

Лебедки на лесозаготовительной технике

И.К. Козлова^{1a}, Н.Н. Вернер^{1b}, Б.М. Локштанов^{2c}, В.В. Орлов^{3d}, Т.А. Гусева^{4e}, В.А. Иванов^{5f}

¹ Санкт–Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова, Институтский переулок, 5, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербург, ЖСК-87, пр. Науки, 43, Россия

³ Военная академия связи им. С.М. Буденного, Тихорецкий проспект, 3 Санкт-Петербург, Россия

⁴ Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 8, Россия

⁵ Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

^a kozlova.ik@mail.ru, ^b wernern@mail.ru,

^c blokshtanov@mail.ru, ^d artictvetal1987@gmail.com,

^e guse.tania2012@yandex.ru, ^f ivanovva55@mail.ru

^a <https://orcid.org/0009-0006-8971-289X>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-6766-0092>,

^c <https://orcid.org/0000-0002-5390-1457>, ^d <https://orcid.org/0000-0002-1693-0515>,

^e <https://orcid.org/0000-0003-1059-8483>, ^f <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>

Статья поступила 27.01.2025, принята 24.03.2025

Лебедки широко применяются на основных видах работ и в качестве вспомогательного оборудования. Управление работой лебедки может быть механическое, гидравлическое, электрическое, как напрямую, так и дистанционное. Особую роль лебедки выполняют в лесозаготовках. В данной статье рассмотрены вопросы использования тяговых лебедок для трелевки лесоматериалов (дереьев, хлыстов, сортиментов). В качестве примера рассмотрены технология и конструкция трактора ТДТ-55 с тяговой лебедкой и щитом, которые в свое время широко и успешно применялись на лесозаготовках России и других стран. Отмечены преимущества и недостатки такой технологии, что являлось основанием применения скандинавской технологии лесозаготовок с использованием харвестеров и форвардеров. Однако использование такой техники на лесосеках со слабыми почвогрунтами, с высоким снежным покровом, в горных условиях, на рубках ухода за лесом, рубках прореживания, на лесоветроповаленных участках, санитарных рубках не эффективно. На перечисленных несплошных рубках целесообразнее использовать трактора с торцевым щитом и тяговой лебедкой. Рассмотрен порядок расчета тяговых усилий на лебедке для трелевки 3-5 деревьев. Приведены данные по трасам с целью выбора необходимого троса для тяговых лебедок и чокеров. Показаны новые конструкции харвестера и форвардера, снабженные поворотными тяговыми лебедками, позволяющие разбирать лесные завалы, образующие после ветролесоповала. Приведены новые технологии лесозаготовок на ветролесоповаленных лесосеках, на которые получены патенты РФ. Показан расчет барабанов с винтовой укладкой троса для поворотных лебедок. Рассмотрены лебедки как вспомогательные устройства для харвестеров и форвардеров с целью успешной их работы в тяжелых условиях (слабые почвогрунты, высокий снежный покров, работа на склонах).

Ключевые слова: лесозаготовительная техника; трелевочный трактор; тяговые лебедки; ветролесоповал; трос; чокер; конус трелевочный.

Winches in the logging industry

I.K. Kozlova^{1a}, N.N. Verner^{1b}, B.M. Lokshtanov^{2c}, V.V. Orlov^{3d}, T.A. Guseva^{4e}, V.A. Ivanov^{5f}

¹ St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov; 5, Institutsky Per., St. Petersburg, Russia

² ZhSK-87; 43, Nauki Ave., St. Petersburg, Russia

³ Military Academy of Communication named after S.M. Budenny; 3, Tikhoretsky Ave., St. Petersburg, Russia

³ Military Academy of Material and Technical Support named after A.V. Khrulev; 8, Makarov Emb., St. Petersburg, Russia

⁴ Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^a kozlova.ik@mail.ru, ^b wernern@mail.ru,

^c blokshtanov@mail.ru, ^d artictvetal1987@gmail.com,

^e guse.tania2012@yandex.ru, ^f ivanovva55@mail.ru

^a <https://orcid.org/0009-0006-8971-289X>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-6766-0092>,

^c <https://orcid.org/0000-0002-5390-1457>, ^d <https://orcid.org/0000-0002-1693-0515>,

^e <https://orcid.org/0000-0003-1059-8483>, ^f <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>

Received 27.01.2025, accepted 24.03.2025

Winches are widely used in the main types of work and as auxiliary equipment. The winch operation can be controlled mechanically, hydraulically, electrically, both directly and remotely. Winches play a special role in logging. The article discusses the use of traction winches for skidding timber (trees, logs, assortments). As an example, the technology and design of the TDT-55 tractor with a trac-

tion winch and a shield are considered, which were once widely and successfully used in logging in Russia and other countries. The advantages and disadvantages of such technology are noted, which is the basis for the use of Scandinavian logging technology using harvesters and forwarders. However, the use of such equipment in logging areas with weak soils and high snow cover, in mountainous conditions, in forest thinning and wind-blown areas, while sanitary felling is not effective. In the above mentioned clearcuts it is more appropriate to use tractors with a face shield and a traction winch. The procedure for calculating the traction forces on the winch for skidding 3-5 trees is considered. Data on routes are provided for the purpose of selecting the required cable for traction winches and chokers. New designs of a harvester and forwarder equipped with rotary traction winches are shown, allowing for clearing forest debris formed after wind-felling. New technologies for logging in wind-blown forest areas, for which the patents of the Russian Federation have been obtained, are presented. The calculation of drums with screw laying of cable for rotary winches is considered. Winches are considered as auxiliary devices for harvesters and forwarders for the purpose of their successful operation in difficult conditions (weak soils, high snow cover, work on slopes).

Keywords: logging machinery; skidder; traction winches; cable; choker; skidding cone.

Введение. Лебедки – это простейшие грузоподъемные устройства, широко применяемые в технике. Они состоят из вращающего барабана и каната (троса), наматываемого на барабан. Для снижения нагрузки (усилия) на барабан применяют систему блоков, составляющую полиспаст. Лебедки могут быть ручными, механическими, электрическими, гидравлическими, стационарными, мобильными, навесными. Кроме того, лебедки могут быть однобарабанными, двухбарабанными, многобарабанными, с одним канатом на барабане, двухканатными, с гладким барабаном или с нарезкой (винтовой) для укладки троса, с одним слоем троса или многослойными, с одним рабочим ходом или многоходовыми (скоростными), с рабочим ходом и с холостым, реверсивными, с вращением барабана от основного двигателя, или от собственного двигателя и т. д. и т. п. Управление работой лебедки может быть механическим, гидравлическим, электрическим, осуществляемым напрямую или дистанционно, автоматическим.

Лебедки используют в основных видах работ или как вспомогательные устройства.

Особую роль выполняют лебедки в лесозаготовительных работах лесной отрасли России. Разработана и используется технология лесозаготовок с канатными установками для трелевки лесоматериалов на лесосеках со слабыми грунтами и на лесосеках в горной местности.

В данной статье мы будем рассматривать тяговые лебедки для трелевки лесоматериалов, устанавливаемые на лесозаготовительной технике, а также лебедки, используемые как вспомогательные устройства, способствующие выполнению лесозаготовительной техники своей технологической функции.

До 1930-х гг. на лесозаготовках России широко использовался ручной труд с применением двуручной пилы, топора для валки деревьев, очистки их от сучьев, а также лошадей для трелевки сортиментов.

Производство в СССР тракторов для сельского хозяйства позволило рассматривать их использование и на лесозаготовительных работах. В частности, для трелевки лесоматериалов и на вывозке леса на эти трактора монтировали лебедки. Опыт применения таких тракторов показал, что они малоподвижны на лесосеке, но они своими лебедками позволили механизировать труд лесозаготовителей, особенно на операциях по трелевке лесоматериалов [1].

С созданием специальной лесозаготовительной техники – трелевочных тракторов со встроенной тяговой лебедкой с тросом до 40 метров и десятью чокерами, а также с оснасткой его подвижным щитом, произошло первое большое, можно сказать, революционное, изме-

нение в технологии лесозаготовок. По этой технологии стало возможным заготавливать деревья или хлысты, а их обработку (очистку от сучьев, раскряжевку) выполнять на верхнем или нижнем складах лесозаготовительного предприятия [2]. Следует отметить, что создание бензо- и электромоторных пил позволило механизировать труд вальщиков и обрубщиков сучьев.

Рассмотрим преимущества и недостатки применения канатно-чокерной оснастки лесозаготовительной техники.

Преимущества:

- возможность, практически с одной стоянки трелевочного трактора сформировать пачку деревьев или хлыстов;

- пасека для ведения лесозаготовительных работ имеет значительную ширину (около 80 м), на которой можно вести работы с сохранением почти 60 % подроста;

- лесозаготовительная техника (трелевочный трактор) находится на волоке, что позволяет не повреждать почвогрунты лесосеки;

- трелевочный трактор, оснащенный лебедкой, имеет возможность преодоления труднопроходимых участков, а также может производить операции для «самовытаскивания» из нештатных ситуаций;

- лебедка и канатная оснастка позволяет вести ремонтные работы на лесосеке путем «вывешивания» трактора и его частей, особенно при замене тяжелых частей трактора, например, ходовой части.

К недостаткам канатно-чокерной оснастки трелевочного трактора относятся:

- тяжелый ручной труд, связанный с перенесением рабочими (вальщиком или помощником) довольно-таки большой массы канатно-чокерного оборудования, которое включает 10–15 чокеров (каждый чокер весит 1,7 кг при диаметре каната 18 мм);

- на обвязку деревьев или хлыстов чокерами и на их освобождение от чокеров затрачивается 25–30 минут, а это почти 20 % от времени на всю операцию по заготовке и трелевке пачки лесоматериалов;

- при перемещении деревьев или хлыстов волоком происходит значительный износ канатно-чокерной оснастки: чокеры приходится менять два раза в год, а тяговый трос – раз в год.

После войны на Кировском заводе в Ленинграде был создан первый в мире трелевочный трактор КТ-12, в котором применялась тяговая лебедка и подвижный щит [3]. Трактор КТ-12 был маломощным, но принципы работы его механизмов, заложенные в конструкцию, позволяли создавать более мощные трактора типа ТДТ-40, ТДТ-55 (рис.1), ТБ-1 и др. на Минском тракторном заводе, на Онежском и Алтайском заводах.

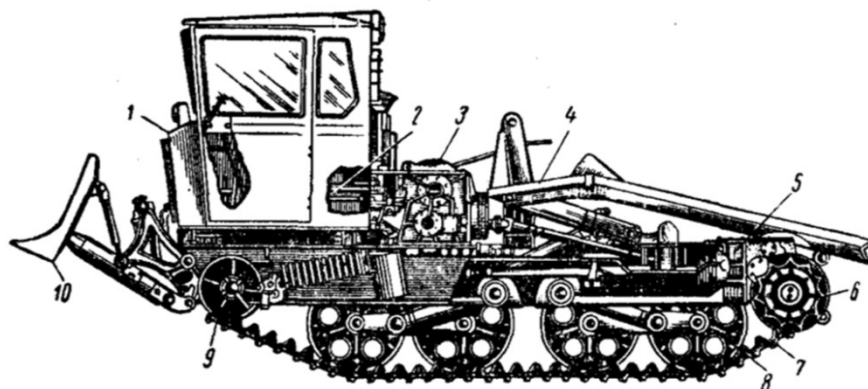


Рис. 1. Общий вид трактора ТДТ-55 с лебедкой (3) и щитом (4). 1 – двигатель, 2 – вал отбора мощности, 3- тяговая лебедка, 4 – щит, 5 – трансмиссия, 6 – приводная звездочка, 7 – гусеницы, 8 – каток, 9 – натяжное колесо, 10 – отвал

Отмеченные недостатки повлияли на темпы роста производительности труда на лесозаготовках и стали причиной широкого внедрения в России так называемой «скандинавской технологии лесозаготовок» с применением колесной техники (харвестеров и форвардеров), оснащенных манипуляторами [4]. Но и эта технология и техника имеет недостатки, ограничивающие ее применение в лесах России:

- колесная техника не может эффективно работать на слабых почвогрунтах, на заболоченных участках, в горных условиях, в условиях высокого снежного покрова, на разработке ветролесоповалов;
- харвестеры и форвардеры имеют большую массу и оказывают негативное влияние на почвогрунты и на подrost;
- ремонт харвестеров и форвардеров на лесосеке затруднен не только в связи с необходимостью заказа запчастей за рубежом, но и с отсутствием необходимых условий его осуществления на лесосеке.

Как показала практика, харвестеры и форвардеры эффективно применяются на сплошных рубках, на которых они развивают высокую производительность, а на других видах рубок (ухода за лесом, санитарные, прореживания) их производительность падает в несколько раз, а с учетом высокой стоимости их эксплуатации, эффективность применения этих агрегатов становится даже убыточной. Для перечисленных лесных работ требуется создание специальной техники, например, мини-харвестера и мини-форвардера [5, 6, 7].

Для проведения работ по рубкам ухода за лесами, санитарным рубкам, рубкам прореживания используют технологию заготовок, основанную на валке деревьев и их трелевке (подтаскиванию) к трелевочному трактору типа МТЗ-82, МТЗ-1221 [8]. При этом трактор снабжен подвижным торцевым щитом и трелевочной лебедкой. Далее трактор с собранными деревьями (3–5 шт.) трелюет их на пункт для обработки: очистки от сучьев, раскряжевки на сортименты.

Таким образом, торцевой щит и лебедка относятся к навесному оборудованию данного трактора. Такое оборудование к серийным колесным тракторам (и даже к гусеничным тракторам) выпускают фирмы России, Беларуси, Словении и других стран.

В последние 30 лет в России закуплено большое количество лебедок (установок) из Словении марки «TAJFUN» (рис. 2). В табл. 1. представлены характери-

стики основных лебедок «TAJFUN» тяжелого класса, применяемых в России на лесозаготовках.



Рис. 2. Трактор с торцевым щитом и лебедкой типа «TAJFUN»

Перечисленные лебедки механические и работают от вала отбора мощности (ВОМ) через кардан и цепную передачу. Тормоз лебедки – ленточный, а барабан имеет холостой ход. Торцевой щит трактора поднимается, опускается и наклоняется на незначительную, но достаточную величину, гидроцилиндрами.

Таблица 1. Характеристика механических лебедок «TAJFUN» тяжелого класса

Тип лебедки	EGV55A	EGV65A	EGV85A
Сила тяги, кН(т)	55(5,5)	65(6,5)	85(8,5)
Тормозная способность ленточного тормоза, кН(т)	69	81	106
Скорость тягового троса, м/с	0,54–1,07	0,50–0,99	0,51–1,10
Длина тягового троса, м	70–86	70–80	86–110
Диаметр троса, мм	11–13	12–14	13–15
Необходимая мощность двигателя трактора, л.с.	35–70	50–90	70–135

В России разработана лебедка трелевочная навесная ЛТН-50 к установке ПТ-50, предназначенная для трелевки деревьев, хлыстов и сортиментов при проведе-

нии рубок ухода за лесом. Лебедка приводятся в действие через кардан и цепную передачу от ВОМ трактора, содержат фрикционную муфту, управляемую через рычаг, а также ленточный тормоз, управляемый рычагом. Изготовитель навесной установки ПТ-50 (шит и лебедка) – ООО ЛесХозснаб, Московская область, г. Пушкин [9].

Характеристика отечественной установки ПТ-50 для тракторов МТЗ-82, МТЗ-1221 представлена в табл. 2 (рис. 3).

Таблица 2. Техническая характеристика отечественной трелевочной установки ПТ-50

Лебедка марка	ЛТН-50
Количество барабанов	1
Ревёрс	Нет
Максимальное усилие, кН (т)	50 (5)
Скорость вращения барабана, мин ⁻¹	540
Диаметр канаты, мм	12
Длина тягового каната, м	50
Количество чокеров	3

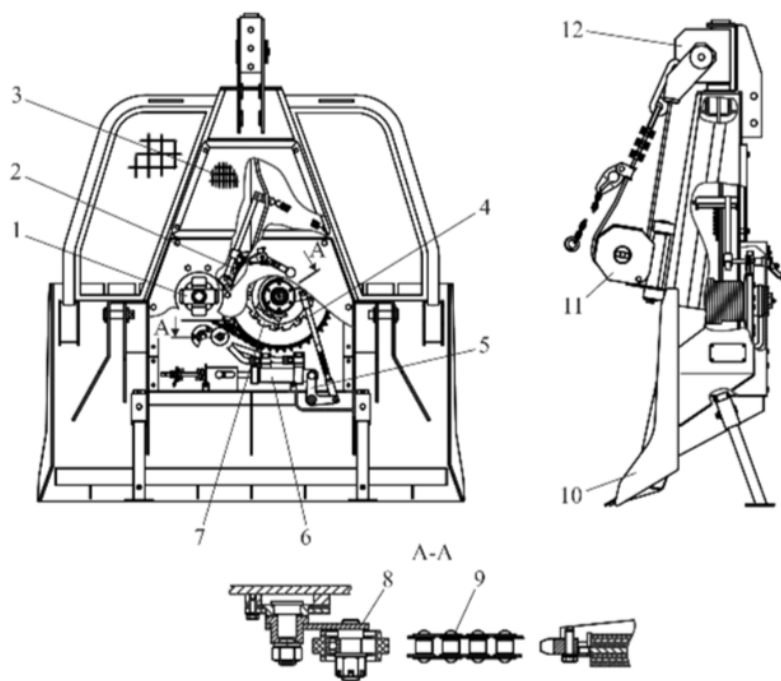


Рис. 3. Конструкция трелевочного торцевого шита с лебедкой (приспособление трелевочное ПТ-50). 1 – вал карданный; 2 – колодка тормозная; 3 – ограждение; 4 – тяга; 5 – рычаг; 6 – гидроцилиндр; 7 – лебедка ЛТН-50; 8 – рычаг; 9 – цепь; 10 – упорный шит; 11 – нижний блок; 12 – верхний блок

Тяговый трос снабжен тремя цепными чокерами, позволяющие зацеплять деревья диаметром от 16 до 80 см. Чокеры снабжены металлическими или пластиковыми конусами (рис. 4), устанавливаемые на торцы поваленных деревьев или хлыстов, способствующими снижению нагрузок на трос при трелевке (снижение зацепления о грунт, пни и т. п.).



Рис. 4. Чокер тросовый, цепной и конус торцевой

Конструирование тяговых лебедок начинают с определения нагрузок, которые необходимо преодолеть лебедкой при перемещении груза по грунту. Груз – это несколько деревьев с кроной.

$$F = N \cdot \mu,$$

где F – усилие, развиваемое лебедкой, необходимое для перемещения груза (пачки деревьев), N ; N – масса (вес) пачки деревьев, N ; μ – коэффициент трения (или зацепления) между пачкой деревьев и грунтом.

При определении величины N необходимо знать несколько показателей: параметры деревьев (длину, диаметр, величину кроны), их породу, влажность древесины (плотность).

При определении параметров сваленных деревьев, подвергаемых перемещению, используют таксационные данные по диаметру дерева $d_{1,3}$ (на высоте груди человека $\sim 1,3$ м) и его породе.

В связи с тем, что стволовая часть дерева представляет конус, то средний диаметр подсчитывается с уче-

том $d_{1,3}$ (диаметр дерева на высоте 1,3 м). От этого показателя – $d_{1,3}$ – рассчитывают объем стволовой части дерева V_I и в зависимости от породы дерева прибавляют еще 12–15 % к объему ствола и объем кроны деревьев. Таким образом, от значений $d_{1,3}$ зависит объем стволовой части и кроны. На основании большого количества измерений, проведенные таксаторами как в России, так и за рубежом, составлены таксационные таблицы объемов деревьев и хлыстов.

В связи с тем, что мы рассматриваем усилия на лебедке при перемещении (трелевки) деревьев, то мы должны вести расчеты по максимальным параметрам. Известно, что максимальные параметры деревьев зависят от географического расположения лесных стран и особенно от регионов в России: для Северо-Западного региона максимальный объем ствола составляет 1,5 м³ (средний 0,45 м³), а для Сибири и Дальнего Востока 2,0 м³ (средний 0,55 м³) [10, 11].

Кроме объема дерева нам необходимо знать и плотность древесины, которая зависит от ее породы и влажности [12]. Для расчетов за величину плотности ρ принимаем 800 кг/м³ [13], хотя для таких пород как дуб или лиственница этот показатель может составлять 900 кг/м³. Таким образом, величину объема одного дерева N_1 можно рассчитать по формуле (1), а величину N – по формуле (2):

$$N_1 = V_I \times \rho \quad (1)$$

$$N = N_1 \times n, \quad (2)$$

где n – количество деревьев в пачке (шт.).

Очень важен вопрос о коэффициенте трения деревьев о грунт μ . Этот коэффициент зависит от породы древесины (состояния коры деревьев), от качества грунта (сухой, влажный, наличие камней, пней, растительности, снежного покрова, льда и т. п.). Обычно для коры сосны и ели принимают $\mu = 0,4$, для осины и березы $\mu = 0,35$ [14], однако при перемещении (трелевки) дерево наталкивается на камни, пни, лежащие деревья, врезается в грунт, что оказывает большое сопротивление перемещению, поэтому уже следует рассматривать процесс не трения, а зацепления. Как показала практика трелевки, этот коэффициент уже увеличивается до $\mu = 0,8–1,0$.

Формула для расчета усилий перемещения (трелевки) пачки деревьев F примет вид:

$$F = N \times \mu$$

$$F = V_I \cdot n \cdot \rho \cdot \mu \quad (3)$$

где V_I – объем дерева с кроной, м³; n – количество деревьев в трелемой пачке, шт.

$$V_I = (V + V_K) \times K \quad (4)$$

где K – доля кроны в объеме дерева (0,12–0,17).

$$V = \frac{1}{3} \pi h (r_1^2 + r_1 \times r_2 + r_2^2) \quad (5)$$

где h – высота стволовой части дерева, м; r_1 – радиус окружности дерева на высоте 1,3 м, м; r_2 – радиус окружности вершины стволовой части дерева (обычно диаметр вершины принимается 0,06 м или радиус $r_2 = 0,03$ м).

Если принять для расчета величины F следующие данные: $d_{1,3} = 0,8$ м ($r_1 = 0,4$ м); d вершины 0,06 м ($r_2 = 0,03$ м); высоту дерева до диаметра 0,06 м (высота стволовой части дерева – $h = 22$ м); доля кроны $K = 0,12$; порода дерева – сосна; плотность древесины – $\rho = 0,8$ т/м³; количество таких больших деревьев в пачке $n = 3$, тогда расчетная величина усилий на лебедке F составит примерно 64 кН. В расчете F принято три крупных дерева, но обычно в пачке столько крупных деревьев не трелюют – берут одно-два крупных дерева, остальные с меньшим диаметром $d_{1,3}$. Как правило тяговое усилие пачки из пяти деревьев составляет 30–40 кН.

Полученная величина усилия для перемещения (трелевки) пачки деревьев лежит в основе выбора диаметра тягового троса и диаметра троса (цепей) для чококов. Тяговый трос работает с большой нагрузкой, трется о грунт, камни, работает на изгиб при навивке на барабан лебедки.

В работе с древесиной и грунтом тяговый трос изнашивается, проволоки троса рвутся. В связи с этим усилия, на которые может работать трос выбирают с коэффициентом запаса $K = 1,5–2,0$. [15]. Тяговый металлический трос (канат) выбирают по ГОСТ 2688-80 [16]. Некоторые данные из указанного ГОСТ приведены в табл. 3.

Таблица 3. Разрывное усилие стальных канатов двойной свивки типа ЛК-Р (по ГОСТ 2688-80) (выборочные данные)

Диаметр каната, мм	Масса 1 м каната, кг	Временное сопротивление проволок каната разрыву, МПа (Н)			
		Маркировочная группа каната			
		Разрывное усилие, Н			
		1372	1568	1764	1960
11,0	0,462	-	62850	68800	75100
12,0	0,527	-	71750	78550	85750
13,0	0,597	71050	81250	89000	97000
14,0	0,728	86800	98950	108000	137000
15,0	0,804	100000	114500	125500	198000
16,5	1,025	121500	139000	152000	166000
18,0	1,220	145000	166000	181500	198000
19,5	1,405	164000	191000	209000	228000
21,0	1,635	194500	222000	234500	265500

Примечание. Прочерком – маркировочная группа 1372 не используется.

В табл.3 даны предельные разрывные усилия для различных канатов и маркировочные группы канатов, по ГОСТ-2688-80 которые соответствуют условиям трелевки деревьев на лесозаготовках в России.

Если пачка деревьев составляет 10–15 шт., то тяговое усилие для трелевки увеличивается до 80–90 кН. Тогда необходимо выбрать канат диаметром 19–21 мм маркировочной группы 1764 или 1960.

Если пачка деревьев составляет 3–5 шт., то тяговое усилие для трелевки составит 30–50 кН и достаточно выбрать канат диаметром 14 мм.

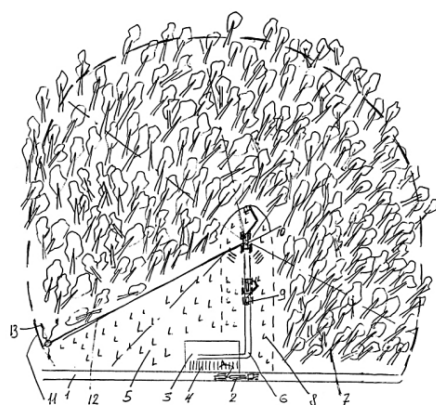
Отметим, что масса 1 м каната диаметром 21 мм составляет 1,635 кг, а масса каната диаметром 14 мм уже 0,73 кг, или почти в 2 раза меньше, что значительно облегчает работу вальщика и помощника при перемещении каната. Обычно диаметр чокера выбирают таким же, как и основного каната, так как тяговое усилие от пачки может перенестись на один чокер (одно дерево из пачки попало на торчащий пенёк, камень и т. п.). Чем меньше диаметр чокера, тем удобнее вальщику или его помощнику чокеровать деревья, и на эту операцию требуется меньше времени.

Отметим, что тяговое усилие лебедки трактора ТДТ-55 составляет 90 кН, что обеспечивает трелевку пачки деревьев объемом 5–6 м³, (10–15 деревьев при среднем объеме дерева 0,4–0,5 м³).

В последнее время из-за изменения климата, в том числе и в России, участились ураганы, приводящие к ветролесоповалу. Разбор деревьев и очистка лесосек в таких условиях затруднена. Так как основной лесоза-

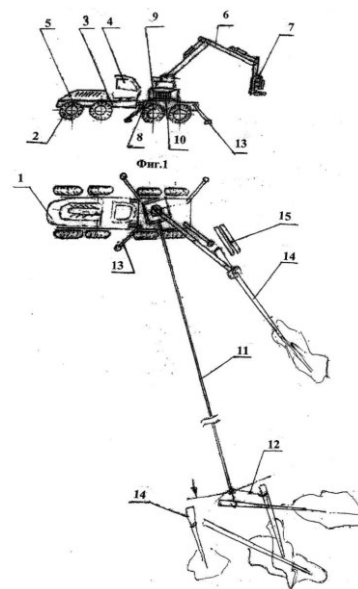
готовительной техникой на лесосеке в России уже являются харвестеры и форвардеры, то их стали применять и для работы на ветролесоповале. Практика показала, что при работе в таких тяжелых условиях участились поломки этой техники (особенно манипуляторов), а также резко повышается себестоимость работ и снижается эффективность их использования.

Группа сотрудников Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета предложила новые конструкции харвестера и форвардера, снабдив их поворотной тяговой лебедкой (рис. 5, б), [17], (рис. 6, а) [18]. На основании этого предложены и новые технологии заготовки древесины на ветролесоповаленных участках (см. рис. 5, а) [19], (см. рис. 6, б) [20]. Технология лесозаготовок с использованием харвестера с лебедкой (см. рис. 5, б) основана на том, что вальщик и его помощник обеспечивают зацепление чокерами поваленные деревья, а с помощью лебедки харвестера эти деревья подтаскивают к харвестеру (в зону действия его манипулятора). Харвестер производит очистку деревьев от сучьев, раскряжевку их на сортименты и сортировку последних по назначению. Тяговый трос лебедки диаметром 14 мм, длиной 100 м позволяет харвестеру с одной стоянки очистить лесосеку площадью 4 га за 5–6 дней.



а)

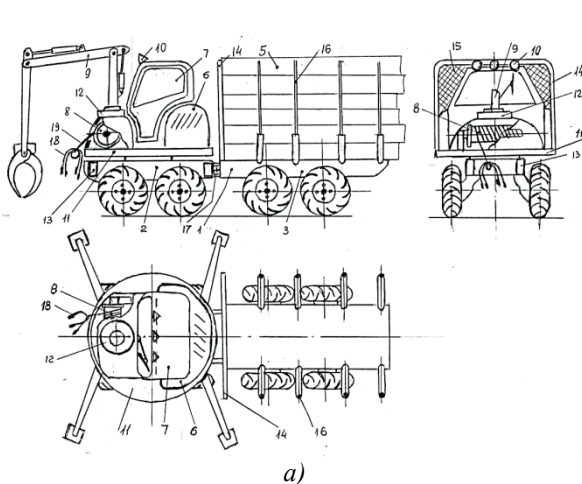
а) Схема технологического процесса лесозаготовок на ветровальном участке на базе харвестера с лебедкой: 1 – лесовозный ус; 2 – лесовоз; 3 – пункт погрузки сортиментов; 4 – штабель сортиментов; 5 – участок ветровала, разработанный харвестером с помощью лебедки; 6 – трелевочный волок; 7 – участок ветровала; 8 – участок лесозаготовок, разработанный харвестером с манипулятором; 9 – форвардер; 10 – харвестер с лебедкой; 11 – зона действия харвестера с лебедкой; 12 – трос лебедки; 13 – чокеры.



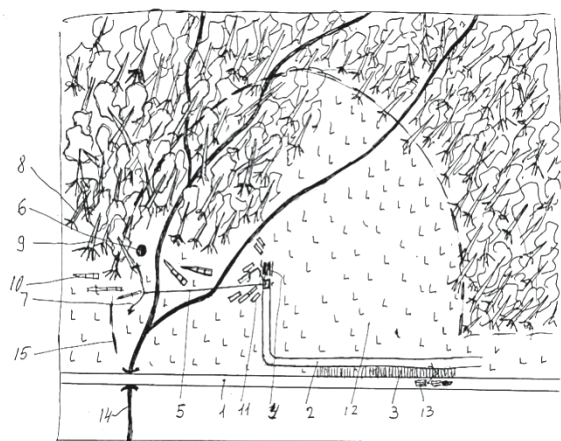
б)

б) Схема многооперационной лесозаготовительной машины (харвестер) с лебедкой при работе на ветролесоповале: 1 – харвестер; 2 – колесный движатель; 3 – задняя часть сочлененной рамы; 4 – кабина; 5 – двигатель; 6 – манипулятор; 7 – харвестерная головка; 8 – передняя часть сочлененной рамы; 9 – поворотная рама лебедки; 10 – тяговая лебедка; 11 – тяговый трос; 12 – чокеры; 13 – ауригеры; 14 – дерево; 15 – сортименты.

Рис. 5. Схемы технологического процесса лесозаготовок на ветровальном участке на базе харвестера с лебедкой (а) и конструкции харвестера с лебедкой при работе на ветролесоповальной лесосеке (а) и многооперационной лесозаготовительной машины (харвестер) с лебедкой при работе на ветролесоповале



а) Трелевочный трактор (форвардер) с лебедкой для работы на ветролесоповале: 1 – ходовая сочлененная рама; 2 – передняя часть рамы; 3 – задняя часть рамы; 4 – кузов; 5 – древесина; 6 – двигатель; 7 – кабина; 8 – лебедка; 9 – манипулятор; 10 – фары; 11 – поворотная рама; 12 – поворотное основание манипулятора; 13 – аутригеры; 14 – торцевая стенка кузова; 15 – решетка стенки; 16 – стойка кузова; 17 – сочленение; 18 – чокер; 19 – трос лебедки.



б) Технологическая схема разработки ветровальной лесосеки форвардером с лебедкой: 1 – лесовозный ус; 2 – волок; 3 – штабель сортиментов; 4 – трелевочный трактор с лебедкой; 5 – трос лебедки; 6 – вальщик; 7 – чокер; 8 – дерево в завале; 9 – поваленное ветром дерево; 10 – хлыст, раскряжеванный на сортименты; 11 – сортименты, подтянутые к трелевочному трактору; 12 – очищенная часть лесосеки; 13 – лесовоз с манипулятором; 14 – речка; 15 – зона действия лебедки.

Рис. 6. Конструкция форвардера с поворотной лебедкой и технология разработки ветролесоповальной лесосек

Технология лесозаготовок на ветролесоповальной лесосеке с использованием форвардера с лебедкой (см. рис. 6, б) основана на том, что вальщик и его помощник обеспечивают зацепление чокерами поваленных деревьев, а с помощью лебедки форвардера происходит их растаскивание. Далее вальщик и помощник очищают деревья от сучьев, раскряжевывают деревья на сортименты, чокеруют сортименты (8–10 шт.). Далее пачку сортиментов форвардер трелюет к себе (в зону действия манипулятора) и загружает сортименты в свой кузов.

В предлагаемых харвестере и форвардере используется поворотная тяговая лебедка. По расчетам, представленным выше, тяговое усилие на лебедках составит 50 кН, диаметр троса (каната) принят 14 мм. Ниже приводится расчет длины барабана. Выбираем принцип навивки троса на барабан с винтовой укладкой в желоб, так как тяговое усилие на тросе значительное. Отметим, что диаметр барабана лебедки D_6 оказывает большое влияние на скручивание самого троса – чем больше диаметр барабана, тем меньше скручиваемость. Для тросов диаметром d_T более 10 мм диаметр барабана должен быть не менее 350 мм. В данном расчете при диаметре троса $d_T = 14$ мм принимаем диаметр $D_6 = 420$ мм (это диаметр поверхности барабана, на которую ложится трос). Расчетную длину троса L_l берем 100 м (в соответствии с предлагаемой технологией лесозаготовок с помощью харвестера или форвардера, оснащенных поворотными лебедками).

Считаем, что трос ложится в винтовой желоб и расстояние между рядом расположенными ветками троса должно быть 1 мм. Расчетный диаметр одного витка троса D_6 составит (по центру троса):

$$D_6 = D_6 + d_T = 420 + 14 = 434 \text{ мм} \quad (6)$$

Рабочая часть троса $l_l = 100 \text{ м} = 100\,000 \text{ мм}$ при навивке на барабан составит определенное количество витков на барабане n_1 , а каждый виток троса имеет длину l_6 :

$$l_6 = \pi \times D_6 = 3,14 \times 434 = 1362,76 \text{ мм} \quad (7)$$

Рабочая часть тягового троса на барабане составит n_1 витков:

$$n_1 = \frac{l_T}{l_6} = \frac{100000}{1362,76} = 74 \text{ витка.}$$

При конструировании барабанов лебедки предусматривают место для крепления троса на барабане (замка) и дополнительных 3–4 витка n_2 троса для снижения нагрузки на замок. Тогда длина рабочей поверхности барабана лебедки l_6 составит:

$$l_6 = (n_1 + n_2) \times (d_T + 1) = (74 + 4) \times (14 + 1) = 1170 \text{ мм}$$

Учитывая толщину реборды барабана, звездочки для приводной цепи барабана и опор барабана, общая длина лебедки составит $L = 1400$ мм. Так как барабан лебедки имеет желоба для троса, то в конструкции лебедки предусмотрен горизонтальный тросоукладчик. Расчетная длина всей конструкции лебедки не превысит 1,5 м, а высота конструкции 0,6 м, что позволит устанавливать такую лебедку на основной раме харвестера или форвардера. При расчете лебедки возможен вариант двухслойной навивки троса на барабан, тогда длина барабана не превысит 850 мм.

В связи со значительными усилиями на тяговой лебедке в конструкциях харвестера и форвардера предусмотрены аутригеры, предотвращающие трактор от опрокидывания, особенно при работе поворотной лебедки с боковых частей рамы.

Есть предложение [21] оснастить харвестер и форвардер двухбарабанной лебедкой, с помощью которой лесозаготовительная техника перемещается по участку со слабым грунтом, высоким снежным покровом или в горной местности.

Многие зарубежные фирмы [22] предлагают оснастить харвестеры и форвардеры собственными лебедками или специальными мобильными лебедками, позволяющими лесозаготовительной технике осуществлять технологические процессы в тяжелых условиях (на участках со слабыми грунтами, в снегах, в горах). Так фирма Komatsu Forest [23] предложила съемную лебедку, устанавливаемую или спереди или сзади на корпус харвестера. Трос лебедки диаметром 12 мм имеет длину 300–350м. Такую лебедку возможно снимать с харвестера и перевозить в прицепе легкового автомобиля. Разработаны лебедки, устанавливаемые на корпус бульдозера или экскаватора для удержания лесозаготовительной техники на горных склонах при выполнении технологических операций.

Выводы. Современная лесозаготовительная техника осуществляет процесс лесозаготовок с высокой производительностью, обладает высокой маневренностью, оснащена манипуляторами, бортовыми компьютерами, легко управляется даже дистанционно [24]. Однако эта техника имеет большую массу, а ее колеса давят на грунт с повышенными показателями, что ограничивает ее применение на участках со слабыми почво-грунтами, в высоких снегах, на горных склонах. Такими участками изобилуют леса России. Кроме того, участвовавшие ура-

ганы приводят к ветролесоповалу на огромных участках, исчисляемые десятками и сотнями тысяч гектаров в год, на которых произрастало до 40 млн м³ леса, но которые надо очищать от упавших и поврежденных деревьев, иначе возникает энтомологическое поражение деревьев не только на этих участках, но и на прилегающих, что может привести к экологической катастрофе.

Для успешной работы лесозаготовительной техники на перечисленных неудобных (тяжелых) участках необходимо оснащать технику лебедками. Они могут представлять собой как технологическое (тяговые лебедки с канатом и чокерами), так и как вспомогательное оборудование, помогающее передвигаться лесозаготовительной технике на участках со слабыми почвогрунтами, с высоким снежным покровом, в горной местности.

Эффективно применение харвестеров и форвардеров на сплошных рубках, на которых они развивают высокую производительность, а на других видах рубок (ухода за лесом, санитарные, прореживания) их производительность падает в несколько раз, а с учетом их высокой стоимости применение этих агрегатов становится убыточным.

При проведении в лесах рубок прореживания и санитарных рубок использование дорогостоящей высокопроизводительной техники типа харвестеров и форвардеров неэффективно, и здесь уже будет актуальным применение тракторов, снабженных торцевым щитом и лебедкой с тяговым тросом и чокерами.

Литература

1. Суханов В.С. Ресурсосберегающая технология лесозаготовок. Монография. М.: ООО «Русайнс», 2022. 252 с.
2. Александров В.А. Механизация лесосечных работ в России. СПб.: Профи, 2009. 256 с.
3. Григорьев И.В., Кочнев А.М. Русский лесной самоход. Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Научно-техническая конференция. СПбГЛТУ, 13-15 апреля 2016.
4. Пошарников Ф.В., Юдина Н.Ю., Буланов А.С., Леденцов П.Г. Анализ состояния технического оснащения лесозаготовительной промышленности // Лесотехнический журнал. 2012. № 2 (6). С. 100-105.
5. Колотвина Ю.В., Палкин Е.В. Современные малогабаритные машины Амкодор для рубок ухода за лесом // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки. Сб. мат-лов Всеросс. науч.-практич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (с междунар. участием). Красноярск: Изд-во Сибир. гос. ун-та науки и технологий, 2023. С. 156-158.
6. Bergstrom D. Effect of Forest Structure on Operational Efficiency of a Bundle-Harvester System in Early Thinnings // Croatian Journ. of Forest Engineering. 2015. Vol. 37. № 1. P. 37-49.
7. Karha K., Keskinen S., Liikkanen R., Lindroos J. Kokopuun korjuu nuorista metsista // Metsätieteellinen raportti. 2006. № 193. P. 85.
8. Юданова А.В. Эффективность использования тракторов МТЗ и «Джон Дир» // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. 2006. № 1. С. 90.
9. Сайт о тракторах модельного ряда МТЗ «Белорус». [Электронный ресурс]. <https://vseomtz.ru/agregatirovanie/lebedka-na-mtz> (дата обращения 10.01.2025).
10. Ковязин В.Ф., Романчиков А.Ю. Кадастровая оценка лесных земель по различным методикам // Актуальные проблемы лесного комплекса». 2011. № 30. С.250-300.
11. Uusitalo Y. Fundamentals of forest technology. Joensuu: Oy FEG – Forest and Environment Group Ltd, 2004. 228 p.
12. Локштанов Б.М., Орлов В.В., Бирман А.Р., Угрюмов С.А. Плотность древесины в вопросах лесного комплекса // Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий. Мат-лы Всеросс. науч.-практич. конф. Кострома: Изд-во Костром. гос. ун-та, 2020. С. 124-127.
13. Орлов В.В., Бачериков И.В. Снижение влажности щепы из лесосечных отходов // Леса России в XXI веке. Мат-лы девятой междунар. науч.-практич. интернет-конф. Сентябрь 2012 г. СПб.: Изд-во Санкт-Петербург. гос. лесотехнич. ун-та, 2012. С.87-89.
14. Илюхин И.Е., Попутчиков Д.П. Исследование вопроса сопротивления движению хлыстов при их трелевке лесозаготовительными машинами // Технологические измерения в науке и технике. Сб. Междунар. науч.-практич. конф. М.: Общество с ограниченной ответственностью "ОМЕГА САЙНС", 2018. С. 36-38.
15. Хитров Е.Г., Лихачев И.П., Боровский В.В. Расчет синтетического несущего каната трелевочной установки // Сб. ст. по мат-лам науч.-технич. конф. Ин-та технологич. машин и транспорта леса по итогам науч.-исслед. работ. 2018 г. СПб.: Изд-во Санкт-Петербург. гос. лесотехнич. ун-та, 2019. С. 84-90.
16. ГОСТ 2668-80. Канат двойной свивки типа ЛК-Р конструкции 6Х19 (1+6+6/6)+1 о.с. Сортамент ИПК. М: Изд-во стандартов, 1980. 9с.
17. Локштанов Б.М., Орлов В.В., Бачериков И.В., Суворова Н.А., Костюков И.И. Многооперационная машина для

- разработки ветровальных лесосек. Патент РФ на полезную модель № 131942, Оpubл. 10.09.2013 в бюл. № 25.
18. Локштанов Б.М., Костюков И.И., Бачериков И.В., Орлов В.В. Форвардер для работы на ветролесоповальных лесосеках. Патент РФ на полезную модель № 131568 Оpubл. 27.08.2013 в бюл. № 24.
19. Локштанов Б.М., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И., Бачериков И.В., Орлов В.В. Способ разработки ветровальных лесосек. Патент РФ на изобретение № 2533925 Оpubл. 27.11.2014 в бюл. № 16.
20. Локштанов Б.М., Суворова Н.А., Орлов В.В. Способ очистки ветролесоповальных лесосек от завала поваленных деревьев. Патент РФ на изобретение № 2534261 Оpubл. 27.11.2014 в бюл. №33.
21. Суханов В.С., Степнов В.Г., Долматов В.Т., Харьков В.С., Волков Л.Ю., Супрон Ю.П., Федоров В.В. Устройство для лебедочной (канатной) трелевки древесины. Патент РФ на изобретение № 2246204 Оpubл. 20.02.2005 в бюл. № 5.
22. Машинная заготовка древесины на горных лесосеках // Леспроминформ. Сайт. [Электронный ресурс]. <https://lesprominform.ru/jarticles.html?Id=6402> (дата обращения 16.11.2024).
23. Возможности лебедочного оборудования на лесозаготовительных машинах Komatsu // Леспроминформ. Сайт. [Электронный ресурс]. https://search.app/?Link=https%3A%2F%2Flesprominform.ru%2Fjarticles.html%3Fid%3D4899&utm_campaign=aga&utm_source=agsad1%2Csh%2F%2F%2F%2F%2F%2F4 (дата обращения 20.11.2024).
24. Väättäin K., Lappalainen M., Asikainen A., Anttila P. Kohti kustannustehokkaampaa puunkorjuuta – puunkorjuuyrittäjän tuottavuuden ja toimintamallien simulointi // Metlan työraportteja. 2008. № 73. P. 52.
9. Site about tractors of MTZ “Belorus” model range. [Electronic resource]. <https://vseomtzt.ru/agregatirovanie/lebedka-namtz> (date of address 10.01.2025).
10. Kovyazin V.F., Romanchikov A.Yu. Cadastral assessment of forest lands according to different methods // Actual problems of forest complex. 2011. № 30. P. 250-300.
11. Uusitalo Y. Fundamentals of forest technology. Joensuu: Oy FEG – Forest and Environment Group Ltd, 2004. 228 p.
12. Lokshtanov B.M., Orlov V.V., Birman A.R., Ugryumov S.A. Wood density in the issues of forest complex // Research and development in the field of design and technology. Materials of the All-Russian scientific and practical conference. Kostroma: Kostroma State University Publishing House, 2020. P. 124-127.
13. Orlov V.V., Bacherikov I.V. Reducing the moisture content of wood chips from logging waste // Forests of Russia in the XXI century. Proceedings of the ninth international scientific-practical Internet-conf. September 2012. St. Petersburg: Publishing house of St. Petersburg State Forestry Engineering University, 2012. P. 87-89.
14. Ilyukhin I.E., Poputchikov D.P. Study of the issue of resistance to movement of tree trunks during their skidding by logging machines // Technological measurements in science and technology. Collection of international scientific and practical conf. Moscow: Limited Liability Company "OMEGA SCIENCES", 2018. P. 36-38.
15. Khitrov E.G., Likhachev I.P., Borovsky V.V. Calculation of a synthetic load-bearing rope for a skidding rig // Coll. articles on materials of scientific and technical conf. Institute of technological machines and forest transport based on the results of scientific research works. 2018. St. Petersburg: Publishing house of St. Petersburg state forestry university, 2019. P. 84-90.

References

1. Sukhanov V.S. Resource-saving technology of logging. Monograph. Moscow: LLC «Rusains», 2022. 252 p.
2. Aleksandrov V.A. Mechanization of logging operations in Russia. SPb.: Profi, 2009. 256 p.
3. Forest and woodworking. [Electronic resource]. https://lesozagotovka.com/rybriki/istoriya-lesozagotovok/russkiy-lesnoy-samokhod-ot-idei-do-sozdaniya/?Sphrase_id=49187 (date of address 08.01.2025).
4. Posharnikov F.V., Yudina N.Yu., Bulanov A.S., Ledentsov P.G. Analysis of the state of technical equipment of the logging industry // *Lesotechnical Journ.* 2012. № 2 (6). P. 100-105.
5. Kolotvina, Yu. V. Modern small-sized machines AMKODOR for forest thinning / Yu. V. Kolotvina, E. V. Palkin // Young scientists in solving urgent problems of science: Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists (with international participation), Krasnoyarsk, April 20-21, 2023. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology, 2023. P. 156-158. EDN QNGSPX.
6. Possibilities of winch equipment on Komatsu logging machines // *Lesprominform. Website.* [Electronic resource]. [https://search.app/?Link=https %3A %2A %2F %2Flesprominform.ru %2Farticles.html %3Fid %3D4899&utm_campaign=aga&utm_source=agsad1 %2Csh %2Ffx %2Fgs %2Fm2 %2F4](https://search.app/?Link=https%3A%2A%2F%2Flesprominform.ru%2Farticles.html%3Fid%3D4899&utm_campaign=aga&utm_source=agsad1%2Csh%2Ffx%2Fgs%2Fm2%2F4) (date of address 20.11.2024).
7. Karha K., Keskinen S., Liikkanen R., Lindroos J. Kokopuun korjuu nuorista metsista // *Metsatehon raportti.* 2006. № 193. P. 85.
8. Yudanova A.V. Efficiency of MTZ and «John Deere» tractors utilization // *Engineering and technical support of agroindustrial complex. Abstract journ.* 2006. № 1. P. 90.
9. Lokshtanov B.M., Orlov V.V., Bacherikov I.V., Suvorova N.A., Kostyukov I.I. Multi-operation machine for developing windfall logging areas. Russian Federation Patent for Utility Model № 131942, Published 10.09.2013 in Bulletin № 25.
10. Lokshtanov B.M., Kostyukov I.I., Bacherikov I.V., Orlov V.V. Forwarder for working in windfall logging areas. Russian Federation Patent for Utility Model №. 131568, Published 27.08.2013 in Bulletin № 24.
11. Lokshtanov B.M., Grigoryev I.V., Grigorieva O.I., Nikiforova A.I., Bacherikov I.V., Orlov V.V. Method of developing windfall logging areas. Russian Federation Patent for Invention № 2533925 Published on 27.11.2014 in Bulletin № 16.
12. Lokshtanov B.M., Suvorova N.A., Orlov V.V. Method of clearing windfall logging areas from fallen trees. Russian Federation Patent for Invention № 2534261 Published on 27.11.2014 in Bulletin № 33.
13. Sukhanov V.S., Stepnov V.G., Dolmatov V.T., Kharkin V.S., Volkov L.Yu., Supron Yu.P., Fedorov V.V. Device for winch (rope) skidding of timber. Russian Federation Patent for Invention № 2246204 Published 20.02.2005 in Bulletin № 5.
14. Machine harvesting of timber in mountain logging areas // *Lesprominform. Website.* [Electronic resource]. <https://lesprominform.ru/articles.html?Id=6402> (date of address 16.11.2024).
15. Bergstrom D. Effect of Forest Structure on Operational Efficiency of a Bundle-Harvester System in Early Thinnings // *Croatian Journ. of Forest Engineering.* 2015. Vol. 37. № 1. P. 37-49.
16. Väättäin K., Lappalainen M., Asikainen A., Anttila P. Kohti kustannustehokkaampaa puunkorjuuta – puunkorjuuyrittäjien ajatuksien toimintamallien simulointi // *Metlan työraportteja.* 2008. № 73. P. 52.