

УДК 674.81

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6163

Обзор

## **Современные системы машин и технологии заготовки древесины и лесовосстановления в условиях горных лесосек**

**Каляшов Виталий Анатольевич**

*кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Российская Федерация), vit832@yandex.ru*

**До Туан Ань**

*преподаватель, Вьетнамский национальный университет лесного хозяйства (Социалистическая Республика Вьетнам), anhdo.dhln@gmail.com*

**Хитров Егор Германович**

*доктор технических наук, доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Российская Федерация), yegorkhitrov@gmail.com*

**Григорьева Ольга Ивановна**

*кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова (Российская Федерация), grigoreva\_o@list.ru*

**Гурьев Александр Юрьевич**

*аспирант, Арктический государственный агротехнологический университет (Российская Федерация), sashafuryjager96@gmail.com*

**Новгородов Дьулус Васильевич**

*аспирант, Арктический государственный агротехнологический университет (Российская Федерация), novgorodov\_dulus@mail.ru*

*Получена: 18 февраля 2022 / Принята: / Опубликовано:*

---

**Аннотация:** Во многих странах мира достаточно большие запасы лесных ресурсов находятся на горных склонах. Такие природно-производственные условия характерны для Дальнего Востока Российской Федерации, многих стран Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР), в т. ч. Социалистической Республики Вьетнам, США, ряда европейских стран (Чехия, Австрия и т. д.). Работы по заготовке древесины и лесовосстановлению в условиях горных лесосек

существенно снижают производительность и повышают риски для людей и техники, если не использовать специально приспособленные для этих условий системы машин и технологические процессы. Во многих индустриально развитых странах мира преобладают машинные способы заготовки древесины и лесовосстановления, включая освоение лесов на горных склонах. В ряде стран АТР до сих пор преобладает использование ручного труда для выполнения рассматриваемых работ. При помощи специальных технических средств, таких как интегрированные в трансмиссию лесных машин лебёдки, самоходные лебёдки, современные канатные установки, возможно эффективное освоение лесов на достаточно крутых склонах. При этом надо учитывать, что экосистемы горных лесов являются очень ранимыми, при неправильном проведении работ на них могут возникать и быстро развиваться процессы водной и ветровой эрозии. В статье рассмотрены современные технические средства для заготовки древесины и лесовосстановления в условиях горных лесосек, позволяющие существенно повысить эффективность этих работ и минимизировать негативные экологические последствия. Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета.

**Ключевые слова:** горные леса, леса на склонах, лесосечные работы, лебёдки, трелёвка, лесовосстановление, аэросев

---

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6163

*Review*

## **Modern systems of machinery and technologies for timber harvesting and reforestation in mountain forests**

**Vitalij Kalyashov**

*Ph. D. in engineering, associate professor, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (Russian Federation), vit832@yandex.ru*

**Do Tuan An'**

*lecturer, Vietnam National University of Forestry (Socialist Republic of Vietnam), anhdo.dhln@gmail.com*

**Egor Hitrov**

*D. Sc. in engineering associate professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (Russian Federation), yegorkhitrov@gmail.com*

**Olga Grigoreva**

*Ph. D. in agriculture, associate professor, St. Petersburg State Forest Engineering University named after S. M. Kirov (Russian Federation), grigoreva\_o@list.ru*

**Aleksandr Gur'ev**

*graduate student, Arctic State Agrotechnological University (Russian Federation), sashafuryjager96@gmail.com*

**D'ulus Novgorodov**

*graduate student, Arctic State Agrotechnological University (Russian Federation), novgorodov\_dulus@mail.ru*

*Received: 18 February 2022 / Accepted: 22 April 2022 / Published: 25 April 2022*

---

**Abstract:** In many countries of the world quite large reserves of forest resources are located on mountain slopes. Such natural and production conditions are typical for the Far East of the Russian Federation, many countries of the Asia-Pacific region (APR), including the Socialist Republic of Vietnam, the USA, a number of European countries (Czech Republic, Austria, etc.). Harvesting and reforestation activities in mountainous areas significantly reduce productivity and increase risks for people and machinery, unless specially adapted machinery systems and technological processes are used. Machine logging and reforestation operations, including forest exploitation on mountain

slopes, are the predominant methods in many industrialized countries of the world. In a number of Asia-Pacific countries, manual labor still prevails in harvesting and reforestation activities. Using special technical means, such as winches integrated into the transmission of forest machines, self-propelled winches, and modern rope units, it is possible to exploit forests efficiently on rather steep slopes. However, the vulnerability of mountain forests ecosystem should be kept in mind because water and wind erosion processes may arise and develop quickly in case of exploitation operations failure. The article deals with modern technical means for logging and reforestation in mountain forests, which may significantly increase the efficiency of these works and minimize the negative environmental consequences. The research was conducted within the framework of the scientific school «Innovative developments in the field of logging industry and forestry» of the Arctic State Agrotechnological University.

**Keywords:** mountain forests, slope forests, logging, winches, skidding, reforestation, aerial seeding

---

## 1. Введение

Многие страны мира обладают значительными запасами леса, произрастающего на сильно пересечённой местности, с крутыми склонами. Такие леса характерны и для Российской Федерации (Дальний Восток, часть Сибири, часть Краснодарского края и др.), и для Социалистической Республики Вьетнам, в которой более 70 % естественных лесов произрастает в горной местности (фото 1, 2).



**Фото 1.** Типичный лесной массив на склоне сопок Хабаровского края (фото авторов)

**Photo 1.** A typical forest area on the slope of the Khabarovsk hills (authors' photo)



**Фото 2.** Типичный лесной массив на горном склоне в Социалистической Республике Вьетнам (фото авторов)

**Photo 2.** A typical forested area on a mountain slope in the Socialist Republic of Vietnam (authors' photo)

Во многих странах мира для освоения запасов древесины в эксплуатационных лесах на крутых склонах были разработаны многочисленные системы машин, включая различные средства воздушного транспорта (легче и тяжелее воздуха), различные системы канатных трелёвочных установок (лесных кранов), самоходные лебёдки, лесные машины с интегрированными в их трансмиссию лебёдками.

В СССР также была разработана и выпускалась широкая линейка передвижных, самоходных и стационарных трелёвочных установок. Над проблемой обоснования и оптимизации их конструктивных параметров и режимов работы в различных условиях эксплуатации трудились несколько отраслевых научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро, специализированные кафедры профильных высших учебных заведений. По данному вопросу были защищены десятки диссертаций, включая работы вьетнамских специалистов, проходящих обучение в вузах и НИИ Советского Союза.

К сожалению, в Российской Федерации такое направление специального лесного машиностроения утрачено на сегодняшний день полностью. Выпуск специальной техники для освоения лесов на склонах прекращён.

В других странах мира (например, США, Япония, Новая Зеландия, Австрия) выпускается широкая линейка техники для работы в горных лесах. Каждый вариант этой техники имеет свои достоинства и недостатки.

Приятно отметить, что в Российской Федерации есть тенденция к возрождению лесного машиностроения. И можно ожидать, что сегмент техники для лесов на склонах гор и сопек также, через определённое время, будет восстанавливаться. Целью данной работы является выявление достоинств и недостатков различных концептов техники для работы в лесах на склонах.

## **2. Материалы и методы**

При подготовке материала статьи использовались данные иностранных производителей специальной техники для работы в лесах на склонах, специальная литература, а также данные интервью специалистов лесопромышленных предприятий Дальнего Востока Российской Федерации и Социалистической Республики Вьетнам, занимающихся освоением лесных массивов на склонах гор и сопек.

## **3. Результаты**

Как известно, эффективность проведения лесосечных работ, в т.ч. и на склонах, складывается из экономических и экологических показателей. Экономические показатели считаются хорошими при достижении возможного минимума себестоимости заготовленной древесины, т.е. минимизации затрат на подготовительные, вспомогательные и основные работы, объём которых во многом зависит от принятой системы машин, режима их работы, технологического процесса и схемы разработки лесосеки.

Экологические показатели лесосечных работ считаются хорошими при достижении возможного минимума отрицательного воздействия на лесную экосистему, и, соответственно, при достижении минимума затрат на последующее лесовосстановление. При этом степень отрицательного воздействия лесосечных работ на лесную экосистему во многом зависит от принятой системы машин, режима их работы, технологического процесса и схемы разработки лесосеки.

Как показывает анализ научной литературы, данных сети Интернет и интервью с представителями лесопромышленных компаний, осуществляющих лесозаготовительную деятельность в условиях склонов гор и сопок, принципиально можно выделить пять вариантов систем машин для лесосечных работ в данных природно-производственных условиях.

Наименее оптимальным и не рассматриваемым далее вариантом является использование традиционных для условий равнинных лесов систем машин с механизированной или машинной заготовкой древесины. Для того чтобы обычные лесные машины могли работать в условиях крутых склонов, предварительно бульдозером нарезаются террасы, которые серпантинном охватывают склон (фото 3). Данный вариант является самым затратным по экономической и эксплуатационной эффективности, поскольку прокладка террас стоит достаточно дорого, а постоянная нагрузка трансмиссий лесных машин при подъёмах на террасы приводит к повышенному расходу топлива и ускоренному износу двигателя и элементов трансмиссии. Также данный вариант является совершенно неприемлемым с экологической точки зрения, поскольку оказывает невосполнимое отрицательное воздействие на экосистемы лесов на склонах. В дальнейшем террасы становятся очагами водной и ветровой эрозии, и на нормальное лесовосстановление таких лесосек на склонах трудно рассчитывать.



**Фото 3.** Нарезка террас на горном склоне бульдозером

**Photo 3.** Cutting terraces on a hillside with a bulldozer (authors' photo)

Вторым вариантом, являющимся наиболее предпочтительным с экологической точки зрения, но нераспространённым из-за чрезмерно большой себестоимости, является вариант использования воздушного транспорта для трелёвки заготовленной на склонах древесины. При этом валка деревьев может производиться как механизированным, так и машинным способом. Вопрос о доставке тяжёлых лесных машин на склоны пока оставим за рамками данного анализа.

Главным преимуществом использования воздушного транспорта на трелёвке заготовленной древесины является минимальная, из всех возможных при проведении лесосечных работ на склонах, степень повреждения компонентов экосистемы леса. Но очень большая стоимость такого варианта, как уже было отмечено, препятствует его широкому распространению.

Третьим вариантом являются различные виды канатных трелёвочных установок (КТУ), которые будут подробно рассмотрены ниже. Данный вариант, в зависимости от типа используемой КТУ, в той или иной мере обладает и достоинствами, и недостатками предыдущих двух вариантов. Например, при использовании неподвесной или полуподвесной КТУ трелюемые лесоматериалы оказывают достаточно сильное негативное воздействие на почвогрунты лесосек. При использовании полностью подвесной КТУ лесоматериалы не оказывают негативного воздействия на почвогрунты, но такой вариант существенно дороже по подготовительным и основным работам, стоимости самого оборудования.

Четвёртый вариант является более современным относительно предыдущих — это лесные машины, оснащённые встроенными в трансмиссию лебёдками. Такая система позволяет лесной машине намного эффективнее работать на крутых склонах, но утяжеляет её конструктивно и значительно удорожает процесс. Кроме этого, недостатками такого варианта являются негативное воздействие движителей лесных машин на почвогрунты (как нормальные, так и касательные), а также то, что при смене дислокации машины (например, при переходе на разработку равнинных лесосек) снять эту лебёдку нельзя. Лесная машина работает с дополнительным весом технологического оборудования и, соответственно, с дополнительным расходом топлива на перемещение.

Пятым вариантом является использование самоходных лебёдок различных конструкций, которые, в отличие от КТУ, перемещают не непосредственно заготовленную древесину, а лесные машины, работающие на склоне. Данный вариант получается неким гибридом между третьим и четвёртым. При сохранении недостатков в виде дополнительных расходов на оборудование (в данном случае самоходную лебёдку) и негативного воздействия на почвогрунты движителей работающих на склоне лесных машин этот вариант даёт также и преимущества. Во-первых, самоходная лебёдка является достаточно универсальным оборудованием и может быть использована не только для совместной работы с лесными машинами на склонах. Во-вторых, при смене дислокации лесной машины (на равнинные, тем более переувлажнённые лесосеки) нет необходимости возить дополнительную массу не нужного в данных условиях технологического оборудования.

Далее более подробно рассмотрим четыре вышеперечисленных варианта систем машин для проведения лесосечных работ на склонах гор и сопок.

### *3.1. Использование летательных аппаратов для освоения лесосек на склонах*

Как известно, воздушный транспорт принципиально можно подразделить на аппараты «легче воздуха» (с которых начиналось мировое воздухоплавание) и «тяжелее воздуха» (самолёты, вертолёты).

Обнаружить сколь-нибудь масштабное использование в лесозаготовительном производстве в настоящее время летательных аппаратов «легче воздуха» не удалось. Но следует отметить, что значительный вклад в теоретическое и экспериментальное обоснование использования летательных аппаратов «легче воздуха» (типа аэростат) для освоения труднодоступных лесосек внесли учёные Тихоокеанского государственного университета (г. Хабаровск, Российская Федерация). Причём это обоснование выполнено как с точки зрения оптимизации показателей эксплуатационной эффективности, так и минимизации негативных экологических последствий проведения лесосечных работ на склонах [1—9]. В частности, А. В. Абузовым (под руководством проф. П. Б. Рябухина и С. Б. Якимовича) в 2015 г. была защищена диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук на тему «Теоретическое обоснование параметров канатных лесотранспортных систем на базе аэростатических и пневматических конструкций», которую до настоящего времени можно считать основополагающим научным трудом в области проектирования систем машин для освоения лесосек на склонах и при использовании аэростатной трелёвки.

По результатам многолетних, объёмных теоретических и экспериментальных исследований А. В. Абузов сделал обоснованные выводы о том, что «для снижения затрат, а также сохранения лесной среды при рубках леса на склонах надо применять наиболее эффективный и максимально щадящий вариант, основанный на подвесном или воздушном способе трелёвки с использованием канатных систем на базе аэростатических и пневматических конструкций (гибридные системы), которые обладают следующими преимуществами: возможность эксплуатации на крутых склонах с развитой гидрологической сетью и сильно переувлажнёнными почвогрунтами; способность обеспечивать временную оперативную доставку древесины с необорудованных сложных участков суши, где нет возможности строительства причалов и подхода водного транспорта близко к береговой линии; уменьшение затрат на разработку лесного участка за счёт снижения количества подготовительно-заключительных и вспомогательных работ».

В работах А. В. Абузова и его коллег обоснованы схемы использования канатных аэростатных установок для различных природно-производственных условий эксплуатации. Ряд из них хорошо подходит и для природно-производственных условий лесного фонда Социалистической Республики Вьетнам, поскольку, как показал сравнительный анализ, по ряду таксационных и рельефных условий лесосеки Дальнего Востока Российской

Федерации (особенно Хабаровского края [6], [7]) сильно похожи на условия ряда лесных провинций Вьетнама.

Предложенные А. В. Абузовым технологические решения объединяет один технический принцип — крепление аэростатов к тяговым лебёдкам, которые перемещают аэростаты и груз из одной точки в другую. Но даже при таком техническом исполнении применение рассмотренных выше вариантов использования воздушного транспорта «легче воздуха» для освоения лесосек на горных склонах затрудняет ветровая нагрузка, а ветер в горах — явление очень распространённое. Аэростат, особенно большой грузоподъёмности, имеет значительную парусность, которую также будет увеличивать прицеплённый к аэростату груз лесоматериалов. Это, очевидно, будет вносить коррективы в возможность эксплуатации канатных аэростатных систем в ветреную погоду.

Кроме этого, с повышением высоты мест горных лесозаготовок над уровнем моря воздух будет всё более разреженным, а значит, полезная грузоподъёмность аэростатов будет снижаться. Этот эффект не очень заметен при условии работы на сопках, но будет достаточно существенным в горах.

В меньшей степени от силы и направления ветра при трелёвке заготовленной древесины с лесосек на горных склонах будут зависеть летательные аппараты «тяжелее воздуха».

В США, Канаде и ряде других стран мира вертолётная трелёвка в достаточной степени распространена. Правда, в связи с удорожанием топлива и аренды вертолётных услуг в последние годы в США вертолёты всё реже и реже используют при лесозаготовке. Если раньше машины компании «Сикорский» всегда присутствовали на всех лесопромышленных выставках США, то после 2010 г. их там не видно.

Материалы о применении вертолётов на лесозаготовках вполне доступны [10], [11]. Имеются также отрывочные сведения об использовании вертолётов на трелёвке в Российской Федерации. В частности, на Дальнем Востоке использовались вертолеты Ми-8МТВ-1 — в Хабаровском крае; Ка-32Т — на побережье Сахалина; аэроклуб РОСТО применял при трелёвке вертолёты Ми-8; авиакомпания «Авиалифт-Владивосток» — вертолёты Ка-32 для трелёвки пачек сортиментов массой до 5 т, и не только в России, но и Малайзии и Индонезии.

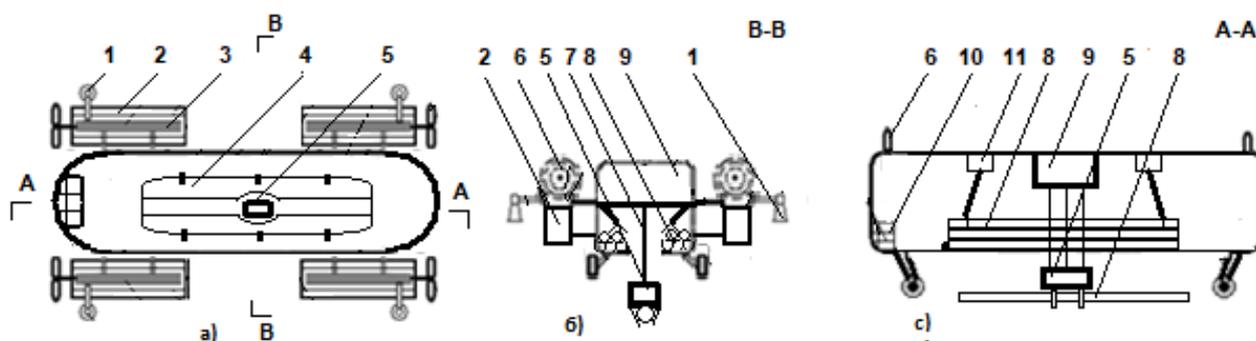
Судя по имеющимся данным, в настоящее время в Российской Федерации вертолёты на лесозаготовках не используются, как и в Социалистической Республике Вьетнам. Это и не удивительно, при расходе топлива вертолётном Ми-8 0,68—1,5 т/ч, в зависимости от режима работы, высоты над уровнем моря и стоимости топлива (авиационного керосина) 58000 руб./т (на конец 2021 г.), эксплуатационные затраты на трелёвку таким вертолётном только по топливу составят 39440—87000 руб./ч. При этом необходимо учитывать ещё заработную плату пилотов — мастеров экстракласса, а также расходы на амортизацию. Всё это делает вариант с трелёвкой вертолётном крайне экономически невыгодным, хотя с большими преимуществами — с точки зрения нанесения минимального вреда лесной

экосистеме на горном склоне (если, конечно, не учитывать шум и выхлопные газы от двигателя вертолёта).

Достаточно интересным, но пока не воплощённым в жизнь техническим решением для трелёвки заготовленной древесины со склонов горных лесосек является авиационная платформа, выполненная по сопловой схеме [12—14] (рисунок 1).

Предложенная в работе [13] конструкция основана на использовании экономичного (экономия топлива до 30 %) пульсирующего детонационного двигателя (ПудД), высокочастотный пульсирующий выхлоп (25—30 кГц) которого позволяет в полной мере использовать «явление аномально высокого прироста тяги в газовом эжекционном процессе с пульсирующей активной струёй». Это явление приводит к высокому приросту реактивной силы при эжектировании атмосферного воздуха пульсирующей активной струёй (до 120—140 % к исходной тяге). Повышенная экономичность двигателя обеспечивается высокой степенью сжатия топливной смеси (150—200 ед.) вместо 35—40 в обычном дизельном двигателе. Сжатие осуществляется в резонансном режиме.

Интеграция импульсного высокочастотного, подъёмно-маршевого двигателя с плоским соплом и щелевым эжекторным усилителем тяги позволяет создать летающую платформу (ЛП) особо большой грузоподъёмности (полезная нагрузка до 60 т и более) [66]. С её помощью возможно доставлять лесные машины, топливо, расходные материалы на лесосеки на склонах, а также вытрелёвывать заготовленную древесину.



**Рисунок 1.** Схема авиационной платформы для трелёвки [13]: 1 — сопла точного позиционирования; 2 — эжекторный усилитель тяги; 3 — ПуДД; 4 — створки люка загрузки; 5 — подвес подъёмника; 6 — винт изменяемого шага самолётного типа; 7 — захваты для груза; 8 — заготовленная древесина; 9 — грузовая лебёдка; 10 — кабина управления; 11 — манипулятор

**Figure 1.** Diagram of an aerial skidding platform [13]: 1 — precision positioning nozzles; 2 — ejector thrust booster; 3 — PuDD; 4 — loading hatch doors; 5 — hoist suspension; 6 — variable pitch propeller of aircraft type; 7 — load grips; 8 — harvested timber; 9 — cargo winch; 10 — control cabin; 11 — manipulator

Анализ конструкции авиационной платформы [12—14] показывает её определённые преимущества перед стандартным вариантом вертолётной трелёвки (существенная экономия расходов на топливо) и перед аэростатно-канатной трелёвкой (меньшая зависимость от силы и направления ветра). Однако в дальнейшем анализе данная конструкция использоваться не будет, поскольку, судя по доступной информации, автор данной разработки Ю. С. Подзирей не продвинулся до настоящего времени дальше разработки её принципиальной компоновки.

Из анализа различных вариантов использования воздушного транспорта («легче воздуха» и «тяжелее воздуха») для освоения горных лесосек можно сделать вывод о том, что ни один из рассмотренных вариантов не будет давать необходимых показателей эксплуатационной эффективности из-за сильной зависимости от метеорологических условий и высоты над уровнем моря (аэростаты), неприемлемой дороговизны приобретения и эксплуатации, а также необходимости наличия высококлассных пилотов (вертолёты) и отсутствия предложения техники на рынке (авиационная платформа).

### *3.2. Использование канатных трелёвочных установок для освоения лесосек на склонах*

Использование тяговых канатов на лесозаготовках известно давно. Когда появились достаточно мощные передвижные (самоходные) лебёдки с приводом от двигателей внутреннего сгорания (ДВС), стало возможным освоение труднодоступных лесосек, в т. ч. и на склонах.

Приводные канатные трелёвочные установки (КТУ) имеют большое количество классификационных признаков, по которым в т. ч. можно проследить их техническую эволюцию.

Первыми из приводных КТУ были неподвесные установки, без несущего каната. Они осуществляли трелёвку пачек или отдельных стволов заготовленной древесины волоком. При этом возникали очень большие сопротивления волочению перемещаемого груза (тем более что он постоянно цеплялся за пни, корни, камни, неровности почвогрунта лесосеки). Почвенному покрову наносился очень большой ущерб, особенно в тёплый период года, трелюемая древесина сильно загрязнялась минеральными включениями почвогрунта, что затрудняло её последующую механическую обработку.

Для решения этой проблемы в первое время использовались различные санки, оголовники, тележки и другие приспособления для снижения коэффициента трения скольжения передней части волочащейся пачки древесины о почвогрунт.

Также известен вариант одномачтовой КТУ (без несущего каната), у которой перед тяговой лебёдкой устанавливалась высокая опора, с блоком на вершине, через который перебрасывался тяговый канат. При начале движения пачка древесины перемещалась волоком, но по мере приближения к мачте передняя часть пачки приподнималась, и она оказывалась в полуподвешенном положении [15].

В дальнейшем на лесозаготовительном производстве стали использовать полуподвесные, а затем и подвесные КТУ, имеющие головную и тыловую мачты, а при значительном расстоянии трелёвки ещё и промежуточные мачты (опоры), на которые устанавливался несущий канат с тяговой кареткой. Каретка по несущему канату перемещалась при помощи тягового каната. Такая конструкция требовала уже многобарабанной тяговой лебёдки, тем более с учётом того, что необходимо было ещё и подтаскивать заготовленные лесоматериалы под линию несущего каната [16].

Подвесные КТУ, в т. ч. и многопролётные, успешно использовались в горных районах СССР и других стран мира, но имели достаточно существенные недостатки. К основным недостаткам таких КТУ можно отнести следующие: чрезвычайно большой объём подготовительно-заключительных и вспомогательных работ, связанных с установкой мачт и канатной оснастки, поддержанием их в рабочем состоянии, последующим демонтажом по окончании разработки лесосеки; малая производительность, связанная также со сложностью сбора и прицепки пачки, малыми скоростями грузовых кареток [17].

Для повышения производительности подвесных многопролётных КТУ использовались такие технические решения, как замыкание трассы КТУ в кольцо, круговое постоянное движение грузовых кареток. Но это существенно усложняло её конструкцию, стоимость, трудозатраты на монтаж-демонтаж, делало такую КТУ значительно менее надёжной [18].

Следует упомянуть отдельный вид неприводных КТУ, которыми люди пользовались с незапамятных времён. Принцип их действия основан на использовании силы тяжести перемещаемого сверху вниз (с горного склона к подножию) груза. Для этого между верхней и нижней точками пути на опорах (например, на деревьях, растущих на вершине склона и у подножия) крепится канат, по которому на каретке спускается груз. Такие конструкции иногда называют лесоспусками. Их не следует путать с бремсбергами, поскольку никакого противовеса у таких конструкций нет [18], [19].

Во времена СССР вопросам совершенствования конструкции, повышения эффективности различных вариантов КТУ было посвящено большое количество исследований. Надо отметить, что после Великой Отечественной войны (ВОВ) и до конца существования СССР Россия проектировала и выпускала самые передовые технические средства для лесозаготовительного производства. Ярким примером являются моторные механизмы — электромоторная пила ВАКООП, бензиномоторная пила «Дружба» [20]. Таких примеров можно привести достаточно много, как относительно лесозаготовительных машин (валочных, валочно-пакетирующих, валочно-трелёвочных), так и касательно погрузочной техники, средств первичного и вторичного транспорта леса.

Помимо специализированных конструкторских бюро и научно-исследовательских институтов большой вклад в разработку передовой лесозаготовительной техники внесли учёные Ленинградской лесотехнической академии им. С. М. Кирова (ЛолТА). Это касается, например, первого в мире специализированного чокерного гусеничного трактора КТ-12,

производство которого было налажено в 1947 г. на Кировском заводе в г. Ленинграде, а затем было передано на Онежский тракторный завод в г. Петрозаводск.

Значительный вклад учёные ЛОЛТА внесли и в разработку КТУ. В частности, на кафедре механизации лесоразработок под руководством К. М. Ашкенази, Б. Г. Залегаллера было выполнено большое количество научных исследований, включая кандидатские диссертации зарубежных аспирантов из Болгарии, Румынии, Вьетнама.

Помимо ЛОЛТА значительный объём исследований в области совершенствования конструкции и повышения эффективности эксплуатации КТУ в СССР выполнялся Центральным научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом механизации и энергетики лесной промышленности (ЦНИИМЭ) и Всесоюзным научно-исследовательским институтом лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ), а также рядом научно-исследовательских институтов Украинской ССР.

Большой интерес к КТУ как к эффективному виду первичного транспорта леса (при ручной валке деревьев) был проявлен в СССР ещё в 30—40-е гг. XX в. После ВОВ большая часть территории СССР была разрушена. Необходимо было восстанавливать жильё, объекты промышленности и инфраструктуры. Для этого требовались очень большие объёмы древесины, причём заготавливать её было желательно в местах её потребления [20]. Это связано в т. ч. и с тем, что в послевоенные годы большое количество ранее эвакуированных в Сибирь и на Дальний Восток предприятий вместе с их кадровым составом перебазировались на прежние места дислокации, поэтому все силы транспорта были брошены на выполнение этой задачи, а значит, доставлять из Сибири и Дальнего Востока древесину было затруднительно, ввиду полной загруженности транспортных магистралей.

Как известно, ВОВ прошла по европейской части СССР, на которой горные массивы встречаются достаточно редко. За время ВОВ значительная часть спелых лесных массивов на пройденной войной территории была повреждена пожарами, боевыми действиями, вырублена воюющими сторонами и населением на дрова, строительство дорог, фортификационных сооружений и т. д.

Большие запасы спелых и перестойных лесных насаждений оставались на неудобных для заготовки древесины площадях, прежде всего со слабой несущей способностью почвогрунтов в тёплое время года (переувлажнённых и заболоченных). Как и ранее, валка деревьев, обрезка сучьев, раскряжёвка (при необходимости) велись ручными пилами и топорами. Но трелёвка заготовленной древесины вызывала большие проблемы, поскольку использовавшиеся в те годы на лесозаготовках гусеничные тракторы общего назначения (С-60) вязли и не могли эффективно работать. Появившиеся в те годы передвижные лебёдки с большой канатоёмкостью барабана и приводом от ДВС позволили создать упомянутые выше неподвесные КТУ, которые в дальнейшем, за счёт добавления в конструкцию мачт и многобарабанных (агрегатных) лебёдок, эволюционировали в полуподвесные, а затем и в подвесные. Их стали использовать не только для собственно трелёвки, но и для разворота

подтрелёванных пачек, погрузки древесины на лесовозный транспорт [автолесовозы и вагоны узкоколейной железной дороги (УЖД)].

В дальнейшем пришла необходимость эффективного освоения запасов спелых и перестойных лесов на горных склонах. Основные объёмы горных лесозаготовок в СССР были на Украине, Кавказе и Дальнем Востоке. Они давали особо ценную древесину твёрдых лиственных пород.

Для горных лесоразработок, как уже отмечалось, были спроектированы, выпускались и успешно эксплуатировались многопролётные КТУ, которые также могли совмещать выполнение операций трелёвки, штабелёвки, погрузки заготовленной древесины [21].

Но постепенное ужесточение экологических (лесоводственных) требований к лесозаготовкам [17], [22], в т. ч. и в горных лесах, привело к существенному сокращению допустимых площадей лесосек в горных условиях и одновременному увеличению сроков примыкания лесосек. Поэтому использование достаточно дорогих, многопролётных КТУ стало невыгодным [23], и от них постепенно отказались. Можно с большой долей вероятности (по результатам анализа данных литературы и сети Интернет) утверждать, что как на территории бывшего СССР, так и в других странах многопролётные стационарные КТУ на лесозаготовках в настоящее время не используются.

На смену стационарным КТУ с 80-х гг. XX в. стали приходить мобильные КТУ, их лебёдка и головная мачта были передвижными или самоходными [17].

В СССР и в первое десятилетие постсоветской России выпускались самоходные канатные трелёвочные установки МЛ-43, МЛ-43 А, ЛС-2; ЛС-3; ЛС-4; ЛС-5, ЛЛ-20, ЛЛ-24, ЛЛ-28, ЛЛ-37, СТУ-3 С [24], [25].

Они имели разные кинематические схемы, фронтальное или фланговое расположение головной мачты, различные конструктивные решения устройств для удержания установки в неподвижном положении во время работы. Нужно отметить, что основная инициатива и объём опытно-конструкторских разработок в области мобильных КТУ в те годы перешёл от ЛолТА к ЦНИИМЭ [95], [96]. Общим у вышеперечисленных мобильных КТУ было то, что они базировались на гусеничных трелёвочных тракторах ТТ-4 производства Алтайского тракторного завода (г. Рубцовск, Алтайский край).

К сожалению, мобильные КТУ, как и другая техника для лесозаготовок, в России больше не выпускаются, не считая сборочного производства Белорусской компании «Амкодор», расположенного в г. Петрозаводске на бывшей площадке Онежского тракторного завода.

В начале XXI в. рынок техники для освоения горных лесов при механизированной заготовке древесины Российской Федерации и Республики Беларусь начала достаточно успешно осваивать чешская компания Larix [26]. КТУ Larix выпускались в Чехии (г. Брно). Они базировались на колёсных тракторах типа «Беларусь».

В зависимости от схемы монтажа осваиваемая с одного места стоянки КТУ Larix площадь и форма лесосеки могли быть разные, правда, при этом существенно варьировался и объём

подготовительно-заключительных работ, связанных с монтажом, демонтажом и переноской канатной оснастки КТУ на другую пасеку.

Самоходные КТУ Larix были предназначены для трелёвки лесоматериалов не только в условиях пересечённого рельефа, но и заболоченной местности. В этой связи в Республике Беларусь был разработан специальный проект по освоению лесов на Полесских болотах при помощи данного оборудования.

Однако в настоящее время можно с большой долей вероятности (по результатам анализа данных литературы и сети Интернет) утверждать, что самоходные КТУ Larix на территории бывшего СССР и в других странах на лесозаготовках практически не используются, и, вероятно, уже не выпускаются.

На сегодняшний день из коммерческих предложений по мобильным КТУ на рынке Европы и Российской Федерации преобладает продукция австрийской компании Konrad Forsttechnik GmbH, которая провела большую презентацию выпускаемой продукции на Петербургском международном лесопромышленном форуме в сентябре 2021 г.

По утверждению представителя Konrad Forsttechnik GmbH, мобильные КТУ производства данной компании являются одними из наиболее популярных и продаваемых на рынке специального оборудования для лесозаготовок в условиях горных лесов.

В линейку КТУ компании Konrad Forsttechnik GmbH входят классические передвижные (прицепные) КТУ с колёсным (KM40-2) и гусеничным (KR40-2) движителем и встроенным ДВС для привода лебёдки (фото 4).



**Фото 4.** Мобильные КТУ компании Konrad Forsttechnik GmbH (фото с сайта компании Konrad Forsttechnik GmbH)

**Photo 4.** Mobile CLU from Konrad Forsttechnik GmbH (Photo from Konrad Forsttechnik GmbH website)

Помимо классических мобильных КТУ, различных типов грузовых кареток компания Konrad Forsttechnik GmbH выпускает горные процессоры (канатные трелёвочно-сучкорезно-раскряжёвочные машины). К такому оборудованию компании относятся установки MOUNTY MT30-2, MOUNTY MT40-2, и MOUNTY MT50-2, отличающиеся по установленной мощности приводов и колёсной базе. Общий принцип компоновки горного процессора представлен на фото 5, а принцип работы в условиях горных склонов — на рисунке 2.

Как видно из фото 5, горный процессор компании Konrad Forsttechnik GmbH состоит из колёсной полноприводной базы 6×6, установленных на ней кабины управления трелёвкой и процессорной головки, телескопической головной мачты КТУ с приводной лебёдкой, гидроманипулятора, на котором установлена процессорная (сучкорезно-раскряжёвочная) головка. Для устойчивости установки во время работы она снабжена аутригерами.



**Фото 5.** Общий вид компоновки горного процессора компании Konrad Forsttechnik GmbH (фото с сайта компании Konrad Forsttechnik GmbH)

**Photo 5.** General view of the layout of a mining processor from Konrad Forsttechnik GmbH (Photo from Konrad Forsttechnik GmbH website)

Как видно из рисунка 2, при работе горного процессора компании Konrad Forsttechnik GmbH предусматривается механизированная валка деревьев при помощи бензиномоторных пил, их ручная прицепка к грузовой каретке, которая затем производит трелёвку к установке по несущему грузовому канату.



**Рисунок 2.** Схема работы горного процессора компании Konrad Forsttechnik GmbH (схема с сайта компании Konrad Forsttechnik GmbH)

**Figure 2.** Diagram of a mining processor operation Konrad Forsttechnik GmbH (schematic from the Konrad Forsttechnik GmbH website)

После подтаскивания деревьев в зону действия манипулятора горного процессора они обрабатываются (производится обрезка сучьев и раскряжёвка), а полученные сортименты с верхнего склада забираются автолесовозом (на рисунке 2 самопогружающимся лесовозом).

Безусловно, при условии доминирования в Европе и России сортиментной заготовки древесины горные процессоры компании Konrad Forsttechnik GmbH являются удобной, многофункциональной техникой. Ведь при использовании классических КТУ, неважно

каких, хоть KM40-2 или KR40-2, той же компании Konrad Forsttechnik GmbH, для получения сортиментов на верхнем складе пришлось бы доставлять и задействовать дополнительную лесную машину — процессор, а в условиях горной местности любая лишняя доставка машин достаточно затруднена. Кроме этого, исходя из компоновки и принципа работы горных процессоров, очевидно, что они не обладают большой производительностью, поскольку её будет ограничивать возможная производительность вальщика и чокеровщика в особо сложных условиях — на крутом горном склоне. В этой связи соединение в одной машине функций КТУ и процессора, которыми управляет один оператор, представляется удачным техническим решением, поскольку пока вальщик с чокеровщиком готовят к трелёвке очередную пачку деревьев, оператор КТУ и процессора может заниматься ранее вытрелёванной пачкой.

Но надо отметить одно общее негативное для КТУ (мобильных и стационарных) обстоятельство, заключающееся в том, что в начале технологической цепочки основных работ стоит механизированная валка деревьев, при помощи бензиномоторных пил. Труд вальщиков леса и в равнинных условиях тяжёлый и травмоопасный, а в условиях горных склонов тяжесть и травмоопасность труда возрастают многократно [27—29]. Кроме этого, ввиду особых требований по технике безопасности при валке деревьев бензиномоторной пилой (необходимостью выполнения направляющего подпила — со стороны направления валки дерева, пропила — с противоположной стороны, оставления предохранительной перемычки, которая ломается при падении дерева), возникают достаточно существенные потери древесины с комлевой части ствола, связанные с необходимостью дальнейшей откомлёвки, даже в удобных для механизированной валки условиях равнинной местности.

В условиях механизированной валки деревьев на горных склонах технологические потери комлевой части ствола возрастают многократно [17], [25]. Это связано с тем, что с увеличением угла склона и диаметра дерева необходимая по технике безопасности высота оставляемого пня существенно увеличивается.

Помимо сложностей и опасностей механизированной валки деревьев на горных склонах, следует отметить ещё одно обстоятельство: если до конца XX в. и в первом десятилетии XXI в. в России преобладала механизированная заготовка древесины, на которую в больших количествах привлекались гастарбайтеры (бывшие граждане СССР из стран ближнего зарубежья), то после финансового кризиса 2008 г., резкого падения курса рубля и получения шенгенских виз гражданами Украины, с учётом небольшой популярности у населения России лесозаготовительных специальностей и естественного выбытия старых кадров, на лесопромышленных предприятиях России стал ощущаться не просто дефицит, а острый голод вальщиков леса, что заставило лесозаготовительные предприятия Российской Федерации волей-неволей перейти, в основном, на машинную заготовку древесины [30], [31].

В связи с тем, что научные исследования должны ориентироваться на создание лучших, более безопасных условий труда, исключение тяжёлого ручного труда, внедрение передовых

технологий в рассматриваемой области знаний, следует рассмотреть варианты систем машин, при которых труд вальщиков леса на горных лесосеках может быть исключён.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что классические КТУ и горные процессоры не являются оптимальным оборудованием для проведения лесосечных работ в условиях горных склонов.

### *3.3. Использование лесных машин, оснащённых встроенными лебёдками*

В настоящее время на рынке лесозаготовительной техники Российской Федерации и во многих других странах мира доминируют лесные машины трёх компаний-производителей: John Deere, Ponsse, Komatsu Forest (как уже отмечалось, на сегодняшний день российское лесное машиностроение практически полностью ликвидировано, продукция компании «Амкордор» пока не устраивает большинство потребителей по качественным характеристикам, прежде всего надёжности). Достаточно активно на рынке продвигает свою продукцию шведская компания Rottne. Есть ещё немало компаний, производящих лесные машины, например, EcoLog, Caterpillar, Tigercat, TimberPro и др., однако их доля на рынке относительно невелика, и концептуальных отличий от машин упомянутой тройки лидеров рынка они в принципе не имеют [32—34].

Компании John Deere и Komatsu Forest [в корпорацию Komatsu Forest входит компания TimberPro, являясь их основным звеном по производству лесных машин класса Heavy Duty (для тяжёлых режимов работы)] являются глобальными мировыми холдингами, выпускающими также сельскохозяйственную, строительную, дорожную, карьерную технику. В линейке лесных машин у этих компаний есть как комплексы для канадской технологии заготовки древесины (валочно-пакетирующие машины, скиддеры, процессоры), так и для скандинавской технологии заготовки древесины (харвестеры, форвардеры).

Компания Ponsse пережила финансовый кризис 2008 г. и осталась семейным предприятием, созданным в середине XX в. в Финляндии Эйнари Виндгреном, и производит только линейку машин для скандинавской заготовки древесины — харвестеры, форвардеры, форвестеры [33].

Компани-производители John Deere, Ponsse, Komatsu Forest достаточно часто называют «Большая тройка» [35].

Для условий проведения лесосечных работ на горных склонах «Большая тройка» предлагает своим клиентам машины, дооснащённые встроенными в трансмиссию лебёдками, а также ряд других дополнительных технических опций [36—39].

Лебёдка и другие технические опции устанавливаются на заводах-производителях или на других заводах — партнёрах компаний-производителей по предварительному заказу, т. е. пользователь таких лесных машин не имеет возможности самостоятельно установить или снять данное оборудование. Лебёдка при лесозаготовках на горном склоне позволяет работать лесной машине существенно эффективнее и безопаснее. Значительно снижаются расход топлива и нагрузки в трансмиссии. Вкупе к лебёдке производители настоятельно

рекомендуют использовать установку специальных гусениц на колёса машины (фото 6, 7). Иногда для повышения устойчивости в колёса харвестеров заливают специальный соляной раствор, в этом случае шины помечаются символами LB (жидкий балласт) [37].

Специалисты компании Komatsu Forest в качестве необходимых дополнительных технических опций для оснащения форвардеров, работающих на горных склонах, рекомендуют: наклоняемый гидроманипулятор, подвижная решётка кузова для сортиментов и задняя решётка кузова для сортиментов, предотвращающая их выпадение при движении гружёной машины вверх по склону, бульдозерный отвал, уменьшение длины рамы машины, специальные гусеницы, специальный тормоз для склонов, специальное крепление сиденья оператора и четырёхточечный ремень безопасности.

На фото 6 видна лебёдка, установленная на харвестере за капотом (справа). Конструкция и места установки лебёдок на машины разных производителей могут несколько отличаться, но сам принцип остаётся одинаковым.



**Фото 6.** Форвардер с лебёдкой на горном склоне (фото с сайта компании Komatsu Forest)

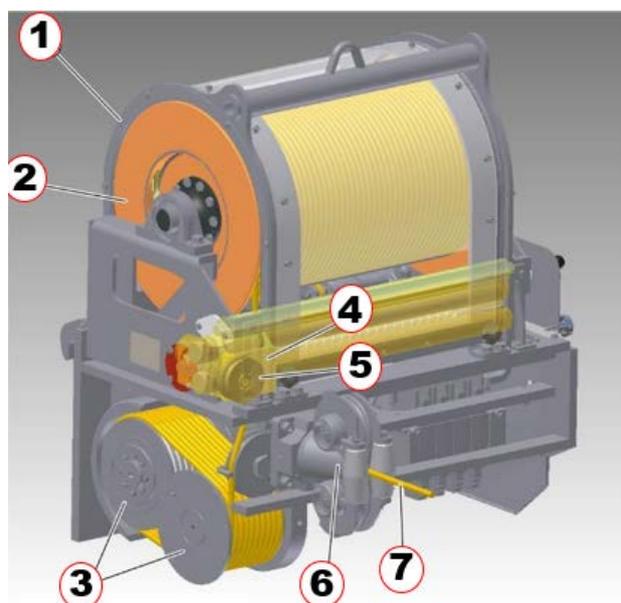
**Photo 6.** Forwarder with a winch on a mountain slope (Photo from Komatsu Forest website)



**Фото 7.** Харвестер с лебёдкой (фото с сайта компании Komatsu Forest)

**Photo 7.** Harvester with a winch (Photo from Komatsu Forest website)

Конструкция лебёдки для лесной машины компании Komatsu Forest представлена на рисунке 3.



**Рисунок 3.** Конструкция лебёдки для лесной машины компании Komatsu Forest (схема с сайта компании Komatsu Forest): 1 — лебёдка; 2 — барабан с тросом; 3 — тяговые ролики; 4 — поддержка ролика намотки троса; 5 — наматывающий ролик; 6 — шкив подачи троса; 7 — трос

**Figure 3.** Komatsu Forest winch design (schematic from Komatsu Forest's website): 1 — winch; 2 — drum with a rope; 3 — traction rollers; 4 — support roller winding rope; 5 — winding roller; 6 — rope pulley; 7 — rope

Как и при работе на склонах вальщиков леса, работа операторов лесных машин на горных склонах также является значительно более опасной (из-за возможности соскальзывания машины по склону или опрокидывания), нежели в равнинных условиях.

Кроме вышеперечисленных машин «Большой тройки» отдельным перспективным вариантом для проведения лесосечных работ в условиях горных склонов является валочно-трелёвочно-процессорная машина (ВТПМ) уже упомянутой выше компании Konrad Forsttechnik GmbH «Highlander» (фото 8).



**Фото 8.** ВТПМ «Highlander» компании Konrad Forsttechnik GmbH

**Photo 8.** Konrad Forsttechnik GmbH «Highlander» feller-barrel processor

ВТПМ «Highlander» представляет собой одномашинный комплекс для канадской технологии заготовки древесины, т. е. одна машина может выполнить все операции технологического процесса основных работ [40].

Если отвлечься от рассматриваемых условий горных лесозаготовок, то компоновка ВТПМ «Highlander» принципиально более удобна, нежели форвардера или харвестера, представляющих собой одномашинные комплексы для скандинавской технологии заготовки древесины [41].

Канадская и скандинавская технологии относятся к группе сортиментных технологических процессов, т. е. предусматривают, что заготовленная древесина будет вывезена с лесосеки в виде сортиментов (брёвен специального назначения) [42]. ВТПМ позволяет более гибко организовать технологический процесс основных работ на лесозаготовках. В классическом варианте она может производить валку деревьев, собирать в коник, трелевать, производить обрезку сучьев и раскряжёвку на верхнем складе. В случае работы на слабонесущих почвогрунтах ВТПМ после валки деревьев может

выполнять обрезку сучьев (для укрепления трелёвочного волокна), затем укладывать хлысты в коник, трелевать и на верхнем складе выполнять раскряжевку. При необходимости увеличения производительности ВТПМ может работать в режиме обычного харвестера или в режиме «валка — пакетирование», или «валка — обрезка сучьев — пакетирование», в зависимости от потребности и природно-производственных условий. Такие варианты работы ВТПМ рассмотрены в работах проф. И. Р. Шегельмана и его учеников [43—45].

Кроме этого, благодаря тому, что ВТПМ трелюет заготовленные лесоматериалы (деревья или хлысты) в полупогруженном положении, при трелёвке пачки одинакового веса она оказывает меньшее давление, а значит, и уплотняющее воздействие на лесные почвогрунты по сравнению с форвардером или харвестером [46—48].

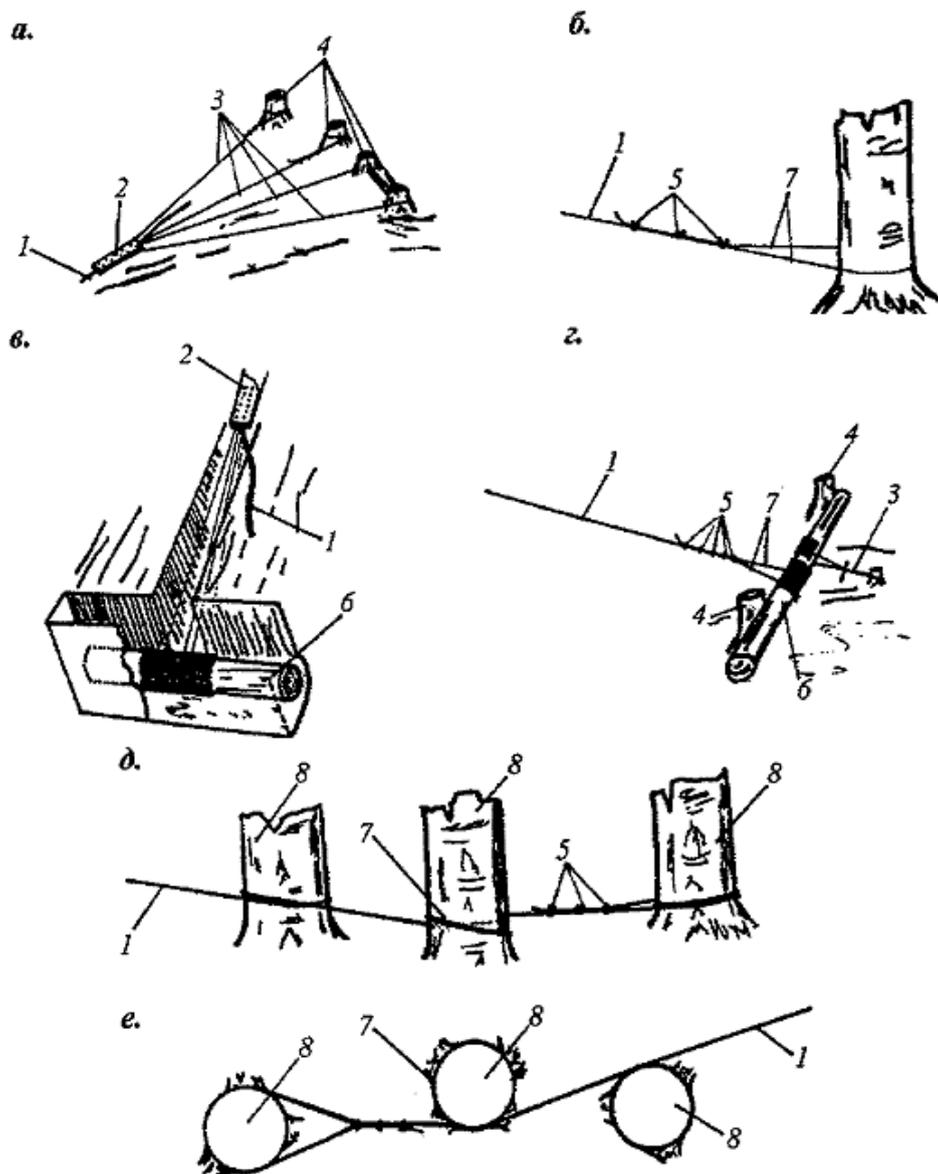
С точки зрения работы в условиях горных лесосек ВТПМ «Highlander» компании Konrad Forsttechnik GmbH удобен тем, что, как и у рассмотренных выше машин «Большой тройки», он оснащён встроенной лебёдкой. Причём эта техническая опция входит в конструкцию машины «по умолчанию». Это означает, что потребителю машины не нужно ждать её установки в качестве дополнительной технической опции и отдельно за неё доплачивать. В качестве дополнительной технической опции лебёдка на лесную машину стоит около 100 тыс. евро [49].

Также значительным техническим преимуществом ВТПМ «Highlander» компании Konrad Forsttechnik GmbH для работы в условиях горных лесосек является конструктивная возможность изменения (уменьшения или увеличения) длины базы машины за счёт возможности выдвижения переднего моста, возможность изменения (уменьшения или увеличения) клиренса машины, а также наличие технической опции крабового хода. Всё это делает рассматриваемую машину значительно более устойчивой на склоне, а значит, и более безопасной в эксплуатации.

Отметим, что лесные машины, оснащённые лебёдками для работы на горных склонах, безусловно, являются хорошим выбором, поскольку в отличие от КТУ не требуют тяжёлой и травмоопасной работы вальщиков леса. Но и у такого решения есть недостаток, связанный с удорожанием и утяжелением машины. Как уже было отмечено, пользователь не может самостоятельно установить или снять эту техническую опцию, следовательно, при переходе на работу в равнинной местности, где лебёдка уже не нужна, оснащённая ею лесная машина будет иметь лишнюю массу, что приведёт к повышенному расходу топлива, снижению полезной грузоподъёмности и увеличению давления движителя на почвогрунт.

Кроме этого, для обеспечения работы машины с лебёдкой оператору необходимо надёжно закрепить свободный конец троса, а это иногда может представлять собой достаточно трудоёмкую операцию, которую хорошо иллюстрирует рисунок 4.

Как видно из рисунка 4, для качественного крепления свободного конца каната лебёдки лесной машины, если на вершине склона в нужном месте нет крепкого дерева, может потребоваться провести небольшие земляные работы (вырыть траншею) или обмотать канатом несколько деревьев, что уменьшит длину манёвра машины.



**Рисунок 4.** Варианты крепления тыловой опоры канта лебёдки лесной машины [17]: *a* — с замком и растяжками, закреплёнными за пни; *б* — с петлей, закреплённой за дерево; *в* — с перекладиной в траншее; *г* — с перекладиной у пней; *д* — с петлями у деревьев; *е* — с огибанием деревьев петлёй; *1* — несущий канат; *2* — замок; *3* — растяжки; *4* — пни; *5* — канатные зажимы; *6* — перекладина; *7* — петля несущего каната; *8* — дерево [17]

**Figure 4.** Attachment options for the rear support of the forest machine winch [17]: *a* — with a lock and stumps secured to stumps; *b* — with a loop secured to a tree; *c* — with a crossbar in a trench; *d* — with a crossbar at stumps; *e* — with loops at trees; *f* — with a loop wrapping around trees; *1* — carrying rope; *2* — lock; *3* — splices; *4* — stumps; *5* — rope clamps; *6* — crossbar; *7* — carrying rope loop; *8* — tree

### 3.4. Использование самоходных лебёдок для работы с лесными машинами на склонах

Анализ литературных источников и данных сети Интернет показывает, что в настоящее время производится и используется достаточно значительная линейка самоходных лебёдок, предназначенных для работы с самыми разными лесными машинами в условиях горных склонов. Они выполнены как на специальных самоходных шасси, так и на базе стандартных шасси (бульдозерном, экскаваторном).

Наиболее популярными и распространёнными в настоящее время в мире системами самоходных лебёдок для перемещения лесных машин по склонам являются системы T-winch (США), созданные на специальной гусеничной базе, управляемой дистанционно (фото 9).



**Фото 9.** Самоходная лебёдка T-winch (фото авторов)

**Photo 9.** Self-propelled T-winch (authors' photo)

Лебёдки T-winch могут работать не только с лесными машинами, но и с карьерными. Они производятся двух типоразмеров — T-winch-10.2 и T-winch-30.2. Первая весит около 10 т, вторая — немного более 30 т и способна надёжно удерживать на крутом склоне машину массой до 100 т [50].

Среди лебёдок на базе строительных машин (бульдозеров, экскаваторов) можно выделить системы Summit Winch Assist (США) и ROB (Новая Зеландия).

Самоходная лебёдка на экскаваторной базе Summit Winch Assist (фото 10) представляет собой экскаватор, дооснащённый лебёдкой и специальной стрелой. В результате получается устойчивая, массивная машина, надёжно стоящая на вершине склона и удерживающая на тросе лесную машину на склоне (фото 11).



**Фото 10.** Самоходная лебёдка на экскаваторной базе Summit Winch Assist (фото с сайта U. S. FOREST SERVICE)

**Photo 10.** Summit Winch Assist self-propelled winch on an excavator base (photo from U. S. FOREST SERVICE website)



**Фото 11.** Валочно-пакетирующая машина спускается на горный склон, удерживаемая самоходной лебёдкой на экскаваторной базе Summit Winch Assist (фото авторов)

**Photo 11.** The feller-buncher descends a mountain slope, held by a self-propelled winch on a Summit Winch Assist excavator base (authors' photo)

Самоходная лебёдка на бульдозерной базе ROB представляет собой гусеничный бульдозер, оснащённый двухбарабанной лебёдкой (фото 12).

Самоходные лебёдки на бульдозерной базе ROB наиболее распространены на горных лесозаготовках Канады и Новой Зеландии. Самоходные лебёдки на экскаваторной базе Summit Winch Assist получили большое распространение в США, в штатах Орегон, Вашингтон и Северной Калифорнии, где наиболее распространена заготовка на склонах с помощью разного рода вспомогательных средств.

Надо отметить, что на базе самоходных лебёдок на экскаваторной базе Summit Winch Assist, благодаря возможности достаточно высокого поднятия стрелы с канатно-блочной системой, создаются и различные виды самоходных КТУ (фото 13). Самоходная лебёдка на бульдозерной базе ROB не предоставляет такой возможности.



**Фото 12.** Самоходная лебёдка на бульдозерной базе ROB (фото с сайта компании Remote Operated Bulldozer)

**Photo 12.** Self-propelled winch on ROB bulldozer base (photo from the Remote Operated Bulldozer website)

Как уже отмечалось выше, классический вариант работы КТУ на горных склонах предусматривает использование труда вальщиков леса, который тяжёл и травмоопасен. При использовании самоходных лебёдок T-winch, Summit Winch Assist, ROB появляется возможность использования обычных лесных машин на горных лесосеках по традиционным технологическим процессам машинной заготовки древесины (как сортиментной, так и хлыстовой). К примеру, сначала по склону поддерживаемая самоходной лебёдкой запускается валочно-пакетирующая машина, а затем — трактор с пачковым захватом (скиддер), фото 14, 15.



**Фото 13.** Мобильные КТУ на базе самоходных лебёдок на экскаваторной базе Summit Winch Assist Assist (фото с сайта U.S. FOREST SERVICE)

**Photo 13.** Mobile CLU based on self-propelled winches on the excavator base Summit Winch Assist (photo from U.S. FOREST SERVICE website)



**Фото 14.** Работа валочно-пакетирующей машины на горном склоне в сцепке с самоходной лебёдкой (фото с сайта компании Ecoforst GmbH)

**Photo 14.** Operation of a feller-buncher on a hillside in conjunction with a self-propelled winch (photo from Ecoforst GmbH website)



**Фото 15.** Работа скиддера на горном склоне в сцепке с самоходной лебёдкой (фото с сайта компании Ecoforst GmbH)

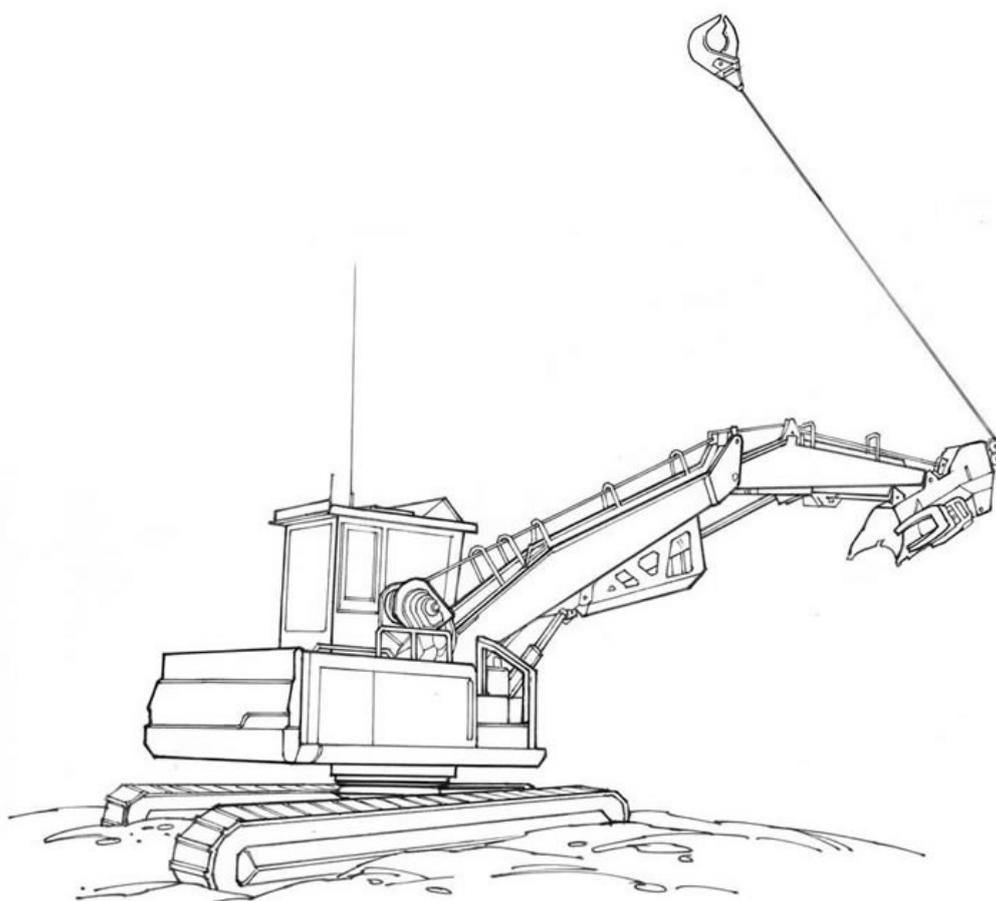
**Photo 15.** Skider operation on a mountain slope in conjunction with a self-propelled winch (photo from Ecoforst GmbH website)

Известно, что тракторная трелёвка является наиболее энергозатратной и экологически вредной операцией основных работ на лесозаготовках, особенно на горных склонах, поскольку движитель трелёвочного трактора оказывает не только нормальные, но и касательные воздействия, которые на склоне могут приводить к потере устойчивости слоя почвогрунта и его сползанию к подошве, образуя оползни и оказывая крайне негативное воздействие на лесную экосистему [51—56]. В связи с этим иногда встречается вариант, особенно на влажных склонах, когда после лесозаготовительной машины (чаще валочно-пакетирующей) используется не тракторная трелёвка, а канатная. В этом случае самоходная лебёдка на экскаваторной базе Summit Winch Assist становится предпочтительной, поскольку она может сначала обеспечить эффективную и безопасную работу лесозаготовительной машины на склоне, а затем — канатную трелёвку заготовленных лесоматериалов. Для облегчения работы чокеровщиков при такой технологии работы у лебёдок Summit Winch Assist (рисунок 5) есть опция забрасывания захвата для лесоматериалов, по принципу пращи (после раскручивания).

Несмотря на одинаковое назначение, технические решения рассмотренных технических систем существенно различаются. T-winch представляет собой специальную самоходную лебёдку на гусеничном ходу, дистанционно управляемую оператором лесной машины, с которой она в данный момент работает. ROB представляет собой тяжёлый бульдозер, а Summit Winch Assist — тяжёлый экскаватор, оснащённые лебёдкой с механическим приводом.

На первый взгляд, большим достоинством системы Summit Winch Assist и ROВ является её массивность и надёжность, в качестве анкера для машины на склонах. В чатах операторов лесных машин можно найти утверждение, что с системами Summit Winch Assist и ROВ психологически комфортнее работать, поскольку тяжёлый экскаватор или бульдозер на вершине склона производит впечатление «непоколебимой скалы».

Машины T-winch много меньше по габаритам и массе и, на первый взгляд, не могут обеспечить столь же надёжного закрепления на вершине склона, особенно при больших углах склона и работе с тяжёлыми машинами, например, валочно-пакетирующими или тяжёлыми форвардерами (форвардерами большой грузоподъёмности).



**Рисунок 5.** Принцип забрасывания захвата для лесоматериалов на пасеку самоходной лебёдкой на экскаваторной базе Summit Winch Assist (рисунок с сайта U.S. FOREST SERVICE)

**Figure 5.** Principle of throwing a timber grab onto an apiary with a self-propelled winch on a Summit Winch Assist excavator base (Figure from U.S. FOREST SERVICE website)

Но сравнительный технический анализ позволяет однозначно отдать предпочтение системе T-winch по следующим соображениям.

Во-первых, значительно меньшие габариты и масса машины T-winch (особенно модели 10.2) делают решение задачи о её доставке на вершину склона, существенно протяжённого и с большим углом уклона, значительно проще, нежели доставку на вершину тяжёлого экскаватора или бульдозера. Более того, машина T-winch, что очевидно, может въехать с подножья на вершину самостоятельно, а вот тяжёлые машины с системами Summit Winch Assist или ROB далеко не всегда. Значит, для их доставки на вершину склона, если только не задействовать вертолёт очень большой грузоподъёмности, придётся нарезать террасы, что является достаточно трудоёмкой, затратной и экологически вредной операцией, об этом говорилось выше.

Во-вторых, система T-winch не требует дополнительного оператора, поскольку, как уже было отмечено, данной техникой дистанционно управляет оператор работающей на склоне лесной машины. Для систем Summit Winch Assist и ROB необходим второй оператор, находящийся в кабине экскаватора или бульдозера, что, как минимум, приводит к лишним расходам на его заработную плату.

Кроме того, система T-winch имеет автоматическую синхронизацию с работающей с ней лесной машиной, а также сигнализацию на случай возникновения возможности аварийной ситуации. Например, если лебёдка T-winch получает смещение во время работы, сигнал об этом сразу же поступает оператору работающей с ней на склоне лесной машины, и он может оперативно принять меры к исправлению ситуации и недопущению аварии. Системы Summit Winch Assist и ROB, по всей видимости, такой автоматической системы синхронизации не имеют. Это приводит к тому, что оператор лесной машины на склоне и оператор экскаватора или бульдозера с лебёдкой должны согласовывать свои действия по радиосвязи, что снижает оперативность корректирующих действий, в случае возникновения необходимости в них. Следовательно, это снижает безопасность работы лесной машины на склоне с системами Summit Winch Assist и ROB, несмотря на их кажущуюся монументальность.

В-третьих, очевидно, что небольшая по габаритам и массе самоходная лебёдка T-winch потребляет значительно меньше топлива, чем тяжёлый экскаватор или бульдозер, особенно при работе на холостом ходу. Сравнение данных производителя о расходе топлива системой T-winch, который под нагрузкой составляет 3—4 л/ч, с потреблением топлива двигателем тяжёлого экскаватора или бульдозера на холостом ходу (30—40 л/ч) позволяет утверждать, что разница в удельном расходе топлива (литров на м<sup>3</sup>) составляет примерно 10 раз.

В-четвёртых, механический привод барабанов лебёдки систем Summit Winch Assist и ROB, а также сравнительно маленький их диаметр неизбежно приведут к рывкам во время работы, вместо плавной тяги, которую обеспечивают гидростатическая трансмиссия и большой диаметр барабана лебёдки T-winch.

В-пятых, открытые барабаны лебёдок систем Summit Winch Assist и ROB, как показывает опыт эксплуатации некоторых грузоподъёмных кранов, неизбежно приведут к более быстрому износу (как минимум, из-за коррозии), нежели в случае закрытых барабанов лебёдки T-winch.

Большим достоинством лебёдок на самоходном шасси, особенно T-winch (ввиду её небольших габаритов и лёгкости перемещения), является то, что помимо работы с лесными машинами на горных склонах они могут использоваться и для других целей, например, если требуется вытащить увязшую в болоте машину или соорудить канатную погрузочно-разгрузочную установку и т. д.

В целом, анализ систем машин, применяемых для разработки лесосек на горных склонах, позволяет утверждать, что для рассматриваемых условий наиболее предпочтительным вариантом являются самоходные лебёдки, работающие в паре с лесными машинами. Выбор типа и конкретной модели лебёдки будет зависеть от используемых лесных машин, вида двигателя, их массы и грузоподъёмности, природно-производственных условий эксплуатации — формы и протяжённости склона, влажности почвогрунта, таксационных характеристик древостоя [139], [140] и т. д.

### *3.5. Перспективные варианты восстановления лесов на склонах*

Чрезмерная экологическая нагрузка на лесные экосистемы горных склонов и сопок, возникающая при проведении лесозаготовительных работ, приводит к многочисленным негативным последствиям, включая интенсивное развитие процессов водной и ветровой эрозии, нарушениям гидрологического режима водоёмов и самих лесов, снижению биологического разнообразия и продуктивности лесов [56].

Особенностями лесов на склонах, влияющими на технику и технологии лесосечных и процессы лесовосстановительных работ, являются высота над уровнем моря, крутизна склонов, их расположение относительно солнца и преобладающей розы ветров, сложение почвогрунтов [57].

В условиях лесов на горных склонах и склонах сопок очень важное значение имеет быстрое восстановление леса, которое способствует менее интенсивному развитию перечисленных выше негативных процессов. Для этого можно использовать различные способы искусственного лесовосстановления — посев, посадки семян (саженцев) или содействие естественному лесовосстановлению.

Содействие своевременному естественному лесовосстановлению вырубок или гарей на склонах для минимизации негативных экологических последствий (процессов водной и ветровой эрозии) является очень значимым. Не менее важно, чтобы через оборот рубки на месте срубленного леса на склоне появилось не менее ценное по экономическим и экологическим качествам лесное насаждение. В идеале процесс восстановления леса на склонах должен соответствовать концепции «расширенного лесовосстановления», согласной которой за один оборот рубки должна обеспечиваться возможность получения

большого объёма древесины, нежели было получено до образования новой сукцессии [58], [59].

При разработке плана лесовосстановления вырубке или гари на склоне надо учитывать его крутизну, экспозицию, высоту над уровнем моря, сложение почвогрунтов, преобладающую розу ветров. В рассматриваемых условиях важно учитывать вероятность возникновения ветровала.

На вероятность возникновения и масштабы возможного ветровала, объёмы вываленной древесины будут влиять все перечисленные выше факторы, а также породный состав лесонасаждения, его способность сопротивляться ветровой нагрузке. Надо учитывать, что в условиях лесов на склонах гор и сопок также возможно ухудшение лесопатологического состояния древостоев из-за ветровала.

Интенсивность нарушений естественного сложения почвенного покрова на склонах зависит от состава древостоя до рубки, срока давности рубки, сезона рубки, применяемой системы машин и технологии и мер содействия естественному возобновлению леса.

В среднем через 6—7 лет после проведения лесозаготовительных работ начинается восстановление морфологического облика лесных почв.

При проектировании лесовосстановительных работ важно учитывать, что влажность почвы на свежей вырубке в среднем в 1,4 раза и более меньше во всех фондах склона, чем в аналогичных условиях в лесу, а запасы воды в корнеобитаемой (30 см) толще ниже примерно в 1,5 раза, что обусловлено активизацией поверхностного стока [60].

Запасы же воды в почвогрунтах на трассах трелёвочных волоков с высокой плотностью почти в два раза меньше, чем в лесу. Застой влаги на поверхности приводит в дальнейшем к водной эрозии сильно нарушенных почвенных горизонтов.

Посадка сеянцев (саженцев) в условиях вырубке (гари) на склоне, на участках с хорошей скарификацией почвогрунта возможна без предварительной обработки почвы или проводится обработка почвы небольшими площадками различной площади, террасками с использованием средств малой механизации, например на базе мотоблока [61]. Такой вариант комбинированного лесовосстановления позволяет обеспечить максимальное приспособление создаваемых насаждений к естественным условиям.

Свежие вырубки в условиях лесов на склонах, как правило, захламлены и имеют значительное количество пней, что затрудняет работу техники при подготовке почвы. Кроме того, идёт либо интенсивный смыв плодородного слоя почвы, либо вырубки захватывает поросль быстрорастущих мягколиственных пород и травяная растительность.

Сплошная корчёвка пней в условиях лесов на склонах не приемлема, т. к. это может спровоцировать почвозерозионные процессы и полностью лишит склоны гумусного горизонта.

Полосная корчёвка пней возможна только поперёк склона с уклоном не более 8—10°. В результате работы корчевателей частично или полностью удаляются аккумулятивные горизонты почвы, происходит уплотнение верхних слоёв почвы и углубление полосы

на 5—9 см с удалением верхнего плодородного слоя. Корчёвка пней отвалом бульдозера очень энергозатратна и экологически вредна, поскольку при этом потери плодородного слоя составляют около 50 % его мощности [62].

При условии проведения механизированной подготовки почвы вырубок или гарей на склонах плужные борозды должны быть созданы строго поперёк склона. При этом может происходить частичный смыв лесной подстилки, а иногда и гумусного горизонта. Плоскостная эрозия почвы бывает выражена только на магистральных трелёвочных волоках, которые, как правило, устраиваются вдоль по склону (фото 16). Магистральные трелёвочные волоки и усы лесовозных дорог создают промоины, которые тянутся даже за пределами вырубki, выносят ил и песок (в зависимости от механического состава почвы) на 5—50 м. Подготовка почвы на склоновых вырубках должна производиться одноотвальными плугами. Отвал борозды укладывается в сторону уклона за один проход и прижимается лемехом [62].

Хороший результат может дать подготовка почвы плугом-фрезой-покровосдирателем. Такой агрегат способен готовить почву строго поперёк склона, т. к. он приспособлен легко преодолевать пни любого диаметра. Микроповышений и понижений при таком способе обработки почвы на вырубке не предусмотрено. Такой способ подготовки вырубki или гари к культивированию может использоваться только на свежих вырубках и путём посадки крупномерного посадочного материала или посадочного материала с закрытой корневой системой [62].



**Фото 16.** Трелёвочные волоки на склоне (фото авторов)

**Photo 16.** Logging skids on the slope (authors' photo)

В нижних частях и подножиях склонов подготовка вырубок (гарей) к искусственному лесовосстановлению может заключаться в нарезке площадок-terraces размером  $2 \times 2$  м. После этого производится посадка или посев. Также может проводиться полосная вспашка по предварительно сделанным террасам шириной до 3 м. При ориентации на искусственное лесовосстановление путём создания лесных культур на склонах для каждого условия надо подбирать способ обработки почвы, дающий наиболее высокий результат приживаемости.

Весьма перспективным способом искусственного лесовосстановления на склонах является принцип создания групповых лесных культур. Этот вариант даёт следующие преимущества: сокращаются площадь обработки почвы и, соответственно, энергозатраты, не требуется корчёвка. Групповые лесные культуры характеризуются высокой продуктивностью и устойчивостью.

Проблемой всех вышеперечисленных вариантов искусственного лесовосстановления является их дороговизна и техническая сложность, связанная с доставкой на рубку (гари) необходимой техники. Кроме того, отмечается сложность эксплуатации лесных площадей, особенно при необходимости работы поперёк склона, что является достаточно опасным мероприятием.

Естественное лесовосстановление вырубок (гарей) на склонах не всегда может проходить эффективно, что связано с нарастающими эрозионными процессами и вероятностью недостатка лесных семян от стен леса или семенников.

Наиболее оптимальным (дешёвым и эффективным) вариантом восстановления лесов на склонах, особенно при больших площадях, представляется технология аэросева при помощи специальных беспилотных летающих аппаратов (БПЛА).

Такой вариант лесовосстановления допускается в Правилах лесовосстановления (утверждённых приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 04.12.2020 г. № 1014 «Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений»): «Искусственное восстановление леса посевом семян допускается на лесных участках со слабым развитием травянистого покрова... На свежих паловых рубках с супесчаными и хорошо дренированными суглинистыми почвами, на которых огонь вызвал полное прогорание лесной подстилки, возможно проведение искусственного лесовосстановления аэросевом. Оптимальное время аэросева семян хвойных пород — весна (апрель — по снежному покрову, первая и вторая декады мая — непосредственно после таяния снега)». Допустимыми нормами высева семян первого класса сортности при аэросеве считаются: на паловых и кипрейно-паловых рубках с обнажением поверхности почвы огнём 70—80 % — для сосны 1,0 кг, для ели 1,2 кг; на свежих рубках из-под зеленомошных типов леса с минерализацией почвы более 40 % — для сосны 1,5, для ели 1,8 кг на гектар.

Технология аэросева также применяется в области сельского хозяйства и наибольшую эффективность даёт на участках, где затруднено применение наземной техники. Это, в первую очередь, участки со сложным рельефом и низкой несущей способностью почв. Примером может служить посев на крутых склонах и ранний посев мелкосемянных холодостойких культур, а также ранневесенняя подкормка озимых культур минеральными гранулированными удобрениями.

Стоимость аэросева значительно ниже других вариантов посева лесных семян на вырубках или гарях, и при этом работы выполняются со значительно большей производительностью [63].

Наиболее перспективным типом БПЛА для посева лесных семян на склонах гор и сопок является многоосный вертолёт или «мультикоптер» [63].

Процесс аэросева обычно разделяется на два этапа. Сначала создаётся точная карта для определения оптимальных мест посева каждого семени. Затем производится непосредственно процесс посева по ранее созданной траектории полёта.

Аэросев с применением БПЛА часто выполняется семенами в искусственных оболочках (дражированных). Дражирование семян — это операция покрытия семян специальным субстратом, удерживающим влагу и содержащим достаточное количество питательных веществ, стимуляторов и биопрепаратов, необходимых для быстрого прорастания семян и энергичного последующего роста [64].

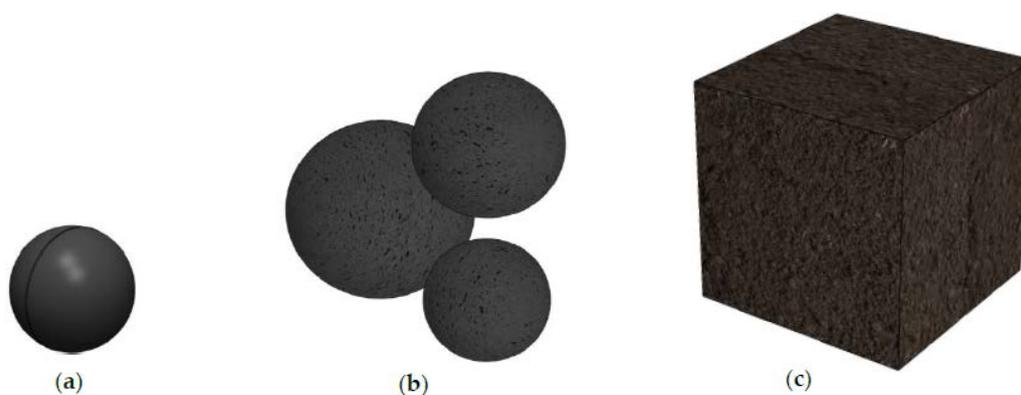
При посеве дражированных семян выращиваемых растений они оказываются в лучших условиях, чем семена сорных растений. За счёт использования в качестве добавок стимуляторов роста семена лесных пород быстрее прорастают и доминируют над нежелательными травянистыми и древесными растениями.

Высев дражированных семян помогает решать такие проблемы, как заболеваемость и гибель в условиях неблагоприятных почвенно-климатических условиях. При введении дополнительных добавок можно ускорить прорастание семян и улучшить рост сеянцев. Дражирование семян также позволяет обеспечить более точный высев семян с соблюдением расстояний между ними [65].

Дражирование выполняется в ёмкостях типа бетономешалки с различным углом наклона. В качестве целевых добавок используют различные органоминеральные вещества, стимуляторы роста, фунгициды и микроэлементы [66], [67].

Преимущества метода дражирования заключаются в защите семян от болезней, снижении расхода средств для химической защиты растений, удобрений и стимуляторов роста, ускорении прорастания семян. Дражированная оболочка при аэросеве служит для семян хорошей защитой от повреждений при ударе и внедрении в почвенный слой гари или вырубки. Но у этого метода подготовки семян имеются и недостатки, такие как повышенная стоимость семян, со временем семена теряют всхожесть, т. к. сквозь оболочку не поступает кислород.

Дражированным семенам придают различную форму (сферическую, эллиптическую, квадратную), в зависимости типа используемого на БПЛА высевного аппарата (рисунок 6). Для рассматриваемых условий посева на склонах наиболее подходят квадратные брикетированные семена, т. к. они не подвержены скатыванию и имеют большую площадь контакта с почвенной поверхностью.



**Рисунок 6.** Дражированные и брикетированные семена: а — калиброванное сферическое дражированное семя; б — некалиброванное сферическое или эллиптическое дражированное семя; с — квадратное брикетированное семя [63]

**Figure 6.** Coated and briquetted seeds: a — calibrated spherical coated seed; b — uncalibrated spherical or elliptical coated seed; c — square coated seed [63]

#### 4. Обсуждение и заключение

Анализ систем машин, применяемых для разработки лесосек на горных склонах, позволяет утверждать, что для рассматриваемых условий наиболее предпочтительным вариантом являются самоходные лебёдки, работающие в паре с лесными машинами. Выбор типа и конкретной модели лебёдки будет зависеть от используемых лесных машин, вида двигателя, их массы и грузоподъёмности, природно-производственных условий эксплуатации — формы и протяжённости склона, влажности почвогрунта, таксационных характеристик древостоя и т. д.

Эффективное лесовосстановление вырубок и гарей на склонах является крайне важным мероприятием, поскольку предотвращает возникающие после удаления лесного покрова эрозионные процессы. На успешности лесовосстановительных процессов на склонах отражаются высота над уровнем моря, крутизна и экспозиция склонов, мощность и устойчивость почвогрунтов. Из проанализированных вариантов естественного и искусственного лесовосстановления на склонах, как один из наиболее оптимальных, может быть рекомендован метод аэросева квадратными дражированными семенами, при помощи БПЛА типа многоосный вертолёт или «мультикоптер», непосредственно последующей весной или осенью после удаления лесного покрова со склона.

*Исследование выполнено на средства гранта Российского научного фонда № 22-26-00009, <https://rscf.ru/project/22-26-00009/>.*

## Список литературы

1. *Рябухин П. Б., Абузов А. В.* Горным лесоразработкам — средосберегающее технологическое оборудование // Лесное хозяйство. 2008. № 6. С. 36—37.
2. Лесозаготовки на Дальнем Востоке — состояние и перспективы / П. Б. Рябухин, А. П. Ковалев, Н. В. Казаков, Е. В. Луценко. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2010. 283 с.
3. *Рябухин П. Б., Луценко Е. В., Кравец А. Д.* Анализ систем лесозаготовительных машин для освоения горных лесов по критериям производительности и экономической эффективности // Вестник КрасГАУ. 2010. № 10. С. 148—155.
4. *Рябухин П. Б., Луценко Е. В., Кравец А. Д.* Эффективные объёмы лесозаготовительного производства в условиях горных лесных массивов Дальнего Востока // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. по итогам междунар. научно-технич. конф. Брянск: БГИТА, 2010. Вып. 25. С. 160—163.
5. *Абузов А. В., Рябухин П. Б.* Аэростатный транспорт для горных лесозаготовок в условиях Дальнего Востока. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. 199 с.
6. *Рябухин П. Б., Рыжаков М. Р.* Эффективность систем лесозаготовительных машин в лесорастительных и производственных условиях Дальнего Востока // Философия современного природопользования в бассейне реки Амур: Сб. докл. междунар. экол. семинара (Хабаровск, 6—8 мая 2015 г.) / Под ред. проф. П. Б. Рябухина. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. С. 74—78.
7. *Рябухин П. Б.* Оценка эффективности лесозаготовительных машин в природно-производственных условиях лесопромышленных предприятий Дальневосточного федерального округа: [монография]. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. 176 с.
8. *Абузов А. В., Куницкая О. А.* Определение массы грузозахватного срезающего механизма для аэростатной системы трелёвки // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10, № 1 (37). С. 96—104.
9. *Абузов А. В., Григорьев И. В.* Конструктивные особенности канатных лесотранспортных систем на мягких пневматических опорах // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10, № 1 (37). С. 86—95.
10. *Абузов А. В., Казаков Н. В., Дмитриева И. Н.* Особенности использования вертолёта на лесозаготовительных операциях // Инженерный вестник Дона. 2014. № 3. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/2469>. Текст: электронный.
11. *Виногоров Г. К., Калуцкий К. К.* Применение вертолётов для транспорта леса в горах // Труды ЦНИИМЭ. Химки, 1971. Вып. 118. С. 116—125.
12. *Подзирей Ю. С.* Газодинамическое управление для экраноплана, выполненного по схеме «Летающее крыло» // Русский инженер. 2020. № 03 (68). С. 18—22.
13. *Подзирей Ю. С.* Летающий кран для строительно-монтажных работ // Русский инженер. 2021. № 1 (70). С. 16—19.
14. *Нечаев Ю. Н., Тарасов А. И.* Пульсирующий детонационный двигатель — новый тип двигателя для авиации // Полёт. 1999. № 4. С. 13—18.
15. *Григорьев И. В.* Особенности эксплуатации и выбор канатов для канатных трелёвочных установок // Деловой лес. 2004. № 2 (38). С. 7—9.
16. *Берг Л. В., Ливанов А. П., Родионов В. И.* Лебёдки и трелёвочные установки для горных условий. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 136 с.

17. Средооадающие технологии разработки лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации / И. В. Григорьев, А. И. Жукова, О. И. Григорьева, А. В. Иванов. СПб.: ЛТА, 2008. 175 с.
18. *Белая Н. М., Прохоренко А. Г.* Канатные лесотранспортные установки. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 300 с.
19. *Возный В. П., Визнер П. Ф.* Канатные лесоспуски на лесочистке горных склонов. М.: ЦНИИТЭИлеспром, 1965. 21 с.
20. *Кузавков В. М.* История лесной промышленности России. СПб.: ЛТА, 1997. 117 с.
21. *Григорьев И. В., Валяжонков В. Д.* Современные машины и технологические процессы лесосечных работ. СПб.: ЛТА, 2009. 287 с.
22. *Григорьев И. В., Григорьева О. И.* Сохранение биоразнообразия при заготовке древесины в горных лесах // Биоразнообразие. Биоконсервация. Биомониторинг: Сб. материалов II Междунар. научно-практич. конф., посвящается 75-летию Адыгейского государственного университета. Майкоп, 2015. С. 134—135.
23. Комплексная экономическая оценка применения канатных трелёвочных установок на лесозаготовках / В. В. Лавришин, Н. В. Мурашкин, В. И. Патыкин, И. В. Григорьев, О. Н. Тюкина, А. Н. Мурашкин, Н. И. Тихонов. СПб.: ЛТА, 2006. 200 с.
24. *Занегин Л. А., Воскобойников И. В., Еремеев Н. С.* Машины и механизмы для канатной трелёвки. М.: МГУЛ, 2004. Ч. 1. 446 с.
25. *Занегин Л. А., Воскобойников И. В., Еремеев Н. С.* Машины и механизмы для канатной трелёвки. М.: МГУЛ, 2004. Ч. 2. 418 с.
26. *Азаренок В. А., Герц Э. Ф., Мехренцев А. В.* Природооадающие технологии в условиях интенсификации лесного комплекса // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2005. № 3. С. 64—68.
27. *Гончаров А. В., Григорьев И. В., Куницкая О. А., Григорьев М. Ф.* Основные ошибки вальщиков, приводящие к выходу из строя бензиномоторных пил // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2018. № 10. С. 17—21.
28. *Григорьев И. В.* Валка деревьев бензиномоторными пилами // Деловой лес. 2003. № 12. С. 7—9.
29. *Степанова Д. И., Григорьев И. В., Куницкая О. А., Григорьев М. Ф.* Эксплуатационные причины выхода из строя бензиномоторных пил // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: Материалы междунар. научно-практич. конф. / Под общ. ред. В. А. Гулевского. Воронеж, 2018. С. 266—271.
30. *Куницкая О. А., Григорьев И. В.* Оценка эффективности работы операторов лесных машин // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-технич. конф. / Отв. ред. Н. С. Захаров. Тюмень, 2019. С. 184—188.
31. *Куницкая О. А., Григорьев И. В., Нгуен Т. Н.* Современные методы и формы обучения операторов лесных машин // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития: Сб. материалов Всерос. научно-практич. конф. / Отв. ред.: Ю. А. Безруких, Е. В. Мельникова. Красноярск, 2020. С. 277—280.
32. *Григорьев И. В., Куницкая О. А.* Перспективные направления опытно-конструкторских работ в лесном машиностроении // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Третьей Всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2017. С. 53—56.
33. Машинная заготовка древесины по скандинавской технологии / О. А. Куницкая, Н. А. Чернуцкий, М. В. Дербин, С. Е. Рудов, И. В. Григорьев, О. И. Григорьева. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2019. 192 с.

34. Богатова Е. Ю., Григорьев И. В. Перспективы развития лесного машиностроения России // Леса России в XXI веке: Материалы Одиннадцатой междунар. научно-технич. интернет-конф., посвящённой 85-летию лесоинженерного факультета СПбГЛТУ и 95-летию кафедры сухопутного транспорта леса. СПб.: ЛТУ, 2014. С. 153—156.
35. Григорьев И. В., Куницкая О. А., Фам Н. Л. Применение мобильных технологий для мониторинга, контроля и управления процессами сервиса лесных машин // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития: Сб. материалов Всерос. научно-практич. конф. / Отв. ред.: Ю. А. Безруких, Е. В. Мельникова. Красноярск, 2020. С. 143—146.
36. Grigorev I., Kunickaya O., Prosuzhik A., Kruchinin I., Shakirzyanov D., Shvetsova V., Markov O., Egipko S. Efficiency improvement of forest machinery exploitation // Diagnostyka. 2020. Vol. 21, no. 2. С. 95—109.
37. Григорьев И. В., Рудов С. Е. Особенности эксплуатации колёсных лесных машин в сложных почвенно-грунтовых и рельефных условиях // Forest engineering: Материалы научно-практич. конф. с междунар. участием. Якутск, 2018. С. 67—71.
38. Григорьев И. В., Куницкая О. А., Рудов С. Е., Давтян А. Б. Пути повышения эффективности работы лесных машин // Энергия: экономика, техника, экология. 2020. № 1. С. 55—63.
39. Рудов С. Е., Григорьев И. В. Пути повышения эффективности работы систем машин для сортиментной заготовки древесины // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Седьмой Всерос. национальной научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2021. С. 168—169.
40. Григорьев И. В., Куницкая О. А., Рудов С. Е. Использование методов теории управления качеством для повышения эффективности работы транспортно-технологических комплексов на заготовке древесины // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-технич. конф. / Отв. ред. Н. С. Захаров. Тюмень, 2020. С. 130—133.
41. Григорьев И. В., Куницкая О. А., Просужих А. А., Давтян А. Б., Рудов С. Е. Перспективы создания лесозаготовительных комплексов на базе отечественных строительных и сельскохозяйственных машин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 10. С. 3—10.
42. Бухтояров Л. Д., Абрамов В. В., Просужих А. А., Рудов С. Е., Куницкая О. А., Григорьев И. В. Анализ конструкций и технологий работы форвардеров на лесозаготовках // Resources and Technology. 2020. Т. 17, № 3. С. 1—35.
43. Морозов Е. В., Шегельман И. Р., Будник П. В. Вероятностно-статистический анализ процесса заготовки сортиментов // Перспективы науки. 2011. № 7 (22). С. 183—185.
44. Шегельман И. Р., Будник П. В. Обоснование вылета манипулятора и режимов работы валочно-трелёвочно-процессорной машины // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. 2011. № 4 (117). С. 81—83.
45. Будник П. В., Скрыпник В. И. Обоснование масс и объёмов пачек деревьев, трелюемых валочно-трелёвочно-процессорной машиной с учётом природно-производственных условий и районов лесозаготовок // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2010. № 27. С. 3—6.
46. Grigorev I., Kunickaya O., Tikhonov E., Hertz E., Khakhina A., Burmistrova O., Sukhomlinova N., Zhuk A. Methodology for assessing and managing the environmental performance of skidding and feller buncher tractors // Forests. 2021. Vol. 12, no. 12.
47. Рудов С. Е., Григорьев И. В., Григорьев М. Ф., Степанова Д. И. Повышение эффективности работы колёсных лесных машин на оттаивающих почвогрунтах //

- Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы XVII Междунар. научно-технич. конф. / Отв. ред. Ю. М. Авдеев. Вологда, 2019. С. 223—225.
48. *Бурмистрова О. Н., Просужих А. А., Рудов С. Е., Куницкая О. А., Григорьев И. В.* Экспериментальные исследования производительности форвардера с учётом его эксплуатационных характеристик, параметров лесосеки и физико-механических свойств почвогрунта // *Resources and Technology*. 2021. Т. 18, № 1. С. 94—124.
49. *Григорьев И. В., Рудов С. Е., Каляшов В. А.* Транспортно-технологические комплексы на базе лесных машин и самоходных лебёдок для проведения рубок леса на склонах // *Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-технич. конф. / Отв. ред. Н. С. Захаров. Тюмень, 2021. С. 59—62.*
50. *Рудов С. Е., Куницкая О. А., Григорьев И. В., Григорьева О. И., Каляшов В. А., Нгуен Т. Н.* Современные системы машин для освоения лесосек на склонах // *Ремонт. Восстановление. Модернизация*. 2021. № 1. С. 35—42.
51. *Kunickaya O., Hertz E., Kruchinin I., Tikhonov E., Ivanov N., Dolmatov N., Zorin M., Grigorev I.* Pressure control systems for tyre preservation in forestry machinery and forest soils // *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*. 2021. Vol. 18, no. 3. P. 95—102.
52. *Grigorev I., Kunickaya O., Burgonutdinov A., Tikhonov E., Makuev V., Egipko S., Hertz E., Zorin M.* Modeling the effect of wheeled tractors and skidded timber bunches on forest soil compaction // *Journal of Applied Engineering Science*. 2021. Vol. 19, no. 2. P. 439—447.
53. *Grigorev I., Kunickaya O., Burgonutdinov A., Burmistrova O., Druzyanova V., Dolmatov N., Voronova A., Kotov A.* Assessment the effect of skidding techniques on the ecological efficiency of the skidding tractor // *Diagnostyka*. 2020. Vol. 21, no. 3. P. 67—75.
54. *Grigorev I., Kunickaya O., Burgonutdinov A., Ivanov V., Shuvalova S., Shvetsova V., Stepanishcheva M., Tikhonov E.* Theoretical studies of dynamic soil compaction by wheeled forestry machines // *Diagnostyka*. 2020. Vol. 21, no. 4. P. 3—13.
55. *Rudov S., Kunickaya O., Grigorev I., Burgonutdinov A., Kruchinin I., Prosuzhih A., Dolmatov N., Dmitrieva N.* The mathematical model of forestry machines impact on cryolitozone forest soils // *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*. 2020. Vol. 17, no. 4. P. 89—95.
56. *Черных А. С., Абрамов В. В., Бондаренко А. В.* Лесоводственно-экологическая оценка технологического процесса первичной транспортировки древесины в горных условиях лесозаготовок // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2015. Vol. 3, no. 8-3 (19-3). С. 60—63.
57. *Абрамов В. В., Черных А. С., Бондаренко А. В.* Моделирование природно-производственных условий в задачах исследования процесса первичной транспортировки древесины в горной местности // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2014. Vol. 2, no. 2-1 (7-1). С. 19—26.
58. *Morkovina S. S., Kunickaya O., Dolmatova L., Markov O., Nguyen V. L., Baranova T., S. Shadrina S., Grin'Ko O.* Comparative analysis of economic aspects of growing seedlings with closed and open root systems: the experience of Russia // *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*. 2021. Vol. 18, no. 2. P. 19—26.
59. *Kunickaya O., Tanyukevich V., Khmeleva D., Kulik A., Runova E., Savchenkova V., Voronova A., Lavrov M.* Cultivation of the targeted forest plantations // *Journal of Environmental Treatment Techniques*. 2020. Vol. 8, no. 4. P. 1385—1393.
60. *Сабо Е. Д.* Изменение плотности почвы на вырубках // *Труды СПбНИИЛХ: Гидромелиорация: наука — производству*. СПб., 1996. С. 21—22.

61. Мясущев Д. Г. Потенциал малой механизации в лесохозяйственных технологических процессах // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 1 (361). С. 70—79.
62. Сафин Р. Р., Григорьев И. В., Григорьева О. И., Разумов Е. Ю. Технология и машины лесовосстановительных работ. М.: Редакция журнала «Деревообрабатывающая промышленность», 2015. 230 с.
63. Лысыч М. Н., Бухтояров Л. Д., Чернышов В. В., Нагайцев В. М. Обзор современных технологий аэросева лесных культур с применением беспилотных летательных аппаратов // Успехи современного естествознания. 2021. № 10. С. 37—42.
64. Копытков В. В., Коновалов В. Н. Исследования технологии получения дражированных семян с использованием композиционных полимерных препаратов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016. № 4 (352). С. 30—39.
65. Николаев А. И., Иванова Р. И., Шигапов Д. С. Прорастание семян древесных растений в субстратах с применением влагоудерживающих веществ // Лесохозяйственная информация. 2016. № 4. С. 93—101.
66. Червяков А. В., Курзенков С. В., Михеев Д. А. Способы дражирования семян // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2014. С. 67—70.
67. Кухарев О. Н., Гришин Г. Е., Сёмов И. Н. Теоретическое обоснование барабанного дражиратора с вращающимся дном // Нива Поволжья. 2013. № 1 (26). С. 51—55.

## References

1. Ryabukhin P. B., Abuzov A. V. To the mountain logging — medium-saving technological equipment. *Forestry*. 2008, no. 6, pp. 36—37. (In Russ.)
2. Ryabukhin P. B., Kovalev A. P., Kazakov N. V., Lutsenko E. V. *Logging in the Far East — status and prospects*. Khabarovsk, Izd-vo Dal'nii IILKh, 2010. 283 p. (In Russ.)
3. Ryabukhin P. B., Lutsenko E. V., Kravets A. D. Analysis of logging machinery systems for the development of mountain forests on the criteria of performance and economic efficiency. *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*, 2010, no. 10, pp. 148—155. (In Russ.)
4. Ryabukhin P. B., Lutsenko E. V., Kravets A. D. Effective volumes of logging production in the mountain forests of the Far East. *Actual problems of forestry complex. Collection of scientific papers on the results of international scientific and technical conference*. Bryansk, BGITA, 2010, issue 25, pp. 160—163. (In Russ.)
5. Abuzov A. V., Ryabukhin P. B. *Aerostat transport for mountain logging in conditions of the Far East*. Khabarovsk, Publishing house of the Pacific State University, 2013. 199 p. (In Russ.)
6. Ryabukhin P. B., Ryzhakov M. R. Efficiency of logging machine systems in forest and production conditions of the Far East. *Philosophy of modern nature management in the Amur River basin: Proceedings of an international ecological seminar (Khabarovsk, May 6—8, 2015)*. Edited by Prof. P. B. Ryabukhin. Khabarovsk, Publishing house of the Pacific State University, 2015, pp. 74—78. (In Russ.)
7. Ryabukhin P. B. *Assessment of the effectiveness of logging machines in the natural-production conditions of timber enterprises of the Far Eastern Federal District*: [monograph]. Khabarovsk, Publishing house of the Pacific State University, 2018. 176 p. (In Russ.)
8. Abuzov A. V., Kunitskaya O. A. Determination of weight of load-carrying shearing mechanism for aerial skidding system. *Lesotechnical journal*, 2020, vol. 10, no. 1 (37), pp. 96—104. (In Russ.)

9. Abuzov A. V., Grigorev I. V. Design features of rope forest transportation systems on soft pneumatic supports. *Forest Engineering Journal*, 2020, vol. 10, no. 1 (37), pp. 86—95. (In Russ.)
10. Abuzov A. V., Kazakov N. V., Dmitrieva I. N. Features of using a helicopter for logging operations. *Engineering Herald of the Don*, 2014, no. 3. Available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/2469>. Text. Image: electronic. (In Russ.)
11. Vinogorov G. K., Kalutsky K. K. Application of helicopters for forest transport in the mountains. *Proceedings of the Central Research Institute of Mining*. Khimki, 1971, vol. 118, pp. 116—125. (In Russ.)
12. Podzirey Y. S. Gas-dynamic control for the screenplane made according to the scheme «Flying wing». *Russian engineer*, 2020, no. 03 (68), pp. 18—22. (In Russ.)
13. Podzirey Y. S. Flying crane for construction and installation works. *Russian engineer*, 2021, no. 1 (70), pp. 16—19. (In Russ.)
14. Nechaev Y. N., Tarasov A. I. Pulsating detonation engine — a new type of engine for aviation. *Polet*, 1999, no. 4, pp. 13—18. (In Russ.)
15. Grigorev I. V. Features of operation and a choice of ropes for the rope skidders. *Business forest*, 2004, no. 2 (38), pp. 7—9. (In Russ.)
16. Berg L. V., Livanov A. P., Rodionov V. I. *Winches and skidding installations for mining conditions*. Moscow, Forest Industry, 1974. 136 p. (In Russ.)
17. Grigorev I. V., Zhukova A. I., Grigoreva O. I., Ivanov A. V. *Cutting technologies for logging in the North-West region of the Russian Federation*. Saint Petersburg, FTA, 2008. 175 p. (In Russ.)
18. Belaya N. M., Prokhorenko A. G. *Cable logging installations*. Moscow, Forest Industry, 1964. 300 p. (In Russ.)
19. Voznyy V. P., Vizner P. F. *Rope skids on forest clearing of mountain slopes*. Moscow, Central Research Institute of Timber Industry, 1965. 21 p. (In Russ.)
20. Kuzavkov V. M. *History of the forest industry of Russia*. Saint Petersburg, FTA, 1997. 117 p. (In Russ.)
21. Grigorev I. V., Valyazhonkov V. D. *Modern machines and technological processes of forestry work*. Saint Petersburg, FTA, 2009. 287 p. (In Russ.)
22. Grigorev I. V., Grigoreva O. I. Conservation of biodiversity during timber harvesting in mountain forests. *Biodiversity. Bioconservation. Biomonitoring. Proceedings of the II International Scientific-Practical Conference, dedicated to the 75th anniversary of Adygei State University*, 2015, pp. 134—135. (In Russ.)
23. Lavrishin V. V., Murashkin N. I., Patyakin I. I., Grigorev I. V., Tyukina O. N., Murashkin A. N., Tikhonov I. I. *Comprehensive economic assessment of the use of rope skidders at logging sites*. Saint Petersburg, FTA, 2006. 200 p. (In Russ.)
24. Zanev L. A., Voskoboynikov I. V., Eremeyev N. S. *Machines and mechanisms for the rope skidding*. Moscow, MSULE, 2004. Part 1. 446 p. (In Russ.)
25. Zanev L. A., Voskoboynikov I. V., Eremeyev N. S. *Machines and mechanisms for the rope skidding*. Moscow, MSULE, 2004. Part 2. 418 p. (In Russ.)
26. Azarenok V. A., Hertz E. F., Mekhrentsev A. V. Nature-saving technologies in the conditions of intensification of the forest complex. *Izvestiya vysokikh uchebnykh obucheniya. Forest journal*, 2005, no. 3, pp. 64—68. (In Russ.)
27. Goncharov A. V., Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Grigorev M. F. Main mistakes of woodcutters, leading to the failure of gasoline-powered saws. *Repair. Restoration. Modernization*, 2018, no. 10, pp. 17—21. (In Russ.)

28. Grigorev I. V. Tree felling with gasoline-powered saws. *Business Forest*, 2003, no. 12, pp. 7—9. (In Russ.)
29. Stepanova D. I., Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Grigorev M. F. Operational reasons of failure of gasoline-powered saws. *Energy efficiency and energy saving in modern production and society. Proc. of International Scientific-Practical Conference*. Under the general editorship of V. A. Gulevsky. Voronezh, 2018, pp. 266—271. (In Russ.)
30. Kunitskaya O. A., Grigorev I. V. Assessment of forest machine operators' efficiency. *Transport and transport-technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference*. Ed. by N. S. Zakharov. Tyumen, 2019, pp. 184—188. (In Russ.)
31. Kunitskaya O. A., Grigorev I. V., Nguyen T.N. Modern methods and forms of training forest machine operators. *Innovations in the chemical and forestry complex: trends and prospects for development. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Responsible Editors: Yu. A. Bezrukikh, E. V. Melnikova. Krasnoyarsk, 2020, pp. 277—280. (In Russ.)
32. Grigorev I. V., Kunitskaya O. A. Prospective directions of development work in forest engineering. *Increasing the efficiency of the forestry complex. Materials of the third All-Russian scientific-practical conference with international participation*. Petrozavodsk, 2017, pp. 53—56. (In Russ.)
33. Kunitskaya O. A., Chernutsky N. A., Derbin M. V., Rudov S. E., Grigorev I. V., Grigoreva O. I. *Machine logging of wood by Scandinavian technology*. Saint Petersburg, Publishing and Printing Association of Higher Education Institutions, 2019. 192 p. (In Russ.)
34. Bogatova E. Yu., Grigorev I. V. Prospects for the development of forest engineering in Russia. *Forests of Russia in the XXI century. Materials of the 11th International Scientific and Technical Internet-Conference, dedicated to the 85th Anniversary of Forestry Engineering Faculty at St. Petersburg State Forestry Technological University and the 95th Anniversary of the Department of Land Transport of Forests*. Saint Petersburg, FTU, 2014, pp. 153—156. (In Russ.)
35. Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Pham N. L. Application of mobile technologies for monitoring, control and management of forest machine service processes. *Innovations in the chemical and forestry complex: trends and prospects for development. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Responsible Editors: Yu. A. Bezrukikh, E. V. Melnikova. Krasnoyarsk, 2020, pp.143—146. (In Russ.)
36. Grigorev I., Kunitskaya O., Prosuzhih A., Kruchinin I., Shakirzyanov D., Shvetsova V., Markov O., Egipko S. Efficiency improvement of forest machinery exploitation. *Diagnostyka*, 2020, vol. 21, no. 2, pp. 95—109.
37. Grigorev I. V., Rudov S. E. Features of operation of wheeled forest machines in complex soil and terrain conditions. *Forest engineering. materials of scientific-practical conference with international participation*. Yakutsk, 2018, pp. 67—71. (In Russ.)
38. Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Rudov S. E., Davtyan A. B. Ways to increase the efficiency of forest machines. *Energy: Economics, Technology, Ecology*, 2020, no. 1, pp. 55—63. (In Russ.)
39. Rudov S. E., Grigorev I. V. Ways to increase the efficiency of machine systems for assortment timber harvesting. *Increasing the efficiency of the forestry complex. Materials of the Seventh All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation*. Petrozavodsk, 2021, pp. 168—169. (In Russ.)
40. Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Rudov S. E. The use of methods of quality control theory to improve the efficiency of transport technological complexes in timber harvesting. *Transport and transport-technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference*. Editor N. S. Zakharov. Tyumen, 2020, pp. 130—133. (In Russ.)

41. Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Proshikh A. A., Davtyan A. B., Rudov S. E. Prospects for creating logging complexes based on domestic construction and agricultural machinery. *Repair. Restoration. Modernization*, 2020, no. 10, pp. 3—10. (In Russ.)
42. Bukhtoyarov L. D., Abramov V. V., Proshikh A. A., Rudov S. E., Kunitskaya O. A., Grigorev I. V. Analysis of designs and technologies of forwarders at logging operations. *Resources and Technology*, 2020, vol. 17, no. 3, pp. 1—35. (In Russ.)
43. Morozov E. V., Shegelman I. R., Budnik P. V. Probabilistic-statistical analysis of logging process. *Perspectives of Science*, 2011, no. 7 (22), pp. 183—185. (In Russ.)
44. Shegelman I. R., Budnik P. V. Justification of manipulator reach and operating modes of feller-tracking-processor machine. *Scientific Notes of Petrozavodsk State University*, 2011, no. 4 (117), pp. 81—83. (In Russ.)
45. Budnik P. V., Skrypnik V. I. Justification of weights and volumes of bundles of trees skidded by a feller-barker-processor machine with regard to natural-production conditions and logging areas. *Actual problems of forestry complex*, 2010, no. 27, pp. 3—6. (In Russ.)
46. Grigorev I., Kunickaya O., Tikhonov E., Hertz E., Khakhina A., Burmistrova O., Sukhomlinova N., Zhuk A. Methodology for assessing and managing the environmental performance of skidding and feller buncher tractors. *Forests*, 2021, vol. 12, no. 12.
47. Rudov S. E., Grigorev I. V., Grigorev M. F., Stepanova D. I. Increase of efficiency of wheeled forest machines on thawing soils. *Actual problems of forest complex development. Proceedings of the XVII International Scientific and Technical Conference*. Responsible Editor M. Avdeev. Vologda, 2019, pp. 223—225. (In Russ.)
48. Burmistrova O. N., Proshikh A. A., Rudov S. E., Kunitskaya O. A., Grigorev I. V. Experimental studies of forwarder productivity taking into account its operating characteristics, logging parameters, and physical and mechanical properties of soil. *Resources and Technology*, 2021, vol. 18, no. 1, pp. 94—124. (In Russ.)
49. Grigorev I. V., Rudov S. E., Kalyashov V. A. Transport-technological complexes based on forest machines and self-propelled winches for logging on slopes. *Transport and transport-technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference*. Editor N. S. Zakharov. Tyumen, 2021, pp. 59—62. (In Russ.)
50. Rudov S. E., Kunitskaya O. A., Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Kalyashov V. A., Nguyen T. N. Modern systems of machines for the development of forests on slopes. *Repair. Restoration. Modernization*, 2021, no. 1, pp. 35—42. (In Russ.)
51. Kunickaya O., Hertz E., Kruchinin I., Tikhonov E., Ivanov N., Dolmatov N., Zorin M., Grigorev I. Pressure control systems for tyre preservation in forestry machinery and forest soils. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 2021, vol. 18, no. 3, pp. 95—102.
52. Grigorev I., Kunickaya O., Burgonutdinov A., Tikhonov E., Makuev V., Egipko S., Hertz E., Zorin M. Modeling the effect of wheeled tractors and skidded timber bunches on forest soil compaction. *Journal of Applied Engineering Science*, 2021, vol. 19, no. 2, pp. 439—447.
53. Grigorev I., Kunickaya O., Burgonutdinov A., Burmistrova O., Druzyanova V., Dolmatov N., Voronova A., Kotov A. Assessment the effect of skidding techniques on the ecological efficiency of the skidding tractor. *Diagnostyka*, 2020, vol. 21, no. 3, pp. 67—75.
54. Grigorev I., Kunickaya O., Burgonutdinov A., Ivanov V., Shuvalova S., Shvetsova V., Stepanishcheva M., Tikhonov E. Theoretical studies of dynamic soil compaction by wheeled forestry machines. *Diagnostyka*, 2020, vol. 21, no. 4, pp. 3—13.
55. Rudov S., Kunickaya O., Grigorev I., Burgonutdinov A., Kruchinin I., Proshikh A., Dolmatov N., Dmitrieva N. The mathematical model of forestry machines impact on cryolitozone forest soils. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 2020, vol. 17, no. 4, pp. 89—95.

56. Chernykh A. S., Abramov V. V., Bondarenko A. V. Forest-ecological assessment of the technological process of primary wood transportation in the mountainous conditions of logging. *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2015, vol. 3, no. 8-3 (19-3), pp. 60—63. (In Russ.)
57. Abramov V. V., Chernykh A. S., Bondarenko A. V. Modeling of natural-production conditions in the research tasks of the process of primary wood transportation in mountainous areas. *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2014, vol. 2, no. 2-1 (7-1), pp. 19—26. (In Russ.)
58. Morkovina S. S., Kunickaya O., Dolmatova L., Markov O., Nguyen V. L., Baranova T., Shadrina S., Grin'ko O. Comparative analysis of economic aspects of growing seedlings with closed and open root systems: the experience of Russia. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 2021, vol. 18, no. 2, pp. 19—26.
59. Kunickaya O., Tanyukevich V., Khmeleva D., Kulik A., Runova E., Savchenkova V., Voronova A., Lavrov M. Cultivation of the targeted forest plantations. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 2020, vol. 8, no. 4, pp. 1385—1393.
60. Sabo E. D. Changes in soil density on clearcuts. *Proceedings of SPbNIILKh: Hydromelioration: science-production*. Saint Petersburg, 1996, pp. 21—22. (In Russ.)
61. Myasishev D. G. Potential of small-scale mechanization in forestry technological processes. *Proceedings of higher educational institutions. Forest Journal*, 2018, no. 1 (361), pp. 70—79. (In Russ.)
62. Safin R. R., Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Razumov E. Yu. Technology and machinery of reforestation. Moscow, Editorial board of the journal «Woodworking industry», 2015. 230 p. (In Russ.)
63. Lysych M. N., Bukhtoyarov L. D., Chernyshov V. V., Nagaitsev V. M. Review of modern technologies of aerial seeding of forest crops using unmanned aerial vehicles. *Uspekhi sovremennogo naukistva*, 2021, no. 10, pp. 37—42. (In Russ.)
64. Kopytkov V. V., Konovalov V. N. Researches of technology of preparation of drained seeds with the use of composite polymeric preparations. *Proceedings of higher educational institutions. Forest Journal*, 2016, no. 4 (352), pp. 30—39. (In Russ.)
65. Nikolaev A. I., Ivanova R. I., Shigapov D. S. Germination of seeds of woody plants in substrates with moisture retaining agents. *Forest Information*, 2016, no. 4, pp. 93—101. (In Russ.)
66. Chervyakov A. V., Kurzenkov S. V., Mikheev D. A. Methods of dragging seeds. *Innovative solutions in technology and mechanization of agricultural production*. Gorki, Belarusian State Agricultural Academy, 2014, pp. 67—70. (In Russ.)
67. Kukharev O. N., Grishin G. E., Semov I. N. Theoretical justification of the drum-loader with a rotating bottom. *Niva Povolzhya*, 2013, no. 1 (26), pp. 51—55. (In Russ.)

© Каляшов В. А., До Туан Ань, Хитров Е. Г., Григорьева О. И.,

Гурьев А. Ю., Новгородов Д. В., 2022