

Оценка эффективности эксплуатации лесотранспортных систем на базе аэростатно-канатных установок

А.В. Абузов^a, П.Б. Рябухин^b

Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, Россия

^a ac-systems@mail.ru, ^b PRyabukhin@mail.khstu.ru

^a <https://orcid.org/0000-0003-1082-9392>,

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

Статья поступила 22.10.2019, принята 08.11.2019

В статье предложена методика, позволяющая выполнить оценку эффективности эксплуатации аэростатных трелевочных систем при освоении горных лесных массивов. Представлена группа эксплуатационных затрат, позволяющая при оценке различных типов канатных лесотранспортных систем учесть их специфические особенности и обеспечить наиболее точное сравнение с другими видами лесозаготовительной техники. Для формирования группы эксплуатационных затрат были проанализированы теоретические и практические исследования отечественных и зарубежных авторов, работающих в области авиации, канатных и аэростатных систем трелевки. Приведены результаты сравнения эффективности использования аэростатных трелевочных систем и самоходных канатных установок. Сравнение экономической эффективности работы аэростатно-канатных систем и самоходных канатных установок проводилось по показателям рабочего времени, потраченного на разработку лесного участка, включая монтажные и демонтажные работы; по себестоимости заготовки 1 м³ древесины при использовании аэростатно-канатной системы с технологией применения грейферно-чокерной оснастки или грейферного захвата; по себестоимости заготовки 1 м³ древесины при использовании аэростатно-канатной системы с технологией вертикального изъятия деревьев с применением грузозахватного механизма с учетом современных экологических требований. Результаты подтвердили целесообразность использования аэростатных систем трелевки в условиях труднодоступности и экологической зависимости лесных территорий.

Ключевые слова: аэростатно-канатная система; трелевка леса; самоходная канатная установка; экологические издержки; производительность канатной трелевки.

Assessment of efficiency of forest transport systems operation on the basis of balloon cable installations

A.V. Abuzov^a, P.B. Ryabukhin^b

Pacific National University; 136, Tikhookeanskaya St., Khabarovsk, Russia

^a ac-systems@mail.ru, ^b PRyabukhin@mail.khstu.ru

^a <https://orcid.org/0000-0003-1082-9392>,

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

Received 22.10.2019, accepted 08.11.2019

The article proposes a methodology that allows to evaluate the operational efficiency of balloon logging systems in the development of mountain forests. A group of operating costs is presented, which allows for the assessment of various types of rope forest transport systems to take into account their specific features and provide the most accurate comparison with other types of forestry equipment. To form a group of operating costs, theoretical and practical studies of domestic and foreign authors working in the field of aviation, cable and balloon logging systems were analyzed. The results of comparing the efficiency of using balloon logging systems and self-propelled rope installations are presented. Comparison of the economic efficiency of the balloon cable systems and self-propelled cable installations was carried out according to the indicators: working time spent on the development of the forest area, including installation and dismantling; the cost of harvesting 1 m³ of wood when using the balloon cable system with the technology of using clamshell choker equipment or clamshell grab; the cost of harvesting 1 m³ of wood when using a balloon cable system with vertical tree removal technology using a load-gripping mechanism, taking into account modern environmental requirements. The results have confirmed the feasibility of using balloon logging systems in conditions of inaccessibility and environmental dependence of forest areas.

Keywords: balloon logging system; forest skidding; self-propelled rope installation; environmental costs; productivity cable logging.

Введение. В настоящее время остро встает вопрос о дефицитном состоянии лесного фонда Дальневосточного федерального округа ввиду его невозможности в ближайшем будущем обеспечить отрасль качественной

и рентабельно доступной древесиной. Сложившаяся ситуация требует поиска лесных площадей с древостоями наилучшего качества, основные запасы которых сосредоточены на территориях с характерными при-

знаками труднодоступности и экологической зависимости. При этом около 34,6 % лесных площадей, где произрастает качественный и спелый древостой, находятся на склонах свыше 20° , где традиционная техника не в состоянии вести заготовку древесины либо выполняет ее с большими затратами и явным экологическим несоответствием [1].

В связи с этим характер технологических процессов, связанных в первую очередь с заготовкой древесины на крутых склонах, требует внедрения в лесозаготовительный процесс новых прогрессивных технологий, обеспечивающих не только минимальный процент повреждений почвы и растущих деревьев, но и эффективный режим транспортировки древесины в зоне резкопересеченного рельефа с наличием водных препятствий.

Объект исследования. Исходя из типов разработанных грузозахватных механизмов, технология использования аэростатно-канатных систем в области лесозаготовки и транспортировки древесины может реализоваться несколькими способами:

- использование механизированной валки (спила) дерева с участием человека;
- использование автоматизированной валки (спила) дерева с применением различных грузозахватных механизмов, оборудованных пильными элементами;
- использование комбинированной системы заготовки с применением канатных трелевочных систем и воздушной транспортировки с помощью АКС;
- использование машинной валки дерева с применением валочно-пакетирующей машины или харвестера.

Наиболее актуальной с экологической точки зрения является технология разработки лесосеки по секторальному принципу, с использованием точечной выборки деревьев на отведенном в рубку участке. Данный способ представляет собой классический вид выборочных рубок, обеспечивающих упорядоченную выборку деревьев согласно современным экологическим и лесохозяйственным критериям.

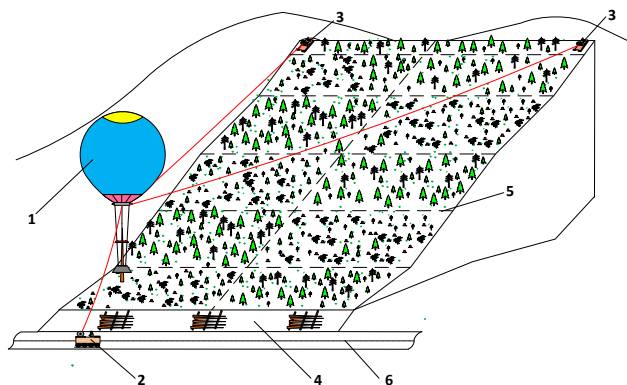


Рис. 1. Технологическая схема разработка лесосеки в шахматном порядке с использованием РГЗМ НТД: 1 — аэростат; 2 — основная лебедка; 3 — мини-лебедка; 4 — разгрузочный пункт; 5 — граница пасеки; 6 — лесовозный ус

Для разработки деляны секторальным принципом или с использованием точечной выборки деревьев рекомендуется использовать разделяющийся грузозахватный механизм нисходящего типа движения

(РГЗМ НТД) [2]. Пример разработки лесосеки аэростатно-канатной системой по принципу вертикального изъятия древостоя с использованием РГЗМ НТД представлен на рис. 1.

Методы и результаты исследования. Для оценки эффективности использования канатных транспортных систем при освоении горных лесных массивов разработана методика расчета приведенных затрат заготовки 1 м^3 древесины с учетом эксплуатационных, технологических и экологических показателей, основанная на рекомендациях научных трудов [1; 3; 4–15].

В соответствии с существующей практикой учета капитальных вложений и эксплуатационных расходов, при расчете себестоимости заготовленной древесины учитывались затраты на ГСМ, подъемный газ (для АКС), амортизационные отчисления, техобслуживание и ремонт, зарплату основного и обслуживающего персонала, строительство подъездных путей и погрузочных площадок, экологические издержки.

В связи с тем, что эксплуатация канатных транспортных систем зависит от часто изменяющихся в горных условиях природных факторов, в расчетах необходимо учитывать ненормированность рабочих смен и их реальное число с учетом перебазирок на другие лесосеки.

Число рабочих дней, необходимых для перебазирок канатной системы на другие лесосеки, найдем по общепринятой формуле:

$$N_{\text{пр}} = K \cdot D, \quad (1)$$

где K — количество перебазирок в течение года; D — количество рабочих дней, необходимых на одну перебазировку:

$$K = \frac{N_{\text{прт}}}{n}, \quad (2)$$

где $N_{\text{прт}}$ — количество рабочих дней в году с функционированием канатной системы в режиме трелевки; n — количество смен на освоение одной лесосеки:

$$n = \frac{Q}{P_{\text{см}}}, \quad (3)$$

где Q — средний объем древесины, подлежащей рубке на одной лесосеке, м^3 ; $P_{\text{см}}$ — сменная производительность канатной системы.

Проведя ряд преобразований, получим:

$$N_{\text{пр}} = N_p, \quad (4)$$

где N_p — общее количество рабочих дней в году.

При этом расчеты себестоимости целесообразнее вести с учетом стоимости одной смены и одного рабочего часа, что отражает наиболее реальные затраты в различные периоды рабочего времени смены.

Основным критерием сравнительной эколого-экономической эффективности является производительность лесозаготовительной системы и соответствующая ей себестоимость заготовленной древесины (без учета автомобильной вывозки), приведенной на 1 м^3 , получаемая по формуле:

$$C_{м.куб} = \frac{Z_{час}}{П_ч}, \quad (5)$$

где $Z_{час}$ — затраты лесозаготовительной системы за 1 ч эксплуатации; $П_ч$ — часовая производительность АКС-5.

Для расчета часовой производительности аэростатно-канатной системы АКС-5 используем уравнение [1]:

$$П_ч = 0,000018L_{cp}^2 - 0,060035L_{cp} + 53,04049V_{хол} - 22,227V_{раб} + 9,404069Q_p, \quad (6)$$

где L_{cp} — среднее расстояние трелевки, м; $V_{хол}$ — скорость холостого хода аэростата, м/с; $V_{раб}$ — скорость рабочего хода аэростата, м/с; Q_p — рейсовая нагрузка аэростата, $м^3$.

$$Z_{час} = \frac{C_m + C_э + E_n K}{N_{ч.г.}} \rightarrow \min, \quad (7)$$

где C_m — себестоимость трелевочной операции, приведенная на 1 ч эксплуатации; $C_э$ — расходы на экологические издержки, приведенные на 1 ч эксплуатации; E_n — нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности (0,12–0,15); K — капитальные вложения приведенные на 1 ч эксплуатации.

Эксплуатационные затраты, связанные с заготовкой древесины и трелевочным процессом, найдем по формуле [8]:

$$C_m = C^a + C^e + C^{кр} + C^{есм} + C^{мо} + C^{бз} + C^{мд} + C^{сд} + C^{сн}, \quad (8)$$

где C^a — амортизационные отчисления на оболочку аэростата, лебедочные механизмы, грузозахватные механизмы, канаты; C^e — затраты на несущий газ (для АКС); $C^{кр}$ — отчисления на капитальный ремонт; $C^{есм}$ — затраты на горюче-смазочные материалы; $C^{мо}$ — затраты на техническое обслуживание; $C^{бз}$ — вспомогательно-бытовые затраты; $C^{мд}$ — затраты, связанные с монтажными и демонтажными операциями; $C^{сд}$ — затраты на строительство лесовозных усов и погрузочных площадок; $C^{сн}$ — заработная плата персонала.

Амортизационные отчисления найдем по формуле:

$$C^a = \frac{C_{н.о.} \cdot (1 - 0,05) + C_{об.а.} \cdot (1 - 0,05) \cdot \frac{t_{н.о.}}{t_{об.а.}}}{T_A} + \frac{C_{леб.} \cdot (1 - 0,04) \cdot m_{леб.} + \frac{C_{кан.} \cdot L}{T_{кан.}} + \frac{C_{гзм}}{T_{гзм}}}{T_A}, \quad (9)$$

где $C_{н.о.}$ — стоимость навесного механизма наведения, р.; $C_{об.а.}$ — стоимость оболочки аэростата, р.; $t_{н.о.}$ — срок службы навесного оборудования и системы управления, ч; $t_{об.а.}$ — срок службы оболочки аэростата,

ч; $C_{леб.}$ — стоимость наземной лебедки, р.; T_A — амортизационный ресурс аэростата, ч; $T_{леб.}$ — амортизационный ресурс лебедки, ч (лет); $C_{кан.}$ — стоимость 1 пог. м каната (тягово-возвратные), р.; L — общая длина канатов, м; $T_{кан.}$ — ресурс канатов, ч; $C_{гзм}$ — стоимость грузозахватного механизма, р.; $T_{гзм}$ — амортизационный ресурс грузозахватного механизма, ч (лет).

Годовую стоимость несущего газа найдем по формуле:

$$C^g = \frac{C_r}{T^g} = \frac{V_б \cdot C_{гг} \cdot K_r^g}{T^g \cdot 100}, \quad (10)$$

где C_r — стоимость одного наполнения оболочки, р.; $V_б$ — объем оболочки, $м^3$; $C_{гг}$ — стоимость 1 $м^3$ газа, р.; K_r^g — годовой расход гелия от объема, %; T^g — количество рабочих часов в год, ч.

$$C^{кр} = \frac{C_{об.а.} \cdot K_{кр}^{об.а.} \cdot n_{кр}^{об.а.}}{T_{об.а.}} + \frac{C_{леб.} \cdot K_{кр}^{леб.} \cdot n_{кр}^{леб.}}{T_{леб.}} \cdot m_{леб.}, \quad (11)$$

где $K_{кр}^{об.а.}$ — норма амортизации на капремонт оболочки и лебедки; $n_{кр}^{об.а.}$, $n_{кр}^{леб.}$ — количество капремонтов оболочки и лебедки за амортизационный ресурс.

Затраты на техническое обслуживание и запчасти определяются по формуле:

$$C^{то} = C^{кр} \cdot K_{то}, \quad (12)$$

где $K_{то} = 0,4 \dots 1,2$; $C^{гзм}$, $C^{бз}$, $C^{зп}$ — определяются исходя из рабочих нормативов.

Расходы на экологические издержки от ущерба, причиненного эксплуатацией лесозаготовительной системы, найдем по формуле:

$$C_э = U_{лм} + U_{лв} + U_{н1} + U_{н2} + U_{н3} + U_{н4} + U_{н5} + U_{н6} + U_{н7}, \quad (13)$$

где $U_{лм}$ — расходы на выполнение лесоводственных требований, р.; $U_{лв}$ — расходы на лесовосстановление на площадях под пасечными волоками (находятся как произведение нормы затрат на 1 га на общую площадь пасечных волоков), р.; $U_{н1}$ — убытки в результате повреждения подростка на пасечных волоках, находятся по формуле:

$$U_{н1} = 10S_b \cdot П_d \cdot \sum z \cdot Ц, \quad (14)$$

где S_b — площадь волоков, га; $П_d$ — средняя полнота древостоя; z — средний прирост на 1 га, $м^3$; $Ц$ — таксовая стоимость 1 $м^3$ древесины, р.

$U_{н2}$ — убытки в результате вырубki поврежденных деревьев, не разрешенных к рубке, находятся по формуле:

$$U_{н2} = \frac{Q_1 \cdot T}{Q_2} \cdot П_d \cdot \sum z \cdot Ц, \quad (15)$$

где Q_1 — объем поврежденных деревьев на лесосеке, $м^3$ (зависит от крутизны склона); Q_2 — средний запас древесины на лесосеке, $м^3$; z — текущий прирост древесины по породам, $м^3/га$; $Ц$ — таксовая стоимость древесины по породам, р./ $м^3$.

$U_{н3}$ — убытки от вырубki деревьев на трассах канатных установок и трелевочных волоках находятся по формуле:

$$U_{н3} = S_{г.в.} \cdot T \cdot П_d \cdot \sum z \cdot Ц, \quad (16)$$

где $S_{Т.В.}$ — общая площадь, занятая трелевочными волоками и трассой канатной установки, га; U_{n4} — убытки от эрозии почвы на волоках, находятся по формуле:

$$U_{n4} = S_{В.П.д} \cdot q_0 \cdot Ц , \quad (17)$$

где q_0 — запас леса на 1 га, $м^3$.

U_{n5} — убытки от снижения водорегулирующих функций леса (состоят из убытков из-за смыва грунта на промежуточных погрузочных площадках и на пасечных волоках):

$$U_{n5} = \frac{\Delta Q_c \cdot \tau_B}{S_{Л} \cdot E_H} , \quad (18)$$

где ΔQ_c — прирост грунтового стока под влиянием леса; τ_B — водная рента; $S_{Л}$ — площадь лесосеки, га; E_H — коэффициент эффективности.

U_{n6} — убытки от снижения водоохраной функции леса, определяются по формуле:

$$U_{n6} = 0,052 \cdot O_o \cdot \frac{S_n^2}{S_{Л}} , \quad (19)$$

где 0,052 — коэффициент, учитывающий период восстановления водоохраных функций леса, эксплуатационную ценность воды и степень изменения стоков; O_o — годовое количество осадков, мм; S_n — площадь волоков, трасс и складов, га; $S_{Л}$ — площадь лесосеки, га.

U_{n7} — убытки от снижения качества древесины в результате повреждения деревьев, не отведенных в рубку:

$$U_{n7} = Q_{п} \cdot \Delta Ц , \quad (20)$$

где $Q_{п}$ — объем поврежденной древесины, $м^3$; $\Delta Ц$ — разница между настоящей стоимостью обычной древесины и поврежденной, р.

Представленная группа эксплуатационных затрат позволяет при экономической оценке различных типов канатных лесотранспортных систем учесть их специфические особенности и обеспечить наиболее точное сравнение с другими видами лесозаготовительной техники.

Для примера расчета экономического эффекта от внедрения аэростатно-канатной системы были использованы материалы проекта освоения лесов предприятия ОАО «Дальлеспром» (договор № 0163). Было рассмотрено два варианта эксплуатации АКС:

- в режиме трелевки поваленного дерева с использованием чокерной оснастки или грейфера;
- в режиме вертикального изъятия дерева с использованием грузозахватного механизма ГЗМ.

В качестве альтернативной технологии для сравнения была выбрана самоходная канатная установка (СКУ) Owren-400RU.

Для расчета производительности и норм расхода ГСМ, канатов, отчисления на амортизацию, ремонт и др. для самоходной канатной установки использовались рекомендации, изложенные в трудах [3; 5; 8; 10–14].

Исходные данные по лесному участку:

- площадь лесосеки — 49 га;
- состав насаждений — 6ЛЗЕ1Бб;
- средний запас леса — 156 $м^3$ /га;

- средний прирост по запасу — 1,3 $м^3$ /га;
- таксовая стоимость древесины на корню — 98 р./ $м^3$;

- рельеф: 47 % площади покрытых лесной растительностью земель расположено на склонах до 20°, 53 % площади насаждений — на склонах от 20 до 30°;
- среднее расстояние трелевки — 700 м.

Сравнение экономической эффективности работы аэростатно-канатных систем и самоходных канатных установок проводилось по следующим показателям:

- рабочее время, потраченное на разработку лесного участка, включая монтажные и демонтажные работы (рис. 2);

- себестоимость заготовки 1 $м^3$ древесины при использовании АКС с технологией применения грейферно-чокерной оснастки или грейферного захвата (рис. 3);

- себестоимость заготовки 1 $м^3$ древесины при использовании АКС с технологией вертикального изъятия деревьев с применением ГЗМ с учетом современных экологических требований (рис. 4).



Рис. 2. График сравнения рабочего времени АКС и СКУ, потраченного на разработку лесного участка

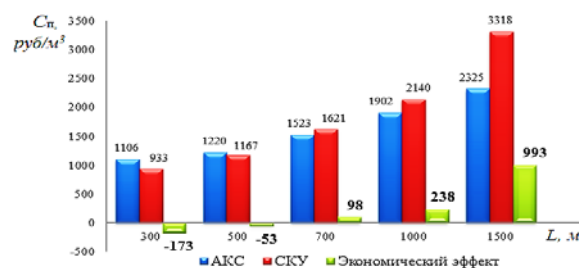


Рис. 3. График сравнения себестоимости заготовки 1 $м^3$ древесины при использовании АКС с технологией применения грейферного захвата или чокерной оснастки и СКУ, работающей в полуподвесном режиме трелевки

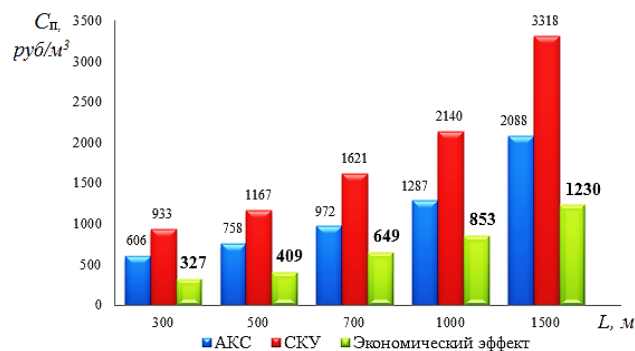


Рис. 4. График сравнения себестоимости заготовки 1 $м^3$ древесины при использовании АКС с технологией вертикального изъятия деревьев и СКУ, работающей в полуподвесном режиме трелевки (с учетом экологических требований)

Заключение.

1. Время, затрачиваемое на монтажно-демонтажные работы СКУ, выше, чем для АКС, в среднем в 3 раза. Однако при этом общее время, затрачиваемое на разработку лесного участка с использованием АКС, работающей в режиме вертикального изъятия деревьев, наоборот, больше в 1,1 раза, а в режиме с чокерной и грейферной оснасткой — меньше в 1,4 раза, чем у СКУ.

2. Положительный экономический эффект использования АКС с чокерной или грейферной оснасткой по сравнению с СКУ наступает при расстоянии трелевки свыше 650 м. Максимальный экономический эффект наблюдается при расстоянии трелевки от 1 000 до 1 500 м и составляет от 238 до 993 р. на 1 м³.

3. Экономический эффект от использования АКС, работающей в режиме вертикального изъятия деревьев, очевиден на всей протяженности трелевочной трассы и составляет от 327 до 1 230 р. на 1 м³ за счет минимальных экологических издержек, что дает возможность уменьшения себестоимости заготовленной древесины в 1,6 раза по сравнению с СКУ.

Литература

1. Абузов А.В., Рябухин П.Б. Аэростатный транспорт для горных лесозаготовок в условиях Дальнего Востока: моногр. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. 199 с.
2. Абузов А.В., Бернотас Р.В. Особенности лесозаготовительного процесса при вертикальном изъятии и транспортировке деревьев воздушным способом // *Философия современного природопользования в бассейне реки Амур: сб. докл. междунар. экол. семинара*. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. С. 67–71.
3. Белая Н.М., Прохоренко А.Г. Канатные лесотранспортные установки. М.: Лесная промышленность, 1964. 300 с.
4. Бойко Ю.С. Воздухоплавание: Привязное. Свободное. Управляемое. М.: МГУЛ, 2001. 462 с.
5. Гарькуша В.Н. Теоретические основы определения параметров мобильных средств и технологических процессов для освоения горных лесов: дис. ... д-ра техн. наук. Краснодар, 2002. 453 с.
6. Долбня Н.В. Эффективность применения авиации в отраслях народного хозяйства. М.: Воздушный транспорт, 1990. 264 с.
7. Козловский В.Б., Худоленко О.В., Деревянко В.С. Аэростатические летательные аппараты для отраслей экономики. М.: Воздушный транспорт, 2007. 480 с.
8. Исследование возможностей использования летательных аппаратов на лесозаготовках в горных условиях: отчет о науч.-исследовательской работе. В 2 ч. Химки: ЦНИИМЭ, 1985. 189 с.
9. Guimier Daniel Y., Vern G. Wellburn Logging with heavy-lift airships // *FERIC, Technical Report № TR-58, May, 1984*. 115 p.
10. James D. Van Winkle. An analysis of road changing on several cable logging operations // *Oregon State University, 1975*. 113 p.
11. Dykstra D.P. Production rates and costs for cable, balloon and helicopter yarding systems in Old-growth Douglas-fir // *Forest Laboratory, School of Forestry, Oregon State University, Corvallis. Research Bulletin 18, 1975*. 57 p.
12. Dykstra D.P. Delays and downtime related to cable, balloon and helicopter yarding in Old-growth Douglas-fir // *Covallis, Oregon State University, 1975*. 31 p.
13. Dykstra D.P. Production rates and costs for cable, balloon and helicopter compared for clear-cuttings and partial cuttings //

Forest Research Laboratory, School of Forestry, Oregon State University, Corvallis. Research Bulletin 22, 1976. 44 p.

14. Richard James Curtis. Production rates of skyline, balloon and helicopter yarding systems from gross time study analysis // *A thesis submitted of Forestry Oregon State University, June 1978*. 86 p.

15. Sherman D. Hoke. Method and apparatus for aerially transporting loads: Patent US 5080302, B64B 1/50. Inventor; Pub. Date Jan. 14, 1992.

16. Proceedings of the interagency workshop on LTA vehicles, Monterey, Calif., Sept. R75-2. 1975. 692 p.

17. Graeter W.F. Tethered balloon transport systems: a proposal // *Boston University, 1978*. 229 p.

References

1. Abuzov A.V., Ryabuhin P.B. Aerostat transport for mountain logging in the Far East: monogr. Habarovsk: Izd-vo Tihookean. gos. un-ta, 2013. 199 p.
2. Abuzov A.V., Bernotas R.V. Features of the logging process in vertical removal and transportation of trees by air // *Filosofiya sovremennogo prirodopol'zovaniya v bassejne reki Amur: sb. dokl. mezhdunar. ekol. seminar. Habarovsk: Izd-vo Tihookean. gos. un-ta, 2015*. P. 67–71.
3. Belaya N.M., Prohorenko A.G. Rope forest transport installations. M.: Lesnaya promyshlennost', 1964. 300 p.
4. Bojko YU.S. Ballooning: The Tethered. Free. Driven. M.: MGUL, 2001. 462 p.
5. Gar'kusha V.N. Theoretical bases of definition of parameters of mobile means and technological processes for development of mountain woods: dis. ... d-ra tekhn. nauk. Krasnodar, 2002. 453 p.
6. Dolbnya N.V. Efficiency of application of aviation in branches of national economy. M.: Vozdushnyj transport, 1990. 264 p.
7. Kozlovskij V.B., Hudolenko O.V., Derevyanko V.S. Aero-static aircraft for sectors of the economy. M.: Vozdushnyj transport, 2007. 480 p.
8. Research of possibilities of use of aircraft on logging in mountain conditions: otchet o nauch.-issledovatel'skoj rabote. V. 2. ch. Himki: CNIIME, 1985. 189 p.
9. Guimier Daniel Y., Vern G. Wellburn Logging with heavy-lift airships // *FERIC, Technical Report № TR-58, May, 1984*. 115 p.
10. James D. Van Winkle. An analysis of road changing on several cable logging operations // *Oregon State University, 1975*. 113 p.
11. Dykstra D.P. Production rates and costs for cable, balloon and helicopter yarding systems in Old-growth Douglas-fir // *Forest Laboratory, School of Forestry, Oregon State University, Corvallis. Research Bulletin 18, 1975*. 57 p.
12. Dykstra D.P. Delays and downtime related to cable, balloon and helicopter yarding in Old-growth Douglas-fir // *Covallis, Oregon State University, 1975*. 31 p.
13. Dykstra D.P. Production rates and costs for cable, balloon and helicopter compared for clear-cuttings and partial cuttings // *Forest Research Laboratory, School of Forestry, Oregon State University, Corvallis. Research Bulletin 22, 1976*. 44 p.
14. Richard James Curtis. Production rates of skyline, balloon and helicopter yarding systems from gross time study analysis // *A thesis submitted of Forestry Oregon State University, June 1978*. 86 p.
15. Sherman D. Hoke. Method and apparatus for aerially transporting loads: Patent US 5080302, B64B 1/50. Inventor; Pub. Date Jan. 14, 1992.
16. Proceedings of the interagency workshop on LTA vehicles, Monterey, Calif., Sept. R75-2. 1975. 692 p.
17. Graeter W.F. Tethered balloon transport systems: a proposal // *Boston University, 1978*. 229 p.