

УДК 630\*

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7563

Статья

## Технологический анализ вариантов использования валочно-трелёвочно-процессорных машин

**Куницкая Ольга Анатольевна**

*доктор технических наук, профессор, Арктический государственный агротехнологический университет (Российская Федерация), [ola.ola07@mail.ru](mailto:ola.ola07@mail.ru)*

**Кривошеев Андрей Александрович**

*аспирант, Ухтинский государственный технический университет (Российская Федерация), [ugtukrivosheev@mail.ru](mailto:ugtukrivosheev@mail.ru)*

**Швецов Александр Сергеевич**

*начальник учебной лаборатории 2-й кафедры боевого применения авиационного вооружения, Филиал Военного учебно-научного центра военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» в г. Сызрань (Российская Федерация), [Kapitan2304@yandex.ru](mailto:Kapitan2304@yandex.ru)*

**Григорьева Ольга Ивановна**

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

**Макуев Валентин Анатольевич**

*доктор технических наук, профессор, Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана (Мытищинский филиал) (Российская Федерация), [makuev@mgul.ac.ru](mailto:makuev@mgul.ac.ru)*

**Ревяко Сергей Иванович**

*кандидат технических наук, доцент, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт, Донской государственный аграрный университет (Российская Федерация), [revyako77@mail.ru](mailto:revyako77@mail.ru)*

Получена: 21 ноября 2023 / Принята: 21 мая 2024 / Опубликовано: 28 мая 2024

---

**Аннотация:** Для мелких и малообъёмных лесозаготовительных предприятий, которые преобладают в лесном комплексе Российской Федерации, в условиях острого дефицита вальщиков леса универсальные лесозаготовительные машины

(одномашинные лесозаготовительные комплексы) являются одним из наиболее предпочтительных вариантов для проведения лесосечных работ, как при сплошных, так и при выборочных рубках леса. По сравнению с классическими многомашинными лесозаготовительными комплексами (например, харвестер и форвардер) они требуют значительно меньше капиталовложений, операторов, затрат на их перемещение с лесосеки на лесосеку, что при дефрагментированном лесосечном фонде (с преобладанием небольших по площади и ликвидному запасу древесины лесосек), свойственном для таких предприятий, является достаточно значимым фактором. В статье выполнен технологический анализ четырёх вариантов использования валочно-трелёвочно-процессорных машин. Рассмотрены технологические схемы разработки лесосек при помощи этих машин. Рассмотрены варианты использования этих универсальных лесозаготовительных машин при включении их в состав многомашинных лесозаготовительных комплексов, в случае необходимости — значительного увеличения объёма заготовки древесины за единицу времени. Показано, что валочно-трелёвочно-процессорные машины имеют большую вариативность технологического использования, в частности, в том, что они могут быть задействованы как на скандинавской, так и на канадской технологии лесосечных работ.

**Ключевые слова:** лесосечные работы; системы машин для лесосечных работ; одномашинные лесозаготовительные комплексы; лесозаготовительные машины; машинная заготовка древесины

---

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7563

*Article*

## **Technological analysis of felling-skidding-processing machines usage**

**Olga Kunitskaya**

*D. Sc. in engineering, professor, Arctic State Agrotechnological University (Russian Federation), [ola.ola07@mail.ru](mailto:ola.ola07@mail.ru)*

**Andrey Krivosheev**

*Ph. D. student, Ukhta State Technical University (Russian Federation), [ugtukrivosheev@mail.ru](mailto:ugtukrivosheev@mail.ru)*

**Alexander Shvetsov**

*Head of the Training Laboratory of the 2nd Department of Combat Use of Aviation Weapons, Branch of the Military Training and Research Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin» in Syzran (Russian Federation), [Kapitan2304@yandex.ru](mailto:Kapitan2304@yandex.ru)*

**Olga Grigoreva**

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

**Valentin Makuev**

*D. Sc. in engineering, professor, Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi Branch) (Russian Federation), [makuev@mgul.ac.ru](mailto:makuev@mgul.ac.ru)*

**Sergey Revyako**

*Ph. D. in engineering, associate professor, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute, Don State Agrarian University (Russian Federation), [revyako77@mail.ru](mailto:revyako77@mail.ru)*

*Received: 21 November 2023 / Accepted: 21 May 2024 / Published: 28 May 2024*

---

**Abstract:** For small and low-volume logging enterprises that predominate in the forest complex of the Russian Federation, in conditions of an acute shortage of forest fellers, universal logging machines (single-machine logging complexes) are one of the most preferred options for carrying out logging operations, both in clear felling and selective logging. Compared with multi-machine logging complexes, for example, harvester and forwarder, they require significantly less capital investment, operators, and the cost of

moving them from one cutting area to another. The latter is quite a significant factor because of a defragmented cutting fund (with a predominance of small-area and realizable wood volume of cutting areas), characteristic of such enterprises. The article presents a technological analysis of four options for using felling-skidding-processing machines. Technological schemes for the development of cutting areas using these machines are considered. The options of using these universal logging machines are considered when they are included in the structure of multi-machine logging complexes, if it is necessary to increase significantly the volume of wood harvesting per unit of time. It is shown that felling-skidding-processing machines have a great variability of technological use, in particular, they may be used both on Scandinavian and Canadian technology of logging operations.

**Keywords:** logging operations; systems of machines for logging operations; single-machine logging complexes; logging machines; machine harvesting of wood

---

## 1. Введение

Санкции западных стран против Российской Федерации существенно затронули и лесной комплекс нашей страны. Пятый пакет санкций вызвал уход с российского рынка очень многих производителей лесных машин и оборудования. Это привело к удорожанию и усложнению логистики получения необходимых оригинальных запасных частей и расходных материалов, а также обновления парка машин.

Завод «Амкодор-Онего» ещё только выходит на производственные мощности, а гусеничные харвестеры, на базе экскаваторов с китайскими харвестерными головками, далеко не полностью могут решить возникшую проблему дефицита лесных машин [1], [2].

Кроме того, эмбарго на поставку древесины в западные страны привело к переизбытку производства изделий из древесины и, соответственно, снижению внутреннего спроса на круглые лесоматериалы, что, в свою очередь, способствовало снижению объёмов заготовки древесины.

При небольших объёмах заготовки древесины, часто в условиях сильно дефрагментированного лесосечного фонда, включающего разрозненные, небольшие по площади и запасу ликвидной древесины лесосеки, использование высокопроизводительных машинных комплексов [например, валочно-пакетирующая машина (ВПМ) + скиддер + процессор или харвестер + форвардер] не имеет никакого экономического смысла, поскольку большую часть времени эти достаточно дорогие машины будут простаивать и приносить убыток, а не доход [3—5].

Традиционно малообъёмные лесозаготовки ориентированы на сортиментную механизированную заготовку древесины, которую осуществляют вальщики леса при помощи бензиномоторных пил [6]. Они могут работать по скандинавской технологии (под форвардер), производя валку деревьев, обрезку сучьев и раскряжёвку на пасеке, после чего форвардер собирает заготовленные сортименты, трелюет их на погрузочный пункт и раскладывает в соответствующие штабели групп сортировки [7], [8]. Также они могут работать по технологии с трелёвкой хлыстов, когда на пасеке производится валка деревьев вершинами на волок, обрезка сучьев с укладкой кроновой части на трелёвочные волока, последующая трелёвка хлыстов за вершины и их раскряжёвка на верхнем складе бензиномоторными пилами на разделочно-раскаточной эстакаде, с последующей раскаткой и укладкой в соответствующие штабели групп сортировки [9]. Менее распространён, но достаточно известен вариант, когда после механизированной валки деревьев на пасеках их трелюют за комли на верхний склад, на котором установлен делимбер для обрезки сучьев, а далее на разделочно-раскаточной эстакаде выполняется раскряжёвка хлыстов бензиномоторными пилами, с последующей раскаткой и укладкой в соответствующие штабели групп сортировки [10]. Также известен, но практически не встречается в практике отечественных лесозаготовительных предприятий вариант, когда после механизированной валки деревьев их дальнейшая обработка — обрезка сучьев и раскряжёвка стволов

на сортименты (на пасеке или на верхнем складе) — производится при помощи мобильных сучкорезно-раскряжёвочных машин (процессоров).

Все эти варианты технологического процесса лесосечных работ требуют, как минимум, 3—4 рабочих — вальщиков леса, операторов, при достаточно низкой выработке на человеко-день, не сравнимой с выработкой оператора лесозаготовительной машины.

Также необходимо учитывать достаточно серьёзный кадровый дефицит рабочих на лесозаготовительных предприятиях, связанный, прежде всего, со старением уже работающих сотрудников, непопулярностью рабочих лесозаготовительных профессий у молодёжи, вкупе с очень существенным оттоком с лесозаготовительных предприятий гастарбайтеров, особенно по сравнению с 2008 г. [11].

В таких условиях одним из наиболее рациональных решений является использование одномашинных лесозаготовительных комплексов — универсальных лесозаготовительных машин, которые обеспечивают и валку деревьев, и производство из них сортиментов, и трелёвку на верхний склад или погрузочный пункт, а также укладку сортиментов в соответствующие штабели групп сортировки.

Надо отметить, что далеко не все производители лесных машин и оборудования ушли с российского рынка, «громко хлопнув дверью», как, например, это сделала финская компания Ponsse. Более того, понимая огромные перспективы российского рынка, некоторые достаточно новые для нашей страны компании-производители лесных машин приходят на наш рынок в современный, непростой период, рассчитывая занять его значительную долю.

Одной из таких организаций является австрийская машиностроительная компания Konrad Forsttechnik, специализирующаяся на производстве машин и оборудования для лесосечных работ. В настоящее время интересы Konrad Forsttechnik в России представляет ООО «КОНРАД РУССЛАНД», которое занимается поставкой и продвижением оборудования Konrad Forsttechnik в нашей стране.

## 2. Материалы и методы

Если изучить сайт компании Konrad Forsttechnik, то линейка выпускаемых фирмой лесных машин и оборудования достаточно обширна, причём со специализацией на заготовку древесины на склонах. Поэтому в линейку продукции компании входят элементы самоходных канатных трелёвочных установок, горные процессоры, харвестер на экскаваторной базе (KDН40-1), харвестерные головки. И наиболее интересные для российского рынка в настоящее время — валочно-трелёвочно-процессорные машины (ВТПМ) HIGHLANDER HL10-2 [с колёсной формулой 4к4 (фото 1)] и HIGHLANDER HL20-2 [с колёсной формулой 6к6 (фото 2)]. Из названия этих машин видно, что они, как и практически вся продукция компании, предназначены для заготовки древесины на склонах.

Для работы в условиях склонов у данных машин хорошо приспособлена трансмиссия, а также может быть установлена лебёдка, помогающая работать на особенно крутых склонах [12]. Но возможно приобретение такой машины и только для равнинных условий (без лебёдки), что снижает массу машины, и особенно её стоимость, примерно на 20—25 %.



**Фото 1.** ВТПМ HIGHLANDER HL10-2 (фото авторов)

**Photo 1.** Felling-skidding-processing machine HIGHLANDER HL10-2



**Фото 2.** ВТПМ HIGHLANDER HL20-2 (фото авторов)

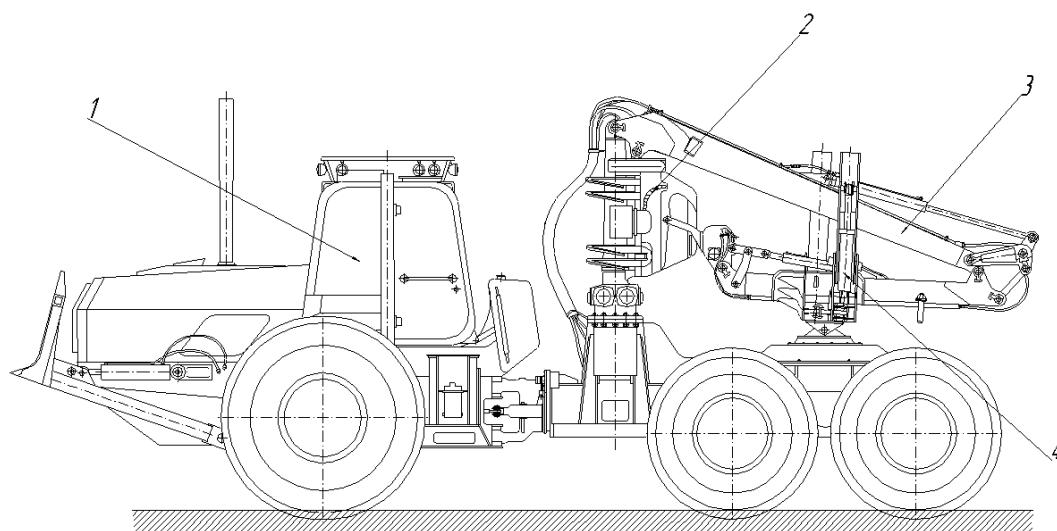
**Photo 2.** Felling-skidding-processing machine HIGHLANDER HL20-2



Необходимо отметить, что практически полный развал отечественного лесного машиностроения, произошедший в XXI в., безусловно, сыграл на руку иностранным компаниям-производителям лесных машин и оборудования, практически на 100 % занявшим российский рынок. Ликвидация отечественных предприятий лесного машиностроения, на фоне совершенно неэффективных мероприятий по их поддержке, привела к ликвидации профильных НИИ и КБ, утере бесценного кадрового ресурса, который очень остро ощущается в настоящее время [13].

При этом в немногочисленных отечественных научных школах в области лесного комплекса, сосредоточенных в вузах, не прекращались работы по разработке высокоэффективных концептов, в т. ч. и универсальных лесозаготовительных машин, к которым относится и ВТПМ.

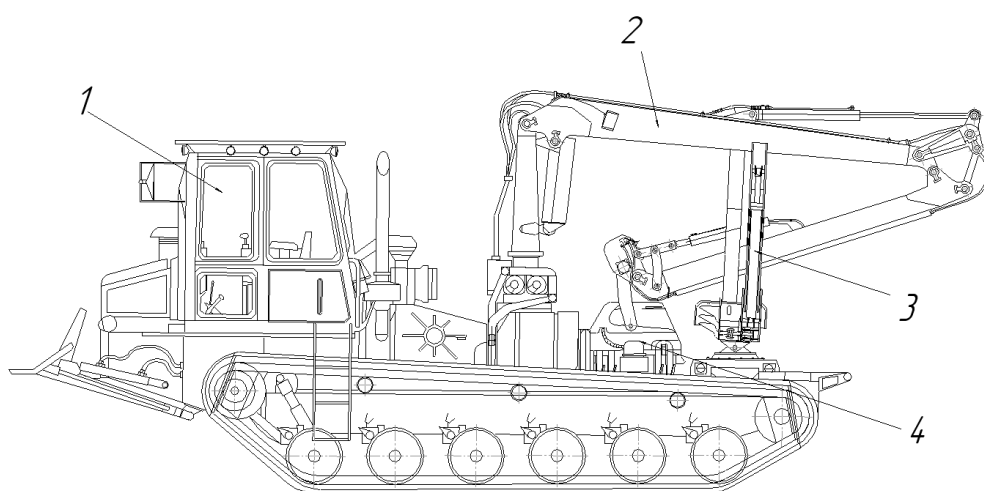
Рассматривая вопросы эффективной эксплуатации ВТПМ, нельзя не отметить концепт, разработанный в Петрозаводском государственном университете под руководством доктора технических наук, профессора Ильи Романовича Шегельмана [14—17]. В частности, П. В. Будником, аспирантом И. Р. Шегельмана, в 2011 г. была защищена кандидатская диссертация на тему «Обоснование технологических решений, повышающих эффективность заготовки сортиментов и лесосечных отходов, на основе функционально-технологического анализа», в которой обоснованы концепты ВТПМ на колёсной и гусеничной базах тракторов Онежского тракторного завода (ОТЗ) (рисунки 1 и 2).



**Рисунок 1.** Компоновочная схема ВТПМ на колёсной базе ТЛК6-02: 1 — колёсное шасси; 2 — харвестерная головка; 3 — гидроманипулятор; 4 — кониковый зажим [14]

**Figure 1.** Layout diagram in the felling-skidding-processing machine on the wheelbase TLK 6-02: 1 — wheeled chassis; 2 — harvester head; 3 — hydraulic manipulator; 4 — conical clamp [14]





**Рисунок 2.** Компоновочная схема ВТПМ на гусеничной базе МЛ-107: 1 — гусеничное шасси; 2 — гидроманипулятор; 3 — кониковый зажим; 4 — харвестерная головка [14]

**Figure 2.** Layout diagram of felling-skidding-processing machine on the ML-107 caterpillar base: 1 — tracked chassis; 2 — hydraulic manipulator; 3 — conical clamp; 4 — harvester head [14]

К великому сожалению, на тот момент Онежский тракторный завод уже находился на грани банкротства и в производство представленные на рисунках 1 и 2 концепты не пошли. Хотя представленные колёсная база и гусеничная база выпускались, а приобрести харвестерные головки к ним большой проблемой не являлось.

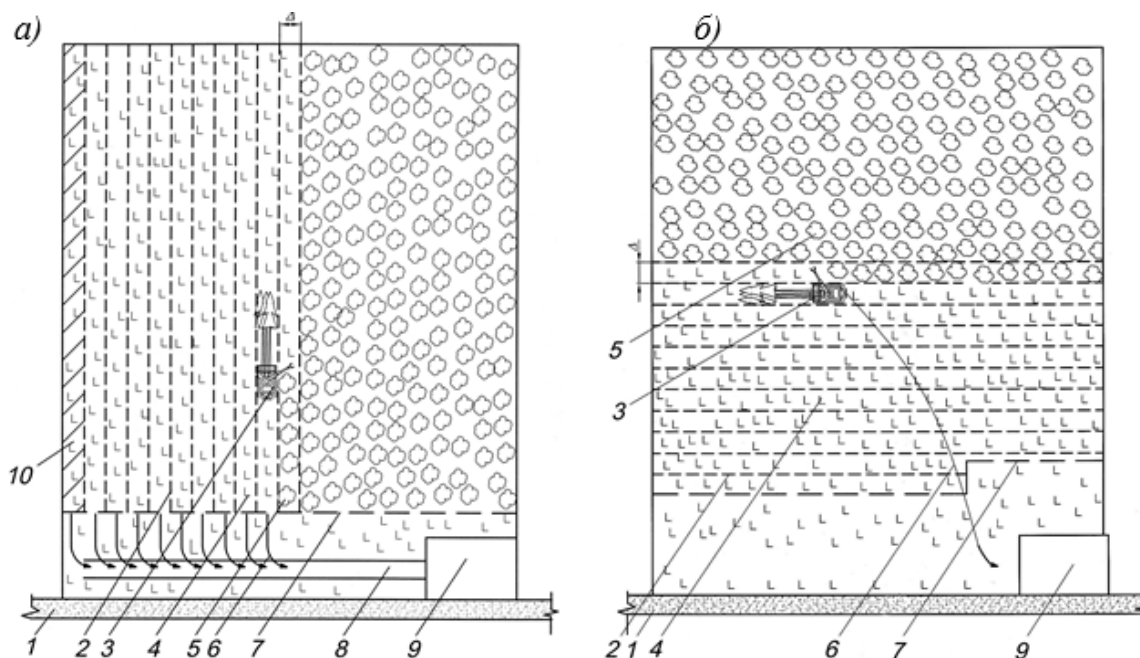
Зарубежное лесное машиностроение, в подавляющем большинстве, базировалось и базируется на модульных колёсных шасси, соединённых универсальным шарниром (рисунок 1). Компоновочная схема трансмиссии ВТПМ компании Konrad Forsttechnik отличается тем, что вместе с универсальным шарниром для поворота машины используется крабовый ход.

В диссертации П. В. Будника, помимо самих концептов ВТПМ на колёсном и гусеничном шасси, были обоснованы оптимальный вылет её гидроманипулятора, оптимальная мощность двигателя, массы трелюемой пачки лесоматериалов для различных природно-производственных условий лесных регионов Российской Федерации.

Отметим, что в классическом варианте использования ВТПМ валит деревья, двигаясь в сторону верхнего склада, формирует пачку в кониковом зажиме, производя трелёвку в полупогруженном положении за комли, т. к. вершинная часть пачки деревьев не позволит уложить её в коник и зажать. После набора полновесной пачки ВТПМ перемещается с ней на площадку верхнего склада, где поштучно выгружает из коника деревья, производит обрезку сучьев, раскрывёвку и укладку сортиментов в соответствующие штабели групп сортировки.

### 3. Результаты

При сплошной рубке без сохранения подроста главных пород ВТПМ может успешно работать по классическим схемам работы валочно-трелёвочных машин (ВТМ) (рисунок 3).



**Рисунок 3.** Схемы разработки лесосек ВТПМ при сплошной рубке: *а* — лентами, перпендикулярными лесовозному усу; *б* — лентами, параллельными лесовозному усу; 1 — лесовозный ус; 2 — ленты; 3 — ВТПМ; 4 — пни; 5 — растущий лес; 6 — рейсы ВТПМ; 7 — зона безопасности; 8 — магистральный трелёвочный волок; 9 — верхний склад, 10 — холостой волок;  $\Delta$  — ширина разрабатываемой ленты [18]

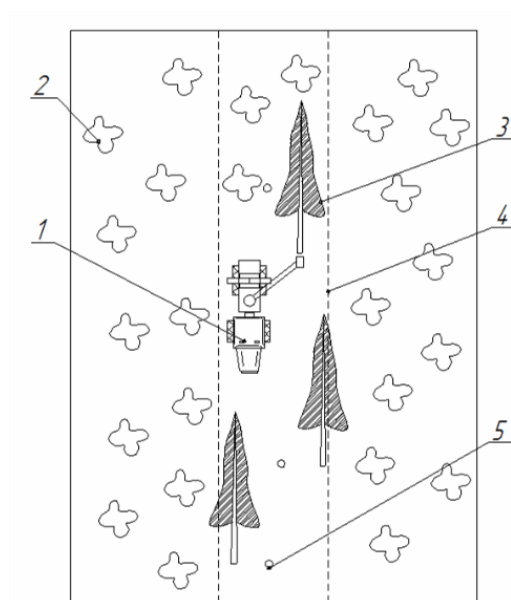
**Figure 3.** Schemes for cutting areas development using felling-skidding-processing machines in case of clear felling: **(a)** bands perpendicular to the logging spur; **(b)** bands parallel to the logging spur; 1 — logging spur, 2 — bands; 3 — felling-skidding-processing machine; 4 — stumps; 5 — growing forest; 6 — VTPM passages; 7 — safety zone; 8 — trunk skidding trail, 9 — upper warehouse, 10 — idle trail;  $\Delta$  — width of the developed band [18]

Схемы разработки лесосеки ВТПМ, представленные на рисунке 3, можно рекомендовать, как и для случая использования валочно-трелёвочных машин ВТМ, при работе на лесосеках на почвогрунтах с хорошей несущей способностью летом, при неглубоком снеге зимой. При почвогрунтах III категории летом, глубоком снеге зимой желательно ленты разработки пасек прокладывать под углом 60—70° к магистральному трелёвочному волоку, чтобы облегчить машине выезд на него и заезд на верхний склад [19].

Также в диссертации П. В. Будника рассмотрены варианты работы ВТПМ по узкопосечной технологии при рубке с сохранением подроста, с предварительной разрубкой пасечного волока (рисунок 4).

В таком варианте работы ВТПМ сначала, двигаясь задним ходом от уса лесовозной дороги, прорубает трассу пасечного трелёвочного волока, укладывая сваленные деревья сбоку, на краю волока. Прорубив волок, машина движется по нему в сторону лесовозного уса, собирает ранее поваленные деревья и валит деревья на полупасеках. При этом деревья, срезанные на полупасеке, валятся вершинами на волок, при удержании комлевой части в харвестерной головке. После падения вершины дерева на волок комлевая часть переносится в харвестерной головке над подростом, не повреждая его.

Варианты работы ВТПМ, представленные на рисунках 3 и 4, не отличаются от классических схем разработки лесосек при помощи широкозахватных ВТМ, поскольку для верхнего склада не отличаются и технологии их работы.



**Рисунок 4.** Схема разрубki трассы пасечного волока ВТПМ при узкопосечной технологии при рубке с сохранением подроста: 1 — ВТПМ; 2 — стоящее дерево; 3 — поваленное дерево; 4 — граница волока; 5 — пень [14]

**Figure 4.** The scheme of cutting the route of the skidding trail in cutting strip using a felling-skidding-processing machine with narrow-strip technology when cutting with the preservation of undergrowth: 1 — felling-skidding-processing machine; 2 — standing tree; 3 — fallen tree; 4 — trail boundary; 5 — stump [14]

Но благодаря тому, что ВТПМ оснащена харвестерной головкой, а не захватно-срезающим устройством (ЗСУ) как ВТМ, технологическая вариативность её работы существенно расширяется по сравнению с ВТМ не только на верхнем складе. Например,

при работе на слабонесущих почвогрунтах в тёплый период года ВТПМ может после валки деревьев выполнять обрезку сучьев с укладкой кроновой части на ездovou поверхность трелёвочного волока для его укрепления, т. е. машина будет работать в режиме валка — обрезка сучьев — трелёвка — раскряжёвка.

Получаемые при таком варианте работы хлысты ВТПМ может так же, как в варианте предварительной разрубки пасечного волока (рисунок 4), предварительно укладывать на краю его трассы, при её движении от уса лесовозной дороги. Только укладывать хлысты не комлями в сторону лесовозного уса, как на рисунке 4, а вершинами к нему. Технически машина вполне может это выполнять.

В таком случае при движении по укрепленному пасечному волоку в грузовом направлении — к лесовозному усу машина может собирать подготовленные хлысты в кониковый зажим вершинами вперёд, что позволит существенно увеличить объём трелюемой пачки по сравнению с вариантом трелёвки деревьев за комли, при прочих равных условиях.

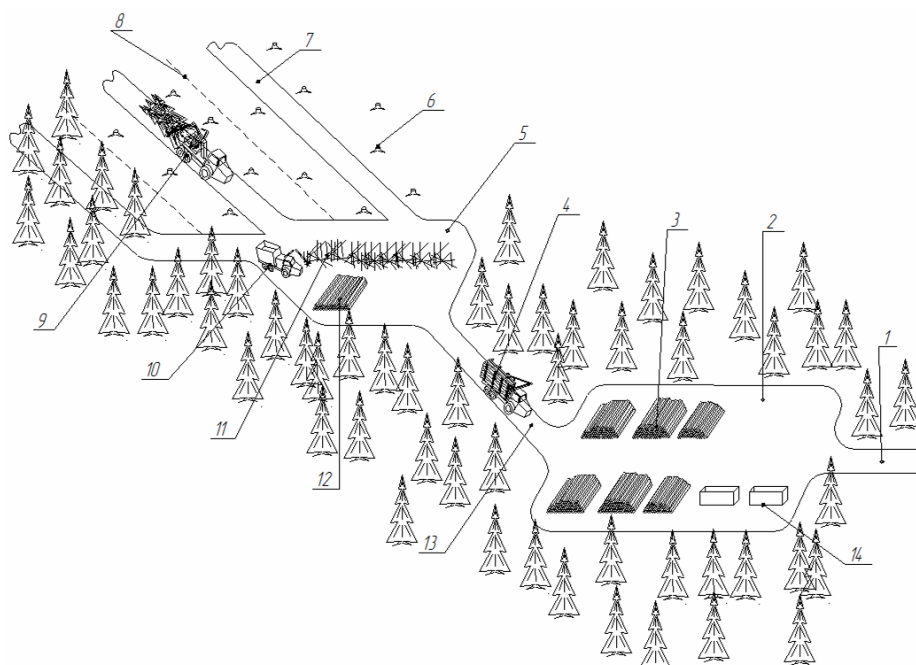
Это, в определённых условиях, может повысить производительность ВТПМ и снизить её негативное воздействие на почвогрунты лесосек, благодаря укреплению ездовой поверхности волока. Кроме того, как известно, вмятые в почвогрунт и передавленные движителями лесных машин порубочные остатки (кроновая часть деревьев) быстрее перегнивают и удобряют почвогрунты, что повышает эффективность лесовосстановления. То есть в определённых условиях предложенный вариант работы ВТПМ может повысить и эксплуатационную, и экологическую эффективность её работы одновременно.

ВТПМ является универсальной лесозаготовительной машиной — одномашинным лесозаготовительным комплексом, который сам по себе не предназначен для масштабных рубок, и он не может конкурировать по производительности с двухмашинным лесозаготовительным комплексом, работающим по скандинавской технологии, и тем более, с трёхмашинным комплексом, работающим по канадской технологии [20], [21].

В современных условиях одномашинные лесозаготовительные комплексы являются очень удачным решением для мелких лесозаготовительных предприятий, в т. ч. ввиду большого дефицита вальщиков леса. Но в случае увеличения объёмов заготовки древесины ВТПМ отнюдь не будет бесполезной. Она может работать в режиме обычного харвестера, являясь частью двухмашинного лесозаготовительного комплекса, а также в режиме двухстадийной трелёвки, с подтрелёвкой деревьев на промежуточную площадку, производством из них сортиментов, которые затем до погрузочного пункта будет трелевать форвардер. При этом кроновую часть в диссертационной работе П. В. Будника предлагается перерабатывать в топливную щепу (рисунок 5).

Конечно, производство топливной щепы из кроновой части деревьев, подтрелёванных за комли в полупогруженном положении в летний период, будет приводить к быстрому затуплению ножей самоходной рубительной машины, а сама щепка будет включать повышенное количество минеральных включений. Кроме этого, промежуточная площадка

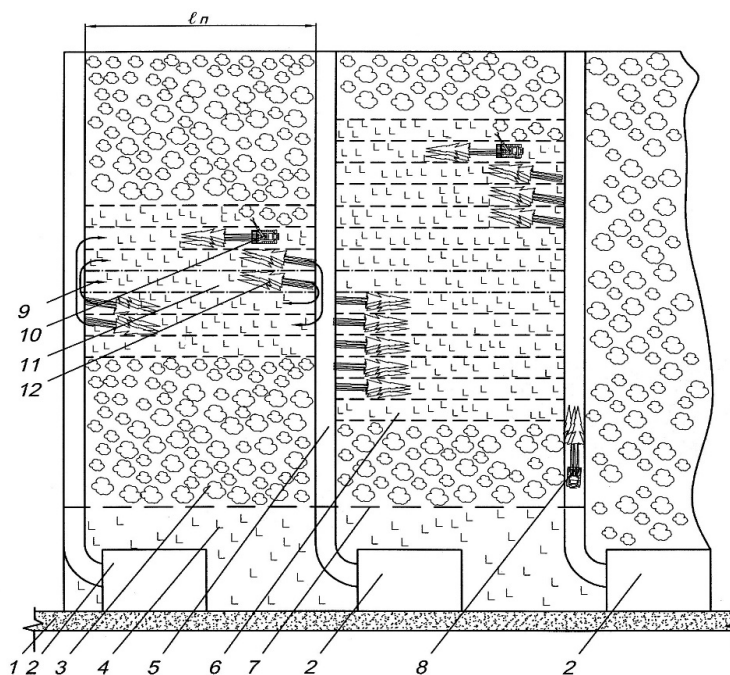
должна вписаться в ограничение площади под погрузочными пунктами, производственными и бытовыми объектами, указанное в приказе Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 23 от 17.01.2022 г. «Об утверждении видов лесосечных работ, порядка и последовательности их выполнения, формы технологической карты лесосечных работ, формы акта заключительного осмотра лесосеки и порядка заключительного осмотра лесосеки», что на небольших по площади лесосеках может оказаться проблемой.



**Рисунок 5.** Схема разработки лесосеки системой машин ВТПМ + форвардер: 1 — лесовозный ус; 2 — погрузочный пункт; 3 — штабели сортиментов; 4 — форвардер; 5 — промежуточная площадка; 6 — пень; 7 — пасечный трелёвочный волок; 8 — граница пасеки; 9 — ВТПМ; 10 — самоходная рубительно-трелёвочная машина; 11 — порубочные остатки; 12 — пакеты сортиментов; 13 — магистральный трелёвочный волок; 14 — контейнер для топливной щепы [14]

**Figure 5.** The scheme of the development of the cutting area using the felling-skidding-processing machine + forwarder machine system: 1 — logging spur; 2 — loading point; 3 — stacks of sorts; 4 — forwarder; 5 — intermediate platform; 6 — stump; 7 — skidding trail; 8 — cutting strip border; 9 — felling-skidding-processing machine; 10 — self-propelled chopping and skidding machine; 11 — felling residues; 12 — sorting packages; 13 — main skidding trail; 14 — container for fuel chips [14]

При необходимости (и возможности) значительного увеличения объёма заготовки древесины ВТПМ может органично вписаться и в трёхмашинный канадский комплекс, заменяя валочно-пакетирующую машину (ВПМ) и облегчая работу пачкоподборщика (скиддера) (рисунки 6—8).

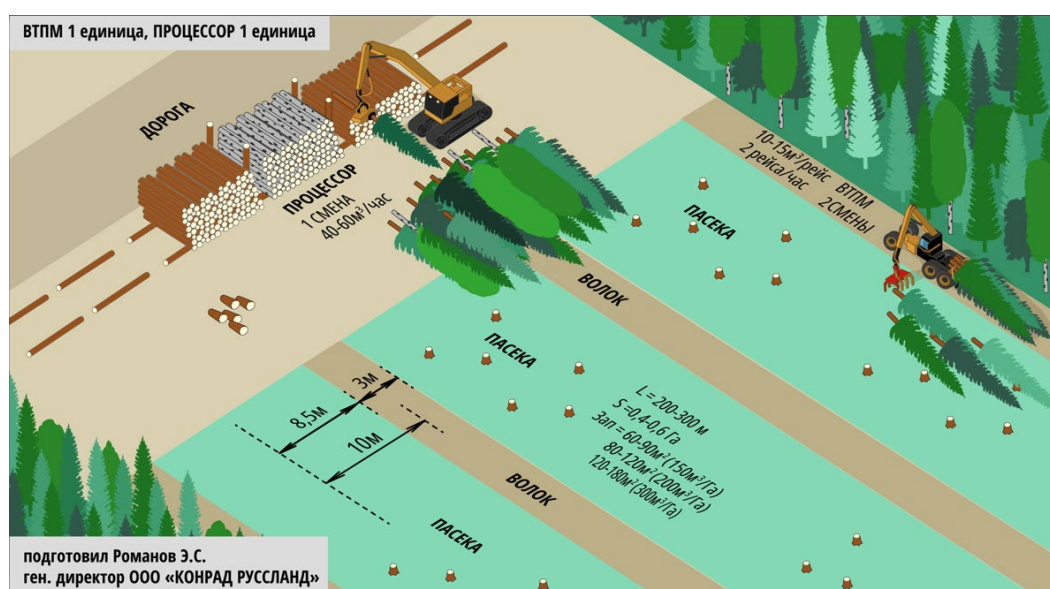


**Рисунок 6.** Схема разработки лесосек ВТПМ в режиме валка — пакетирование: 1 — лесовозный ус; 2 — верхний склад; 3 — растущий лес; 4 — пни; 5 — магистральный трелёвочный волок; 6 — ленты; 7 — граница зоны безопасности; 8 — скиддер; 9 — рейсы ВТПМ; 10 — ВТПМ; 11 — технологический коридор для заезда ВТПМ; 12 — пачки деревьев [22]

**Figure 6.** Scheme of development of felling-skidding-processing machine logging sites in the felling mode-bundling: 1 — logging spur; 2 — upper warehouse; 3 — growing forest; 4 — stumps; 5 — trunk skidding trail; 6 — bands; 7 — border of the safety zone; 8 — skidder; 9 — felling-skidding-processing machine passages; 10 — felling-skidding-processing machine; 11 — technological corridor for the arrival of felling-skidding-processing machine; 12 — bundles of trees [22]

Идея схемы разработки лесосеки, представленная рисунке 6, аналогична принципу работы ВТМ в режиме валка — пакетирование с двухстадийной трелёвкой. Двигаясь челночными ходами, ВТПМ валит и собирает в кониковый зажим комли деревьев, после чего подрелёвывает их к магистральному трелёвочному волоку. Сбрасывает собранную пачку, после чего её подбирает скиддер и трелюет на верхний склад. Представленная на рисунке 8 схема соответствует расположению волоков с широким фронтом отгрузки. Но она вполне может быть упрощена до одного магистрального волока, по центру лесосеки, и одного верхнего склада. По бокам лесосеки можно прокладывать только холостые (заездные) волока, по которым ВТПМ будет заезжать на ленты, для набора пачки. В принципе для работы ВТПМ, как и ВТМ, хорошо подойдут перпендикулярные схемы расположения трелёвочных волоков [23].

На V Лесопромышленном форуме Республики Саха (Якутия) «Современные технологии: Качество. Конкурентоспособность. Эффективность», который проводился 31 мая 2023 г. в Арктическом государственном агротехнологическом университете, Эдуард Романов, генеральный директор ООО «КОНРАД РУССЛАНД», в докладе «Мономеханизм на лесочистке и лесозаготовке» рассказал о преимуществах использования на лесосечных работах современных ВТПМ и представил различные варианты их технологического использования. В частности, помимо классического варианта одномашинного лесозаготовительного комплекса был рассмотрен вариант использования одной или двух ВТПМ в качестве ВТМ и процессора на верхнем складе (рисунки 7 и 8).



**Рисунок 7.** Фрагмент презентации Эдуарда Романова: система машин 1 процессор + 1 ВТПМ

**Figure 7.** Fragment of Eduard Romanov's presentation: machine system 1 processor + 1 felling-skidding-processor machine

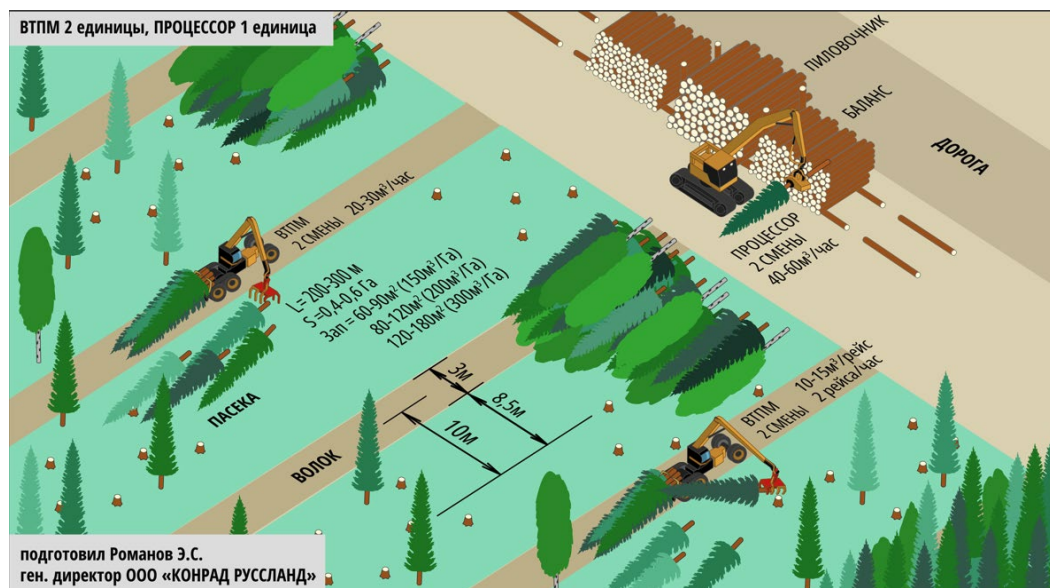
Однако при использовании одной ВТПМ в качестве ВТМ она не сможет полностью загрузить работой процессор, который придётся в этом случае использовать как функциональное звено, может быть, в паре с погрузчиком. При использовании двух ВТПМ в качестве ВТМ они уже будут в состоянии полностью загрузить процессор, и если доукомплектовать такую бригаду погрузчиком, то можно передать ей функции укрупнённой лесозаготовительной бригады.

Вместе с тем широкое использование ВТПМ в качестве ВТМ представляется нерациональным и не может быть рекомендовано для широкого использования, поскольку ЗСУ классической ВТМ значительно легче и дешевле, нежели харвестерная головка. Следовательно, при прочих равных условиях, полезная грузоподъёмность у ВТМ больше,



а удельный расход топлива на кубометр заготовленной и стрелёванной древесины меньше, чем у ВТПМ. Поэтому в случае необходимости значительного увеличения объёма заготовки древесины в единицу времени и перехода с одномашинного лесозаготовительного комплекса на многомашинный значительно более рациональным будет использовать ВТПМ в качестве классического харвестера, т. е. использование скандинавского варианта технологии лесосечных работ, с добавлением в систему одного или двух форвардеров. То же можно сказать и про форвестер. Или, в случае предпочтения канадскому варианту технологии лесосечных работ, ВТПМ следует переоснастить классической ЗСУ вместо харвестерной головки.

В обратной ситуации, когда объём лесосечного фонда небольшой и его увеличение не ожидается, технологическое оборудование ВТПМ с вальцовой харвестерной головки (непрерывного действия) можно заменить на импульсную харвестерную головку (периодического действия). Импульсная харвестерная головка, безусловно, менее производительна, но значительно дешевле, проще в эксплуатации (не требует высокой квалификации оператора, не нуждается в периодической проверке и калибровке) и легче [24—26].



**Рисунок 8.** Фрагмент презентации Эдуарда Романова: система машин 1 процессор + 2 ВТПМ

**Figure 8.** Fragment of Eduard Romanov's presentation: machine system 1 processor + 2 felling-skidding-processing machine

Отметим, что ВТПМ компании Konrad Forsttechnik имеет конструктивные возможности трансформации в харвардер — путём замены коникового зажимного устройства на кониковую тележку для сортиментов (фото 3).

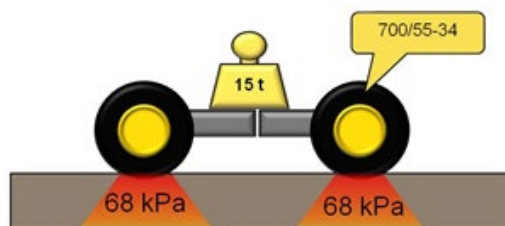
ВТПМ компании Konrad Forsttechnik оснащается харвестерной головкой Woody 61, которая может использоваться для валки деревьев, обрезки сучьев и раскряжёвки, работы в режиме процессора или как грейферный захват для погрузки сортиментов со свободным вращением на 360°. Диапазон диаметров обрабатываемых деревьев 4—65 см, а при валке — диаметром до 70 см. Блок протяжки-раскряжёвки может складываться во время использования агрегата в режиме захвата. В агрегат встроен ротатор свободного вращения. Достаточно высокая, хорошо сбалансированная конструкция головки позволяет оператору легче контролировать наведение агрегата на ствол и направление валки деревьев, особенно крупных. Усилие протяжки ствола при обрезке сучьев в 35 кН передаётся через четыре вальца с диапазоном скоростей 0—4 м/с.



**Фото 3.** Харвардер на базе ВТПМ компании Konrad Forsttechnik (фото авторов)

**Photo 3.** Harvard based on the felling-skidding-processing machine of Konrad Forsttechnik

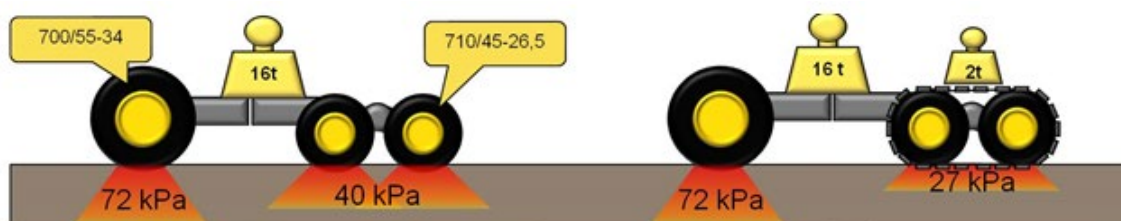
С точки зрения экологической эффективности ВТПМ, по аналогии с обычным трелёвочным трактором, в первую очередь следует оценивать степень его воздействия на лесные почвогрунты в тёплый период года. Для ВТПМ HIGHLANDER HL10-2 с колёсной формулой 4к4, оснащённой шинами 700/55-34, статическое давление на почвогрунт можно проиллюстрировать рисунком 9 [27].



**Рисунок 9.** Статическое давление на почвогрунт ВТПМ HIGHLANDER HL10-2 [27]

**Figure 9.** Static pressure on the soil of the felling-skidding-processing machine HIGHLANDER HL10-2 [27]

Для ВТПМ HIGHLANDER HL20-2 с колёсной формулой 6к6, оснащённой шинами 700/55-34 на переднем мосту и 710/45-26,5 на задней тандемной тележке, в вариантах с оснащением тандемных колёс моногусеницами и без них статическое давление на почвогрунт можно проиллюстрировать рисунком 10 [27].



**Рисунок 10.** Статическое давление на почвогрунт ВТПМ HIGHLANDER HL20-2 [27]

**Figure 10.** Static pressure on the soil of the felling-skidding-processing machine HIGHLANDER HL20-2 [27]

Как видно из рисунка 10, давление тандемной тележки на почвогрунт, при незагруженном древесиной кониковом зажиме, достаточно низкое. Но если учитывать, что на комлеву часть пачки деревьев, загружаемую в кониковый зажим ВТПМ, приходится около 70 % веса всей пачки, то давление на почвогрунт трелёвочной системы на базе ВТПМ, особенно без оснащения тандемных колёс моногусеницами, может существенно возрасти. При заявляемом компанией Konrad Forsttechnik объёме пачки для ВТПМ  $8 \text{ м}^3$  и плотности свежесрубленной древесины (например,  $0,8 \text{ т/м}^3$ ) вертикальная нагрузка на коник ВТПМ составит около 4,5 т, или 44 кН.

Причём следует учитывать, что при достаточно большой скорости ВТПМ её движитель, помимо статического давления, также будет оказывать дополнительное динамическое воздействие на почвогрунт. Как показано в работе [28], «динамическая составляющая суммарного уплотнения почвогрунта волока весома. На волоках с относительно небольшими

микронеровностями она находится в диапазоне 23—50 %, а на волоках с большими микронеровностями достигает 60 % и более».

Волочащаяся по почвогрунту кроновая часть пачки деревьев будет оказывать небольшой разрыхляющий эффект, снижая результат уплотняющего воздействия ВТПМ. Правда, при этом силы сопротивления движению трелёвочной системы увеличиваются, что, соответственно, приводит к увеличению расхода топлива [29]. Это, в свою очередь, приводит к некоторому снижению эксплуатационной эффективности ВТПМ.

С другой стороны, при трелёвке хлыстов за вершины вертикальная нагрузка на коник ВТПМ будет небольшой, зев коника даже позволит набрать пачку объёмом более 8 м<sup>3</sup>, но тяжёлая комлевая часть пачки, волочащаяся по почвогрунту, будет оказывать негативное уплотняющее воздействие на почвогрунт, сравнимое, а иногда и превышающее уплотняющее воздействие ВТПМ.

Помимо удельного расхода топлива (л/м<sup>3</sup>) эксплуатационную эффективность ВТПМ, как и других лесных машин, следует оценивать по производительности. Надо отметить, что до настоящего времени в литературе не представлены зависимости для теоретической оценки часовой производительности ВТПМ. Но их можно вывести из известных зависимостей для определения производительности широкозахватной ВТМ и процессора.

В классическом варианте использования ВТПМ цикл её работы можно представить суммой затрат времени на выполнение следующих операций: холостой ход (от верхнего склада до начала ленты набора пачки); набор пачки (валка деревьев на технологических стоянках, укладка их в кониковый зажим, перемещение между технологическими стоянками); грузовой ход (движение трелёвочной системы до верхнего склада); поштучная выгрузка и обработка деревьев (обрезка сучьев и раскряжёвка) с укладкой полученных сортиментов в штабели.

Длину ленты набора пачки ВТПМ, по аналогии с ВТМ, можно определить по формуле

$$l_n = 10^4 \frac{V_n}{qb_l}, \quad (1)$$

где  $V_n$  — объём формируемой пачки, м<sup>3</sup>;  $q$  — запас леса на 1 га, м<sup>3</sup>;  $b_l$  — ширина ленты, разрабатываемая ВТМ за один проход, м. У полноповоротных ВТПМ HIGHLANDER HL10-2 и HIGHLANDER HL20-2 вылет гидроманипулятора составляет 10,5 м, следовательно, ширина ленты  $b_l$  21 м.

Объём пачки деревьев, которую можно погрузить в кониковый зажим ВТПМ, определяется по формуле

$$V_n = \frac{S_k k_n \cdot 4V_x}{\pi d_k^2}, \quad (2)$$

где  $S_k$  — площадь поперечного сечения коникового зажима, м<sup>2</sup>;  $V_x$  — средний объём хлыста, м<sup>3</sup>;  $d_k$  — средний диаметр дерева в комлевом отрезе, м;  $k_n$  — коэффициент полнодревесности трелюемой пачки деревьев (обычно рекомендуется принимать 0,6).

Часовую производительность ВТПМ в цикле валка — трелёвка можно выразить следующим образом:

$$\Pi_{\text{ч}} = \frac{3600V_n f_1}{T_{\text{ц}}}, \quad (3)$$

где  $f_1$  — коэффициент использования расчётного объёма пачки (0,8—0,9);  $T_{\text{ц}}$  — время цикла набора пачки и её трелёвки, с.

$$T_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3, \quad (4)$$

где  $t_1$  — время холостого хода ВТПМ, с;  $t_2$  — время набора пачки, с;  $t_3$  — время грузового хода ВТПМ, с.

Время движения ВТПМ в грузовом и холостом направлении можно определить как:

$$t_1 + t_3 = \frac{2l_{\text{ср}}}{v_{\text{ср}}}, \quad (5)$$

где  $l_{\text{ср}}$  — среднее расстояние трелёвки, м;  $v$  — средняя скорость движения ВТПМ, м/с. Средняя скорость движения ВТПМ определяется по формуле

$$v_{\text{ср}} = \frac{v_2 + v_x}{2}, \quad (6)$$

где  $v_2$  и  $v_x$  — соответственно скорости движения ВТПМ в грузовом и холостом направлении, м/с.

Безусловно, составляющие  $T_{\text{ц}}$  будут во многом зависеть от квалификации оператора, особенно составляющая  $t_2$ . Её составляющие можно представить выражением

$$t_2 = (t_{\text{нг}} + t_{\text{сн}} + t_{\text{ук}}) n_{\text{д}} + t_{\text{тс}}, \quad (7)$$

где  $t_{\text{нг}}$  — время наводки гидроманипулятором харвестерной головки на дерево (обычно 20—40 с);  $t_{\text{сн}}$  — время спиливания одного дерева, с;  $t_{\text{ук}}$  — время укладки одного дерева в кониковый зажим (обычно 20—40 с);  $n_{\text{д}}$  — число деревьев в пачке, шт.;  $t_{\text{тс}}$  — время перемещения между технологическими стоянками при наборе одной пачки, с.

Число деревьев в одной пачке несложно определить по выражению

$$n_{\text{д}} = \frac{V_n f_1}{V_x}, \quad (8)$$

где  $V_x$  — средний объём хлыста, м<sup>3</sup>.

Время спиливания одного дерева можно определить по формуле

$$t_{\text{сн}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{к}}^2}{4 \cdot \Pi_{\text{с.л.}} \cdot \Phi_{\text{с.л.}}}, \quad (9)$$



где  $P_{ч.п.}$  — производительность чистого пиления пильной гарнитуры ВТПМ, м<sup>2</sup>/с;  
 $\varphi_{ч.п.}$  — коэффициент использования производительности чистого пиления.

Время перемещения между технологическими стоянками при наборе одной пачки можно определить исходя из следующих зависимостей:

$$t_{тс} = t_{тс.см} n_{тс}, \quad (10)$$

где  $t_{тс.см}$  — время перемещения ВТПМ между двумя смежными технологическими стоянками при наборе пачки, с;  $n_{тс}$  — количество технологических стоянок ВТПМ при наборе одной пачки, шт.

$$t_{тс.см} = \frac{(R-r)}{v_r}, \quad (11)$$

где  $R$  — максимальный вылет гидроманипулятора ВТПМ, м;  $r$  — минимальный вылет гидроманипулятора ВТПМ, м.

$$n_{тс} = \frac{n_d}{n_{д.тс}}, \quad (12)$$

где  $n_{д.тс}$  — количество деревьев, собираемых ВТПМ с одной технологической стоянки, шт.

$$n_{д.тс} = \frac{Q_l}{V_r}, \quad (13)$$

где  $Q_l$  — запас древесины на площади, обрабатываемой ВТПМ с одной технологической стоянки, м<sup>3</sup>.

$$Q_l = S_l \cdot q, \quad (14)$$

где  $S_l$  — площадь, обрабатываемая ВТПМ с одной технологической стоянки, м<sup>2</sup>.

С достаточной для практических расчётов точностью  $S_l$  можно определить по выражению

$$S_l = (R-r)b_d. \quad (15)$$

Время обработки стрелёванной ВТПМ пачки на верхнем складе можно определить из выражения

$$T_{п.обп} = (t_{нз} + t_{нр} + t_p + t_{ук})n_d, \quad (16)$$

где  $t_{нз}$  — время наводки харвестерной головки на дерево и его захвата (обычно 10—20 с), с;  
 $t_{нр}$  — время протяжки ствола через харвестерную головку, с;  $t_p$  — время на раскряжёвку одного ствола, с;  $t_{ук}$  — время укладки получаемых сортиментов в штабель, с.

$$t_{нр} = \frac{l_x}{v_n}, \quad (17)$$

где  $l_x$  — длина ствола среднего дерева, м;  $v_n$  — скорость протяжки ствола через сучкорезную головку, с.

$$t_p = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot n_p}{4 \cdot P_{ч.п.} \cdot \varphi_{ч.п.}}, \quad (18)$$

где  $d$  — средний комлевой диаметр выпиленных сортиментов, м;  $n_p$  — среднее число резов, выполняемых при раскряжёвке одного ствола, шт.

$$n_p = \frac{l_x}{l_c}, \quad (19)$$

где  $l_c$  — средняя длина выпиленных сортиментов, м.

В связи с тем, что укладка выпиленных ВТПМ сортиментов в штабель производится одновременно с протяжкой,  $t_{yk}$  можно отдельно не учитывать и принимать равным нулю.

Тогда часовую производительность ВТПМ в полном цикле работы можно определить по формуле

$$П_{ч} = \frac{3600V_n f_1}{T_H + T_{п,обр}}. \quad (20)$$

Или, принимая во внимание выражения (4)—(20), можно получить следующую зависимость:

$$П_{ч} = \frac{3600 \frac{S_R k_n 4 V_X f_1}{\pi d_k^2}}{\frac{2l_{cp}}{v_r + v_x} + \left( t_{nr} + \frac{\pi d_k^2}{4 \pi_{ч,л} \varphi_{ч,л}} + t_{yk} \right) \frac{S_R k_n 4 V_X f_1}{\pi d_k^2 V_X} + \frac{(R-r) \frac{S_R k_n 4 V_X f_1}{\pi d_k^2}}{v_r \frac{(R-r) b_{лq}}{V_X}} + \left( t_{nr} + \frac{l_x}{v_n} + \frac{\pi d^2 n_p}{4 \pi_{ч,л} \varphi_{ч,л}} \right) \frac{S_R k_n 4 V_X f_1}{\pi d_k^2}}. \quad (21)$$

В случае работы ВТПМ в рассмотренном выше режиме валка — обрезка сучьев — трелёвка — раскряжёвка в выражении (2) и, соответственно, в формуле (21) изменится составляющая  $d_k$  — средний диаметр дерева в комлевом отрезе на  $d_b$  — средний диаметр хлыста в вершинном отрезе. Согласно ГОСТ,  $d_b$  должен составлять 6—8 см, но следует учитывать тот факт, что на практике многих лесозаготовительных предприятий Сибири и Дальнего Востока он часто составляет 14—16 см из-за отсутствия экономически доступных потребителей балансовой древесины.

При определении затрат времени на сбор хлыстов в кониковый зажим, по аналогии с бесчокерными трелёвочными тракторами, можно ориентироваться на следующие данные хронометражных наблюдений (таблица).

**Таблица.** Приёмы технологического цикла бесчокерных трелёвочных тракторов [18]

**Table.** Techniques of the technological cycle of chokerless skidding tractors [18]

Наименование приёма	Продолжительность, с
Наводка захвата	6
Захват ствола	3
Укладка в коник	6—20
Закрытие коника	4
Переезд на следующую стоянку	10



В случае работы ВТПМ в режиме ВТМ (рисунки 9 и 10) в выражение (4) добавится слагаемое  $t_4$  — время разгрузки пачки на верхнем складе, которое можно определить по эмпирическому выражению:

$$t_4 = (0,24V_n + 1,33)60, \quad (22)$$

При этом из выражения (20) второе слагаемое знаменателя  $T_{ц.обр}$  будет исключено, а выражение (21), с учётом формул (2) и (22), примет следующий вид:

$$\Pi_{ч} = \frac{3600 \frac{S_k k_n^4 V_x f_1}{\pi d_R^2}}{\frac{2l_{сп}}{v_r + v_x} + \left( t_{нр} + \frac{\pi d_R^2}{4\Pi_{ч.л.}\varphi_{ч.л.}} + t_{ук} \right) \frac{S_k k_n^4 V_x f_1}{\pi d_R^2 V_x} + \frac{(R-r)}{v_r} \frac{S_k k_n^4 V_x f_1}{\pi d_R^2} + \frac{(R-r)b_{лq}}{V_x} + \left( 0,24 \frac{S_k k_n^4 V_x f_1}{\pi d_R^2} + 1,33 \right) 60}. \quad (23)$$

Несмотря на подавляющее доминирование в Российской Федерации сортиментных технологических процессов лесосечных работ, ряд крупных лесопромышленных холдингов Сибири сохраняют и даже увеличивают объём хлыстовой заготовки древесины, что связано с увеличением плотового лесосплава по сибирским рекам и позволяет выполнять раскряжёвку более качественно на стационарных раскряжёвочных линиях, оснащённых рентген-аппаратами и специальным программным обеспечением для оптимизации раскрытия хлыстов [30].

ВТПМ и в данном случае будет показывать хорошие результаты в качестве валочно-трелёвочно-сучкорезной машины или валочно-сучкорезно-трелёвочной машины, в зависимости от природно-производственных условий, прежде всего почвенно-грунтовых.

Часовая производительность ВТПМ в этом случае может быть определена по выражению

$$\Pi_{ч} = \frac{3600 \frac{S_k k_n^4 V_x f_1}{\pi d_R^2}}{\frac{2l_{сп}}{v_r + v_x} + \left( t_{нр} + \frac{\pi d_R^2}{4\Pi_{ч.л.}\varphi_{ч.л.}} + t_{ук} \right) \frac{S_k k_n^4 V_x f_1}{\pi d_R^2 V_x} + \frac{(R-r)}{v_r} \frac{S_k k_n^4 V_x f_1}{\pi d_R^2} + \frac{(R-r)b_{лq}}{V_x} + \left( t_{нр} + \frac{l_x}{v_n} \right) \frac{S_k k_n^4 V_x f_1}{\pi d_R^2}}, \quad (24)$$

Как было отмечено выше, изначально ВТПМ HIGHLANDER предназначена для работы на склонах. В этой связи при определении возможного веса собираемой и трелюемой пачки лесоматериалов при работе ВТПМ на склоне целесообразно проверять по мощности двигателя по известному выражению:

$$Q = \frac{F_k - P(\varphi_r \cos \alpha \pm \sin \alpha)}{k(\varphi_r \cos \alpha \pm \sin \alpha) + (1 - k)(\varphi_n \cos \alpha \pm \sin \alpha)}, \quad (25)$$

где  $F_k$  — касательная сила тяги ВТПМ, Н;  $P$  — эксплуатационный вес ВТПМ, Н;  $k$  — коэффициент распределения веса трелюемой пачки между трактором и волоком;  $Q$  — вес трелюемой пачки, Н;  $\alpha$  — угол уклона пути движения ВТПМ с пачкой, град.;  $\varphi_m$  — коэффициент сопротивления движению ВТПМ;  $\varphi_n$  — коэффициент сопротивления движению волочащейся части трелюемой пачки.

Коэффициенты сопротивления рекомендуется принимать: зимой  $\varphi_m = 0,09—0,18$ , летом  $\varphi_m = 0,14—0,25$ ; пачки при трелёвке хлыстами: зимой  $\varphi_n = 0,50$ , летом  $\varphi_n = 0,70$ ; при трелёвке деревьями зимой и летом  $\varphi_n = 0,90$  [18], [19], [22], [23], [31—33].

Соответственно, касательная сила тяги ВТПМ может быть определена по известному выражению

$$F_k = \frac{N\eta_{TP}}{v_z}, \quad (26)$$

где  $N$  — мощность двигателя ВТПМ, Вт,  $\eta_{TP}$  — КПД трансмиссии ВТПМ.

С учётом формулы (26) выражение (25) можно записать в виде:

$$Q = \frac{\frac{N\eta_{TP}}{v_z} - P(\varphi_m \cos \alpha \pm \sin \alpha)}{k(\varphi_m \cos \alpha \pm \sin \alpha) + (1-k)(\varphi_n \cos \alpha \pm \sin \alpha)}, \quad (27)$$

Сменная производительность ВТПМ (при любом варианте технологического использования, при известной часовой производительности) будет определяться по выражению

$$P_{см} = P_ч \cdot t \cdot \varphi_2, \quad (28)$$

где  $t$  — число часов в смене;  $\varphi_2$  — коэффициент использования рабочего времени.

Из выражения (27) видно, что скорость движения трелёвочной системы на базе ВТПМ двояко влияет на производительность. С одной стороны, уменьшение скорости движения ВТПМ в грузовом режиме, при прочих равных условиях, позволяет увеличить возможный объём трелюемой пачки, с другой стороны, это приведёт к увеличению времени цикла времени набора и трелёвки одной пачки.

Как было отмечено выше, большие скорости движения трелёвочной системы приводят к возникновению динамической составляющей уплотняющего воздействия движителя на почвогрунт. Но следует отметить, что увеличение объёма пачки, особенно с учётом того, что 70 % её веса приходится на коник ВТПМ, также может привести к переуплотнению почвогрунта, что особенно нежелательно в условиях лесов на вечной мерзлоте [34—41].

В связи с этим, исходя из задачи повышения как эксплуатационной, так и экологической эффективности работы ВТПМ, желательно выполнять планирование разработки лесосеки с учётом её рельефных и почвенно-грунтовых условий, а также особенностей размещения запаса эксплуатационных насаждений, наличия, площади и размеров неэксплуатационных площадей [42—56].

#### 4. Выводы

Таким образом, проанализированы четыре варианта технологического использования ВТПМ в режиме: валка — трелёвка — обрезка сучьев — раскряжёвка; валка — обрезка сучьев — трелёвка — раскряжёвка; трелёвка; трелёвка — обрезка сучьев. Предложены

аналитические зависимости для определения производительности ВТПМ во всех рассмотренных случаях.

*Работа выполнена в рамках деятельности научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета. Исследование осуществлено на средства гранта Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.*

### Список литературы

1. Григорьев И. «Амкодор». Реальные перспективы отечественного лесного машиностроения // ЛесПромИнформ. 2022. № 4 (166). С. 16—21.
2. Григорьев И., Григорьева О. «Амкодор-Онего» — ещё один год поступательного развития в сложных условиях // ЛесПромИнформ. 2023. № 4 (174). С. 38—40.
3. New approach for forest production stocktaking based on energy cost / I. Grigorev, V. Ivanov, E. Khitrov [et al.] // 14th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2014. Sofia, Bulgaria, 2014. P. 407—414.
4. Пути повышения эффективности работы лесных машин / И. В. Григорьев, О. А. Куницкая, С. Е. Рудов [и др.] // Энергия: экономика, техника, экология. 2020. № 1. С. 55—63.
5. Григорьев И. В., Григорьева О. И., Чураков А. А. Эффективные технологии и системы машин для малообъёмных заготовок древесины // Энергия: экономика, техника, экология. 2018. № 2. С. 61—66.
6. Методика определения топливной экономичности бензомоторных пил / И. К. Александров, И. В. Григорьев, В. А. Иванов [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2010. № 2 (41). С. 112—117.
7. Григорьев И. В. Параметры и показатели работы перспективного форвардера для малообъёмных лесозаготовок // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6, № 4 (40). С. 21—25.
8. Григорьев И. В., Чураков А. А. Совершенствование конструкции активного полуприцепа форвардера на базе сельскохозяйственного колёсного трактора // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-техн. конф. / Отв. ред. Н. С. Захаров. Тюмень, 2018. С. 84—88.
9. Перспективные направления развития технологических процессов лесосечных работ / И. В. Григорьев, О. И. Григорьева, А. И. Никифорова [и др.] // Труды БГТУ. № 2: Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2016. № 2 (184). С. 109—116.
10. Григорьев И. В., Григорьева О. И., Куницкая О. А. Переработка древесины на лесосеке: перспективы развития // Энергия: экономика, техника, экология. 2017. № 2. С. 27—33.
11. Григорьев И. В., Войнаш С. А. Повышение эффективности подготовки операторов лесных машин // Лесозаготовка и комплексное использование древесины: Сб. ст. Всерос. научно-практич. конф. Красноярск, 2020. С. 62—66.
12. Современные системы машин и технологии заготовки древесины и лесовосстановления в условиях горных лесосек / В. А. Каляшов, А. До Туан, Е. Г. Хитров [и др.] // Resources and Technology. 2022. Т. 19, № 2. С. 1—47.
13. Григорьев И. В. Современные проблемы импортозамещения в лесном машиностроении Российской Федерации // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции

- и перспективы развития: Материалы Всерос. научно-практич. конф. / Отв. ред.: Ю. А. Безруких, Е. В. Мельникова. Красноярск, 2022. С. 165—169.
14. Будник П. В. Обоснование технологических решений, повышающих эффективность заготовки сортиментов и лесосечных отходов, на основе функционально-технологического анализа: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Петрозаводск: ПетрГУ, 2011. 22 с.
  15. 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.
  16. 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.
  17. Будник П. В. Обоснование максимального вылета манипулятора валочно-трелёвочно-процессорной машины для различных природно-производственных условий // Севергеозкотех-2011: Материалы XII междунар. молодёжной науч. конф.: В 5 ч. Ухта, 2011. С. 16—21.
  18. Технология и машины лесосечных работ: Учебник для вузов / В. И. Пятакин, И. В. Григорьев, А. К. Редькин [и др.]. СПб.: ГПУ, 2012. 362 с.
  19. Цыгарова М. В., Григорьев И. В. Машины для лесосечных работ. Ч. 1: Технологическое оборудование и приёмы работы трелёвочных тракторов: Учебное пособие. Ухта: УГТУ, 2011. 128 с.
  20. Григорьев И. В., Никифорова А. И., Григорьева О. И. Сравнение одномашинных комплексов для сортиментной заготовки древесины // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Воронеж, 2015. Т. 3, № 9-2 (20-2). С. 125—128.
  21. Григорьев И. В., Винокуров С. Л. Сравнение вариантов систем машин для малообъёмных лесозаготовок // Вестник АГАТУ. 2021. № 3 (3). С. 51—62.
  22. Григорьев И. В., Тихонов И. И., Куницкая О. А. Технология и машины лесосечных работ: Учебное пособие по курсовому проектированию для студентов направлений подготовки бакалавров 250400 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств», профиль «Лесоинженерное дело». СПб.: СПбГЛТУ, 2013. 132 с.
  23. Технология и оборудование лесопромышленных производств. Технология и машины лесосечных работ: Учебное пособие / И. В. Григорьев, А. К. Редькин, В. Д. Валяжонков [и др.]. СПб.: Изд-во ЛТА, 2010. 330 с.
  24. Григорьев И. В. Направления совершенствования харвестерных головок // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Шестой Всерос. национал. научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2020. С. 45—47.
  25. Григорьев И. В. Калибровка харвестерных головок // Наука и инновации: векторы развития: Материалы Междунар. научно-практич. конф. молодых учёных: Сб. науч. ст.: В 2 кн. Барнаул, 2018. С. 78—82.
  26. Тамби А. А., Григорьев И. В. Повышение эффективности работы харвестера путём исключения потерь времени на подготовку режущего инструмента // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 4. С. 12—16.
  27. Машинная заготовка древесины по скандинавской технологии / О. А. Куницкая, Н. А. Чернуцкий, М. В. Дербин [и др.]. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2019. 192 с.

28. Григорьев И. В. Снижение отрицательного воздействия на почву колёсных трелёвочных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования. СПб.: Изд-во ЛТА, 2006. 236 с.
29. Григорьев И. В. Влияние способа трелёвки на эксплуатационную эффективность трелёвочного трактора: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб.: Изд-во ЛТА, 2000. 20 с.
30. Russian timber industry: current situation and modelling of prospects for wood biomass use / S. O. Medvedev, M. A. Zyryanov, A. P. Mokhirev [et al.] // International Journal of Design and Nature and Ecodynamics. 2022. Vol. 17, no. 5. P. 745—752.
31. Theoretical approaches to logging trail network planning: increasing efficiency of forest machines and reducing their negative impact on soil and terrain / S. E. Rudov, A. M. Voronova, J. M. Chemshikova [et al.] // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. 2019. Vol. 16, no. 4. P. 61—75.
32. Improvement of the forest tracked vehicles' control by using impulse control technology for the steering mechanism / R. Dobretsov, I. Grigorev, V. Ivanov [et al.] // European Chemical Bulletin. 2021. Vol. 10, no. 1. P. 21—26.
33. Predicting the passability of wheeled tractors / A. M. Khakhina, I. V. Grigorev, N. P. Dolmatov [et al.] // Mathematical Modelling of Engineering Problems. 2022. Vol. 9, no. 5. P. 1233—1242.
34. The experimental study of logging residue stock on logging sites following clear-cutting using a sorting machine system / M. Zyryanov, I. Grigorev, S. Medvedev [et al.] // International Journal of Simulation and Process Modelling. 2023.
35. Dynamic impact of wheeled skidders on forest soil in felling areas / I. Grigorev, O. Kunickaya, E. Tikhonov [et al.] // Journal of Terramechanics. 2022. Vol. 101. P. 1—9.
36. The theoretical modeling of the dynamic compaction process of forest soil / I. Grigorev, A. Burgonutdinov, V. Makuev [et al.] // Mathematical Biosciences and Engineering. 2022. Vol. 19, no. 3. P. 2935—2949.
37. Impulse control technology for improving steering control systems of the tracked vehicles / R. Dobretsov, I. Grigorev, E. Tikhonov [et al.] // International Review of Automatic Control. 2021. Vol. 14, no. 3. P. 172—178.
38. Pressure control systems for tyre preservation in forestry machinery and forest soils / O. Kunickaya, E. Hertz, I. Kruchinin [et al.] // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. 2021. Vol. 18, no. 3. P. 95—102.
39. Network planning of the technological chain for timber land development / K. Rukomojnikov, A. Mokhirev, A. Burgonutdinov [et al.] // Journal of Applied Engineering Science. 2021. Vol. 19, no. 2. P. 407—414.
40. Modeling the effect of wheeled tractors and skidded timber bunches on forest soil compaction / I. Grigorev, O. Kunickaya, A. Burgonutdinov [et al.] // Journal of Applied Engineering Science. 2021. Vol. 19, no. 2. P. 439—447.
41. Specific features of accounting of state of the massive of the frozen soil grounds under cyclic loads / S. E. Rudov, I. V. Grigorev, O. A. Kunickaya [et al.] // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2019. Vol. 25, no. Suppl. 2. P. 191—205.
42. Influence of different forest management techniques on the quality of wood / O. Grigoreva, E. Runova, V. Ivanov [et al.] // Journal of Renewable Materials. 2021. Vol. 9, no. 12. P. 2175—2188.
43. Efficiency improvement of forest machinery exploitation / I. Grigorev, O. Kunickaya, A. Prosuzhikh [et al.] // Diagnostyka. 2020. Vol. 21, no. 2. P. 95—109.
44. Assessment the effect of skidding techniques on the ecological efficiency of the skidding tractor / I. Grigorev, O. Kunickaya, A. Burgonutdinov [et al.] // Diagnostyka. 2020. Vol. 21, no. 3. P. 67—75.

45. The mathematical model of forestry machines impact on cryolitozone forest soils / S. Rudov, O. Kunickaya, I. Grigorev [et al.] // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. 2020. Vol. 17, no. 4. P. 89—95.
46. Comparative analysis of thinning techniques in Garchinsky forestry / O. I. Grigorieva, E. M. Runova, T. N. Storodubtseva [et al.] // Mathematical Modelling of Engineering Problems. 2022. Vol. 9, no. 2. P. 762—770.
47. Rego G. E., Voronov R. V., Grigoreva O. I. Algorithms for calculating schemes of transport routes in a felling area // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2. Series «II All-Russian Scientific-Technical Conference "Digital Technologies in Forest Sector"». Saint Petersburg, 2021. P. 012025.
48. Khitrov E., Grigorev G., Dmitrieva I. Theoretical estimation of soil resistance to forestry vehicles turning // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. Sofia, Bulgaria, 2020. P. 757—762.
49. Grigorev G., Dmitrieva I., Khitrov E. Theoretical evaluation of rut depth components caused by forest soil shear and compaction // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. Sofia, Bulgaria, 2020. P. 763—768.
50. Khitrov E. G., Iliushenko D. A., Kalistratov A. V. Deviation of resulting load of forestry vehicle from the normal to the bearing surface // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Series «All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation "Actual Issues of Transport in the Forest Sector"». Saint Petersburg, 2020. P. 012015.
51. Theoretical model for evaluation of tractive performance of forestry machine's wheel / V. Ivanov, M. Stepanishcheva, E. Khitrov [et al.] // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018. Conference proceedings. Albena, Bulgaria, 2018. P. 997—1004.
52. Environment-friendly logging in the context of water logged soil and knob-and-ridge terrain / V. A. Ivanov, I. V. Grigorev, G. D. Gasparyan [et al.] // Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. 2018. Vol. 41, no. 2. P. 22—27.
53. Modelling of indenter pressed into heterogeneous soil / A. Yu. Zhuk, A. M. Hahina, I. V. Grigorev [et al.] // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13, no. S8. P. 6419—6430.
54. Mokhirev A., Mazurkin P., Rukomojnikov K. Factor analysis of the parameters of the ergatic natural-production system of the carting out of timber assortments // International Journal of Forest Engineering. 2022. Vol. 33, no. 2. P. 155—168.
55. Justification of transport and logistics routes for the movement of natural resources in order to minimize the impact on the environment / S. O. Medvedev, A. P. Mokhirev, M. A. Zyryanov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Krasnoyarsk, 2021. P. 52015.
56. Modeling of the process of collection, sorting and transportation of logging residues at the logging area / A. Mokhirev, M. Zyrjanov, S. Medvedev [et al.] // Journal of Applied Engineering Science. 2021. Vol. 19, no. 1. P. 114—118.

## References

1. Grigorev I. «Amkodor». Real prospects of domestic forest engineering. *LesPromInform*, 2022, no. 4 (166), pp. 16—21. (In Russ.)
2. Grigorev I., Grigoreva O. «Amkodor-Onego» — another year of progressive development in difficult conditions. *LesPromInform*, 2023, no. 4 (174), pp. 38—40. (In Russ.)

3. Grigorev I., Ivanov V., Khitrov E., Kalistratov A., Bozhbov V. New approach for forest production stocking based on energy cost. *14th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2014*. Sofia, Bulgaria, 2014, pp. 407—414.
4. Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Rudov S. E., Davtyan A. B. Ways to improve the efficiency of forest machines. *Energy: economics, technology, ecology*, 2020, no. 1, pp. 55—63. (In Russ.)
5. Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Churakov A. A. Effective technologies and systems of machines for low-volume wood blanks. *Energy: economics, technology, ecology*, 2018, no. 2, pp. 61—66. (In Russ.)
6. Alexandrov I. K., Grigorev I. V., Ivanov V. A., Elizarov Yu. M., Chudnov Yu. N. Methodology for determining the fuel efficiency of gasoline-powered saws. *Bulletin of KrasGAU*, 2010, no. 2 (41), pp. 112—117. (In Russ.)
7. Grigorev I. V. Parameters and performance indicators of a promising forwarder for low-volume logging. *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2018, vol. 6, no. 4 (40), pp. 21—25. (In Russ.)
8. Grigorev I. V., Churakov A. A. Improving the design of an active forwarder semi-trailer based on an agricultural wheeled tractor. *Transport and transport-technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference*. Ed. by N. S. Zakharov. Tyumen, 2018, pp. 84—88. (In Russ.)
9. Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Nikiforova A. I., Glukhovskiy V. M. Promising directions for the development of technological processes of logging operations. *Proceedings of BSTU. No. 2: Forestry and woodworking industry*, 2016, no. 2 (184), pp. 109—116. (In Russ.)
10. Grigorev I. V., Grigoreva O. I., Kunitskaya O. A. Wood processing in the cutting area: prospects for development. *Energy: economics, technology, ecology*, 2017, no. 2, pp. 27—33. (In Russ.)
11. Grigorev I. V., Voynash S. A. Improving the efficiency of training operators of forest machines. *Forest exploitation and integrated use of wood. Collection of articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Krasnoyarsk, 2020, pp. 62—66. (In Russ.)
12. Kalyashov V. A., Do Tuan A., Khitrov E. G., Grigoreva O. I., Guryev A. Yu., Novgorodov D. V. Modern systems of machines and technologies of wood harvesting and reforestation in conditions of mountain cutting areas. *Resources and Technology*, 2022, vol. 19, no. 2, pp. 1—47. (In Russ.)
13. Grigorev I. V. Modern problems of import substitution in forest engineering of the Russian Federation. *Innovations in the chemical-forest complex: trends and prospects of development. Materials of the All-Russian Scientific and practical Conference*. Editors: Yu. A. Bezrukikh, E. V. Melnikova. Krasnoyarsk, 2022, pp. 165—169. (In Russ.)
14. Budnik P. V. Substantiation of technological solutions that increase the efficiency of harvesting sortings and logging waste, based on functional and technological analysis: abstract diss. ... Candidate of Technical Sciences. Petrozavodsk, PetrSU, 2011. 22 p. (In Russ.)
15. Budnik P. V., Skrypnik V. I. Substantiation of the masses and volumes of bundles of trees trilled by a felling-skidding-processing machine taking into account natural production conditions and logging areas. *Actual problems of the forest complex*, 2010, no. 27, pp. 3—6. (In Russ.)
16. Shegelman I. R., Budnik P. V. Justification of the departure of the manipulator and the modes of operation of the felling-skidding-processing machine. *Scientific notes of Petrozavodsk State University*, 2011, no. 4 (117), pp. 81—83. (In Russ.)
17. Budnik P. V. Justification of the maximum departure of the manipulator of the felling-skidding-processing machine for various natural production conditions. *Severgeocotech-2011: Materials of the XII International Youth Scientific Conference*: In 5 parts. Ukhta, 2011, pp. 16—21. (In Russ.)



18. Patyakin V. I., Grigorev I. V., Redkin A. K. [et al.]. *Technology and machines of logging operations: Textbook for universities*. Saint Petersburg, GPU, 2012. 362 p. (In Russ.)
19. Tsygarova M. V., Grigorev I. V. *Machines for logging operations. Part I: Technological equipment and techniques of skidding tractors Textbook*. Ukhta, UGTU, 2011. 128 p. (In Russ.)
20. Grigorev I. V., Nikiforova A. I., Grigoreva O. I. Comparison of single-machine complexes for wood sorting. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, Voronezh, 2015, vol. 3, no. 9-2 (20-2), pp. 125—128. (In Russ.)
21. Grigorev I. V., Vinokurov S. L. Comparison of variants of machine systems for low-volume logging. *Herald of AGATHU*, 2021, no. 3 (3), pp. 51—62. (In Russ.)
22. Grigorev I. V., Tikhonov I. I., Kunitskaya O. A. *Technology and machines of logging operations. Textbook on course design for students of bachelor's degree courses 250400 «Technology of logging and wood processing industries», profile «Forest engineering»*. Saint Petersburg, SPbGLTU, 2013. 132 p. (In Russ.)
23. Grigorev I. V., Redkin A. K., Valyazhonkov V. D., Matrosov A. V. *Technology and equipment of timber industries. Technology and machines of logging operations: Textbook*. Saint Petersburg, LTA Publishing House, 2010. 330 p. (In Russ.)
24. Grigorev I. V. Directions of improvement of harvester heads. *Improving the efficiency of the forest complex. Materials of the Sixth All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation*. Petrozavodsk, 2020, pp. 45—47. (In Russ.)
25. Grigorev I. V. Calibration of harvester heads. *Science and innovation: vectors of development: Materials of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists. Collection of scientific articles: In 2 books*. Barnaul, 2018, pp. 78—82. (In Russ.)
26. Tambi A. A., Grigorev I. V. Improving the efficiency of the harvester by eliminating the loss of time for the preparation of the cutting tool. *Repair. Recovery. Modernization*, 2020, no. 4, pp. 12—16. (In Russ.)
27. Kunitskaya O. A., Chernutsky N. A., Derbin M. V., Rudov S. E., Grigorev I. V., Grigoreva O. I. *Machine harvesting of wood by Scandinavian technology*. Saint Petersburg, Publishing and Printing Association of Higher Educational Institutions, 2019. 192 p. (In Russ.)
28. Grigorev I. V. *Reducing the negative impact on the soil of wheeled skidding tractors by substantiating the modes of their movement and technological equipment*. Saint Petersburg, LTA, 2006. 236 p. (In Russ.)
29. Grigorev I. V. The influence of the skidding method on the operational efficiency of the skidding tractor. abstract of the diss. ... Candidate of Technical Sciences. Saint Petersburg, LTA, 2000. 20 p. (In Russ.)
30. Medvedev S. O., Zyryanov M. A., Mokhirev A. P., Kunitskaya O. A., Voronov R. V., Storodubtseva T. N., Grigoreva O. I., Grigorev I. V. Russian timber industry: current situation and modelling of prospects for wood biomass use. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 2022, vol. 17, no. 5, pp. 745—752.
31. Rudov S. E., Voronova A. M., Chemshikova J. M., Teterevleva E. V., Kruchinin I. N., Dondokov Yu. Zh., Khaldeeva M. N., Burtseva I. A., Danilov V. V., Grigorev I. V. Theoretical approaches to logging trail network planning: increasing efficiency of forest machines and reducing their negative impact on soil and terrain. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 2019, vol. 16, no. 4, pp. 61—75.
32. Dobretsov R., Grigorev I., Ivanov V., Zhuk A., Verner N., Grigorev G., Storodubtseva T., Dmitrieva N. Improvement of the forest tracked vehicles' control by using impulse control technology for the steering mechanism. *European Chemical Bulletin*, 2021, vol. 10, no. 1, pp. 21—26.

33. Khakhina A. M., Grigorev I. V., Dolmatov N. P., Makuev V. A., Kruchinin I. N., Storodubtseva T. N., Burgonutdinov A. M., Markov O. B. Predicting the passability of wheeled tractors. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 2022, vol. 9, no. 5, pp. 1233—1242.
34. Zyryanov M., Grigorev I., Medvedev S., Mokhirev A., Egipko S., Perfiliev P., Savvateeva I. The experimental study of logging residue stock on logging sites following clear-cutting using a sorting machine system. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 2023.
35. Grigorev I., Kunickaya O., Tikhonov E., Hertz E., Druzyanova V., Timokhova O., Ivanov V., Kruchinin I. Dynamic impact of wheeled skidders on forest soil in felling areas. *Journal of Terramechanics*, 2022, vol. 101, pp. 1—9.
36. Grigorev I., Burgonutdinov A., Makuev V., Tikhonov E., Shvetsova V., Timokhova O., Revyako S., Dmitrieva N. The theoretical modeling of the dynamic compaction process of forest soil. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 2022, vol. 19, no. 3, pp. 2935—2949.
37. Dobretsov R., Grigorev I., Tikhonov E., Mikheev A., Khakhina A., Storodubtseva T., Shiryayev S., Burgonutdinov A. Impulse control technology for improving steering control systems of the tracked vehicles. *International Review of Automatic Control*, 2021, vol. 14, no. 3, pp. 172—178.
38. 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.
39. Rukomojnikov K., Mokhirev A., Burgonutdinov A., Kunickaya O., Grigorev I., Voronov R. Network planning of the technological chain for timber land development. *Journal of Applied Engineering Science*, 2021, vol. 19, no. 2, pp. 407—414.
40. 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.
41. Rudov S. E., Grigorev I. V., Kunickaya O. A., Druzyanova V. P., Ivanov A. K., Okhlopkova M. K., Pankov V. Y., Pekhutov A. S., Ivanov A. P., Borovikov R. G. Specific features of accounting of state of the massive of the frozen soil grounds under cyclic loads. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2019, vol. 25, no. Suppl. 2, pp. 191—205.
42. Grigoreva O., Runova E., Ivanov V., Alyabyev A., Hertz E., Voronova A., Shadrina S., Grigorev I. Influence of different forest management techniques on the quality of wood. *Journal of Renewable Materials*, 2021, vol. 9, no. 12, pp. 2175—2188.
43. Grigorev I., Kunickaya O., Prosuzhikh 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.
44. 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.
45. Rudov S., Kunickaya O., Grigorev I., Burgonutdinov A., Kruchinin I., Prosuzhikh 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.
46. Grigorieva O. I., Runova E. M., Storodubtseva T. N., Urazova A. F., Voronova A. M., Ivanov V. A., Shvetsova V. V., Grigorev I. V. Comparative analysis of thinning techniques in Garchinsky forestry. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 2022, vol. 9, no. 2, pp. 762—770.

47. Rego G. E., Voronov R. V., Grigorieva O. I. Algorithms for calculating schemes of transport routes in a felling area. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2. Series: «II All-Russian Scientific-Technical Conference "Digital Technologies in Forest Sector"»*, Saint Petersburg, 2021, p. 012025.
48. Khitrov E., Grigorev G., Dmitrieva I. Theoretical estimation of soil resistance to forestry vehicles turning. *20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020*. Sofia, Bulgaria, 2020, pp. 757—762.
49. Grigorev G., Dmitrieva I., Khitrov E. Theoretical evaluation of rut depth components caused by forest soil shear and compaction. *20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020*. Sofia, Bulgaria, 2020, pp. 763—768.
50. Khitrov E. G., Iliushenko D. A., Kalistratov A. V. Deviation of resulting load of forestry vehicle from the normal to the bearing surface. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Series: «All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation "Actual Issues of Transport in the Forest Sector"»*, Saint Petersburg 2020, p. 012015.
51. Ivanov V., Stepanishcheva M., Khitrov E., Iliushenko D. Theoretical model for evaluation of tractive performance of forestry machine's wheel. *18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018. Conference proceedings*. Albena, Bulgaria, 2018, pp. 997—1004.
52. Ivanov V. A., Grigorev I. V., Gasparyan G. D., Manukovsky A. Y., Zhuk A. Yu., Kunitskaya O. A., Grigoreva O. I. Environment-friendly logging in the context of water logged soil and knob-and-ridge terrain. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 2018, vol. 41, no. 2, pp. 22—27.
53. Zhuk A. Yu., Hahina A. M., Grigorev I. V., Ivanov V. A., Gasparyan G. D., Manukovsky A. Y., Kunitskaya O. A., Danilenko O. K., Grigoreva O. I. Modelling of indenter pressed into heterogeneous soil. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2018, vol. 13, no. S8, pp. 6419—6430.
54. Mokhitev A., Mazurkin P., Rukomojnikov K. Factor analysis of the parameters of the ergatic natural-production system of the carting out of timber assortments. *International Journal of Forest Engineering*, 2022, vol. 33, no. 2, pp. 155—168.
55. Medvedev S. O., Mokhitev A. P., Zyryanov M. A., Lyshko A. S. Justification of transport and logistics routes for the movement of natural resources in order to minimize the impact on the environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall*. Krasnoyarsk, 2021, p. 52015.
56. Mokhitev A., Zyryanov M., Medvedev S., Rjabova T. Modeling of the process of collection, sorting and transportation of logging residues at the logging area. *Journal of Applied Engineering Science*, 2021, vol. 19, no 1, pp. 114—118.