

Можно предположить, что при достижении скорости движения, равной 50–60 км/ч, значения σ_{x1} у обеих машин будут близки по величине.

Увеличение σ_{x2} центра тяжести тягача наибольшую интенсивность имеет в диапазоне скоростей движения 10–20 км/ч. Дальнейшее увеличение скорости сопровождается уменьшающейся интенсивностью роста σ_{x2} , причем у автомобиля с манипулятором в большей степени.

В диапазоне скоростей 10–30 км/ч среднеквадратичные отклонения вертикальных ускорений заднего моста σ_{x3} для автомобиля с манипулятором выше, чем у машины без него. При скорости 40 км/ч величина σ_{x3} у обоих тягачей отличается уже только на 2,7%. Интенсивность изменения σ_{x3} (в %) характеризуется данными табл. 4.

Приведенные зависимости показывают, что вследствие меньшей интенсивности роста σ_{x3} для МАЗ-509+СГМ по сравнению с МАЗ-509 на больших скоростях возможно приближение обоих значений σ_{x3} к одной величине.

Таким образом, наличие манипулятора на тягаче в рассматриваемых условиях движения не ухудшает вертикальной динамики тягача МАЗ-509. Увеличенные, по сравнению с тягачом без манипулятора, динамические нагрузки на задний мост имеют место при скоростях движения 10–30 км/ч, что можно считать допустимым.

Рациональной скоростью движения тягача МАЗ-509 с манипулятором по лесным дорогам в хорошем состоянии можно рекомендовать $v = 30\text{--}40$ км/ч.

УДК 674.02

С.Х. БУДЫКА, докт. техн. наук, профессор (БТИ),
Г.Е. РАИЦКИЙ, аспирант (БТИ)

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ГИБКИХ СВЯЗЕЙ ПРОДОЛЬНЫХ ЗАПАНЕЙ

Лесосплавными предприятиями в настоящее время эксплуатируется около 30 тыс. т крупногабаритных стальных канатов в качестве запанного такелажа. В будущем гибкие связи запаней будут изготавливаться только из стальных канатов. Это обусловлено тем, что запаный такелаж должен обеспечить стабильность линейных размеров элементов запани при всех соотношениях внешних воздействий потока, бревенного залома и окружающей среды. Запаные канаты должны быть устойчивы к истиранию при контакте движения с металлом, грунтом различного состава, древесиной. Обеспечить выполнение этих требований полимерные канаты не в состоянии, так как они подвержены повышенной истираемости, непостоянству физико-механических характеристик.

В работе выявлены эксплуатационные факторы, приводящие к возникновению колышек, наиболее опасных деформаций гибких связей запаней.

Выносы и шеймы, которые являются гибкими связями продольных запаней, эксплуатируются в специфических условиях. Большинство строительных канатов (например, элементы мостов, башен, канатных дорог и т.п.) нагружаются в течение продолжительных сроков, ограничиваемых физичес-

кой пригодностью самих канатов или всего сооружения в целом. Выносы и шеймы подвергаются производственной эксплуатации на протяжении ограниченного времени, которое обусловлено продолжительностью навигации. В основном на межнавигационный период запани демонтируют, а в начале будущей навигации устанавливают их вновь. Такая технология объясняется тяжелыми нагрузочными условиями при осеннем ходе шуги и при весеннем ледоходе, а также непостоянством русловых отложений, которые могут замывать опущенные на дно во время зимней межени выносы, шеймы и русловые опоры. Кроме того, при эксплуатации стальных канатов, особенно изготовленных из светлой проволоки, возникает периодическая потребность в их очистке и смазке. Эти специфические особенности эксплуатации выносов и шейм определяют многократные их перемещения в распущенном виде и бухтах, роспуск этих бухт различными способами.

Выносы и шеймы подвержены различным деформациям, возникающим в процессе технической эксплуатации: при снятии их с запаней, перемещении, различного вида операциях по уходу и ремонту, забухтовке, хранении, установке на запань, регулировке натяжения, закрепления за русловые, наплавные и береговые опоры. Наиболее характерным и частым дефектом выносов является излом каната, который образуется при контакте покоя с твердым телом, с возникновением напряжения смятия, превышающим предел упругости материала проволоки. Деформации в виде излома, расслоений, сплюсываний сами по себе не считаются опасными, если не сопровождаются оголением и выпучиванием сердечника. Правилами определения годности такелажа по наружным признакам (1, приложение 1) допускается использование таких канатов на ответственных работах. Но обслуживание выносов и шейм, деформированных в виде излома и расслоений, усложняется. Эти деформации провоцируют возникновение на гибких связях продольных запаней наиболее опасных дефектов в виде колышек, образующихся в первую очередь в местах концентрации напряжений. Колышка образуется при затягивании упругой петли с уменьшением ее диаметра до нуля. При этом все перемещения осуществляются относительно плоскости, проходящей через точку нулевых перемещений 0, находящуюся на внутренней пряди петли (рис. 1). В проволоках внутренней пряди возникают растягивающие и скручивающие напряжения, превышающие предел упругости. Участок каната, подвергнутый деформации, принимает форму штопора по причине асимметричного распределения действующих усилий и моментов по сечению каната. Максимальное напряжение растяжения при приложении к колышке разрывных усилий возникает в пластически деформированной пряди с уменьшенным углом наклона. Действующими инструкциями [1,2] для коренных запаней коэффициент запаса прочности принят равным трем. Пренебрегая механизмом взаимодействия прядей и считая, что первоначально растягивающие усилия будут полностью восприниматься прядью с уменьшенным углом наклона, определим ориентировочную величину разрывного усилия для пряди на участке образования колышки:

$$P_n \approx \frac{P_v \cdot k}{n}, \quad (1)$$

где P_n — усилие разрыва пряди; P_B — усилие разрыва выноса; k — коэффициент запаса прочности. Для коренных и промежуточных запаней $k = 3$; n — количество прядей в выносе. На лесосплаве в качестве выносов применяются канаты (ГОСТ 2688—69, ГОСТ 3070—74; ГОСТ 3071—74), имеющие шесть прядей. Тогда

$$P_n \approx \frac{3P_B}{6} = 0,5P_B,$$

т.е. при действии в выносе растягивающего усилия, равного половине разрывного, имеется опасность разрыва в нем одной пряди на участке

деформации в виде колышки. Это соответственно ослабляет вынос, который при приложении к нему экстремальных нагрузок, например во время переформирования лесобревенного залома в период летнего паводка, может разорваться именно на данном участке. Итак, перераспределение усилий по сечению каната делают колышку в сочетании с частотой ее образования наиболее опасным видом деформации гибких связей продольных запаней. При этом необходимо отметить, что колышка является специфичной деформацией именно для выносов и шейм продольных запаней. Строительные канаты различных сухопутных сооружений, например воздушно-канатных систем, не эксплуатируются при наличии на них петель в пролете между опорами из-за невозможности передвижения по ним ходовых кареток, а также потому, что на суше проще проконтролировать и предупредить сам процесс образования петель или развернуть их при появлении. Шеймы и засоренные выносы находятся вне визуального контроля, так как погружены в воду. По этой же причине разворачивание петель на растянутой между опорами гибкой связи без применения специально разработанной технологии и устройств практически не осуществимо и на предприятиях не производится. Совокупность причин приводит к частому образованию колышек на выносах и шеймах. Наличие колышки не допускает эксплуатации каната на ответственном участке, поэтому ежегодно выбывает около 4% выносов, наиболее дефицитного на лесосплавных предприятиях такелажа (в силу крупногабаритности). Колышки вырубаются, а канат переводится в разряд вспомогательного. В то же время причины и условия деформирования стальных канатов в виде колышек изучены в недостаточной мере, что приводит к различной оценке степени их опасности. Причиной образования колышки считается вытягивание случайной петли [3], которое не поддается исправлению в силу наличия остаточных деформаций. В [1, статья 8.5] петля отождествляется с колышкой без учета

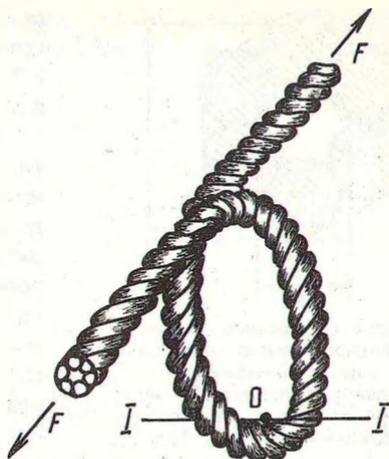


Рис. 1. Петля, образованная стальным канатом и затягиваемая продольным усилием F .

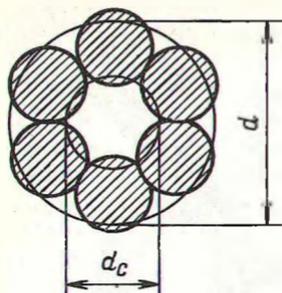


Рис. 2. Поперечное сечение стального каната с площадью кольца, ограниченного приведенным диаметром каната d и приведенным диаметром сердечника d_c .

ее жесткостных свойств, приобретенных в процессе формирования. Здесь же в статье 8.7 [1] рекомендуется кольшочки разворачивать и выправлять.

Рассмотрим количественные зависимости, характеризующие условия и причины возникновения кольшек на гибких связях продольных запаней. Начальным условием предрасположенности к кольшкам гибких связей продольных запаней является отсутствие технологических операций и специальных устройств, предупреждающих скручивание каната, образование узлов, изломов в процессе хранения, ремонта, транспортировки, установки и снятия с запани. Крупногабаритные выносы и шеймы после размотки их с упаковочных барабанов завода-изготовителя весь срок эксплуатации находятся в распущенном виде или бухтах. Из бухт же производится и постановка их на запани путем последовательной сброски в русло петель бухты. При этом во взаимосвязи с направлением свивки канатов и выкладки бухты будет наблюдаться дополнительное подкручивание или раскручивание каната. Раскручивание приводит к изменению структуры каната, перераспределению нагружения отдельных прядей, изменению контактных напряжений между элементами каната и, как следствие, к выпучиванию прядей, оголению сердечника, резкому уменьшению коррозионной устойчивости. Это само по себе является дефектами не менее значительными, чем кольшочки. Подкручивание каната устраняет послесвивочные зоны пластичности, представляющие собой незаполненные материалом каната объемы и разрешающие относительное перемещение отдельных проволок и прядей. В результате канат становится более плотным и приближается по механическим свойствам к однородному стержню. Представим, основываясь на этом допущении, канат в виде трубчатого стержня с наружным диаметром d и внутренним d_c (рис. 2). Определим значение крутящего момента, возникающего в выносе или шейме при сброске в воду петлями и вытяжки в прямой участок

$$M_{кр} = \frac{\pi \mu^2 E_K d^4 \left(1 - \frac{d_c^4}{d^4}\right)}{32 l (1 + \mu)} \quad (2)$$

где μ — количество петель гибкой связи, сброшенных в воду в процессе установки; E_K — модуль упругости каната; d — приведенный диаметр каната, равный диаметру круга с площадью, равной сумме площадей сечения всех проволок в прядях и площади сердечника; d_c — приведенный диаметр сердечника, равный диаметру круга с площадью, равной площади сердечника; l — величина пролета скручиваемого каната между закреплениями; μ —

конструкционный коэффициент каната. Степень деформации при кручении характеризуется относительным углом закручивания, называемого круткой стержня

$$\theta = \frac{\varphi}{l}, \quad (3)$$

где φ — угол закручивания.

Поскольку при сбрасывании одной петли и вытяжке каната в прямой участок угол закручивания составляет 2π , то крутка гибкой связи при сброске n петель составит

$$\theta = \frac{2\pi n}{l}. \quad (4)$$

Рассмотрим фазы деформирования выноса при роспуске бухты петлями. При этом будут увеличиваться крутка каната и соответственно жесткостные свойства, внутренние напряжения, которые во взаимосвязи с действующим в выносе продольным усилием являются основными факторами его деформирования. Соотношения количественных характеристик указанных факторов определяют состояние гибких связей. Они могут находиться в следующих промежуточных состояниях: потеря канатом прямолинейности с образованием спирального витка; увеличение шага спирального витка до вытяжки в прямой канат с увеличением крутки без пластических деформаций; уменьшение шага спирального витка с образованием петли; вытяжка петли в спиральный виток; вытяжка петли в прямой участок с образованием кольшики.

Представим упругие спиральные деформации гибких связей продольных запаней как спиральную пружину растяжения, а упругие деформации в виде петли как частный случай пружины кручения. Для получения уравнений, количественно характеризующих переходные деформационные процессы в гибких связях продольных запаней, используем теорию спиральных пружин [4].

В результате получены уравнения устойчивости спирального витка

$$M_o = \frac{F_o D (C-B) \sin 2a}{4 (B \sin^2 a + C \cos^2 a)}; \quad (5)$$

$$F_o = \frac{4M_o (B \sin^2 a + C \cos^2 a)}{D (C - B) \sin 2a}, \quad (6)$$

где M_o — величина приложенного в плоскости спирального витка момента, достаточная для предотвращения вытяжки витка в прямой участок или сворачивания в петлю; F_o — мгновенное абсолютное значение продольного усилия, действующего в гибкой связи; D — диаметр спирального витка; C — жесткость каната при кручении; B — жесткость каната при изгибе; a — угол подъема оси витка. В условиях монтажа и эксплуатации продольных запаней действительное значение продольного растягивающего усилия F колеблется в широком диапазоне

$$F_b > F_o > F_n.$$

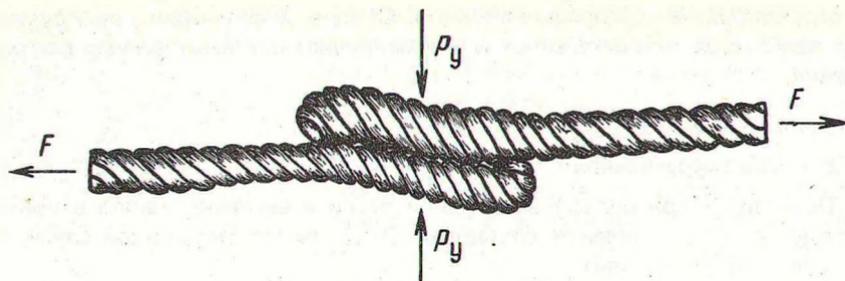


Рис. 3. Схема приложения сил при затягивании упругой петли.



Рис. 4. Кольшка на стальном канате.

В данном неравенстве все значения F_B соответствуют вытяжке спирали в прямой участок. Значения F_n меньше $F_{O'}$, соответствуют процессу уменьшения угла подъема витка до критического значения и образования петли.

Петля, образованная гибкой связью, является цилиндрической пружиной кручения нагруженной растягивающим усилием F , действующим в выносе (рис. 3).

Силы упругости P_y , возникшие в канате при его подкручении и изгибе, удерживают петлю в состоянии равновесия, т.е. препятствуют растягивающему усилию развернуть петлю в виток спирали и далее в прямой участок. Относительная к величине F величина этих сил и определяет характер деформации петли. Исходя из основного аналитического уравнения осевого перемещения спиральных пружин и приняв последнее равным нулю ($\lambda = 0$), получен модуль сил, действующих в плоскости оси пружины и препятствующих осевому перемещению, т.е. развертыванию петли в спираль. Такими силами являются силы упругости P_y , которые являются многофакторной функцией крутящего, изгибающего моментов, жесткости каната:

$$P_y = f(M_{кр}, M_{изг}, B, C); \quad (7)$$

$$[P_y] = \frac{F \sin 2\alpha (B - C)}{D (C \sin^2 \alpha + B \cos^2 \alpha)}$$

Выражение (7) названо уравнением устойчивости петли. При достаточном значении P_y растягивающее усилие F затягивает петлю с уменьшением диаметра до значения $D = 2a$ и менее, что сопровождается перекручиванием внутренней пряди в сечении I—I (рис. 1) с возникновением пластической деформации. Происходит образование кольшки (рис. 4).

В работе описаны причины возникновения упругих и пластических деформаций. Для предупреждения различных дефектов гибких связей продольных запаней, повышения эффективности всего комплекса работ, связанных с

эксплуатацией запанного такелажа, необходимо внедрение технологии, предусматривающей максимальное сокращение операций с канатами в распущенном виде на основе использования устройств, обеспечивающих намотку и размотку стальных канатов больших габаритов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по эксплуатации такелажа на лесосплаве. — М.: Минлесдревпром СССР, 1980. — 133 с. 2. Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации запаней. — М.: Лесная промышленность, 1971. — 103 с. 3. Колчин А.И. Стальные канаты (экспериментальные исследования, расчет, эксплуатация). — М.: Машгиз, 1950. — 27 с. 4. Пономарев С.Д. Пружины, их расчет и конструирование. — М.—Л.: Машгиз, 1954. — 147 с.

УДК 634.0.378.33

М.Г. КРАСНИК, канд.техн.наук (БТИ),
Р.И. GERMAN, ассистент (БТИ)

МАЛОВОДНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ ПЕРИОДЫ НА РЕКЕ ЛОЛОГ

На многих реках первоначального сплава широко применяется технология, предусматривающая использование водотока в основном в период весеннего половодья. Начальный период половодья используется для плотового лесосплава, а затем на спаде паводка осуществляется молевой сплав. Длительность периода спада варьирует в широких пределах и зависит от наложения на него дождевых паводков. В годы, когда такое наложение отсутствует, для успешного проведения молевого сплава необходима установка плотин. Наиболее выгодно в этом случае применять временные плотины запанного типа из гибких материалов [1], которые требуют минимальных затрат на их установку, разборку и транспортирование. При этом существенное значение имеет срок службы плотин. Применение брезентовых плотин требует дополнительного учета сроков и условий их хранения. Пока испытаны плотины из брезента и прорезиненного капрона. Выбор материала плотины обуславливает ее технико-экономические показатели. Большое влияние на эти показатели оказывает гидрологический режим водотока.

Решение вопроса о сроках службы брезентовых плотин потребовало выбора объекта, на котором плотина устанавливается не ежегодно, а только в годы с низкой меженью. После разового использования плотина должна храниться в течение нескольких лет. Иначе говоря, периоды использования и хранения плотины могут быть различными. Объектом для испытания плотины была выбрана река Лолог, используемая во ВЛО "Камплесосплав" как для ранневесеннего плотового сплава, так и для молевого. Молевой сплав на реке Лолог проводился с помощью земляных дамб, временно перегораживающих ее с целью увеличения сплавных глубин. Частая установка земляных дамб приводила к засорению реки и противоречила законам охраны природы. В связи с этим с 1978 г. молевой сплав начинался сразу за плотовым. Это позволило избежать ежегодной установки подпорных сооружений. Однако