



УДК 630.372:629.733.34

DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-117-130

ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РУБОК НА ТРУДНОДОСТУПНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

А.В. Абузов, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [AAK-3854-2021](https://orcid.org/0000-0003-1082-9392),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1082-9392>

П.Б. Рябухин, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [AAK-3906-2021](https://orcid.org/0000-0003-1735-1942),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1735-1942>

Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, д. 136,
г. Хабаровск, Россия, 680042; e-mail: ac-systems@mail.ru, 000340@pnu.edu.ru

Аннотация. В рамках реализации принципов устойчивого лесопользования как на лесопромышленных предприятиях, так и в организации лесного хозяйства актуальным становится вопрос разработки технологий и оборудования, отвечающих современным требованиям сохранения лесной среды и щадящего режима лесозаготовки. К подобным технологиям относятся разработанные и апробированные на практике опытные методы заготовки древесины с использованием аэростатно-канатных систем при проведении различных видов рубок. Особый интерес представляет концепция применения указанного оборудования исходя из назначения рубок и предъявляемых при их реализации экологических и лесохозяйственных требований. Статья носит познавательный-информационный характер, ее цель – дать специалистам сведения о новых технологиях и конструкциях специализированного оборудования для обеспечения щадящих режимов лесопользования и лесозаготовки. Представлены результаты теоретических исследований по возможным направлениям применения аэростатно-канатных систем при проведении работ на лесных участках, расположенных на землях особо охраняемых природных территорий. Предложены конструкции специализированного оборудования для вертикального изъятия деревьев (хлыстов) в процессе промежуточных рубок на участках с признаками труднодоступности и экологической зависимости. Такие механизмы позволят значительно снизить энергозатраты при удалении ветвей и сучьев со стоящего дерева и его вертикальном изъятии из насаждения. Конструкции в виде захватного, захватно-срезающего и сучкорезно-срезающего устройства с захватом за счет того, что спил и транспортировка дерева осуществляются без его предварительного падения, обеспечивают максимально возможное сохранение лесной среды, поскольку не наносят ущерба ни стоящему рядом древостою, ни подросту, ни почве.

Для цитирования: Абузов А.В., Рябухин П.Б. Технологии промежуточных рубок на труднодоступных территориях // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 4. С. 117–130. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-117-130

Ключевые слова: промежуточные рубки, территории с признаками экологической зависимости, аэростатно-канатная система, грузозахватный механизм, захватно-срезающее устройство, натяжение каната, контур лесного участка.

Введение

Для повышения биологической устойчивости леса, предотвращения в нем болезней, патологических процессов и, соответственно, снижения ущерба от воздействия вредителей на территориях с признаками труднодоступности и экологической зависимости проводятся комплексные санитарно-оздоровительные мероприятия. Для реализации данных целей и поддержания полезных свойств древостоев на таких территориях лесным законодательством предусмотрено проведение санитарных рубок и рубок ухода с удалением из насаждений нежелательных деревьев и созданием благоприятных условий для роста лучших экземпляров главных пород. Все эти мероприятия направлены на формирование высокопродуктивных качественных насаждений и могут способствовать получению на данных территориях отведенных объемов древесины определенных пород для нужд промышленных предприятий. Полный запрет на вырубку деревьев не только не даст положительного лесохозяйственного эффекта, но и нанесет значительный урон насаждениям. При этом мероприятия по сохранению оставляемых деревьев и подроста считаются одной из главных мер, содействующих естественному возобновлению и ускоренному воспроизводству лесов, а также сокращению (по сравнению с лесными культурами) в 2–3 раза количества уходов за молодыми древостоями [11].

Основным негативным моментом при проведении рубок промежуточного пользования является нанесение ущерба остающимся деревьям из-за применения тяжелой лесозаготовительной техники, не подходящей для выполнения таких видов работ. Использование этих машин приводит к многочисленным повреждениям стволов и крон неубираемых экземпляров, уничтожению подроста, нарушению почвенного покрова и корней, в результате усиливается усыхание древостоев, развиваются болезни и растет число вредителей. Эти факты были доказаны, например, при проведении санитарных рубок вокруг озера Амут, расположенного в Солнечном районе Хабаровского края. Насаждения вокруг данного водоема относятся к категории горных защитных лесов с целевым назначением в выполнении разнообразных средообразующих функций, включающих в себя водоохранные и противоэрозионные. Даже если возникает острая необходимость проведения в таких лесах санитарных рубок, то их нужно осуществлять в как можно более щадящем режиме и на небольших участках.

Правительственная комиссия Хабаровского края, в состав которой входили эксперты Дальневосточного научно-исследовательского института лесного хозяйства, Рослесозащиты, Департамента лесного хозяйства по Дальневосточному федеральному округу, сотрудники природоохранной прокуратуры, несколько дней работала над проверкой обоснованности массовых вырубок. Установлено, что природной среде нанесен серьезный ущерб. Было обнаружено: огромное количество порубочных остатков, сломанных стволов оставляемых деревьев и подроста, а также загрязнения водотоков и минерализация почвы на территории более 25 % отведенного в санитарную рубку участка (рис. 1).



Рис. 1. Последствия проведения санитарных рубок с использованием лесозаготовительной техники

Fig. 1. Consequences of sanitary felling using logging equipment

Причиной сложившейся ситуации послужило решение руководителей лесничества осуществить столь крупномасштабные санитарные рубки на территориях с признаками труднодоступности и экологической зависимости с использованием систем лесозаготовительных машин (харвестер+форвардер), предназначенных для проведения промышленных рубок [8, 10]. Анализ примеров такой деятельности в различных регионах Российской Федерации показывает, что для предотвращения нанесения масштабного экологического ущерба лесной среде промежуточными рубками необходимо полностью запретить применение при проведении данных рубок тяжелой лесозаготовительной техники, а также наземного способа трелевки деревьев (хлыстов).

Объекты и методы исследования

Единственной альтернативой лесозаготовительной технике на гусеничном или колесном движителе при проведении промежуточных рубок на экологически зависимых территориях с точки зрения лесохозяйственных требований являются технологии с использованием воздушного или подвешного канатного транспорта, в частности аэростатно-канатные системы (АКС) для трелевки древесины [4, 5, 7, 12, 17, 21–23]. На данный момент существуют и разрабатываются АКС (с учетом обеспечения их грузозахватным механизмом) со следующими режимами работы:

подъем и транспортировка спиленных и поваленных деревьев;

подъем и транспортировка вертикально стоящих деревьев с предварительным спилом без их падения на землю.

Транспортировка предварительно спиленных и поваленных деревьев считается самым распространенным методом воздушных лесозаготовительных операций. Он состоит из нескольких этапов: захват ствола дерева; подъем и перемещение в подвешном режиме, при этом груз находится выше верхнего яруса деревьев на 10–15 м и более. Для реализации данного способа используются специальные грейферные захваты и автоматические крюки, предназначенные для удержания, подъема и транспортировки как отдельных стволов (деревьев, хлыстов, сортиментов), так и сформированных из них пачек. Допускается также транспортировка отдельных стволов, соединенных в «гирлянду» (рис. 2).

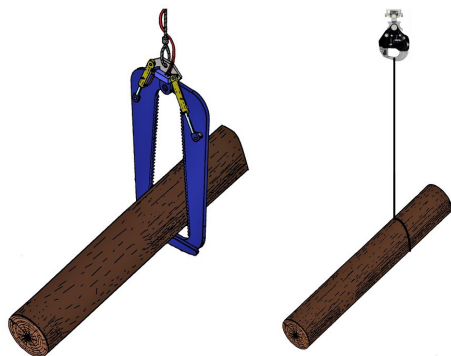


Рис. 2. Грузозахватные механизмы для транспортировки спиленных и поваленных деревьев

Fig. 2. Load-grabbing mechanisms for transportation of cut and felled trees

Как показывают исследования, проведенные авторами на лесопромышленных предприятиях Хабаровского края, значительные повреждения наносятся растущим древостоям в процессе непосредственного падения дерева при выполнении операции валки [1–3].

Экспериментальные наблюдения выявили следующие закономерности повреждений (рис. 3–4):

при увеличении запаса леса на 10–15 м³/га повреждаемость оставшихся на корню деревьев повышается в среднем на 3,5 %;

при увеличении уклона на 5° повреждаемость оставшихся на корню деревьев растет в среднем на 12–13,5 %;

основным видом повреждений у подростка и тонкомера являются слом и ошмыг, у взрослых деревьев – преимущественно ошмыг;

вероятность одновременного повреждения нескольких деревьев (2–4 шт.) на одно спиленное и поваленное дерево составляет в среднем 20–28 %.

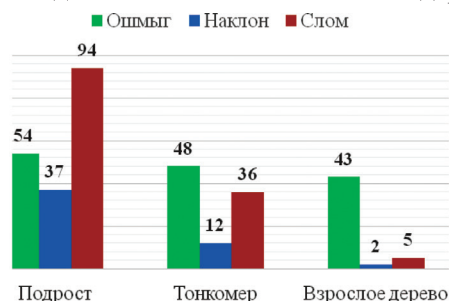


Рис. 3. Распределение количества поврежденных деревьев по типам древостоя (на 100 фиксации), шт.

Fig. 3. Distribution of the number of damaged trees by stand types (per 100 fixations), pcs

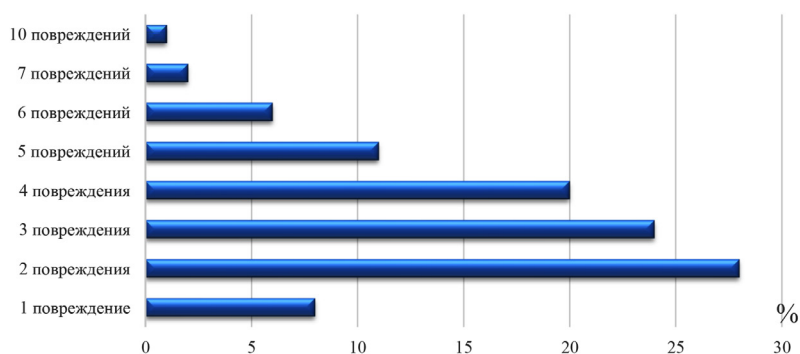


Рис. 4. Количество одновременных повреждений стоящего древостоя при падении одного спиленного дерева (на 100 фиксации), %

Fig. 4. The number of simultaneous damages of standing trees when one sawn tree falls (per 100 fixations), %

Для реализации методов лесозаготовки, позволяющих свести к минимуму экологический и лесоводственный ущерб, в мировой практике разработаны и применяются (на уровне апробации) технологии с использованием режима изъятия вертикально стоящих деревьев. Однако у подобных методов есть один значительный недостаток – высокие энергетические затраты [18].

Процесс изъятия вертикально стоящих деревьев имеет следующие варианты (рис. 5):

обрезка кроны дерева вальщиком-верхолазом с последующим подпиллом комлевой части и допил дерева при захвате ствола одиночным грейферным механизмом;

обрезка кроны дерева вальщиком-верхолазом и захват ствола двойным автоматизированным захватно-срезающим механизмом, затем – спил;

захват дерева, очистка кроны с дальнейшим спиливанием при использовании автоматизированного захватно-срезающего устройства.

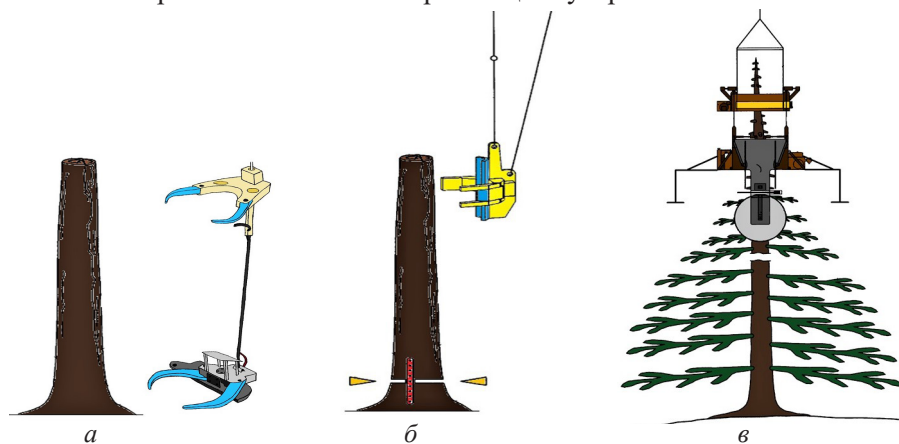


Рис. 5. Механизмы для изъятия вертикально стоящих деревьев: *a* – захватно-срезающее устройство; *б* – захватное устройство; *в* – сучкорезно-срезающее устройство с захватом
Fig. 5. Mechanisms for the removal of upright trees: *a* – gripping-cutting device; *б* – grabbing device; *в* – knot-cutting device with a grabber

Для эффективной работы АКС в режиме изъятия вертикально стоящих деревьев авторами разработан ряд новых грузозахватных механизмов (ГЗМ). Их преимущество заключается в значительном снижении энергетических затрат, повышенной производительности и, соответственно, более низкой себестоимости выполняемых работ [13, 14, 16, 24]. Расчет энергетических параметров процесса срезания сучьев со стоящего дерева произведен с учетом принципов устойчивости систем в условиях колебания грузовой подвески [6, 9, 15]. По результатам исследований предложены следующие варианты конструкций, особенностями которых является принцип инерционного типа движения по нисходящему и восходящему направлению относительно ствола дерева и очистка кроны с использованием внутренних ножей ГЗМ:

- разделяющийся ГЗМ нисходящего типа движения;
- разделяющийся ГЗМ восходящего типа движения;
- ГЗМ восходящего типа движения с дополнительным манипулятором;
- одиночный ГЗМ восходящего типа движения (ОГЗМ ВТД).

Инерционность спуска или подъема ГЗМ и, соответственно, очистка кроны дерева обеспечиваются электрическим приводом бортовых мини-лебедок, находящихся под оболочкой аэростата, или непосредственным использованием подъемной силы самого аэростата. Такой способ обрезки кроны дерева позволяет снизить затраты энергии по сравнению с технологиями, где для среза ветвей и сучьев применяются дисковые пилы с электрическим или гидравлическим приводом.

Разработанные варианты ГЗМ используются в воздушной лесозаготовительной системе, которая представляет собой технологический комплекс, состоящий из следующих элементов:

аэростат луковичного типа, управляемый наземным лебедочным комплексом с помощью системы тягово-возвратных канатов;

бортовая аэростатная лебедка;

ГЗМ;

система наведения и стабилизации ГЗМ.

Общий вид технологического комплекса, в который входит АКС, представлен на рис. 6 [1].

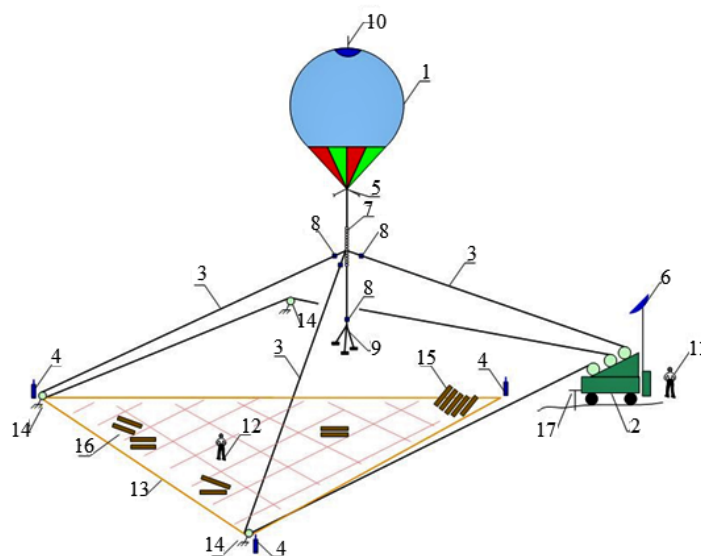


Рис. 6. Общий вид комплекса с АКС: 1 – аэростат; 2 – наземный лебедочный комплекс; 3 – тягово-возвратные канаты; 4 – контурный радиомаяк; 5 – радар системы управления; 6 – комплекс управления навигационной системой; 7 – амортизатор; 8 – электронные динамометры; 9 – грузозахватный механизм; 10 – молниеотвод; 11 – оператор лебедочного комплекса; 12 – дополнительный оператор; 13 – контур рабочего участка; 14 – направляющие контурные шкивы; 15 – пункт разгрузки; 16 – сортименты; 17 – заземление

Fig. 6. General view of a complex with a balloon-rope system (BRS): 1 – balloon; 2 – ground winch complex; 3 – traction and return ropes; 4 – contour radio beacon; 5 – control system radar; 6 – navigation system control complex; 7 – shock absorber; 8 – electronic dynamometers; 9 – load-grabbing mechanism; 10 – lightning rod; 11 – operator of the winch complex; 12 – additional operator; 13 – working area contour; 14 – guide contour pulleys; 15 – unloading point; 16 – assortments; 17 – grounding

Результаты исследования и их обсуждение

Технологический процесс заготовки древесины с использованием ГЗМ (грейферных, разделяющихся и фронтальных) включает в себя несколько этапов.

Первый этап – подготовительный, в процессе которого определяются координаты внешнего и внутреннего контуров эксплуатационного участка. Размеры внутреннего контура зависят от площади части особо охраняемой природной территории, отведенной под промежуточные рубки. Размеры внешнего контура рассчитываются исходя из показателей нагрузок, которые могут возникнуть в канатах АКС. Также принимаются во внимание отклонения грузовой подвески с ГЗМ от границы внутреннего контура. Локальные координаты внешнего контура находятся с помощью фиксации сигналов, исходящих от радиомаячков, расположенных по углам участка. Запеленгованные сигналы поступают в систему сбора и обработки радиосигналов с дальнейшим расчетом координат. Обработав сигнал, система выдает на дисплее пульта управления координаты расположения направляющих контурных шкивов, тем самым задавая координаты участка в системе координат X, Y, Z , где точка расположения лебедочного комплекса считается нулевой.

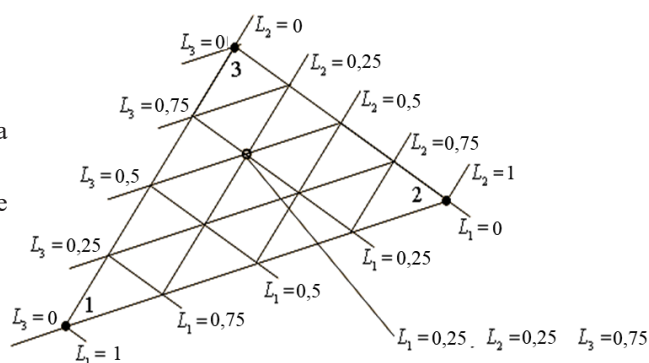
Далее во внутреннем контуре участка проводится фиксация отведенных под рубку деревьев с помощью радиопередатчика, связанного с системой локальной пеленгации АКС. Измерительно-вычислительный комплекс устанавливает локальные координаты каждого такого дерева, совмещая их с координатами внешнего контура участка, что в дальнейшем определяет последовательность его разработки с применением наземного лебедочного комплекса.

Полученные координаты позволяют задать не только последовательность разработки участка, но и режимы АКС, обуславливающие длину, скорости сдвигания и выбирания для каждого из трех тягово-возвратных канатов при автоматической наводке ГЗМ в точку нахождения дерева путем перемещения аэростата с помощью наземного лебедочного комплекса [19, 20, 25, 26].

Разработанное программное обеспечение для расчета и определения положений точки грузовой подвески с ГЗМ основывается на методе аппроксимации рельефа по L -координатам (рис. 7).

Рис. 7. Относительная система L -координат

Fig. 7. Relative L -coordinate system



Для примера рассмотрим конструкцию и технологию применения одиночного ГЗМ восходящего типа движения, предназначенного для вертикального изъятия дерева с его последующей транспортировкой.

Данный тип ГЗМ необходим для выполнения лесозаготовительных работ с использованием на валке деревьев вальщика с бензомоторным инструментом. Управление наведением ГЗМ, захватом и срезанием ветвей осуществляется вальщиком при помощи дистанционного пульта с последующей передачей управления основному оператору наземного лебедочного комплекса. Общий вид конструкции ОГЗМ ВТД представлен на рис. 8.

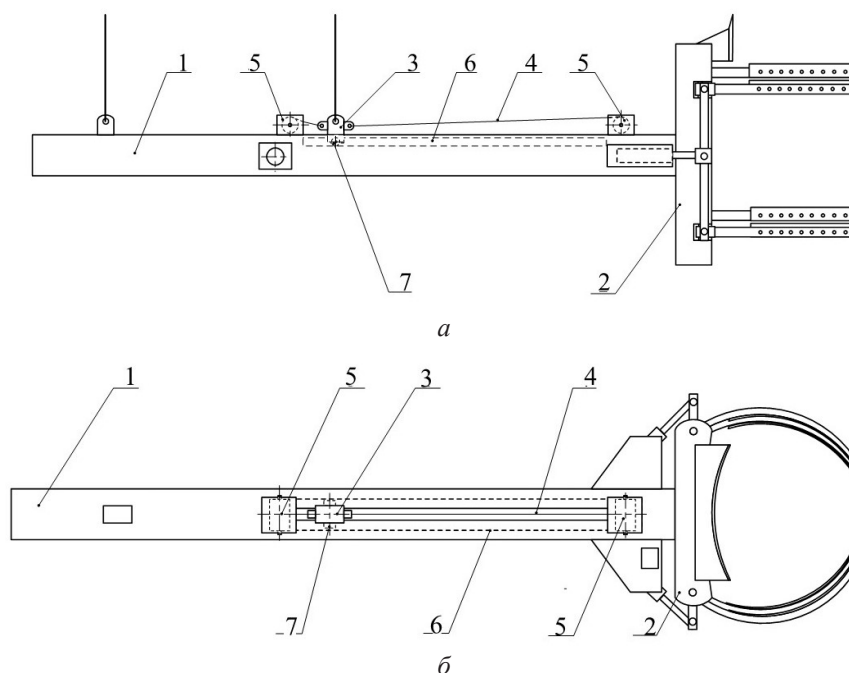


Рис. 8. Конструкция ОГЗМ ВТД: *а* – вид сбоку; *б* – вид сверху

Fig. 8. The design of a single load-grabbing mechanism of ascending mode of motion: *a* – side view; *b* – top view

В составе ОГЗМ ВТД отсутствует пильный механизм. Его заменяет одиночная балочная конструкция 1 с захватно-срезающим устройством 2. Расчет конструкции срезающего механизма произведен в соответствии с рекомендациями [15].

Управление спуском и подъемом ГЗМ осуществляется с помощью бортовой аэростатной лебедки и двух электрических грузовых канатов, один из которых в месте соединения с балочной конструкцией имеет подвижный кронштейн крепления 3. Он связан тяговым канатом 4 с маневровыми мини-лебедками 5, обеспечивающими поступательно-возвратное движение кронштейна вдоль балочной конструкции. Перемещение кронштейна 3 осуществляется по внутренним канавкам 6 посредством расположенных в нем осевых втулок скольжения 7. За счет этого движения происходит управление наведением с проникновением захватного устройства под крону дерева с последующей очисткой его ствола и распределение центра тяжести и устойчивости всего ГЗМ.

При перемещении ГЗМ к месту загрузки он должен находиться непосредственно под оболочкой аэростата, что обеспечивает избежание колебаний грузовой подвески. Достигнув заданной точки нахождения дерева, аэростат

стат останавливается за счет затормаживания работы барабанов наземного лебедочного комплекса. Далее выполняется опускание и наведение ГЗМ на комлевую часть дерева с помощью бортового лебедочного комплекса, также находящегося под оболочкой аэростата. После расположения ГЗМ перпендикулярно дереву вальщик, используя дистанционный пульт управления аэростатом, с помощью тягово-возвратных канатов наземного лебедочного комплекса горизонтально двигает ствол и фиксирует его в захватно-срезающем устройстве. Затем захватно-срезающее устройство бортовой лебедкой поднимается вверх вдоль ствола, одновременно очищая его от ветвей. По достижении вершинной части оно останавливается и спускается обратно до точки равной в среднем $\frac{2}{3}$ высоты дерева. Далее происходит захват и удержание ствола, в этот момент вальщик производит спил комлевой части дерева. Подъем и транспортировка спиленного ствола осуществляются посредством подъема аэростата на необходимую высоту и его перемещения на разгрузочный пункт сдаванием и выбором тягово-возвратных канатов лебедкой, управление которой может быть проведено в дистанционном радиорежиме непосредственно вальщиком или оператором лебедки.

Технологический процесс заготовки деревьев с использованием АКС, оснащенной ОГЗМ ВТД, представлен на рис. 9.

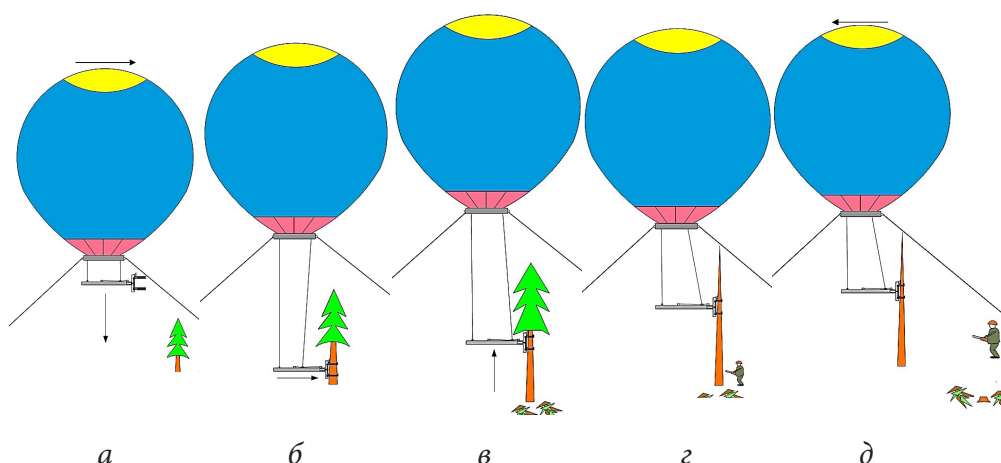


Рис. 9. Процесс заготовки деревьев с использованием АКС, оснащенной ОГЗМ ВТД: *а* – движение в точку загрузки; *б* – наведение; *в* – обрезка ветвей; *г* – удержание и спил; *д* – транспортировка дерева в точку разгрузки

Fig. 9. The process of harvesting trees using a balloon-rope system equipped with a single load-grabbing mechanism of ascending mode of motion: *a* – motion to the loading point; *b* – guidance; *v* – pruning; *г* – holding and cutting; *д* – wood transportation to the unloading point

Заготовка древесины с использованием АКС проходит по пасечному или секторальному принципу, что учитывается при определении размера рабочих площадок, располагающихся во внутреннем контуре обрабатываемого участка [4]. Для первого из названных принципов при выборочных рубках ширина пасеки может задаваться средней высотой произрастающих на разрабатываемой площади деревьев. При этом площадки располагаются как поперек, так и вдоль склона.

В случае применения пасечного метода поперек склона работа начинается с его нижней точки с постепенным смещением вверх до границы внутреннего контура. Для этой цели вдоль нижней стороны участка прокладывается временный волок шириной до 5 м, обеспечивающий свободный доступ ГЗМ к комлевой части деревьев, расположенных внизу склона. Последовательность разработки площадки зависит от погодных условий и рельефа местности. При допустимой скорости ветра и оптимальном температурном режиме целесообразно начинать рубку с крайних левой и правой пасек с последующим смещением ближе к центру участка. Это связано с тем, что при скорости ветра более 12 м/с увеличивается вероятность потери АКС устойчивости в момент работы вдоль границы внутреннего контура. Если ветер данной скорости присутствует с первого дня цикла работ, то их следует начинать, наоборот, с центральной пасеки с постепенным смещением вправо или влево к границам внутреннего контура.

Технология разработки лесного участка АКС по пасечному принципу поперек склона на примере ОГЗМ, работающего в паре с вальщиком, представлена на рис. 10.

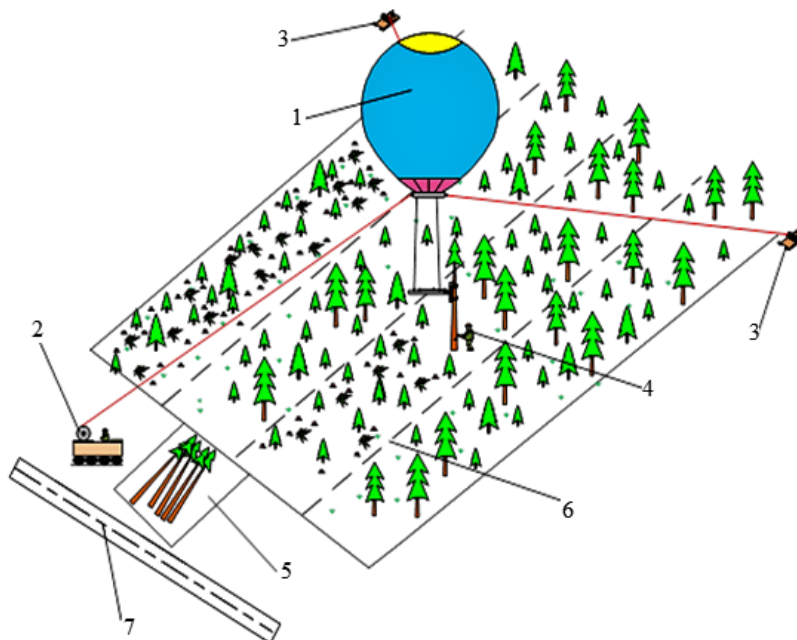


Рис. 10. Технологическая схема разработки лесного участка поперек склона с использованием ОГЗМ ВТД: 1 – аэростат; 2 – основная лебедка; 3 – мини-лебедка; 4 – вальщик; 5 – разгрузочный пункт; 6 – граница пасеки; 7 – технологический волок

Fig. 10. Technological scheme for the development of a forest area across the slope using a single load-grabbing mechanism of ascending mode of motion: 1 – balloon; 2 – main winch; 3 – mini-winch; 4 – feller; 5 – unloading point; 6 – swath border; 7 – technological run

При секторальном принципе разработки эксплуатационные участки по форме представляют собой квадраты и располагаются в шахматном порядке, размер каждого сектора определяется в зависимости от характеристик древо-стоя и может достигать в среднем по 25–30 м для обеих сторон.

Заключение

Использование тяжелой лесозаготовительной техники при проведении рубок промежуточного пользования на особо охраняемых природных территориях становится причиной многочисленных повреждений стволов и кроны оставляемых деревьев, уничтожения подроста, нарушения почвенного покрова и корней. В результате усиливается усыхание древостоев, развиваются болезни и растет число вредителей.

Анализ примеров подобной деятельности в различных регионах Российской Федерации показывает, что для предотвращения таких ситуаций необходимо установить полный запрет на применение при промежуточных рубках традиционной лесозаготовительной техники и наземного способа трелевки деревьев (хлыстов).

Единственной альтернативой используемым лесозаготовительным машинам (на гусеничном или колесном движителе) и технологиям при промежуточных рубках на территориях с признаками труднодоступности и экологической зависимости с точки зрения лесохозяйственных требований являются аэростатно-канатные системы для трелевки древесины, снабженные грузозахватными устройствами с различными конструкциями инерционного режущего механизма для удаления ветвей с вертикально стоящего дерева.

В зависимости от применяемого способа заготовки с использованием аэростатно-канатных систем предлагаются технологии работы по пасечному и секторальному принципам, выбор которых зависит от рельефа местности и конфигурации отведенных в рубку лесных участков. Пасеки имеют прямоугольную форму, их расположение может быть как поперек, так и вдоль склона. При секторальном принципе участки представляют собой квадраты, располагающиеся в шахматном порядке. Размер территории и в том и в другом случае рекомендуется устанавливать в зависимости от средней высоты произрастающих на разрабатываемой площади древостоев.

Предложенные технологии промежуточных рубок на территориях с признаками труднодоступности и экологической зависимости при помощи аэростатно-канатных систем, обеспеченных специальным оборудованием для обработки (захват, обрезка сучьев, изъятие) вертикально стоящего в насаждении дерева, позволят производить заготовку отведенной в рубку древесины для дальнейшего ее возможного использования с максимальным сохранением лесной среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Абузов А.В.* Анализ повреждаемости растущих древостоев от процесса валки дерева на горном склоне // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплекса: в 2 т. Т. 2. Хабаровск: Тихоокеан. гос. ун-т, 2019. С. 555–557. (Научные чтения памяти профессора М.П. Даниловского. Вып. 18).

Abuzov A.V. Analysis of Damage to Growing Forest Stands from the Process Rolls Tree on the Hillside. *The Far East: Problems of Development of the Architecture and Construction and the Road-Transport Complex*. In 2 vol. Vol. 2. Khabarovsk, PNU Publ., 2019, pp. 555–557.

2. Абузов А.В., Бертонас Р.В. Особенности лесозаготовительного процесса при вертикальном изъятии и транспортировке деревьев воздушным способом // Философия современного природопользования в бассейне реки Амур / под ред. проф. П.Б. Рябухина. Хабаровск: Тихоокеан. гос. ун-т, 2015. С. 67–70.

Abuzov A.V., Bertonas R.V. Features of the Logging Process during Vertical Removal and Transportation of Trees by Air. *Philosophy of Modern Nature Management in the Amur River Basin*. Ed. by P.B. Ryabukhin. Khabarovsk, PNU Publ., 2015, pp. 67–70.

3. Абузов А.В., Казаков Н.В. Экологические последствия в лесных насаждениях, подверженных техногенному воздействию при лесозаготовительных и транспортных операциях // Вестн. Рос. ун-та дружбы народов. Сер.: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28, № 1. С. 7–18.

Abuzov A.V., Kazakov N.V. Ecological Consequences in Forest Stands Subject to Anthropogenic Impact during Logging and Transport Operations. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [RUDN Journal of Ecology and Life Safety], 2020, vol. 28, no. 1, pp. 7–18. DOI: <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-1-7-18>

4. Абузов А.В., Рябухин П.Б. Аэростатный транспорт для горных лесозаготовок в условиях Дальнего Востока: моногр. Хабаровск: Тихоокеан. гос. ун-т, 2013. 199 с.

Abuzov A.V., Ryabukhin P.B. *Balloon Transport for Mountain Logging in the Far East*: Monograph. Khabarovsk, PNU Publ., 2013. 199 p.

5. Буткин В.Д. Аэростатно-канатные транспортные системы для открытых горных работ // Горн. журн. 1998. № 6. С. 56–57.

Butkin V.D. Balloon Cable Transport Systems for Surface Mining. *Gornyi Zhurnal* [Mining Journal], 1998, no. 6, pp. 56–57.

6. Венценовцев Ю.Н. Методика поиска наилучших технических и технологических решений // Материалы Всесоюз. симп. по проблемам автоматизации проектирования транспортного и мелиоративного освоения лесных массивов / отв. ред. Г.А. Борисов. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1979. С. 32–38.

Ventsenostsev Yu.N. The Methodology for Searching the Best Technical and Process Solutions. *Proceedings of the All-Union Symposium on Problems of Design Automation of Transport and Land Reclamation of Woodlands*. Ed. by G.A. Borisov. Petrozavodsk, KF AN SSSR Publ., 1979, pp. 32–38.

7. Волков Е.С., Плютюв Ю.А. Результаты испытаний гравитационной аэростатно-канатной транспортной установки // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: VIII Междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека». Екатеринбург: УГГУ, 2010. С. 20–22.

Volkov E.S., Plyutov Yu.A. Test Results of Gravitational Balloon Cable Transport Installation. *Technological Equipment for the Mining and Oil and Gas Industry: The 8th International Science and Technology Conference "Readings in Memory of V.R. Kubachek"*. Yekaterinburg, USTU Publ., 2010, pp. 20–22.

8. Герц Э.Ф. Вероятность повреждения деревьев в процессе трелевки при несплошных рубках // Лесн. пром-сть. 2004. № 2. С. 13–14.

Gerts E.F. Probability of Damage to Trees in the Process of Skidding during Partial Logging. *Lesnaya promyshlennost'*, 2004, no. 2, pp. 13–14.

9. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: систем. подход / пер. с польск. М.: Мир, 1981. 454 с.

Ditrih Ya. *Design and Construction: System Approach*. Trans. from Polish. Moscow, Mir Publ., 1981. 454 p.

10. Исаев В.И. Влияние техники и технологии лесосечных работ на изменение водно-физических свойств почвы // Пути и методы лесорастительной оценки почв и повышение их продуктивности. Пушкино: ВНИИЛМ, 1980. С. 80–81.

Isayev V.I. Influence of Logging Machinery and Technology on Changes in Water-Physical Properties of Soil. *Ways and Methods of Forest Growth Assessment of Soils and Improvement of Their Productivity*. Pushkino, VNIILM Publ., 1980, pp. 80–81.

11. Ковалев А.П. Роль способов рубок в рациональном использовании природных ресурсов Дальнего Востока // Рациональные основы организации и ведения лесного хозяйства. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2001. С. 197–219.

Kovalev A.P. The Role of Logging Methods in the Rational Use of Natural Resources of the Far East. *Rational Basis of Forestry Management and Organization*. Khabarovsk, Dal'NILKh Publ., 2001, pp. 197–219.

12. Козловский В.Б., Худоленко О.В., Деревянко В.С. Аэростатические летательные аппараты для отраслей экономики. М.: Воздуш. транспорт, 2007. 480 с.

Kozlovsky V.B., Khudolenko O.V., Derevyanko V.S. *Balloon Aircrafts for Economic Sectors*. Moscow, Vozdushnyy transport Publ., 2007. 480 p.

13. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование возможностей использования летательных аппаратов на лесозаготовках в горных условиях». Ч. 1 и 2. Химки: ЦНИИМЭ, 1985. 189 с.

Research Report "Study of the Possibilities of Using Aircrafts for Logging in Mountains". Parts 1, 2. Khimki, TsNIIIME Publ., 1985. 189 p.

14. Отчет об испытаниях аэростата-крана ЭПАК-1. М.: МПНСУ треста Центротехмонтаж, 1977. 50 с.

Test Report of the Aerostat Crane EPAC-1. Moscow, MPNSU Tsentrotekhnontazh Publ., 1977. 50 p.

15. Печенкин В.Е., Мазуркин П.М. Бесстружечное резание древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1986. 144 с.

Pechenkin V.E., Mazurkin P.M. *Chipfree Wood Cutting*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1986. 144 p.

16. Родионов В.И., Скобей В.В. Статический расчет тягово-удерживающих канатов аэростатно-трелевочной установки (АТУП) // Тр. ЦНИИМЭ. М., 1966. № 75. с. 113–126.

Rodionov V.I., Skobey V.V. Static Analysis of Tether Line Cables of a Balloon Logging System. *Academic Papers of the Central Research and Design Institute of Mechanization and Energy of the Forest Industry*. Moscow, 1966, no. 75, pp. 113–126.

17. Рябухин П.Б., Абузов А.В. Аэростатические аппараты и их применение в лесной промышленности // Вопросы совершенствования технологий и оборудования в лесопромышленном комплексе и строительстве: Юбил. сб. науч. тр. Дальневосточ. лесотехн. ин-та. Хабаровск: Хабар. гос. техн. ун-т, 1998. С. 75–80.

Ryabukhin P.B., Abuzov A.V. Aerostatic Aircrafts and Their Use in the Forest Industry. *Issues of Improvement of Technologies and Equipment in the Timber Industry Complex and Construction: Jubilee Collection of Academic Papers of the Far Eastern Forestry Institute*. Khabarovsk, KSUT Publ., 1998, pp. 75–80.

18. Aglietti G.S. Dynamic Response of a High-Altitude Tethered Balloon System. *Journal of Aircraft*, 2009, vol. 46, no. 6, pp. 2032–2040. DOI: <https://doi.org/10.2514/1.43332>

19. Avery R.B. *Mathematical Model for Determining the Position and Line Tensions for a Tethered Logging Balloon*. Corvallis, OR, Oregon State University, 1984. 78 p.

20. Avery R.B. Pendulum-Swing Balloon Logging: Developing and Applying a Static Lift Prediction Model. *Forest Products Journal*, 1986, vol. 36(3), pp. 17–22.

21. *Balloon Logging Systems. Phase I – Analytical Study*. Research Report. Portland, OR, Goodyear Aerospace Corporation, 1964. 110 p.

22. *Balloon Logging Systems. Phase II – Logistics Study*. Research Report. Portland, OR, Goodyear Aerospace Corporation, 1964. 171 p.

23. Graeter W.F. *Tethered Balloon Transport Systems: A Proposal*. MS Thesis. Monterey, CA, Naval Postgraduate School, 1978. 229 p.
24. Lambert C. *Dynamics and Control of a Multi-Tethered Aerostat Positioning System*. PhD Thesis. Monreal, Canada, McGill University, 2006. 164 p.
25. Lambert C., Nahon M. An Aerostat Positioning System with Cable Control. *Proceedings of the 17th World Congress of the International Federation of Automatic Control*. Seoul, Korea, 2008, pp. 779–784.
26. Lambert M.B., Hoke D., Bergstrom G. Lighter-Than-Air Logging under Multiple-Tethered Ground Control. *Proceeding of the International Mountain Logging and Eighth Pacific Northwest Skyline Symposium, Bellevue, Washington, December 14–16, 1992*. Bellevue, WA, 1992. pp. 108–120.

TECHNOLOGIES OF INTERMEDIATE FELLING IN DIFFICULT TO ACCESS AREAS

Alexandr V. Abuzov, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [AAK-3854-2021](https://orcid.org/0000-0003-1082-9392),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1082-9392>

Pavel B. Ryabukhin, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [AAK-3906-2021](https://orcid.org/0000-0003-1735-1942),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1735-1942>

Pacific National University, ul. Tikhookeanskaya, 136, Khabarovsk, 680042, Russian Federation; e-mail: ac-systems@mail.ru, 000340@pnu.edu.ru

Abstract. The development of technologies and equipment that meet modern requirements of forest preservation and a gentle mode of forest exploitation becomes a relevant issue within the framework of the implementation of the sustainable forest management principles both at forestry enterprises and in the organization of forestry. Such technologies include developed and field-tested experimental methods of logging using balloon-rope systems for various types and methods of felling. Of particular interest is the concept of using this equipment based on the purpose logging and the environmental and forestry requirements for their implementation. The paper has informative and cognitive nature; its purpose is to provide professionals with information on new technologies and designs of specialized equipment to ensure a gentle mode of forest management and forest exploitation. The article presents the results of theoretical research on possible directions of use of balloon-rope systems when working on forest sites of specially protected natural areas. The authors propose the designs of specialized equipment for the vertical removal of trees (whips) in the process of intermediate felling on the areas with signs of hard access and ecological dependence. Such mechanisms will significantly reduce energy costs when removing branches and limbs from a standing tree and its vertical removal from the plantation. The developed designs of specialized mechanisms for skidding a vertically standing tree without its landing in the form of a grabbing, grabbing-cutting and knot-cutting device with a grabber ensure the maximum possible preservation of the forest environment, since they do not cause damage to the nearby stand, the undergrowth or the soil.

For citation: Abuzov A.V., Ryabukhin P.B. Technologies of Intermediate Felling in Difficult to Access Areas. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 4, pp. 117–130. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-117-130

Keywords: intermediate felling, areas with signs of ecological dependence, balloon-rope system, load-grabbing mechanism, grabbing-cutting device, rope tension, contour of the forest area.