

УДК 674.81

DOI: 10.15393/j2.art.2020.5283

Обзор

## **Анализ конструкций и технологий работы форвардеров на лесозаготовках**

**Бухтояров Леонид Дмитриевич**

*кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), [vgltax-mlx@yandex.ru](mailto:vgltax-mlx@yandex.ru)*

**Абрамов Виталий Викторович**

*кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), [vitali1980a@mail.ru](mailto:vitali1980a@mail.ru)*

**Просужих Алексей Анатольевич**

*старший преподаватель, Ухтинский государственный технический университет (Российская Федерация), [prosuzhikh75@mail.ru](mailto:prosuzhikh75@mail.ru)*

**Рудов Сергей Евгеньевич**

*кандидат технических наук, старший преподаватель, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого (Российская Федерация) [89213093250@mail.ru](mailto:89213093250@mail.ru)*

**Куницкая Ольга Анатольевна**

*доктор технических наук, профессор, Якутская государственная сельскохозяйственная академия (Российская Федерация), [ola.ola@mail.ru](mailto:ola.ola@mail.ru)*

**Григорьев Игорь Владиславович**

*доктор технических наук, профессор, Якутская государственная сельскохозяйственная академия (Российская Федерация), [silver73@inboxl.ru](mailto:silver73@inboxl.ru)*

*Получена: 26 мая 2020 / Принята: 19 сентября 2020 / Опубликовано: 30 сентября 2020*

---

**Аннотация:** Природно-производственные условия России отличаются очень большим разнообразием. Это касается и таксационных характеристик древостоев, почвенно-грунтовых и рельефных условий, допускаемых видов рубок, а также развитости дорожной сети. Для всех возможных сочетаний природно-производственных условий эксплуатации можно выбрать оптимальный форвардер, главное, грамотно подойти к вопросу выбора. Прежде всего, форвардер выбирается исходя из тех задач, которые перед ним стоят. Надо помнить, что обычно форвардер эксплуатируется в паре с харвестером, выполняющим непосредственно

заготовку древесины. Каждая модель форвардера подбирается исходя из тех условий и задач, которые стоят перед лесозаготовителем. Нет смысла приобретать форвардер с малой грузоподъемностью, если с ним в паре работает мощный харвестер на крупном древостое. Форвардер с малой грузоподъемностью не сможет обеспечить требуемую для данных условий производительность трелёвки. И наоборот, бессмысленно ставить форвардер с большой грузоподъемностью в паре с небольшим харвестером, работающим, например, на рубках ухода за лесом. Из производимых серийно в настоящее время форвардеров не все пользуются спросом в России. На российском рынке наибольшей популярностью пользуются форвардеры, начиная с грузоподъемности 14 т. Форвардеры с меньшей грузоподъемностью, как правило, используются в Скандинавских странах, при небольших объемах заготовок, например, дровяной древесины, заготовки собственником для себя. В России на промышленных заготовках древесины эти форвардеры не используются. Если в районе проведения лесосечных работ дорожная сеть развита слабо и возникает необходимость трелёвки на дальние расстояния, то лучше использовать машины большой грузоподъемности. В России есть примеры, когда такими форвардерами выполняют трелёвку на 7—8 км. Но, конечно, надо учитывать, что если форвардер вынужден перемещать на столь дальние расстояния, то его производительность резко падает, а для трелёвки всего объема сортиментов, производимых харвестером, в таких условиях может понадобиться дополнительный форвардер. Понятно, что форвардеры с большей грузоподъемностью стоят дороже. Для ориентации можно указать, что разница в стоимости форвардеров с грузоподъемностью 14 т и грузоподъемностью 20 т составляет примерно 50 тыс. евро, или около 15 % стоимости машины.

**Ключевые слова:** форвардеры, лесные машины, лесозаготовки, трелёвка, рубки ухода за лесом.

---

DOI: 10.15393/j2.art.2020.5283

*Review*

## **Analysis of the forwarder design and harvesting technique**

**Leonid Buhtoyarov**

*PhD in engineering, associate professor, Voronezh state forest engineering University named after G. F. Morozov (Russian Federation), [vglta-mlx@yandex.ru](mailto:vglta-mlx@yandex.ru)*

**Vitalij Abramov**

*PhD in engineering, associate professor, Voronezh state forest engineering University named after G. F. Morozov (Russian Federation), [vitali1980a@mail.ru](mailto:vitali1980a@mail.ru)*

**Aleksej Prosuzhik**

*senior lecturer, Ukhta state technical University, (Russian Federation), [prosuzhikh75@mail.ru](mailto:prosuzhikh75@mail.ru)*

**Sergej Rudov**

*PhD in engineering, senior lecturer, Military Academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny (Russian Federation) [89213093250@mail.ru](mailto:89213093250@mail.ru)*

**Ol'ga Kunickaya**

*doctor of engineering, Professor, Yakut state agricultural Academy (Russian Federation), [ola.ola@mail.ru](mailto:ola.ola@mail.ru)*

**Igor Grigorev**

*doctor of engineering, Professor, Yakut state agricultural Academy (Russian Federation), [silver73@inbox.ru](mailto:silver73@inbox.ru)*

*Received: 26 May 2020 / Accepted: 19 September 2020 / Published: 30 September 2020*

---

**Abstract:** Natural production conditions in Russia are very diverse. They include taxation characteristics of stands, soil and terrain conditions, permitted types of logging, as well as the development of the road network. For various combinations of natural and industrial operating conditions it is possible to choose the optimal forwarder and the main thing is to approach the issue of selection correctly. First, the forwarder is selected according to the tasks to perform. It should be noted that, a forwarder operates in pair with a harvester that performs directly the harvesting of wood. Each forwarder model is selected based on the conditions and tasks that the logger faces. There is no point in purchasing a small-capacity forwarder if a powerful harvester is paired with it in a large stand of trees. A forwarder with a low load capacity will not be able to provide the skidding performance required for these conditions. Moreover, it is pointless to put a forwarder with a large load capacity in a pair with a small harvester that performs, for example, cleaning cutting operations. Not all forwarders currently produced are in demand in Russia. In the Russian market, forwarders starting with a load capacity of 14 tons are the most popular ones. Forwarders with a lower load capacity are usually used in the Scandinavian countries. In Russia, these forwarders are not used in industrial wood harvesting. If the road network is

poorly developed in the area of logging operations, and there is a need for long-distance skidding, it is better to use vehicles with high load capacity. In Russia, there are examples when such forwarders perform skidding for 7-8 km. However, it should be taken into account that if the forwarder has to move such a long distance, its performance drops sharply. In this case, an additional forwarder may be required to haul the tree-lengths produced by the harvester. It is clear that forwarders with a higher load capacity are more expensive. The difference in the cost of forwarders with a load capacity of 14 tons and that of 20 tons is about 50 thousand euros, or about 15% of the cost of the machine.

**Keywords:** forwarders, forest machines, logging, skidding, logging of forest care.

## 1. Введение

В настоящее время сортиментная скандинавская технология заготовки древесины с использованием форвардеров для трелёвки, подсортировки и штабелёвки сортиментов на погрузочном пункте доминирует в России, как и в большинстве стран мира.

При такой технологии лесосечных работ рабочие операции по валке деревьев, обрезке сучьев и раскряжёвке выполняются на пасеке при помощи харвестеров, бензиномоторных пил или с участием процессора, после валки валочно-пакетирующей машиной.

В сравнении с другими наземными трелёвочными средствами форвардеры на лесосеке при транспортировании сортиментов имеют ряд несомненных преимуществ:

— перемещение древесины с пасеки на лесопогрузочный пункт осуществляется полностью погруженным способом, что уменьшает разрушение почвенного покрова, повреждение корневой и комлевой частей деревьев, расположенных вблизи трелёвочных волоков, а также загрязнение трелюемой древесины;

— форвардеры выполняют сортировку заготовленной древесины при её погрузке и разгрузке, что значительно упрощает дальнейшее распределение сортиментов между потребителями при вывозке автолесовозами;

— возможность укладывания сортиментов в высокие штабели, уменьшая тем самым размеры погрузочных пунктов;

— производительность форвардеров в меньшей степени зависит от размеров лесоматериалов, тогда как трелёвочные тракторы неэффективны при трелёвке короткомерной и тонкомерной древесины;

— при необходимости форвардеры могут эффективно использоваться для сбора и транспортировки лесосечных отходов [1], [14—15].

Форвардеры используются, в основном, на рубках спелого леса (сплошные, постепенные, выборочные), а также при выполнении рубок ухода (проходные, прореживания).

## 2. Материалы и методы

При выполнении данного обзора по конструкциям и технологиям применения форвардеров на сплошных и выборочных рубках спелых и перестойных насаждений, а также на рубках ухода за лесом использовались источники специальной литературы, данные сайтов компаний — производителей форвардеров.

## 3. Результаты

Большинство производимых сегодня форвардеров имеют колёсное шасси, которое в отличие от гусеничного обладает следующими преимуществами:

- меньшая себестоимость;
- меньшая энергоёмкость;

- широкий диапазон скоростей движения;
- меньшая металлоёмкость;
- возможность самостоятельного перемещения по дорогам [10].

Большинство колёсных форвардеров производятся по двухмодульному принципу компоновки с шарнирно-сочленённой рамой (4К4, 6К6 и 8К8) или создаётся двухзвенный (прицепной) вариант.

Конструктивно форвардер включает ходовую систему, раму, двигатель, кабину, гидроманипулятор, грейферное захватное устройство с ротатором, платформу для загрузки сортиментов, систему управления.

Рама включает две шарнирно сочленённые полурамы. Такая конструкция позволяет снизить нагрузки и облегчить маневрирование машины.

Двигатель находится на передней полураме. На ней также размещают гидронасос, гидромотор, раздаточную коробку, гидробак и топливный бак.

Гидроманипулятор обычно устанавливается на технологическом модуле и служит для наведения захватывающего устройства на сортименты, уложенные на пасеке, и погрузки их на платформу. Гидроманипулятор состоит из колонны, стрелы, рукояти, телескопического звена, приводных гидроцилиндров. Приводится в действие системой гидроцилиндров, к которым гидрожидкость подаётся гидронасосом. Кабина оператора спроектирована с учётом современных требований эргономики, а также возможности падения на неё стволов деревьев или опрокидывания машины.

Колёсные форвардеры в большинстве модификаций имеют гидростатическую или гидродинамическую трансмиссию.

Современные форвардеры в большинстве случаев снабжены шести- или восьмиколёсным шасси с гидростатно-механической трансмиссией, позволяющим машине мягко преодолевать неровности рельефа. Кроме этого, при использовании данного типа трансмиссии тяговое усилие на движители передаётся плавно и бесступенчато, это позволяет снизить бускование и интенсивность колеобразования. Гидростатически-механическая трансмиссия включает ходовой гидронасос непостоянной производительности, имеющий привод от вала отбора мощности через муфту. Из гидронасоса поток жидкости поступает в гидромотор, который передаёт крутящий момент приводным колёсам при помощи механической передачи.

Управление гидростатической трансмиссией осуществляется бортовым компьютером, с помощью которого регулируется скорость движения, передаваемый на колёса крутящий момент, а также осуществляется контроль состояния всех систем форвардера и оповещение оператора о возникающих неисправностях и техническом состоянии машины.

В отдельных случаях, особенно при необходимости производить трелёвку сортиментов на значительные расстояния или доставку их по дорогам временного действия (усам), находящимся в неудовлетворительном состоянии, где движение лесовозных автопоездов затруднено, целесообразно применение форвардеров с механической или гидромеханической трансмиссией.

Органы управления гидроманипулятором (джойстики) расположены на подлокотниках сидения. У разных моделей форвардеров либо кабина поворачивается при работе по сбору или разгрузке сортиментов, либо поворачивается сиденье в нужном направлении, что значительно облегчает погрузку сортиментов, уложенных на волоке впереди кабины и на пасеке с обеих сторон по ходу движения машины. В модулях форвардеров, например машинах серии Е фирмы «Джон Дир», кабина установлена на поворотной платформе и вращается вместе с манипулятором, что улучшает видимость и облегчает работу оператора [16]. В качестве дополнительных опций, облегчающих работу оператора форвардера, можно устанавливать камеры заднего вида.

Современные модели форвардеров в зависимости от их основных технических характеристик принято разделять на три класса (таблица).

**Таблица.** Классификация форвардеров

**Table.** Classification of forwarders

Класс форвардера	Мощность, кВт	Грузоподъёмность, т	Масса, т	Колёса, шт	Грузовой момент манипулятора, кНм
Лёгкий — для рубок ухода за лесом	до 110	до 12	до 12	4; 6; 8	до 80
Средний — для выборочных и сплошных рубок	от 110 до 150	от 12 до 15	от 12 до 16	6; 8	от 80 до 150
Тяжёлый — для сплошных рубок	свыше 150	свыше 15	свыше 16	8; 10	свыше 15

Согласно данным источников [3], [16], наибольшее количество моделей форвардеров сосредоточено в группе средних машин (46,0 %), которые являются, по сути, машинами универсальными. Они с удовлетворительной эффективностью могут эксплуатироваться как на рубках ухода за лесом, так и на рубках спелых и перестойных насаждений и прочих рубках. Как указано в таблице 1, форвардеры этой группы имеют грузоподъёмность от 12 до 15 т. Их максимальные тяговые усилия составляют 130—180 кН. Класс лёгких форвардеров составляет 36,0 %. В основном эти форвардеры предназначены для работы на рубках ухода за лесом. Они могут использоваться также на рубках спелых и перестойных насаждений с небольшим объёмом ствола. В Российской Федерации эти машины не получили распространения. Грузоподъёмность форвардеров этого класса составляет 9—12 т, максимальное тяговое усилие — 120—150 кН. В группе тяжёлых машин, предназначенных для работы на сплошных рубках спелых и перестойных насаждений, представлено 18 %

моделей форвардеров. Это наиболее дорогие машины с высокой грузоподъемностью, которые эффективно применяются на сплошных рубках крупномерного леса, а также при больших расстояниях трелёвки. Иногда с их помощью выполняют подвозку сортиментов до ветки лесовозной дороги, экономя на строительстве лесовозного уса. Эти машины очень популярны у российских лесозаготовителей. При минимальном количестве рейсов они имеют достаточно хорошую производительность. Грузоподъемность форвардеров этой группы составляет 16—21 т. Они способны развивать максимальное тяговое усилие 180—230 кН. Гидрообъемная трансмиссия таких форвардеров позволяет начинать движение плавно, изменяя скорость с нулевого значения и достигая при движении по лесосеке до 7—10 км/ч, а по дорогам — до 20—30 км/ч. Высота клиренса у современных форвардеров составляет 560—735 мм.

Ширина колёс у форвардеров с колёсной схемой 6К6 составляет 600 или 700 мм, у форвардеров с 8К8 — 600 мм. Современные форвардеры имеют широкий диапазон изменения давления на лесной почвогрунт, который составляет 28,7—62,6 кПа. Наименьшие значения давления имеют лёгкие 8-колёсные машины. При полной загрузке грузового отсека давление у всех форвардеров возрастает в 1,8—2,2 раза. При слабой несущей способности почвогрунтов оператором рекомендуется не полностью загружать грузовой отсек на лесосеке. Хотя это и снижает производительность форвардера, но способствует сохранению приемлемой проходимости. Благоприятно сказывается на снижении давления использование более широких колёс. В качестве альтернативы есть колёса шириной 700 или 750 мм.

На большинстве машин с колёсной схемой 6К6 применяются разные размеры передних и задних колёс. Увеличенный диаметр передних колёс снижает буксование и колеобразование, уменьшает сопротивление качению, уменьшает уплотнение почвогрунта, облегчает преодоление больших пороговых препятствий. Передние колёса уплотняют почвогрунт, что облегчает движение последующих за ними колёс.

При многократных проходах форвардеров по одному следу решающее значение на интенсивность колеобразования оказывает максимальная нагрузка на колесо. Перегрузка задних колёс при движении с возом неизбежно вызывает увеличение глубины колеи. Максимальное число проходов будет обеспечиваться, если нагрузка будет более равномерно распределена по осям. Это условие в лучшей мере соблюдается при работе 8-колёсной машины. Распределение нагрузки между передней и задней тележками форвардера при его полной загрузке составляет соответственно 41 % и 59 %.

Для повышения проходимости 8-колёсных форвардеров на переувлажнённых почвах компания Ponsse установила третью пару колёс за тележкой технологического модуля с применением гусениц на обоих модулях (фото 1). Создание форвардеров с колёсной схемой 10К8 позволило снизить давление на почвогрунт и повысить его грузоподъемность, а значит, и производительность. В результате уменьшается количество рейсов, снижается удельный расход топлива.





**Фото 1.** Форвардер компании Ponsse с колёсной схемой 10K8 [26]

**Photo 1.** Ponsse forwarder with 10K8 wheel arrangement [26]

Учитывая основное назначение форвардеров — сбор, подсортировку и перемещение лесоматериалов (сортиментов) от места валки деревьев до погрузочного пункта, к конструкции грузового отсека предъявляются следующие основные требования:

— соответствие вместимости отсека паспортной грузоподъёмности форвардера (вместимость грузового отсека форвардера можно менять установкой дополнительных ограждений);

— создание грузового пространства, обеспечивающего возможность формирования воза из сортиментов различной длины, равномерного распределения его массы по колёсам, сохранения его формы при транспортировке;

— обеспечение удобства выполнения сбора и выгрузки сортиментов, сортировки и качества укладки;

— по своей конструкции отсек должен быть лёгким, прочным и эргономичным при обслуживании.

Основным показателем, характеризующим грузовое пространство отсека, является его поперечное сечение. У большинства современных форвардеров оно варьируется от 2,9 до 6,0 м<sup>2</sup> и может быть конструктивно увеличено, например, при сборе порубочных остатков или заготовке энергетической древесины. Изменение габаритов отсека способствует рациональному использованию грузоподъёмности форвардера.

Продолжительность набора пачки сортиментов при работе форвардера достигает 70 % затрат времени и зависит от квалификации оператора, среднего объёма сортимента,

грузоподъёмности форвардера, качества работы оператора харвестера или вальщиков леса, производящих сортименты на пасеке.

Форвардеры последних моделей имеют поворотную и выравниваемую кабину. Кабина автоматически следует за движением захвата стрелы, создавая круговой обзор местности вокруг машины. Механизм выравнивания быстро и плавно реагирует на изменение рельефа местности. Это повышает комфорт и облегчает работу оператора, что положительно отражается на производительности форвардера.

В 2019 г. в модельном ряде компании Ponsse появился форвардер Bison Active Frame (Bison), имеющий значительные конструктивные отличия в трансмиссии, по сравнению с ранее выпускаемыми моделями. В результате конструктивных изменений получился форвардер нового типа. Если все предыдущие модели форвардеров имели гидростатическую трансмиссию, то Bison оснащён бесступенчатой гидромеханической трансмиссией. Особенность её работы заключается в том, что в начале движения форвардер использует гидравлическую часть трансмиссии, а при наборе скорости до 3 км/ч постепенно начинает включаться в работу механическая часть трансмиссии. Конструктивные новшества Bison направлены на повышение энергоэффективности машины и снижение удельной энергоёмкости. Такое инновационное техническое решение трансмиссии форвардера связано с тем, что КПД механической передачи значительно выше гидростата.

Новый форвардер предназначен для трелёвки древесины на большие расстояния и даже её подвозки по лесовозным усам к веткам, промежуточным складам или магистралям. Максимальная скорость Bison достигает 20 км/ч, что для условий леса вполне достаточно.

Ещё одна принципиальная техническая новинка в конструкции форвардера Bison заключается в том, что вместо одного гидронасоса большой мощности, традиционно устанавливаемого на форвардеры, на Bison установлено два небольших гидронасоса. Поскольку форвардер, в отличие от харвестера, не требует постоянного большого потока масла, при работе он совершает много неэнергоёмких движений, таких как открытие и закрытие захвата, работа со штабелем и т. д., нет необходимости в постоянной работе мощного гидронасоса. На выполнение множества неэнергоёмких движений достаточно работы одного небольшого насоса, а второй насос включается только в случае необходимости большого потока, что опять же существенно снижает расход топлива.

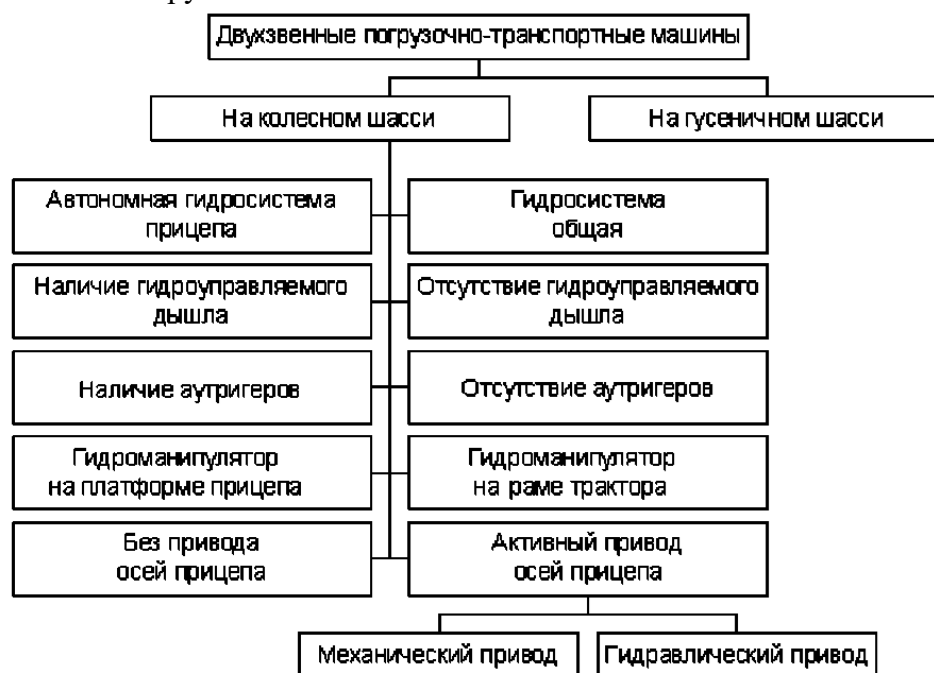
В России разработкой форвардеров занимались ОАО «Онежский тракторный завод» и КарНИИЛП. «Онежский тракторный завод» разработал колёсные форвардеры ТЛК-604 и ШЛК-6-04, а также гусеничные ТБ-1М-16 и «Онежец 350» на базе гусеничных тракторов с седельным колёсным полуприцепом. КарНИИЛПом разработан форвардер ЛТ-189А на шасси МТЗ-80. Его серийное производство было освоено ОАО «Орёлдормаш», но в настоящее время прекращено. Арзамасским механическим заводом (ОАО «АМЗ») разработан форвардер МЛ-104 грузоподъёмностью 10 т (12,5 м<sup>3</sup>) с колёсной формулой 8К8 и механической трансмиссией. ГУП «МТЗ» (Беларусь) освоено серийное производство форвардеров МЛ-131 с механической трансмиссией грузоподъёмностью 11 т (13,75 м<sup>3</sup>) и МЛПТ-364

с гидромеханической трансмиссией грузоподъемностью 11 т (13,75 м<sup>3</sup>). Фирмой «Амкодор» разработаны и освоены в серийном производстве целое семейство современных форвардеров с гидромеханической трансмиссией: «Амкодор 2631»; «Амкодор 2641»; «Амкодор 2661-01»; «Амкодор 2662»; «Амкодор 2662-01»; «Амкодор 2662Е»; «Амкодор 2682-01».

В НИИ и КБ заводов России продолжается разработка форвардеров. Компанией «Техносервис» разработан форвардер Т 6920 с колёсной формулой 8К8 грузоподъемностью 10 т (12,5 м<sup>3</sup>), оснащённый гидромеханической трансмиссией фирмы «ДАНА». Фирмой «Четра» — подразделением концерна «Тракторные заводы» — разработан колёсный форвардер «Четра КС-146421» грузоподъемностью 14 т (17,5 м<sup>3</sup>) и собственным весом 17 т, относящийся в соответствии с градацией, приведённой в таблице, к форвардерам тяжёлого класса. Государственным научным центром лесопромышленного комплекса (ГНЦ «Леспром») разработан форвардер ЛЗ-5 на базе гусеничного трактора ТТ-4Н-04-49 грузоподъемностью 9,6 т (12 м<sup>3</sup>). ОАО «Красноярсклесмаш» в рамках научной темы АВТ-8-02 была обоснована и разработана конструкция форвардера тяжёлого класса КС146-66-420 с последующим проведением испытаний опытных образцов.

Наряду с форвардерами на специальном шасси во многих европейских странах и в России на рубках ухода сегодня находят применение прицепные (двухзвенные) форвардеры, создаваемые на базе колёсных сельскохозяйственных тракторов класса тяги 6—30 кН.

На рисунке 1 приведена классификация выпускаемых в настоящее время двухзвенных форвардеров по их конструктивным особенностям.

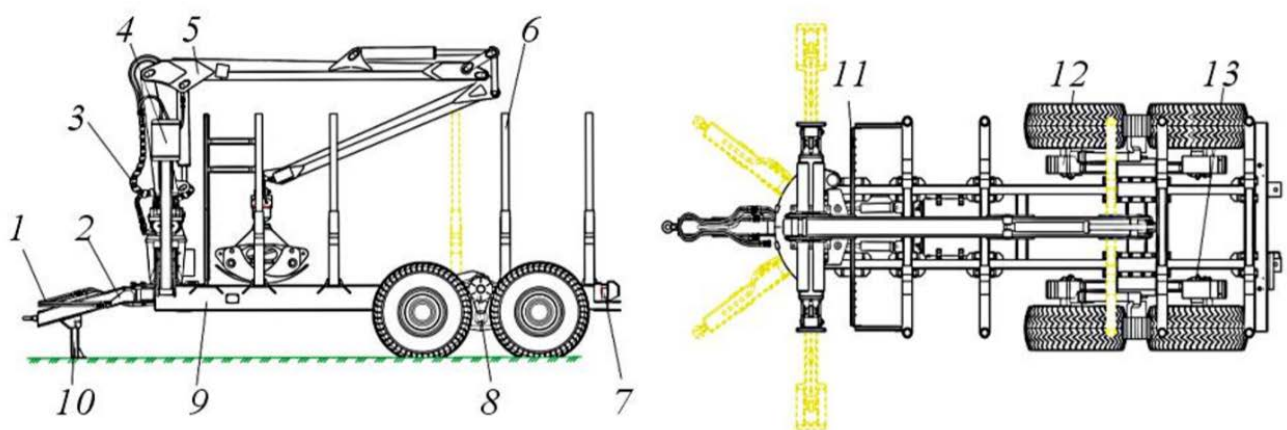


**Рисунок 1.** Классификация двухзвенных форвардеров

**Figure 1.** Classification of two-link forwarders

В Республике Беларусь прицепные тележки выпускают Мозырский машиностроительный завод, входящий в производственное объединение ПО «Минский тракторный завод», ОАО «Бобруйскагромаш», «Дормаш» ОАО «АМКОДОР», ООО «ТИГЕР».

Форвардер «Амкодор 2651» включает двухосный прицеп грузоподъемностью 9 т и имеет собственную массу 2,2 т с гидроманипулятором, имеющим грузовой момент 35 кН·м. Тракторный лесовозный полуприцеп ПЛТ-11М и полуприцеп ПЛ-11 без гидроманипулятора производства ОАО «Бобруйскагромаш» имеет грузоподъемность 11 т. На ООО «ТИГЕР» освоено совместное сборочное производство форвардеров МТПЛ-5-11, предназначенных для сбора, трелёвки в полностью погруженном положении, а при необходимости и вывозки дров и деловых сортиментов к автомобильным дорогам или на нижний склад при проведении рубок ухода за лесом и рубок спелых и перестойных насаждений по скандинавской технологии. ОАО «Мозырский машиностроительный завод» выпускает лесовозный прицеп ПЛВ-9М грузоподъемностью 9 т с гидроманипулятором собственного производства ГМ-42Т, имеющим грузовой момент 42 кН·м. На базе этого прицепа создан двухзвенный форвардер «Беларус МПТ-471» с многофункциональным полуприцепом ПМ-10 с гидроуправляемым дышлом (рисунок 2).



**Рисунок 2.** Полуприцеп многофункциональный ПМ-10: 1 — гидросистема дышла; 2 — гидроуправляемое дышло; 3 — гидросистема манипулятора; 4 — аутригеры гидроманипулятора; 5 — манипулятор с грейферным захватом; 6 — коники; 7 — электрооборудование полуприцепа; 8 — фрикционный ролик; 9 — рама; 10 — опора; 11 — ограждение; 12 — балансир; 13 — пневмосистема

**Figure 2.** Multifunctional semi-Trailer PM-10: 1 — hydraulic hitch; 2 — hydraulically controlled drawbar; 3 — hydraulic system of the manipulator; 4 — outriggers of the crane; 5 — crane with grapple; 6 — conic; 7 — electrical equipment of the semi-trailer; 8 — friction roller; 9 — frame; 10 — support; 11 — plug; 12 — saw; 13 — pneumatic system

Технологическое оборудование прицепного форвардера включает: гидроманипулятор, четыре пары коников, гидроуправляемое дышло, активный привод прицепной тележки. Грузовая платформа может быть оснащена четырьмя дополнительными парами коников для трелёвки короткомерных сортиментов длиной 1 м. Форвардер комплектуется широкопрофильными шинами 24.0/50-22.5 для движения по всем типам лесных почв без ограничений или шинами 16.5/70-18 для движения прицепного форвардера преимущественно по дорогам с усовершенствованным покрытием. Прицепное звено состоит из рамы 9, опоры 10, манипулятора с грейферным захватом 5, аутригеров 4, ограждения 11, коников 6 и ходовой части, состоящей из двух балансиров 12 с четырьмя колёсами, приводимыми в движение фрикционным роликом 8 с гидростатическим приводом. Для обеспечения повышенной манёвренности полуприцеп оборудован гидроуправляемым дышлом 2, которое через вертикальный шарнир связано с рамой 9. Гидросистема гидроуправляемого дышла 1 обеспечивает поворот дышла на угол до 35° от продольной оси рамы тележки, что позволяет уменьшить минимальный радиус поворота трактора с полуприцепом и повышает управляемость. Полуприцеп также оснащён электрооборудованием 7 и пневмосистемой 13.

В европейских странах для трелёвки сортиментов в условиях лесосеки и их перевозки по дорогам общего назначения с использованием колёсных сельскохозяйственных тракторов также созданы различные модели специальных лесовозных прицепов. Наибольшее распространение нашли прицепы компаний Farni Forest, Vreten AB и Kesla. По конструктивному оформлению прицепы разных фирм имеют малое различие. Регулируемая и передвигаемая вдоль рамы двухосная балансирного типа тележка моста в сочетании с дорожным просветом 505—650 мм и надёжное шарнирное сцепное устройство, управляемое двумя цилиндрами, обеспечивают хорошую проходимость и манёвренность прицепу. Балансирная подвеска совместно со специальной усиленной однопролётной рамой обеспечивают постоянную устойчивость прицепу при работе в различных почвенно-грунтовых и рельефных условиях.

Кроме этого, широкое распространение в европейских странах, особенно в Скандинавии, на рубках ухода за лесом и выборочных рубках спелых и перестойных насаждений малой интенсивности получили малогабаритные форвардеры трёх следующих типов:

- колёсные форвардеры на базе минитрактора и прицепа;
- колёсные форвардеры на базе мотовездеходов и прицепа;
- пешеходно управляемые минимашинны.

Производством малогабаритных форвардеров занимаются фирмы Vimek AB и AB Alstor. Они сделаны по двухмодульной компоновке из минитрактора и прицепа через шарнирно управляемое соединение. Минифорвардер Vimek 606 TT имеет колёсную схему 2К2 и кабину оператора, а минифорвардер Minimaster 101 имеет колёсную схему 4К4 и рабочее место оператора без кабины.

На форвардере Vimek 606 TT гидроманипулятор установлен непосредственно на тракторе. На форвардере Minimaster 101 гидроманипулятор установлен на прицепе впереди грузового

отсека. Минитракторы имеют вариаторную трансмиссию с приводом на все колёса. Крутящий момент на колёса прицепов передаётся через приводной ролик. Небольшая масса, малые габариты и вариаторная трансмиссия с плавным изменением крутящего момента обеспечивают высокую приспособляемость машин к выполнению работ в различных природно-производственных условиях. Они работают без нанесения вреда подросту, деревьям, оставляемым на доращивание, и почвенному покрову. Прицеп имеет однобалочную раму, на которой отдельными модулями установлены четырёхколёсная балансирная тележка, коники, передняя ограждающая решётка, гидроманипулятор, шарнирное управляемое прицепное устройство. Гидравлическая система работает от вала отбора мощности трактора. С её помощью приводятся в движение тележка и гидроманипулятор. Для работы в лесу имеется большой выбор мотовездеходов (квадроциклов).

На первых рубках ухода за лесом (осветление, прочистки) за рубежом успешно используются пешеходно-управляемые минимашины, называемые также «малый универсальный лесной трактор» (МУЛ). Машины также имеют вариаторную трансмиссию. Их гусеницы выполнены из сверхпрочных резиновых лент.

В качестве дополнительного оборудования к минимашине используются прицеп, лебёдка для подтаскивания деревьев, цепи для прикрепления груза, опорные ролики, монтируемые на стойке прицепа. С экологической точки зрения пешеходно-управляемые минимашины хорошо приспособлены к лесной среде и практически не оказывают на неё негативного воздействия. Они легко управляются, имеют плавный ход и низкое давление на почвогрунт, удовлетворительную манёвренность, проходимость и устойчивость.

В настоящее время на лесозаготовительных предприятиях России эксплуатируются форвардеры импортного производства, поскольку большая часть упомянутых выше форвардеров отечественной разработки так и не были выпущены в широкую сеть [7—8].

Работа погрузочно-транспортных машин на лесосеке может быть организована по двум основным технологиям:

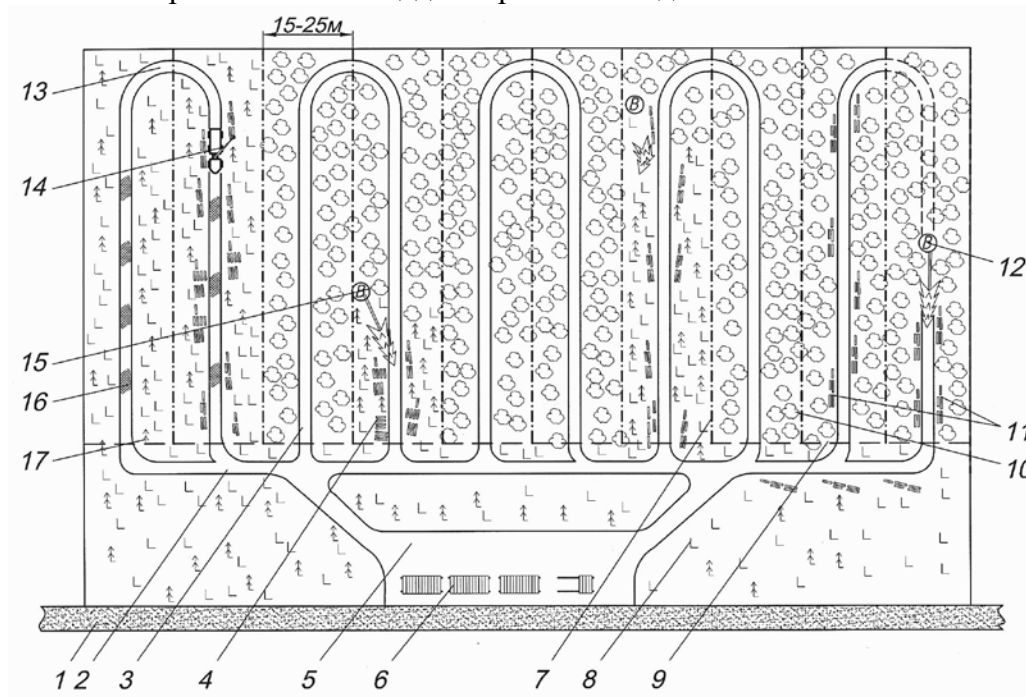
— первый вариант — после валки, обрезки сучьев и раскряжёвки бензиномоторными пилами;

— второй вариант — после выполнения данных операций харвестерами.

Типовая технологическая схема разработки лесосек при использовании бензиномоторных пил и форвардеров на выборочных рубках приведена на рисунке 3 [27]. Вальщики леса последовательно выполняют валку деревьев, обрезку сучьев, раскряжёвку, подноску (подтаскивание) сортиментов в зону действия манипулятора форвардера и укладку в пачки. Сбор, погрузка сортиментов на грузовую платформу, трелёвка на погрузочный пункт, сортировка и штабелёвка производятся форвардером. Один форвардер в зависимости от состава и крупномерности древостоя может обслуживать 4—6 вальщиков.

Разработку лесосеки начинают с рубки и планировки погрузочного пункта и магистральных волоков, разметки пасечных волоков и границ пасек. Все деревья на погрузочном пункте и магистральном трелёвочном волоке спиливаются заподлицо

с поверхностью земли. Валка деревьев на волоке начинается с ближнего его конца, вдоль продольной оси вершинами к площадке верхнего склада.



**Рисунок 3.** Схема разработки лесосек по узкопасечной технологии на базе форвардера и бензопил (сплошная рубка с сохранением подроста): 1 — лесовозный ус; 2 — магистральный волок; 3 — пасечный волок; 4 — сортименты, заготовленные при рубке пасеки; 5 — верхний склад; 6 — штабеля сортиментов; 7 — граница пасек; 8 — пни; 9 — граница зоны безопасности; 10 — насаждения до рубки; 11 — сортименты, заготовленные при прорубке волоков (коридоров); 12 — вальщик при прорубке волока; 13 — разворотное кольцо; 14 — форвардер; 15 — валка деревьев на пасеки; 16 — порубочные остатки; 17 — сохранённый подрост

**Figure 3.** Scheme for the development of cutting areas using narrow-beam technology based on forwarder and power saw (continuous cutting with the preservation of undergrowth): 1 — logging us; 2 — main portage; 3 — apiary portage; 4 — sorts prepared when cutting apiary; 5 — upper warehouse; 6 — stacks of sorts; 7 — border of apiaries; 8 — stumps; 9 — border of the security zone; 10 — plantings before cutting; 11 — sorts prepared when cutting down drags (corridors); 12 — Feller when cutting down the portage; 13 — turning ring; 14 — forwarder; 15 — felling trees to apiaries; 16 — felling remains; 17 — preserved undergrowth

Разрубив волок на длину 40—50 м, вальщик приступает к обрезке сучьев и раскряжёвке хлыстов. Окончив раскряжёвку, вальщик приступает к окучиванию заготовленных сортиментов. Пачки размещаются так, чтобы не мешали проезду форвардера по волоку. Освобождение волока от сортиментов и их окучивание обязательно при использовании



форвардера с манипулятором длиной 6,5—8 м. При вылете манипулятора 8 м и более предварительное освобождение волока от сортиментов может производиться форвардером.

После окончания разработки двух смежных волоков форвардер заезжает по волоку вглубь лесосеки, выезжает на смежный волок и производит сбор и погрузку сортиментов на платформу. На платформу загружаются сортименты одной длины и назначения и только при нехватке этих сортиментов до полной загрузки догружаются другими сортиментами. Собранный в воз, форвардер трелюет сортименты на погрузочную площадку и приступает к их разгрузке и штабелёвке.

По окончании трелёвки сортиментов с волоков приступают к разработке полупасек. Направление валки деревьев определяется таким образом, чтобы не повредить оставляемые на корню деревья и обеспечить наибольшую производительность на последующих операциях (до минимума сократить расстояние подноски, подкатки сортиментов при окучивании). Порубочные остатки, находящиеся рядом с волоком, укладываются на проезжую часть, остальные оставляются в пасеке для последующего перегнивания.

Типовая технологическая схема разработки лесосек при использовании харвестера и форвардера приведена на рисунке 4 [27].

Технологический цикл заготовки сортиментов харвестером состоит из наводки харвестерной головки на дерево, зажим; срезание, сталкивание и подтаскивание дерева в зону обработки; обрезка сучьев и раскряжёвка.

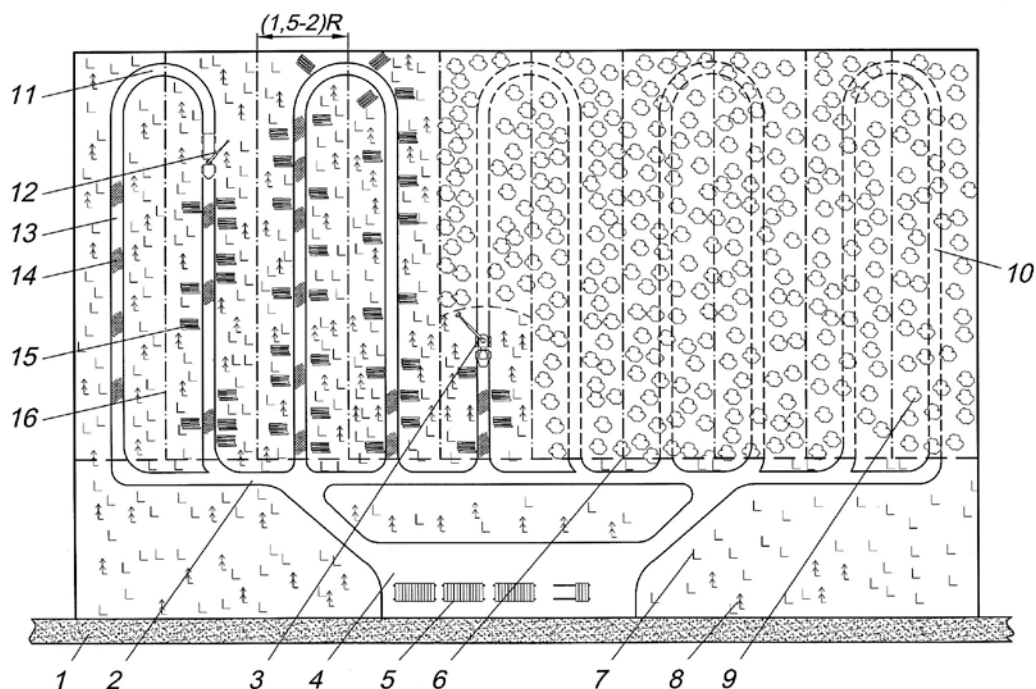
Харвестер, обеспечивая укладку сучьев и вершин на волок, укрепляет его, тем самым повышается проходимость форвардеров; уменьшается вероятность повреждения корней расположенных рядом с волоком деревьев [18].

Основными резервами повышения эффективности работы форвардеров на лесосеке являются: совершенствование конструкции и технологии работы; обоснование параметров и режима работы форвардера в конкретных природно-производственных условиях.

По первому направлению представляет интерес способ установки гидроманипулятора на форвардер (рисунок 5), предлагаемый в работе [17].

Это способ предусматривает прокладку транспортного пути в виде двух швеллеров вдоль грузовой платформы машины. Манипулятор устанавливается на каркасе (основании), расположенном между швеллерами, с возможностью перемещения вдоль грузовой платформы. Перемещение каркаса осуществляется с использованием двух, расположенных по его краям гидромоторов, приводящих в движение ходовые колёса, передвигающие каркас по проложенному транспортному пути.





**Рисунок 4.** Схема разработки пасек с использованием харвестера и форвардера: 1 — лесовозный ус; 2 — магистральный волок; 3 — харвестер; 4 — верхний склад; 5 — штабель сортиментов; 6 — граница зоны безопасности; 7 — пни; 8 — сохранённый подрост; 9 — насаждения до рубки; 10 — насаждение с подростом до рубки; 11 — разворотное кольцо; 12 — форвардер; 13 — пасечный технологический коридор; 14 — порубочные остатки; 15 — пачки сортиментов; 16 — граница пасек

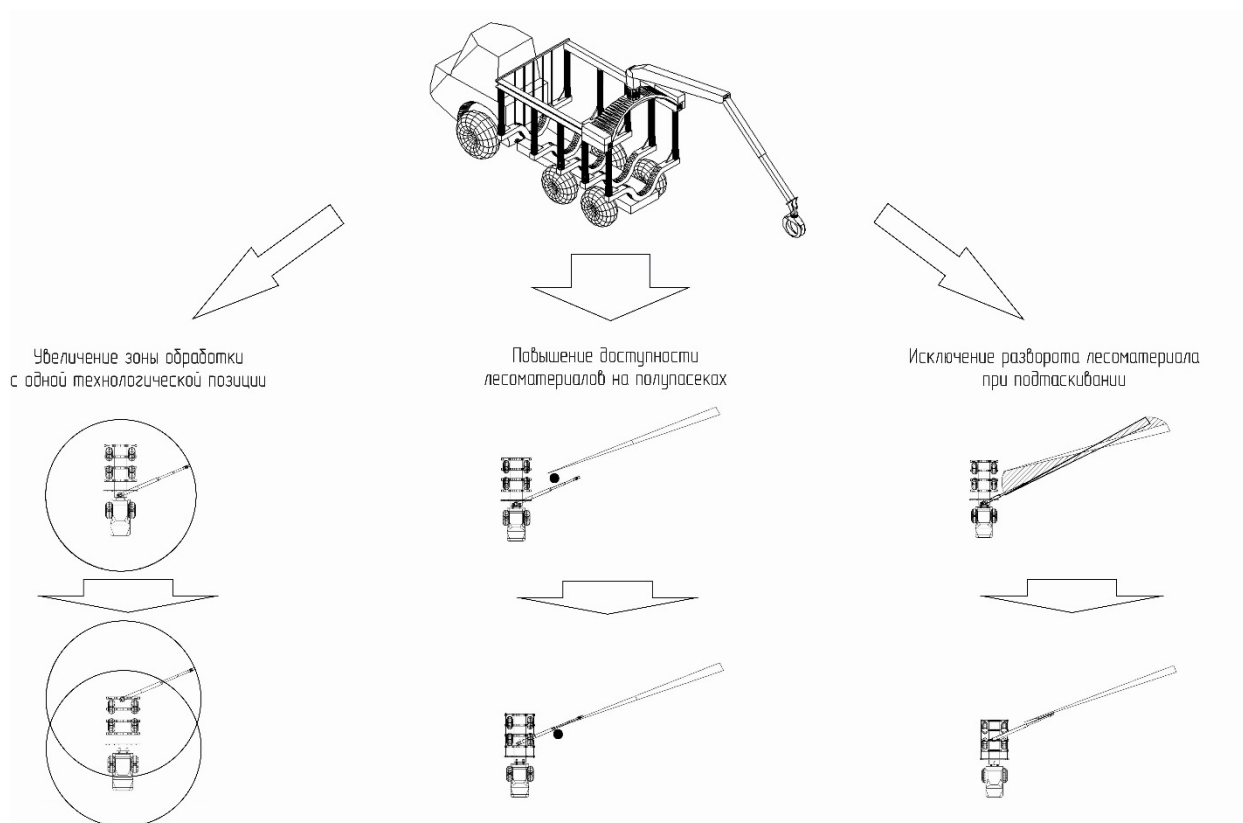
**Figure 4.** Scheme of development of apiaries using harvester and forwarder: 1 — logging us; 2 — main portage; 3 — harvester; 4 — upper warehouse; 5 — stack of sorting materials; 6 — border of the security zone; 7 — stumps; 8 — preserved undergrowth; 9 — plantings before cutting; 10 — plantings with wood before cutting; 11 — turning ring; 12 — forwarder; 13 — apiary technological corridor; 14 — felling remains; 15 — bundles of sorting materials; 16 — border apiaries

Использование данного способа установки гидроманипулятора на форвардер даёт следующие преимущества в его работе:

— исключается разворот лесоматериала в горизонтальной плоскости при его перемещении с пасеки и повреждение расположенного вблизи него подроста;

— на выборочных рубках увеличивается доступность лесоматериалов (упрощается обход преград в виде растущих деревьев при сборе сортиментов с полупасеки);

— увеличивается зона, обслуживаемая манипулятором с одной стоянки форвардера, и сокращается число стоянок форвардера при разработке лесосеки, повышается производительность, за счёт сокращения времени на трогание форвардера с места и его остановки, перевод гидроманипулятора из транспортного положения в рабочее, и наоборот.



**Рисунок 5.** Способ установки гидроманипулятора на форвардере [17]

**Figure 5.** Method of installing the hydraulic manipulator on the forwarder [17]

Другое техническое решение для повышения эффективности использования форвардера на лесосеке предложено в работе [18]. Оно представляет собой конструкцию форвардера модульного типа для двухэтапной трелёвки древесины, которая на первом этапе предусматривает подтрелёвку деревьев или хлыстов с полупасек к пасечному волоку, а на втором — трелёвку сортиментов в полностью погруженном положении до погрузочного пункта.

Предлагаемая машина (рисунок 6) включает самоходное шасси 1, на котором смонтировано технологическое оборудование, состоящее из лебёдки 2, стрелы 3 и устройства для удержания трелюемой пачки 4. Стрела 3 снабжена приводами 5 и 6 для изменения вылета и установлена на поворотной колонне 7, которая смонтирована в трубе 8. Поворотная колонна 7 снабжена механизмом 9 поворота её вокруг вертикальной оси 10, который представляет собой гидроцилиндры со штоками-рейками, контактирующими с зубчатым венцом, жёстко соединённым с поворотной колонной 7. Гидроцилиндры установлены на трубе 8. На свободном конце стрелы 3 установлен грейферный захват 11 с приводом и отклоняющим блоком 12 для грузового каната 13, который закреплён на барабане лебёдки 2. Труба 8 жёстко закреплена на самоходном шасси 1. Привод лебёдки 2 осуществляется от гидромотора 14 через редуктор 15. Лебёдка 2 установлена на самоходном шасси 1 посредством рычагов 16,

одними концами шарнирно закреплённых на кронштейнах 17, жёстко установленных на самоходном шасси, а другими шарнирно связанных с осью 18 лебёдки. Поворот рычагов 16 выполняется приводом, состоящим из гидроцилиндров 19, корпуса которых крепятся к к самоходному шасси 1 при помощи шарниров. Штоки этих гидроцилиндров, шарнирно связанными с качалками 20, которые, в свою очередь, одними концами крепятся с помощью шарниров к кронштейнам 17, а другими – к тягам 21, которые свободными концами шарнирно соединены с рычагами 17 между осями их поворота с шарнирами связи с лебёдкой 2. Лебёдка 2 снабжена опорой 22, жёстко связанной с корпусом лебёдки.

Данный форвардер работает следующим образом. Сначала он заезжает на лесосеку с заранее поваленными, отдельно лежащими деревьями (хлыстами) или небольшими пачками, приготовленными валочно-пакетирующей машиной. Оператор, управляя гидроцилиндрами, стрелой наводит захват с отклоняющим блоком, через который пропущен грузовой канат, который оттаскивается до поваленных деревьев, на ствол одного из оставленных деревьев-семенников 23 и закрепляет его. Далее оператор включает гидроцилиндры и лебёдку, устанавливает на землю до упора её опорой 22, оставляя при этом гидроцилиндры в «запертом» положении.

Затем чокеруются отдельно лежащие поваленные деревья (хлысты) 24 или небольшие пачки 25, оператор включает гидромотор 14 лебёдки на наматывание грузонесущего каната. Тем самым зачокерованные деревья формируют в пачку и подтаскивают её к дереву-семеннику, где отцепляют и оставляют пачку. Далее цикл повторяется до тех пор, пока не будут подтащены все лесоматериалы в секторе за деревом-семенником на длину грузонесущего каната.

После обработки площади слева и справа от трассы тягового каната технологическое оборудование форвардера приводится в транспортное положение, и он переезжает на другую рабочую позицию, где технологический процесс подтаскивания лесоматериалов повторяется.

В это время у первой рабочей позиции осуществляется обрезка сучьев и раскряжёвка хлыстов.

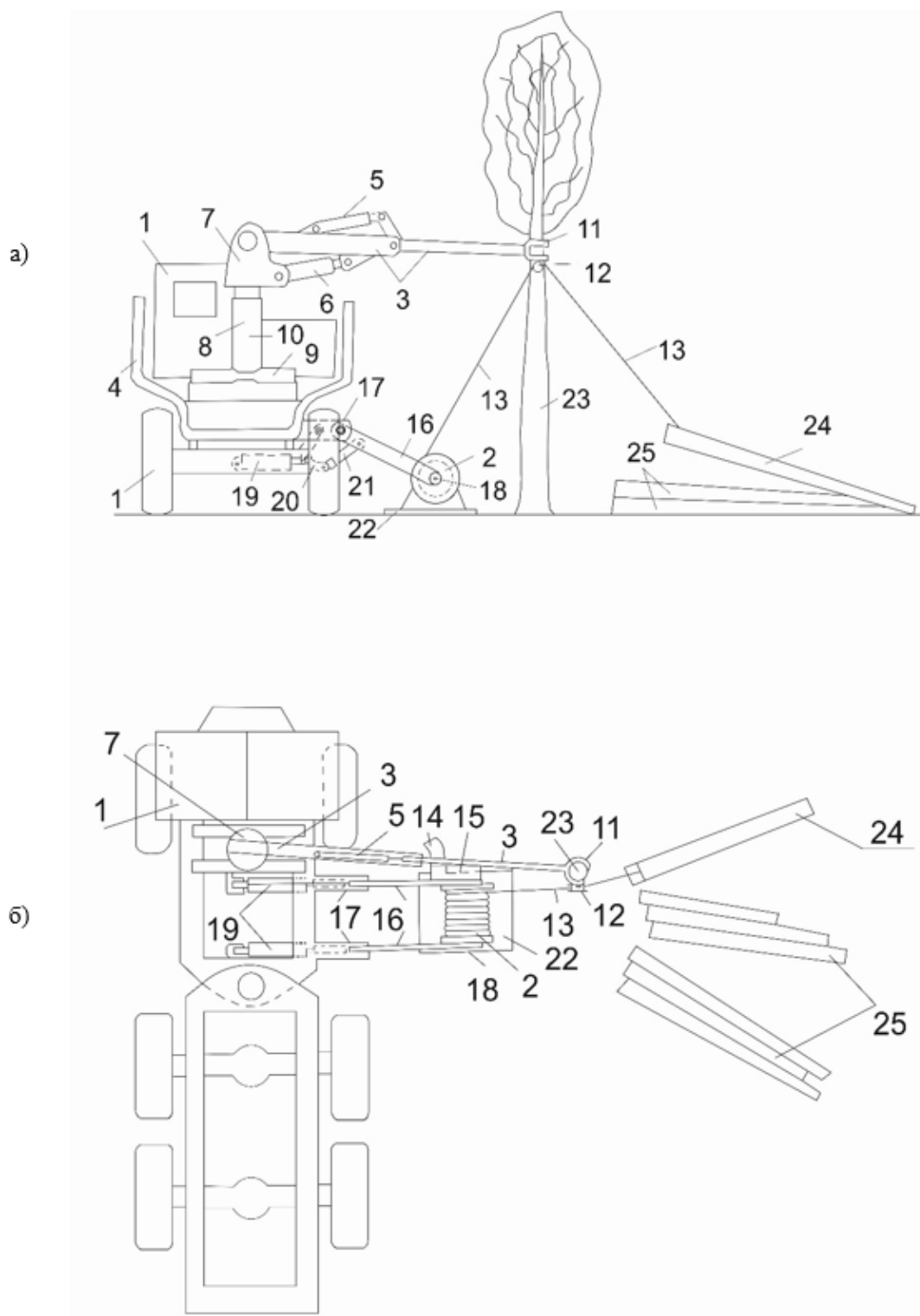
Перед переездом форвардера на другую рабочую стоянку оператор, управляя приводами 5, 6, 9 и 19, укладывает на самоходное шасси захват 11 с отклоняющим блоком 1 и устанавливает лебёдку. В дальнейшем напиленные лесоматериалы разделяются на сортименты, грузятся захватом 11 и стрелой 3 в грузовую тележку форвардера.

Использование такой конструкции форвардера даёт возможность:

— значительно увеличить ширину разрабатываемых пасек, а значит, уменьшить затраты на обустройство пасечных волоков, а также уменьшить площадь лесосеки, занятую волоками и технологическими коридорами;

— осваивать в летний период значительные площади лесосек со слабонесущими почвогрунтами;

— уменьшить экологический ущерб от проведения лесосечных работ, особенно с точки зрения негативного воздействия на лесные почвогрунты.

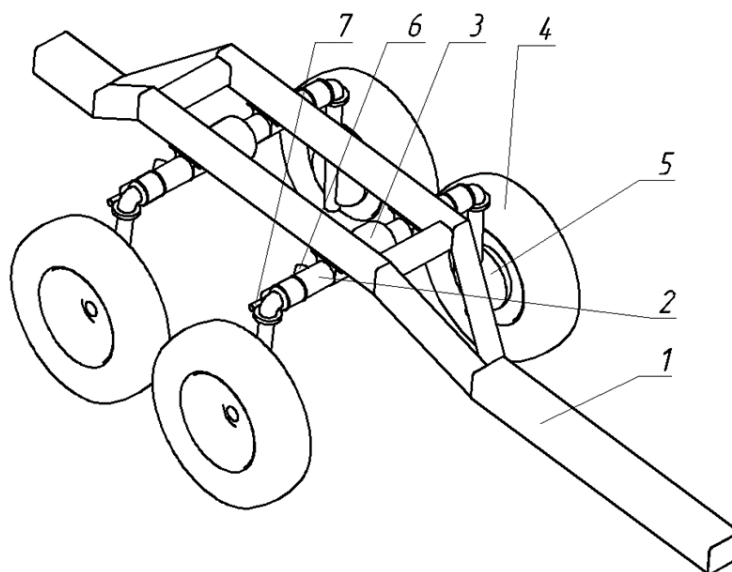


**Рисунок 6.** Форвардер для комбинированной трелёвки сортиментов: а) — вид сзади; б) — вид сверху

**Figure 6.** Forwarder for combined skidding of sorts: а) — rear view; б) — top view

По первому направлению повышения эффективности работы форвардера заслуживают внимания предлагаемые в публикации [19] технические решения, связанные с обоснованием конструкции прицепа для двухзвенных форвардеров.

Особенность предлагаемой конструкции шасси прицепа форвардера (рисунок 7) заключается в следующем. К раме 1 шасси крепится порталый мост 2, внутри которого смонтированы дифференциал 3 и конические передачи привода колёс 4, которые для уменьшения давления на почвогрунт и облегчения поворота могут быть спаренными. Привод колёс осуществляется от гидромотора. На кронштейнах порталого моста шарнирно установлены поворотные цапфы колёс 5. Привод поворотных цапф осуществляется от гидромотора 6 через червячную передачу 7.

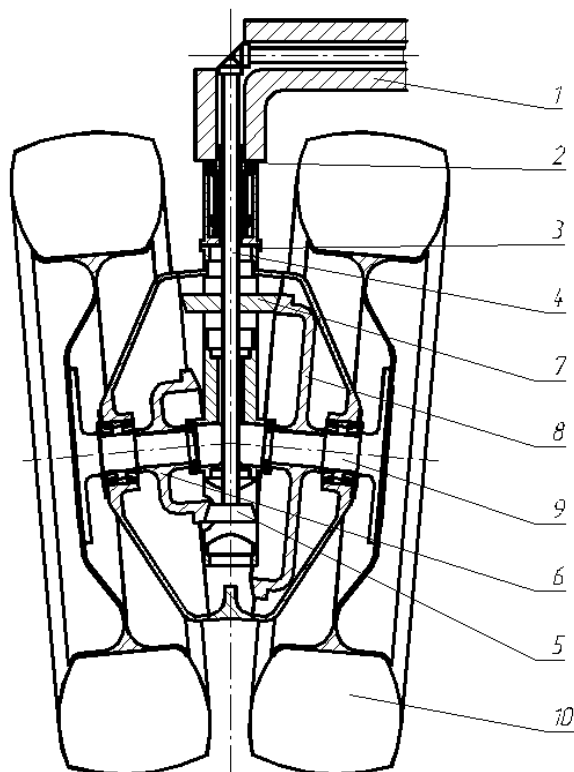


**Рисунок 7.** Компоновка двухосного прицепа форвардера

**Figure 7.** Layout of a two-axle forwarder trailer

Возможно одно-, двух- и многоосное исполнение предложенной конструкции шасси прицепа форвардера для малообъёмных лесосечных и лесовосстановительных работ.

Колёса прицепа полноповоротные, поэтому применение широкопрофильных шин нежелательно ввиду значительного увеличения плеча обегания колеса и, как следствие, усилий, необходимых для его поворота. В то же время применение узкопрофильных шин ведёт к существенному росту удельного давления на почвогрунт. Для устранения указанных недостатков предложено использование спаренных полноповоротных колёс, схема установки и привода которых приведена на рисунке 8.



**Рисунок 8.** Схема установки и привода спаренных полноповоротных колёс

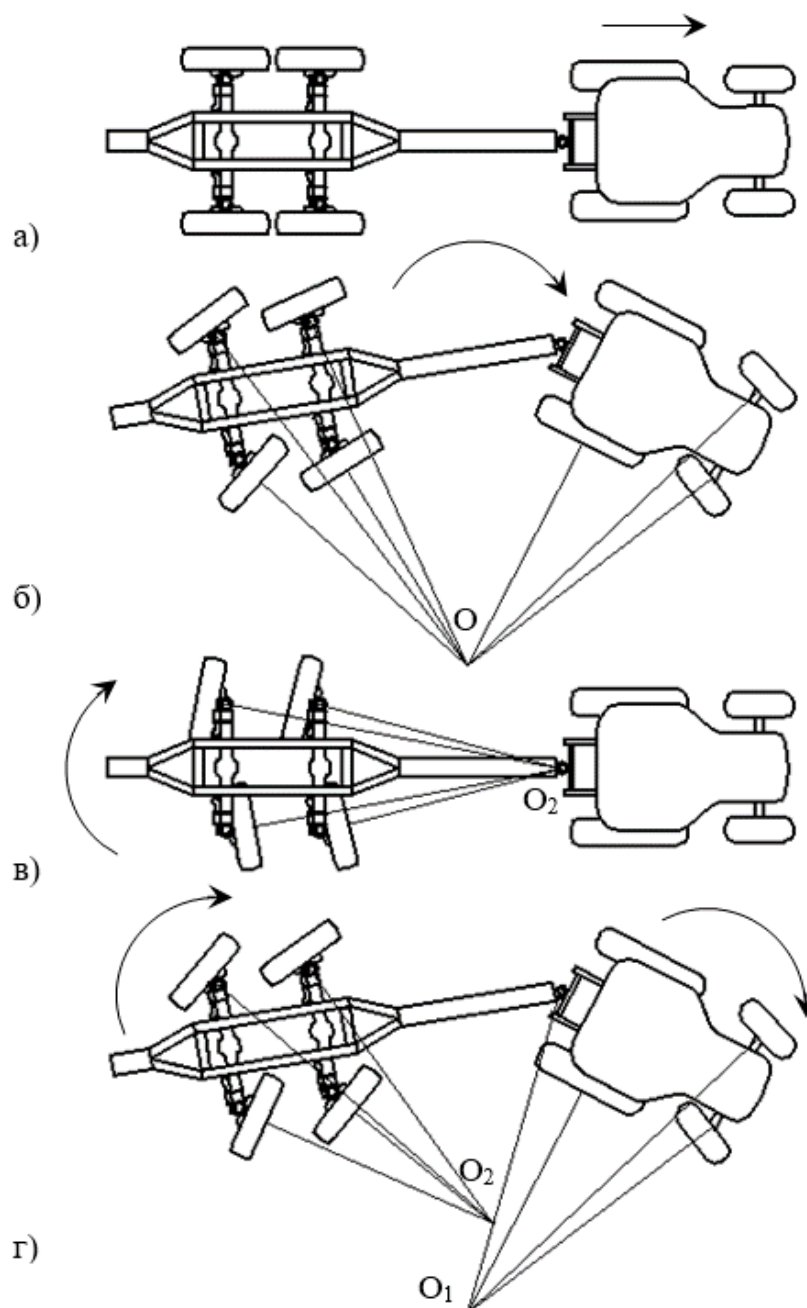
**Figure 8.** Scheme of installation and drive of paired full-turn wheels

Особенностью данной конструкции установки и привода спаренных колёс прицепа является двойная поворотная цапфа 3, состоящая из верхней и нижней частей, соединённых с помощью фланцевого соединения.

В нижней части поворотной цапфы 3 на одном валу-шестерне 2 смонтированы конические шестерни — малая 5 и большая 7, находящиеся в зацеплении с коническими зубчатыми колёсами 6 и 8, обеспечивающими через валы 9 передачу крутящего момента к колёсам 10.

Данная конструкция шасси прицепа обеспечивает независимый и неограниченный поворот его колёс вокруг шарниров поворотных цапф, что позволяет качественно повысить манёвренность прицепного форвардера в различных режимах движения (рисунок 9), и в результате появляется возможность его применения под пологом леса, при выборочных рубках малой интенсивности, без предварительной прокладки пасечных волоков.

Также при выборе комплектации форвардера следует обратить внимание на вылет гидроманипулятора. Можно выбрать гидроманипулятор S (короткий) или M (длинный). В Россию в настоящее время на 99 % поставляются форвардеры с гидроманипулятором M, имеющим вылет 10 м.



**Рисунок 9.** Возможные варианты поворота двухосного прицепа форвардера: а) — прямолинейное движение; б) — движение в повороте; в) — поворот прицепа вокруг неподвижного трактора; г) — поворот прицепа вокруг движущегося трактора;  $O, O_1, O_2$  — мгновенные центры поворота соответственно лесной машины, трактора и прицепа

**Figure 9.** Possibilities for turning a two-axle forwarder trailer: а) — straight-line movement; б) — movement in a turn; в) — turning the trailer around a stationary tractor; г) — turning the trailer around a moving tractor;  $O, O_1, O_2$  — instantaneous centers of rotation, respectively, of the forest machine, tractor and trailer

Сами гидроманипуляторы могут быть оснащены разными ротаторами, а также различными моделями захватов, имеющих разную площадь поперечного сечения зева. На форвардеры лёгкого класса обычно устанавливаются захваты с площадью сечения  $0,28 \text{ м}^2$ , на форвардеры большой грузоподъёмности —  $0,35 \text{ м}^2$ . Есть также специальные захваты для сбора порубочных остатков.

К дополнительным опциям для форвардеров, про которые, к сожалению, мало известно российским лесозаготовителям, также относятся следующие.

Для эффективной работы форвардера на сборе порубочных остатков в его грузовую платформу могут быть установлены дополнительные щиты, препятствующие выпадению кроновой части деревьев, а также значительно увеличивающие объём грузового отсека.

Если на предприятии заготавливают короткие сортименты, то может быть установлена более высокая передняя решётка грузовой платформы, позволяющая собрать большее количество сортиментов, без перегруза машины. Но надо помнить, что достаточно распространённая ошибка операторов, желающих побольше заработать, это перегруз форвардера, значительно повышающий нагрузки на трансмиссию и, в конечном итоге, приводящий к поломке форвардера. Поэтому при заготовке 6-метровых сортиментов такую решётку устанавливать не стоит.

Система автоматической центральной смазки снижает трудоёмкость обслуживания машины и во многом снижает эффект человеческого фактора, если машину не смажут вовремя. Правда, есть мнение, что эта система расхолаживает операторов в области выполнения их обязанностей по обслуживанию машины, которое смазкой не ограничивается. А если в лесу перебьёт одну из трубок этой системы, то оператор, отвыкший проверять смазку узлов и агрегатов машины, может этого не заметить, что приведёт к поломке.

Если форвардер используется на заготовках топливной древесины, то полезной будет функция весов на грузовой платформе, сразу передающая данные в бортовой компьютер.

Поскольку на большей части России зимние условия отличаются достаточно сильными морозами, в стандартную комплектацию большинства форвардеров, поставляемых в нашу страну, входит предпусковой подогреватель двигателя и гидравлического масла Webasto.

Гидравлические насосы для закачки топлива производительностью  $50 \text{ л/мин}$  и гидравлического масла производительностью  $25 \text{ л/мин}$  также входят в стандартную комплектацию большинства форвардеров.

В стандартную комплектацию входит и защита капота двигателя, хотя некоторые лесозаготовители отказываются от этой опции, для удешевления машины. Эта экономия, а в стоимости машины это значительно менее  $1 \%$ , иногда приводит в дальнейшем к большим потерям из-за механических повреждений. Другие защиты (например, боковин, бампера, выхлопной трубы, защитная решётка стекла кабины со стороны грузового отсека) в стандартную комплектацию не входят и относятся к дополнительным опциям. Хотя защита фар кабины также входит в стандартную комплектацию.

Буксирный крюк (фаркоп) входит в стандартную комплектацию многих форвардеров.



Для возможности самостоятельного перемещения форвардера по дорогам общего пользования он может быть дополнительно оснащён поворотниками и зеркалами заднего вида, как на автомобиле. По аналогии с автомобилем также возможны установка центрального замка и сигнализации. В России, в отличие от Европы, эти опции популярностью не пользуются, как и дополнительный фильтр, необходимый при работе машины с биоразлагаемым маслом.

Но всё большей популярностью в России пользуется опция установки автоматической системы пожаротушения. На лесные машины обычно устанавливают системы фирмы Dafo. Надо отметить, что, помимо чувства большей безопасности машины, для собственника наличие на машине системы пожаротушения существенно снижает стоимость её страховки.

Достаточно популярной дополнительной опцией является установка боковых дворников, которые облегчают оператору работу при необходимости получения обзора через боковые окна, например при выполнении разгрузки.

Как уже отмечалось, весьма полезной дополнительной опцией являются камеры заднего вида, которые могут устанавливаться как со стороны грузового отсека, так и моторного отсека. В первом случае оператору удобно работать при уже загруженном грузовом отсеке, когда сортименты перекрывают поле обзора, во втором случае оператору не надо лишний раз поворачивать кресло, чтобы продолжить движение при наборе пачки.

Очень немногие знают, что на колёсную базу форвардера вместо грузового отсека можно поставить кониковый зажим с площадью поперечного сечения  $2\text{ м}^2$ , превратив форвардер в бесчokerный трелёвочный трактор, выполняющий трелёвку в полупогруженном положении. В такой комплектации его можно использовать для трелёвки деревьев и хлыстов после, например, вальщиков леса или валочно-пакетирующей машины.

Если машина планируется для работы на склонах, то, помимо установки лебёдки Synchrowinch, разумно оснастить форвардер опцией, повышающей возможный угол наклона платформы.

Всегда надо помнить, что производительность лесной машины, включая форвардер, помимо прочего, существенно зависит от комфорта оператора. Очевидно, что менее комфортные условия приводят к более быстрой утомляемости оператора и, соответственно, снижению его производительности. Для повышения комфорта оператора есть четыре варианта сидений, с разными возможностями индивидуальных настроек. В обязательном порядке для работы на склонах сиденье оператора оборудуется боковой и спинной поддержкой, а также для надёжного удержания оператора монтируется широкий профессиональный ремень автогонщика с четырьмя точками фиксации.

Для расширения возможностей форвардера его можно дооснастить толкателем, позволяющим эффективнее работать со штабелями и выполнять мелкие земляные работы. Правда, это достаточно дорогостоящая опция, т. к., помимо самого толкателя, приходится устанавливать дополнительные секции гидравлики, распределители и т. д.

В Европе часто форвардер приобретает человек, который в дальнейшем будет на нём и работать, поэтому условия своей работы он продумывает до мелочей. В России, к сожалению, часто стараются просто купить форвардер подешевле, не думая о том, что такая машина не оптимальна для оператора, а значит, он будет быстрее уставать, у него будет падать производительность, и, в конечном итоге, лесозаготовитель будет терять прибыль.

Хотя надо отметить и отдельные, единичные, примеры, когда российские лесозаготовительные предприятия, задумываясь о приобретении под постоянного оператора очередной машины, советуются с ним и прислушиваются к его мнению. Иногда самому оператору доверяют выбрать оптимальную для него комплектацию машины.

В стандартную комплектацию многих современных лесных машин входят система кондиционирования, ультрафиолетовые шторки на стёкла кабины и хорошая аудиосистема.

Дополнительными опциями, повышающими комфорт оператора, являются холодильник и подогреватель пищи.

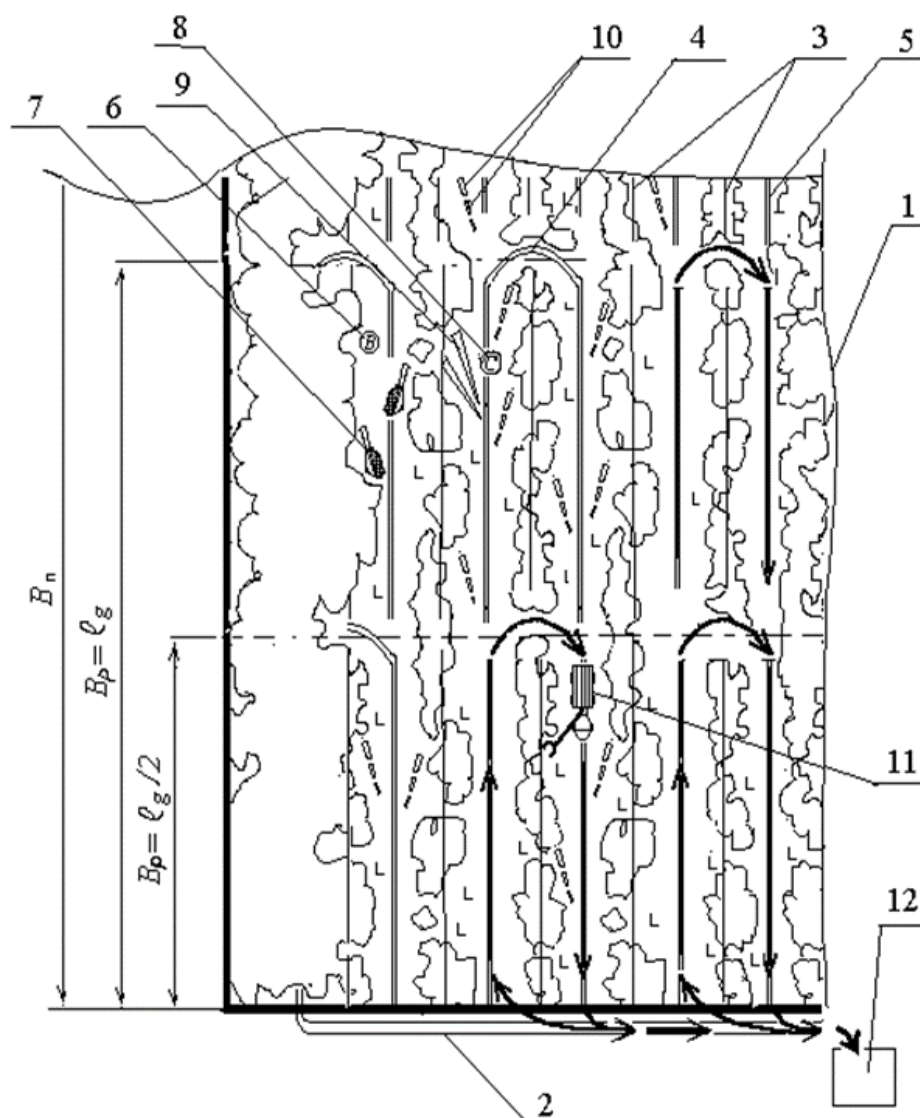
Отметим, что некоторые, одни и те же, дополнительные опции на форвардеры разной грузоподъёмности могут стоить неодинаково. На форвардеры малой грузоподъёмности они будут стоить дешевле, т.к. для них используются различные материалы, и к ним предъявляются разные требования по прочности.

По второму технологическому направлению повышения эффективности работы форвардера на лесосеке также есть ряд интересных решений, предлагаемых в работе [19].

Одно из них связано с совершенствованием схемы работы форвардера на лесосеке (патент № 2228023). Форвардеры, по сравнению с другими трелёвочными средствами, обладают более высокой манёвренностью, позволяющей им осуществлять повороты и перемещаться с одной пачки на другую в процессе сбора пачки сортиментов. В связи с этим можно значительно сократить протяжённость перемещения машины. Это достигается за счёт того, что на пачках на определённых расстояниях от магистрального волока, кратных половине длины ленты сбора пачки лесоматериалов, трелюемых форвардером в полностью погруженном положении, предусматривают места для разворота машины и её перехода на смежную пачку. Сбор пачки сортиментов осуществляется с территории двух смежных пачек при движении форвардера по пачечным волокам.

Более подробно данный принцип показан на рисунке 10, где по середине пачки прорубается пачечный волок 5. Вальщик леса 6 валит деревья 7 под углом к оси пачечного волока. После валки деревьев на первой пачке вальщик леса переходит на следующую, разработка которой также начинается с прорубки волока. В это время на первой пачке обрезчик сучьев 8 осуществляет обрезку сучьев и раскряжёвку хлыстов 9 на сортименты 10. Трелёвка лесоматериалов начинается с ближайших к погрузочному пункту пачек. Форвардер 11, двигаясь по магистральному трелёвочному волоку, заезжает на чётную от погрузочного пункта пачку и, двигаясь по пачечному волоку, осуществляет сбор пачки. Доехав до предусмотренного ранее места разворота и набрав к этому времени половину расчётной пачки сортиментов, машина поворачивает в сторону погрузочного пункта,

переезжает на смежную пасеку и, двигаясь в противоположном направлении, продолжает сбор пачки. Выехав на магистральный волок, машина, собрав полногрузную пачку, трелюет сортименты к погрузочному пункту 12 и укладывает их в штабель.



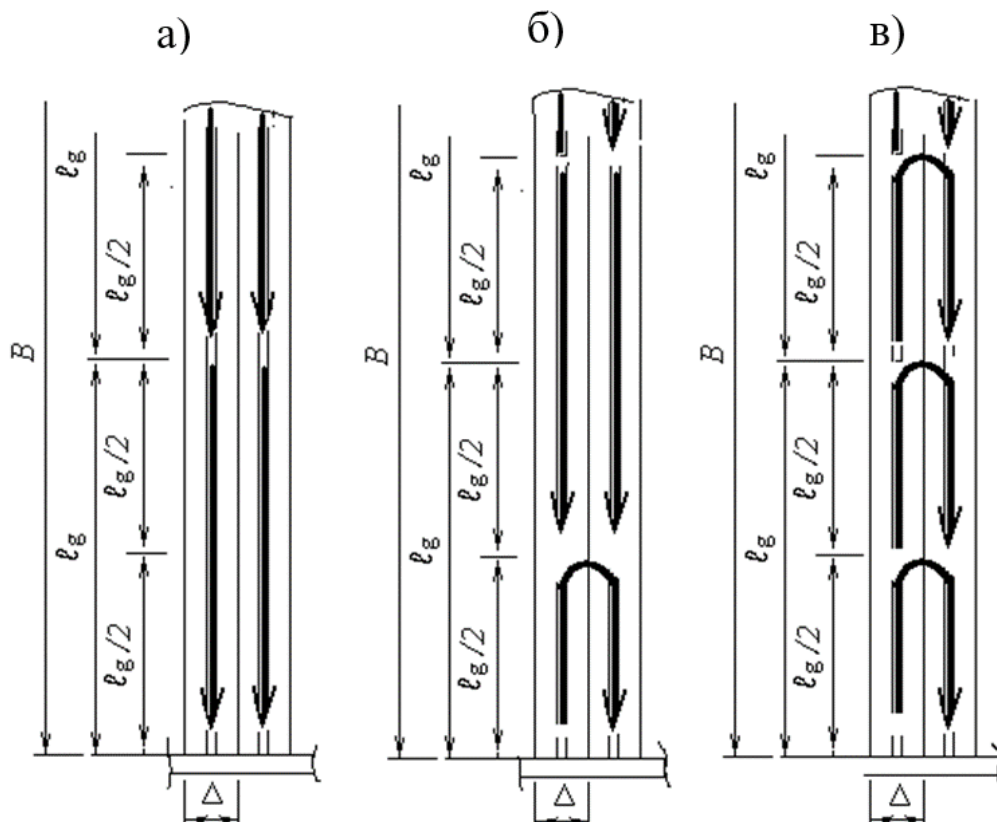
**Рисунок 10.** Схема разработки лесосеки с уменьшенным расстоянием перемещения форвардера по пасеке по патенту № 2228023

**Figure 10.** Scheme of development of a cutting area with a reduced distance of the forwarder moving through the apiary under patent No. 2228023

Варианты разворотов на пасеке могут быть различными: не только вблизи магистрального волока, но и на всём протяжении пасечных волоков через расстояния, равные половине длины ленты набора пачки (рисунок 11).

Авторы данной разработки считают, что в результате использования данной схемы движения форвардера по пасечным волокам появляется возможность на 30 % сократить

перемещения форвардера и за счёт этого повысить его производительность на 4—8 %. Хотя рассмотренный принцип работы форвардера противоречит общепринятому — «лес не надо везти в лес». Очевидно, что за счёт части грузового хода форвардера от погрузочного пункта расход топлива при такой технологии работы будет увеличиваться.



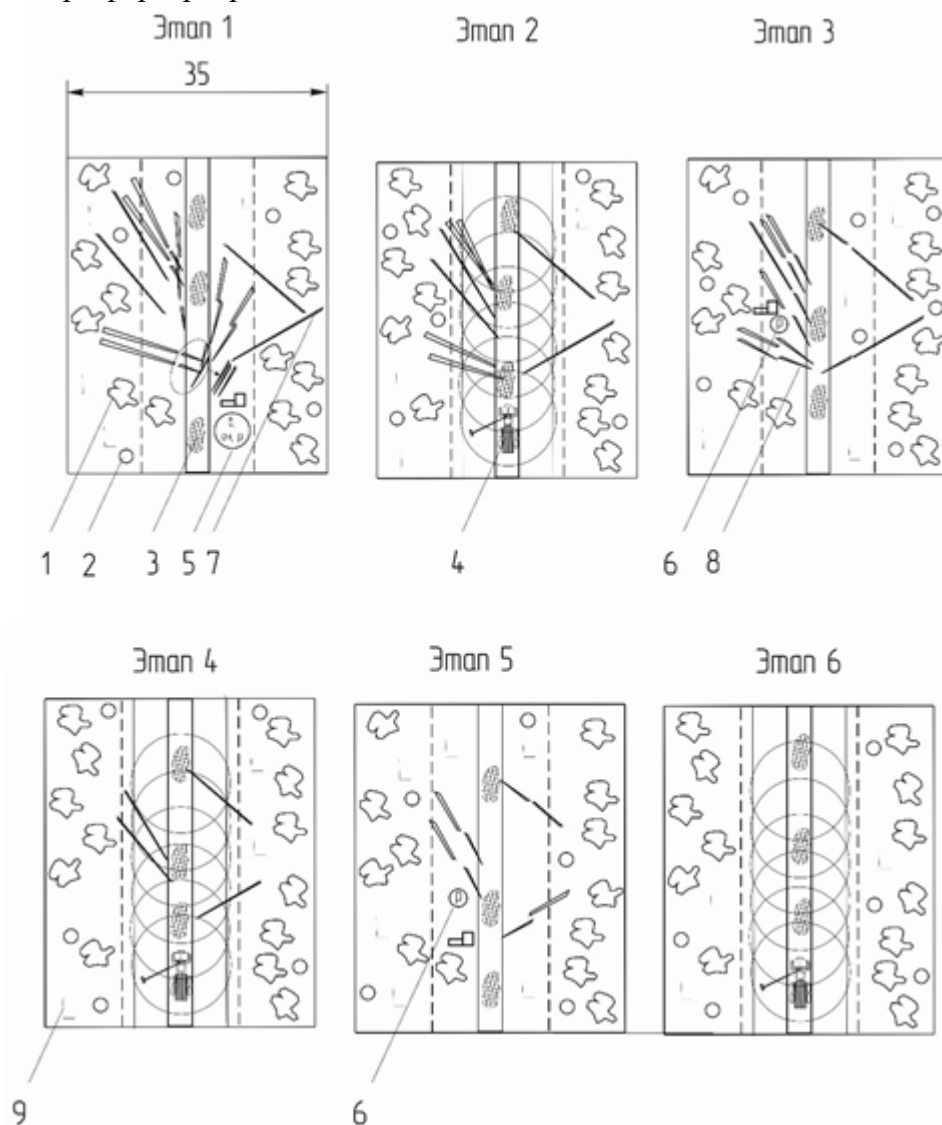
**Рисунок 11.** Схемы движения форвардера по пасакам

**Figure 11.** Diagrams of the forwarder's movement through apiaries

Второй вариант технологического решения (патент № 2269251) по совершенствованию работы форвардера на лесосеке преследует цель увеличить ширину разрабатываемой пасеки при механизированной заготовке древесины, а также уменьшить количество тяжёлого ручного труда рабочих лесозаготовительной бригады при окучивании сортиментов. Для этого технологию разработки лесосеки предлагается разделить на 6 этапов (рисунок 12).

При выполнении первого этапа каждую пасеку разбивают на пять полос: волок, две примыкающие к волоку ленты и две удалённые от волока ленты. Разработка пасеки начинается с разрубки трассы пасечного трелёвочного волока на длину рабочего хода. На волоке валят деревья, обрезают сучья и раскряжёвывают хлысты. После разработки части трассы пасечного трелёвочного волока на полупасаках выполняют валку деревьев. Направление валки при выборочной рубке выбирают из расчёта падения деревьев в просвет

между деревьями, оставляемыми на доращивание. На примыкающих к волоку лентах дерева валят так, чтобы максимально приблизить крону к волоку. На удалённых от волоку лентах деревья валят так, чтобы вершинная часть дерева оказалась в зоне действия гидроманипулятора форвардера.



**Рисунок 12.** Технологические этапы разработки пасеки при механизированной заготовке древесины по патенту № 2269251

**Figure 12.** Technological stages of apiary development for mechanized wood harvesting under patent No. 2269251

При работе на примыкающих к волоку лентах первой пасеки вальщик леса выполняет валку деревьев, обрезку сучьев и раскряжёвку. Ширину примыкающих к волоку лент рассчитывают таким образом, чтобы обеспечивалась возможность захвата гидроманипулятором любого сортамента, расположенного на ленте. Сортаменты, оказавшиеся после раскряжёвки на

волоке, смещаются на примыкающие к волоку ленты с целью обеспечения возможности проезда форвардера по волоку (показано стрелкой).

Затем начинается второй этап разработки пасеки. Вальщик леса переходит на следующую пасеку, а на предыдущей пасеке выполняется сбор и трелёвка сортиментов. Форвардер заезжает для набора пачки вглубь пасеки и при движении к погрузочному пункту собирает и укладывает сортименты в грузовую платформу. При этом осуществляется подсортировка сортиментов. Форвардер осуществляет сбор сортиментов, расположенных в зоне действия гидроманипулятора, и подтаскивает оставшиеся нераскряжёванными части хлыстов, полученные при обработке деревьев, поваленных на удалённых от волока лентах. Подтаскивание осуществляют таким образом, чтобы при отделении от хлыста следующего сортимента остающаяся нераскряжёванной часть хлыста находилась в зоне действия гидроманипулятора форвардера на длину, достаточную для её надёжного захвата.

На третьем этапе форвардер начинает работу на второй пасеке, а вальщик леса возвращается на первую пасеку и выполняет отделение от оставшихся на первой пасеке нераскряжёванных частей хлыстов следующих сортиментов.

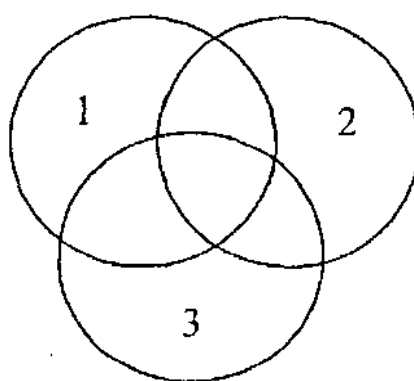
Затем начинается четвёртый этап — вальщик леса вновь переходит на вторую пасеку, а на первой выполняется сбор сортиментов и подтаскивание оставшихся нераскряжёванных частей хлыстов. Операции технологического процесса на двух смежных пасеках (пятый, шестой этапы) повторяются до тех пор, пока не будут обработаны все расположенные на них хлысты и стрелёваны на погрузочный пункт все заготовленные сортименты.

Таким образом, рассмотренный способ разработки лесосеки позволяет существенно увеличить ширину разрабатываемой пасеки (до 35...50 м), что всегда являлось проблемой при работе форвардера, ограниченного в работе длиной вылета гидроманипулятора. Кроме этого, уменьшено количество тяжёлого ручного труда, затрачиваемое вальщиками леса при окучивании сортиментов.

Третье направление повышения эффективности работы форвардера на лесосеке связано с выявлением внутренних резервов путём обоснования его оптимальных параметров и режимов работы. Успешное решение данного вопроса зависит от наличия математического аппарата для достоверного прогнозирования результата работы форвардера с учётом большого количества технико-технологических вариантов, индивидуальных особенностей операторов, широкого диапазона изменения природно-производственных условий на каждой разрабатываемой лесосеке. При этом особое значение в последнее время приобретает комплексная оценка функционирования техники с позиции энергоёмкости, экономического и лесоводственного результата, а также экологического ущерба, наносимого лесной среде. Исследования по решению данного вопроса на основе современных средств моделирования технологических процессов лесосечных работ, включая процессы трелёвки, проводились и осуществляются целым рядом учёных: А. С. Алексеев, В. И. Алябьев, В. Н. Андреев, Г. Н. Анисимов, Д. Н. Афоничев, В. А. Барановский, И. М. Бартенев, О. Н. Бурмистрова, И. Ф. Верхов, Ю. Ю. Герасимов, Э. Ф. Герц, И. В. Григорьев, А. Н. Заикин, И. К. Иевинь,

А. И. Иевлев, С. Келломяки, В. Г. Кочегаров, В. К. Курьянов, В. Ф. Кушляев, П. М. Мазуркин, В. А. Макуев, В. З. Матюшкин, В. Н. Меньшиков, В. М. Муратшин, Р. М. Некрасов, Е. М. Онучин, В. С. Петровский, Ф. В. Пошарников, В. Б. Прохоров, А. К. Редькин, П. Б. Рябухин, С. И. Сушков, В. С. Сютёв, А. С. Федоренчик, А. М. Хахина, Е. Г. Хитров, Я. И. Шестаков, Ю. А. Ширнин, С. Б. Якимович [2—5], [9—13], [20—25].

Например, в работе [6] предлагается оценку эффективности работы машин и оборудования на лесозаготовках выполнять по трём группам критериев — социальным, экологическим и экономическим. Графическая интерпретация предлагаемого подхода приведена на рисунке 13.



**Рисунок 13.** Комплексная экономическая (1), экологическая (2) и социальная (3) оценки эффективности функционирования техники на лесозаготовках

**Figure 13.** Comprehensive economic (1), environmental (2) and social (3) assessment of the effectiveness of equipment in logging operations

Любые технико-технологические решения в области лесопользования, удовлетворяющие всем трём группам критериев, в графическом виде представляют собой зону, общую для всех трёх окружностей. В идеальном случае при проведении заготовки древесины и лесовосстановлении полностью соответствующие всем трём группам критерии окружности должны совпасть.

Отклонение от параметров управления, обеспечивающих устойчивое состояние системы, может привести к ущербам (социальным, экологическим, экономическим). Эти возможные результаты управления называют рисками. Количественная мера риска может быть интерпретирована как математическое ожидание величины ущерба. Ущерб возможен при отклонении параметров функционирования системы от оптимальных. Степень отклонения параметров функционирования системы будет определять величину ущерба, определяемого как количество негативных социальных, экологических и экономических эффектов. Выбор стратегии эффективности управления обеспечивается: установлением нижнего допустимого и верхнего желаемого уровней безопасности с учётом экологических, социальных и экономических факторов; последовательным снижением уровней риска.

Особый интерес также представляют результаты работы [13], в которой приведены группы требований для оценки эффективности технологических процессов и технических средств для лесосечных работ. Первая группа содержит требования к лесозаготовительной технике, уровню механизации процесса; вторая группа — к технологическим площадям (их кривизна, а также доля относительно всей площади лесосеки, степень колееобразования); третья группа — к древостою, формируемому в процессе рубок ухода за лесом; четвёртая группа — к технологическому оснащению лесных машин в отношении изменчивости предмета труда и повреждаемости продукции; пятая группа — к степени повреждаемости всех основных элементов леса (посредством ограничений временного интервала между приёмами рубок, давления машин на почвогрунт); шестая группа — к сохранению биологического разнообразия лесной среды, эстетичности и устойчивости биосистем; седьмая группа — в отношении экономической целесообразности предлагаемых технико-технологических решений на лесосечных работах.

В ряде работ, например в публикации [2], уделено внимание необходимости учёта «человеческого фактора» при прогнозировании результата выполнения лесосечных работ.

#### 4. Обсуждение и заключение

В результате вышеприведённого анализа установлено:

— проблема повышения эффективности работы форвардера на основе комплексной оценки проектных решений при использовании современных средств и способов моделирования для оптимизации процессов на стадии технологического проектирования актуальна, требует глубоких теоретических и экспериментальных исследований, представляет большой научный и практический интерес;

— форвардер является достаточно дорогостоящим инструментом для современных лесозаготовок. От того, насколько качественно и оптимально настроен инструмент для определённых условий работы, настолько эффективными, вкуче с оптимальной работой оператора, будут показатели его работы. Неправильный выбор базовой машины или ненужная экономия на её дооснащении могут очень существенно снизить возможный экономический эффект от приобретения форвардера, а то и вовсе сделать его отрицательным.

#### Список литературы

1. *Абрамов В. В., Черных А. С., Бухтояров Л. Д.* Технология и машины лесосечных работ: Учебное пособие. Воронеж: ВГЛТУ, 2018. 132 с.
2. *Бондаренко А. В.* Совершенствование технологического процесса первичной транспортировки древесины в горных условиях лесозаготовок: Дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Воронеж, 2015. 201 с.
3. *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.
4. *Герасимов Ю. Ю., Сюнёв В. С.* Лесосечные машины для рубок ухода: компьютерная система принятия решений. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1998. 235 с.
5. *Герасимов Ю. Ю., Сюнёв В. С.* Экологическая оптимизация технологических процессов и машин для лесозаготовок. Йоэнсуу: Изд-во Университета Йоэнсуу, 1998. 178 с.



6. Герц Э. Ф. Теоретическое обоснование технологий рубок с сохранением лесной среды: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.01. Екатеринбург, 2005. 304 с.
7. Григорьев И. В., Чураков А. А. Совершенствование конструкции активного полуприцепа форвардера на базе сельскохозяйственного колёсного трактора // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. научно-технич. конф. / Отв. ред. Н. С. Захаров. Тюмень, 2018. С. 84—88.
8. 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.
9. Григорьев И. В., Жукова А. И., Григорьева О. И., Иванов А. В. Средооадающие технологии разработки лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации. СПб.: ЛТА, 2008. 174 с.
10. Куницкая О. А., Чернуцкий Н. А., Дербин М. В., Рудов С. Е., Григорьев И. В., Григорьева О. И. Машинная заготовка древесины по скандинавской технологии. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2019. 192 с.
11. Пошарников Ф. В., Абрамов В. В. Повышение эффективности трелёвки при проведении рубок ухода: Деп. рук. Воронеж: ВГЛТА, 2008. 26 с.
12. Пошарников Ф. В., Абрамов В. В. Трелёвка леса в малолесных районах России: Деп. рук. Воронеж: ВГЛТА, 2005. 63 с.
13. Сюнёв В. С. Обоснование выбора систем машин для рубок ухода: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.01. Воронеж, 2000. 397 с.
14. Черных А. С., Абрамов В. В., Бухтояров Л. Д. Технология и машины лесосечных работ: Лабораторный практикум. Воронеж: ВГЛТУ, 2018. 209 с.
15. Черных А. С., Абрамов В. В., Бухтояров Л. Д., Афоничев Д. Н. Технология и машины лесосечных работ: Справ. изд. Воронеж: ВГЛТУ, 2018. 138 с.
16. Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Питухин А. В., Галактионов О. Н. Производство лесосечных работ: технология и техника: Учебное пособие для студентов вузов лесоинженерного профиля. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2015. 367 с.
17. Ширнин Ю. А., Рукомойников К. П., Чемоданов А. Н., Царев Е. М., Войтко П. Ф. Новые технические и технологические решения лесопромышленных производств. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. 214 с.
18. Ширнин Ю. А., Рукомойников К. П., Рожцова Н. И., Ширнин А. Ю. Обоснование технологических параметров лесосек и режимов работы лесозаготовительных машин: Учебное пособие. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. 183 с.
19. Ширнин Ю. А., Рукомойников К. П., Онучин Е. М. Процессы комплексного освоения участков лесного фонда при малообъёмных лесозаготовках. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. 196 с.
20. Бурмистрова О. Н., Чемшикова Ю. М., Григорьев И. В., Куницкая О. А., Тамби А. А. Теоретическое обоснование параметров средооадающего движителя гусеничного вездехода // Системы. Методы. Технологии. 2019. № 2 (42). С. 81—88. DOI: 10.18324/2077-5415-2019-3-81-88.
21. Добрецов Р. Ю., Григорьев И. В., Рудов С. Е., Тетеревлева Е. В., Чемшикова Ю. М. Увеличение подвижности гусеничных и колёсных машин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2019. № 11. С. 4—10. DOI: 10.31044/1684-2561-2019-0-11-4-10.
22. 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.
23. Хахина А. М. Методы прогнозирования и повышения проходимости колёсных лесных машин: Дис. ... д-ра техн. наук. Архангельск: С(А)ФУ, 2018. 318 с.

24. *Бартенев И. М., Драпалюк М. В.* Снижение вредного воздействия лесных тракторов и лесосечных машин на почву и насаждения // Лесотехнический журнал. 2012. № 1 (5). С. 61—66.
25. *Рудов С. Е., Шапиро В. Я., Григорьев И. В., Куницкая О. А., Григорьева О. И.* Особенности контактного взаимодействия трелёвочной системы с мёрзлым почвогрунтом // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 1 (367). С. 106—119. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.106.
26. *Куницкая О. А., Чернуцкий Н. А., Дербин М. В., Рудов С. Е., Григорьев И. В., Григорьева О. И.* Машинная заготовка древесины по скандинавской технологии. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2019. 192 с.
27. *Патякин В. И., Григорьев И. В., Редькин А. К., Иванов В. А., Пошарников Ф. В., Шегельман И. Р., Ширнин Ю. А., Кацадзе В. А., Валяжонков В. Д., Бум Ю. А., Матросов А. В., Куницкая О. А.* Технология и машины лесосечных работ. СПб.: СПбГЛТУ, 2012. 362 с.

## References

1. *Abramov V. V., Chernykh A. S., Bukhtoyarov L. D.* Technology and machines of logging operations: textbook. Voronezh: VGLTU, 2018. 132 p. (In Russ.)
2. *Bondarenko A. V.* Improving the technological process of primary wood transportation in mountain logging conditions: Diss. ... Cand. tech. science: 05.21.01. Voronezh, 2015. 201 p. (In Russ.)
3. *Grigoriev I. V., Kunitskaya O. A., Rudov S. E., Davtyan A. B.* Ways to improve the efficiency of forest machines // Energy: economy, technology, ecology. 2020. № 1. Pp. 55—63. (In Russ.)
4. *Gerasimov Yu. Y., Syunev V. S.* Log cutting machines for cutting care: computer decision-making system. Petrozavodsk: PetrSU, 1998. 235 p. (In Russ.)
5. *Gerasimov Yu. Y., Syunev V. S.* Environmental optimization of technological processes and machines for logging. Joensuu: University Press, 1998. 178 p.
6. *Hertz E. F.* Theoretical justification of logging technologies with the preservation of the forest environment: Diss. ... Doct. Techn. science: 05.21.01. Yekaterinburg, 2005. 304 p. (In Russ.)
7. *Grigoriev I. V., Churakov A. A.* Improvement of the design of an active semi-trailer forwarder on the basis of an agricultural wheel tractor // Transport and transport-technological systems Materials of the International scientific and technical conference, Ed. N. S. Zakharov. Tyumen, 2018. Pp. 84—88. (In Russ.)
8. *Grigorev I. V.* Parameters and performance indicators of a promising forwarder for low-volume logging // Current research directions of the XXI century: theory and practice. 2018. Vol. 6. № 4 (40). Pp. 21—25. (In Russ.)
9. *Grigoriev I. V., Zhukova A. I., Grigorieva O. I., Ivanov A. V.* Environmentally friendly technology logging in the conditions of the North-Western region of the Russian Federation. Saint Petersburg: LTA, 2008. 174 p. (In Russ.)
10. *Kunitskaya O. A., Chernetsky N. A., Derbin M. V., Rudov S. E., Grigoriev I. V., Grigorieva O. I.* Machine harvesting of wood using Scandinavian technology. Saint Petersburg: Publishing and printing Association of higher educational institutions, 2019. 192 p. (In Russ.)
11. *Posharnikov F. V., Abramov V. V.* Improving the efficiency of skidding during logging: deposited manuscript. Voronezh: VGLTA, 2008. 26 p. (In Russ.)
12. *Posharnikov F. V., Abramov V. V.* Skidding forests in low-forest areas of Russia: Deposited manuscript. Voronezh: VGLTA, 2005. 63 p. (In Russ.)
13. *Syunev V. S.* Substantiation of the choice of machine systems for cutting care: Diss. ... Doct. Techn. science: 05.21.01. Voronezh, 2000. 397 p. (In Russ.)

14. *Chernykh A. S., Abramov V. V., Bukhtoyarov L. D.* Technology and machines of logging works: laboratory practice. Voronezh: VGLTU, 2018. 209 p. (In Russ.)
15. *Chernykh A. S., Abramov V. V., Bukhtoyarov L. D., Afonichev D. N.* Technology and machines of logging works: reference edition. Voronezh: VGLTU, 2018. 138 p. (In Russ.)
16. *Shegelman I. R., Skrypnik V. I., Pitukhin A. V., Galaktionov O. N.* Production of logging works: technology and technique: textbook for students of higher education institutions of forest engineering profile. Petrozavodsk: PetrSU publishing House, 2015. 367 p. (In Russ.)
17. *Shirnin Yu. A., Rukomoynikov K. P., Suitcases A. N., Tsarev E. M., Voitko P. F.* New technical and technological solutions for timber production. Yoshkar-Ola: Margtu, 2008. 214 p. (In Russ.)
18. *Shirnin Yu. A., Rukomoynikov K. P., Rozhentsova N. I., Shirnin A. Yu.* Justification of technological parameters of logging sites and modes of operation of logging machines: Textbook. Yoshkar-Ola: Margtu, 2009. 183 p. (In Russ.)
19. *Shirnin Yu. A., Rukomoynikov K. P., Onuchin E. M.* Processes of complex development of forest Fund plots at low-volume logging. Yoshkar-Ola: Margtu, 2005. 196 p.
20. *Burmistrova O. N., Chernikova Yu. M., Grigoriev I. V., Kunitskaya O. A., Tambi A. A.* Theoretical justification of parameters of the medium-sparing engine of a tracked all-terrain vehicle // Systems. Methods. Technologies. 2019. No. 2 (42). Pp. 81—88. (In Russ.) DOI: 10.18324/2077-5415-2019-3-81-88.
21. *Dobretsov R. Yu., Grigoriev I. V., Rudov S. E., Teterevleva E. V., Chemshikova Yu. M.* Increasing the mobility of tracked and wheeled vehicles // Repair. Recovery. Modernization. 2019. No. 11. Pp. 4—10. (In Russ.) DOI: 10.31044/1684-2561-2019-0-11-4-10.
22. *Grigoriev I. V., Rudov S. E.* Features of operation of wheeled forest machines in complex soil-ground and relief conditions // Forest Engineering materials of a scientific and practical conference with international participation. Yakutsk, 2018. Pp. 67—71. (In Russ.)
23. *Hahina A. M.* Methods of forecasting and increasing the cross-country ability of wheeled forest vehicles: Diss. ... Doct. Techn. Sciences. Arkhangelsk: (A)FU, 2018. 318 p. (In Russ.)
24. *Bartenev I. M., Drapalyuk M. V.* Reducing the harmful impact of forest tractors and cutting machines on the soil and plantings // Forest Engineering journal. 2012. No. 1 (5). Pp. 61—66. (In Russ.)
25. *Rudov S. E., Shapiro V. Ya., Grigorev I. V., Kunitskaya O. A., Grigoreva O. I.* Features of contact interaction of the skidding system with frozen soil // News of higher educational institutions. Forest magazine. 2019. No. 1 (367). Pp. 106—119. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.106. (In Russ.)
26. *Kunitskaya O. A., Chernutsky N. A., Derbin M. V., Rudov S. E., Grigorev I. V., Grigoreva O. I.* Machine harvesting of wood using Scandinavian technology. Saint Petersburg. Publishing and printing Association of higher educational institutions, 2019. 192 p. (In Russ.)
27. *Patyakin V. I., Grigorev I. V., Red'kin A. K., Ivanov V. A., Posharnikov F. V., Shegel'man I. R., Shirnin Yu. A., Kacadze V. A., Valyazhonkov V. D., Bit Yu. A., Matrosov A. V., Kunitskaya O. A.* Technology and machines for logging operations. Saint Petersburg: SPb FTU, 2012. 362 p. (In Russ.)