаться вращение элементов узла, который может сползти с верёвки или оплавиться. Это же справедливо для растягиваемой петли или петли, охватывающей большой предмет. Из этого, в частности, следует, что восьмёркой нельзя изолировать повреждённый конец верёвки. Для этой цели можно использовать только австрийский проводник.