

УДК 630\*375

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЙ  
НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРАКТОРНОЙ ТРЕЛЕВКИ****Куницкая Ольга Анатольевна**

доктор технических наук, профессор

Арктический государственный агротехнологический университет

г. Якутск, Россия

e-mail: ola.ola07@mail.ru

**Петров Алексей Вячеславович**

магистрант

Арктический государственный агротехнологический университет

г. Якутск, Россия

e-mail: 9235565@gmail.com

**Кривошеев Андрей Александрович**

аспирант

Ухтинский государственный агротехнологический университет

г. Ухта, Россия

e-mail: ugtukrivosheev@mail.ru

**Швецов Александр Сергеевич**

начальник учебной лаборатории 2 кафедры боевого применения авиационного  
вооружения, Филиал Военного учебно-научного центра военно-воздушных сил «Военно-  
воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» в г. Сызрань  
г. Сызрань, Россия

e-mail: Kapitan2304@yandex.ru

**Дмитриев Александр Сергеевич**

инженер авторского надзора АО «Гипростроймост-Санкт-Петербург»

г. Санкт-Петербург, Россия

e-mail: [dmitriev.nauka@mail.ru](mailto:dmitriev.nauka@mail.ru)**Михайлова Люция Михайловна**

старший преподаватель

Арктический государственный агротехнологический университет

г. Якутск, Россия

e-mail: lyutsiya.losotova@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены понятие трелевки, виды и способы трелевки. Помимо специализированных трелевочных тракторов (чокерных, бесчокерных, с пачковым захватом, форвардеров) представлены современные одномашинные комплексы для заготовки древесины по Канадской и по Скандинавской технологиям лесосечных работ. Выполнен теоретический анализ производительности тракторной трелевки, а именно: дана оценка влияния среднего расстояния трелевки и почвенно-грунтовых условий; дана оценка влияния вида рубки и таксационных характеристик древостоя; дана оценка влияния почвенно-грунтовых и рельефных условий; дана оценка влияния квалификации и условий работы оператора. На основании анализа литературных источников и производственного опыта в области лесосечных работ обоснована целесообразность изменения режима работы операторов, а также использования специальных пакетов прикладных программ, позволяющих в режиме реального времени оценивать эффективность работы трелевочного трактора и его техническое состояние. Показано влияние категории почвенно-грунтовых условий и наличия на лесосеке неэксплуатационных площадей на среднее расстояние трелевки, при прочих равных условиях. Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

**Ключевые слова:** лесосечные работы, трелевка, трелевочные тракторы, производительность, природно-производственные условия лесосечных работ.

## **ANALYSIS OF THE IMPACT OF NATURAL AND INDUSTRIAL CONDITIONS ON THE PERFORMANCE OF TRACTOR SKIDDING**

**Olga A. Kunitskaya**

Doctor of Technical Sciences, Professor  
Arctic State Agrotechnological University  
Yakutsk, Russia  
e-mail: ola.ola07@mail.ru

**Alexey V. Petrov**

Graduate student  
Arctic State Agrotechnological University  
Yakutsk, Russia  
e-mail: 9235565@gmail.com

**Andrey A. Krivosheev**

Postgraduate student  
Ukhta State Agrotechnological University, Ukhta, Russia  
e-mail: ugtukrivosheev@mail.ru

**Shvetsov Alexander Sergeevich**

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

Syzran, Russia

e-mail: Kapitan2304@yandex.ru

**Dmitriev Alexander Sergeevich**

Engineer of author supervision

JSC "Giprostroy-most-St. Petersburg"

St. Petersburg, Russia

e-mail: dmitriev.nauka@mail.ru

**Mikhailova Lyutsiya Mikhailovna**

Senior Lecturer

Arctic State Agrotechnological University

Yakutsk, Russia

e-mail: lyutsiya.losotova@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the skidding concept, types and methods. In addition to specialized skidding tractors (cable skidder, grapple skidder, with a pack grip, and forwarders), modern single-machine complexes for harvesting wood according to Canadian and Scandinavian cutting technologies are presented. A theoretical analysis of tractor skidding performance is carried out, namely: the influence of the average skidding distance and soil conditions is estimated; an assessment of the impact of the type of logging and the taxation characteristics of the stand is given; the influence of soil and terrain conditions is estimated; the impact of the operator's qualifications and working conditions is evaluated. Based on the analysis of literature sources and production experience in the field of logging operations, the expediency of changing the operating mode of operators, as well as the use of special application software packages that allow real-time evaluation of the efficiency of the skidding tractor and its technical condition is justified. The influence of the category of soil conditions and the presence of non-operational areas in the cutting area on the average skidding distance, other conditions being equal, is shown. The work was carried out within the framework of the scientific school "Innovative developments in the field of logging industry and forestry" of the Arctic State Agrotechnological University. The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

**Keywords:** logging operations, skidding, skidding tractors, productivity, natural production conditions of logging operations.

## Введение

Помимо того, что трелевка является самой энергоемкой, затратной, и экологически вредной технологической операцией лесосечных работ, она также является наименее производительной операцией [1].

Именно поэтому на трелевку приходится большая часть комплексной нормы времени, которая показывает, за какой период один кубометр заготовленной древесины пройдет всю технологическую цепочку бригады [2].

В настоящее время в Российской Федерации и в мире преобладает машинная скандинавская технология заготовки древесины, которая, в подавляющем большинстве случаев, предусматривает использование двухмашинного комплекса, включающего харвестер (валочно-сучкорезно-раскряжевочную машину) и форвардер (сортиментоподборщик) [3].

При таком варианте системы машин для лесосечных работ собственно производство сортиментов на пасеке (валка – обрезка сучьев - раскряжевка) занимают от 15 до 25% всей комплексной нормы времени. Остальные 85-75% занимают сбор сортиментов на пасеках, укладка в коники форвардера (с одновременной подсортировкой по породам, размерам, качеству, и назначению), перемещение в полностью погруженном положении к погрузочному пункту, и укладка сортиментов в соответствующие группам сортировки штабели [4].

При использовании одномашинных комплексов для скандинавской технологии заготовки древесины (харвардеров, форвестеров) процентное соотношение обрабатывающих и транспортных (переместительных) операций остается, примерно, таким же. Только у харвардера процент времени на выполнение обрабатывающих операций будет несколько больше, поскольку у этой машины получаемые при раскряжке сортименты сразу укладываются в коники, что исключает операцию сбора сортиментов с почвогрунта на пасеке, в отличие от форвардера или форвестера.

Лесозаготовительные машины, выполняющие только обрабатывающие операции – харвестеры, валочно-пакетирующие машины, валочные машины, и т.д., обычно работают без холостых ходов. Исключение составляют, в основном, несколько схем разработки лесосек валочно-пакетирующими машинами [5].

Трелевочные тракторы и лесозаготовительные машины, выполняющие и обрабатывающие транспортные операции, например, валочно-трелевочные, валочно-трелевочно-процессорные, харвардеры, вынуждены выполнять и рабочие и холостые рейсы, затрачивая, таким образом, немалую долю рабочего времени на сбор и штабелевку заготовленных лесоматериалов [6].

Из трелевочных тракторов на сбор и штабелевку лесоматериалов меньше всего времени затрачивают скиддеры (тракторы с пачковым захватом), используемые при канадском варианте лесосечных работ. Форвардеры и чокерные треле-

вочные тракторы на эти операции затрачивают намного больший процент рабочего времени, что существенно снижает их производительность [7].

Исходя из того, что на лесосечных работах принята сдельно-премиальная система оплаты труда, именно технологическая операция трелевки, в подавляющем большинстве случаев, лимитирует производительность комплексных лесозаготовительных бригад, и, соответственно, размер заработной платы членов этих бригад [8].

На производительность тракторной трелевки влияет комплекс природно-производственных условий, основными из которых являются:

- Среднее расстояние трелевки;
- Категория почвенно-грунтовых условий;
- Средний объем хлыста;
- Вид рубки;
- Схема разработки лесосеки;
- Наличие на лесосеке неэксплуатационных площадей;
- Технические характеристики трелевочного трактора;
- Квалификация оператора.

Влияние перечисленных факторов может быть как дискретным, так и комплексным. Каждый фактор имеет множество взаимно усиливающих, или взаимно смягчающих обстоятельств. Все они взаимосвязаны, в различной степени.

#### **Материалы и методы исследования**

Материалы данной статьи получены путем анализа литературных источников и производственного опыта в области лесосечных работ.

#### **Результаты**

Из теории лесосечных работ известно, что трелевка делится на виды и способы. Вид трелевки зависит от вида применяемого для выполнения этой технологической операции оборудования. Выделяют следующие виды трелевки: гужевую, тракторную, канатную, и воздушную [9]. Все виды трелевки, кроме тракторной, являются достаточно экзотическими, точнее, мало распространенными. Они используются только в сложных для лесосечных работ условиях. Можно с уверенностью утверждать, что на тракторную трелевку приходится более 90% всей заготавливаемой древесины в мире, а в России – практически 100%.

Способы трелевки различают в зависимости от способа крепления лесоматериалов во время трелевки. Для промышленных лесозаготовок, с использованием трелевочных тракторов, используют 3 способа трелевки: в полупогруженном, полуподвешенном и в полностью погруженном положении [10].

Собственно трелевочные тракторы принято различать по виду движителя, составу технологического оборудования и классу тяги, который тесно увязан с мощностью двигателя [11].

На производительность тракторной трелевки влияют очевидные, и не вполне очевидные природно-производственные факторы. К наиболее очевидным относится среднее расстояние трелевки: очевидно, что для любой транспортной операции, чем дальше расстояние перемещения, тем меньше производительность, при прочих равных условиях. Следующим вполне очевидным фактором является категория почвенно-грунтовых условий: также очевидно, что чем тяжелее выполнять перемещение груза – тем меньше производительность любой переместительной операции, при прочих равных условиях [12].

При этом есть тесная взаимосвязь между средним расстоянием трелевки и почвенно-грунтовыми условиями: чем хуже почвенно-грунтовые условия – тем больше среднее расстояние трелевки, при прочих равных условиях.

Действительно, при хороших почвенно-грунтовых условиях, при неглубоком снеге в подавляющем большинстве случаев используют параллельную схему расположения трелевочных волоков (при работе форвардера – параллельную замкнутую). При плохих почвенно-грунтовых условиях приходится использовать радиальную схему – для снижения удельной грузовой работы, приходящейся на единицу протяжённости сети трелевочных волоков. В результате использования разных схем транспортного освоения, на одной и той же лесосеке, при одном и том же месте размещения верхнего склада (погрузочного пункта) среднее расстояние трелевки будет разным. То же можно сказать и про случай, когда на лесосеке располагаются неэксплуатационные площади. В этом случае популярную параллельную схему размещения трелевочных волоков приходится заменять на диагональную, что также увеличивает среднее расстояние трелевки.

Колёсные и гусеничные тракторы имеют разные эксплуатационные скорости, что существенно сказывается на разнице в их производительности. Но они также имеют разное удельное давление на опорную поверхность, а, следовательно, и разную проходимость в разных почвенно-грунтовых условиях [13].

При хорошей несущей способности почвогрунтов и неглубоком снеге, производительность колёсных тракторов, при прочих равных условиях, будет значительно больше, чем гусеничных.

Но достаточно почвенно-грунтовыми условиям ухудшится, или выпадет глубокому снегу, что для отечественных природных условий лесозаготовок совсем не редкость, а даже скорее правило, и производительность гусеничных тракторов начинает догонять и обгонять производительность колёсных. Конечно, для трудных условий колёсные тракторы можно оснастить моногусеницами или у ряда конструкций перевести на полугусеничный ход. Но в результате это

практически сравнивает их скорости с гусеничными машинами, а значит, сравнивает и производительность, конечно, при прочих равных условиях [14].

Безусловно, чем больше мощность и грузоподъемность трелевочных тракторов, тем больше будет их производительность, при прочих равных условиях. Отметим, что в России пользуются наибольшей популярностью наиболее мощные и грузоподъемные модели трелевочных тракторов, именно потому, что они показывают наибольшую производительность, особенно при значительных расстояниях трелевки [15].

Одним из наименее очевидных природно-производственных факторов, влияющих на производительность тракторной трелевки, является средний объем хлыста и средний размер трелеваемых сортиментов (при скандинавской технологии лесосечных работ).

Из теории лесозаготовительного производства хорошо известно, что чем больше средний объем хлыста, тем больше производительность на обрабатываемых (рабочих) или смешанных технологических операциях. Для исключительно транспортной операции трелевки эта зависимость не столь очевидна. При этом она есть, и опытные лесозаготовители её учитывают. И дело даже не в том, что для сбора полновесной (оптимальной для данных условий) пачки хлыстов или сортиментов на «мелком» лесе времени потребуются больше, чем на крупном, это ещё вполне очевидно. Дело в том, что при «мелком» лесе коэффициент полндревесности трелеваемой пачки будет меньше, особенно у форвардера [16], ввиду хорошо известного из теории складского учёта коэффициента прикола – уменьшения коэффициента полндревесности при измельчении лесоматериалов.

Трелевка – это перемещение заготовленной на пасаках древесины к месту ее погрузки на лесовозный транспорт. Заготовленная на пасаках древесина может трелеваться в виде деревьев, хлыстов, полухлыстов, сортиментов, щепы.

Трелевка может осуществляться при помощи тяговой силы животных (гужевая трелевка), специализированных тракторов, иногда тракторов общего назначения (тракторная трелевка), при помощи специальных канатных установок (канатная трелевка), летательных аппаратов (воздушная трелевка): летательных аппаратов легче воздуха (аэростатная трелевка) или тяжелее воздуха (вертолетная трелевка). На рисунках 1-4 проиллюстрированы основные перечисленные варианты трелевки.

Канатная и воздушная трелевка применяются в условиях горных лесосек.



**Рис. 1.** Гужевая трелевка



**Рис. 2.** Тракторная трелевка



**Рис. 3.** Канатная трелевка

Гужевая трелевка практически не используется в нашей стране, во всяком случае, на лесозаготовительных предприятиях. Для нее нужны специальные породы лошадей – тяжеловозов, которых практически нет. Кроме того, лошадь нельзя «поставить в гараж», и законсервировать до следующего сезона. Иногда лошадей используют для трелевки в садах и парках, например, в Москве, но крайне редко.

Отметим, что различные технические средства и технологические схемы канатной трелевки активно разрабатывались и использовались в СССР, но в настоящее время на территории нашей страны нет ни одной действующей канатной трелевочной установки [17].

Вертолетная трелевка является очень затратной и не используется в нашей стране в настоящее время.

Различные технические средства и технологические схемы аэростатной трелевки активно разрабатываются в настоящее время в Тихоокеанском государственном университете (ТОГУ) – в Хабаровске, известны положительные результаты их испытаний. Но об их практическом применении до сих пор ничего не известно.

В зависимости от способа крепления лесоматериалов во время трелевки выделяют трелевку в непогруженном положении (полностью волоком), в полупогруженном положении (рисунок 1), полуподвешенном положении (рисунки 2 и 3), полностью подвешенном положении (рисунок 4).



**Рис. 4.** Вертолетная трелевка

При трелевке деревьев и хлыстов различают трелевку за комли (рисунок 2) и трелевку за вершины. Но деревья за вершины практически никогда не трелюют, поскольку крона не дает качественно захватить пачку.

Как было отмечено выше, гужевая, канатная, вертолетная, аэростатная трелевки не имеют распространения и практического применения в Российской Федерации. В силу общего спада спроса на древесину, соответственного падения цен на нее, разрабатывать труднодоступные лесосеки – заболоченные, на сильно пересеченном рельефе, становится совершенно не выгодным для лесозаготовительных предприятий. В этой связи, в настоящее время, на территории нашей страны практическое применение имеет только тракторная трелевка.

Трелевочные тракторы принято подразделять, прежде всего, по виду движителя и по составу технологического оборудования. По виду движителя трелевочные тракторы подразделяют на колесные и гусеничные (рисунки 5 и 6).

По составу технологического оборудования, от которого зависит способ крепления лесоматериалов при трелевке, выделяют:

Чокерные тракторы (рисунок 5), которые оснащены лебедкой с собирающим канатом и комплектом чокеров (рисунок 7), для крепления хлыстов или деревьев к собирающему канату, а также щитом, на который затаскивается комлевая или вершинная часть трелеваемой пачки лесоматериалов. Перед кабиной у многих тракторов навешивается толкатель, напоминающий бульдозерный отвал, но его задача – работа со штабелями лесоматериалов на верхнем складе или погрузочном пункте [18].



**Рис. 5.** Гусеничный трелевочный трактор (чокерный)



**Рис.6.** Колесный трелевочный трактор (с пачковым захватом (скиддер))

Чокерные трелевочные тракторы – это самый первый вид лесопромышленных тракторов в мире. Они были разработаны в СССР группой ученых и специалистов под руководством С.Ф. Орлова, лауреата Сталинской премии.



**Рис. 7.** Комплект чокеров на щите чокерного трелевочного трактора

Достоинством чокерных трелевочных тракторов является минимальная стоимость и масса технологического оборудования, соответственно, максимальный коэффициент тары. Кроме этого, за счет длины собирающего каната, которая составляет 50-55 м, они могут, если завязнут на сложном участке волока, сбросить пачку (не отцепляя ее), выбраться на хороший участок (в пределах длины собирающего каната), а затем вновь подтянуть ее к себе. Другие виды трелевочных тракторов такой возможности не имеют [19].

Основным недостатком чокерных трелевочных тракторов является необходимость наличия двух человек на один трактор – оператора (машиниста) и чокеровщика, которого в редких случаях может заменять вальщик леса. Работа чокеровщика является тяжелым физическим трудом, к тому же низкоквалифицированным, значит и малооплачиваемым. Кроме этого, процесс обвязывания стволов в формируемой пачке чокерами, и крепления их к собирающему канату очень долгий, а значит – малопроизводительный.

Для уменьшения трудоемкости (снижения доли тяжелого ручного труда) на лесосечных работах, под руководством уже упомянутого С.Ф. Орлова, были разработаны бесчокерные тракторы (рисунок 8).

Как видно из рисунка 8, бесчокерный трелевочный трактор оснащен двухстреловым гидроманипулятором и кониковым зажимом.

С бесчокерным трелевочным трактором работает один человек – оператор. При помощи гидроманипулятора он собирает хлысты (деревья) и укладывает их в раскрытый кониковый зажим. После сбора всех хлыстов (деревьев) с одной технологической стоянки кониковый зажим закрывается, и трактор перемещается к следующей технологической стоянке, двигаясь в сторону верхнего склада (погрузочного пункта), после чего процесс сбора повторяется. Собрав полную пачку, трактор движется к площадке у лесовозной дороги.



**Рис. 8.** Бесчокерный трелевочный трактор ТБ-1

Безусловным достоинством бесчокерного трактора является отсутствие необходимости в тяжелом труде чокеровщика. С другой стороны, его технологическое оборудование намного дороже и тяжелее, чем у чокерного, а значит меньше его коэффициент тары [20].

В СССР и первое постсоветское десятилетие бесчокерные трелевочные траткоры выпускались на базе гусеничных шасси тракторов Онежского (ТДТ-55) и Алтайского (ТТ-4) тракторных заводов. В настоящее время они не выпускаются, и не используются на лесозаготовительных предприятиях.

И чокерные и бесчокерные тракторы, в основном, предназначены для работы после вальщиков леса (при механизированной заготовке древесины). Доля механизированной заготовки постоянно снижается в России. И если чокерные трелевочные тракторы еще встречаются на мелких лесозаготовительных предприятиях, то бесчокерные уже нет.

Но даже и на мелких лесозаготовительных предприятиях чокерные трелевочные тракторы встречаются все реже и реже, поскольку выпускавших их заводов – Онежского и Алтайского тракторных уже не существует, соответственно, крайне сложно найти для них необходимые запасные части. Поэтому на мелких лесозаготовительных предприятиях все чаще используются тракторы общего назначения или сельскохозяйственные тракторы, оснащенные либо набором чокерного оборудования, либо небольшим грейферным захватом (бревнозахватом (рисунок 2)) [21].

В настоящее время в Российской Федерации доминирует машинная сортиментная заготовка древесины, которая подразделяется на:

- канадскую, предусматривающую использование следующей системы машин: валочно-пакетирующая машина (ВПМ), скиддер (рисунок 6) и самоходная сучкорезно-раскряжевочная машина (процессор);
- скандинавскую, предусматривающую использование следующей системы машин: валочно-сучкорезно-раскряжевочная машина (харвестер), сортиментоподборщик (форвардер (рисунок 9)) [22].

Скиддер выполняет трелевку в полуподвешенном положении, а форвардер – в полностью погруженном.

На скандинавскую технологию заготовки древесины в России и в мире приходится более 80% всего заготавливаемого объема. Поэтому наиболее актуальным вопросом на современном этапе развития лесосечных работ является именно производительность форвардеров.

Помимо классических многомашинных комплексов для заготовки древесины и канадская и скандинавская технологии лесосечных работ могут осуществляться и при помощи одномашинных комплексов. Канадская технология – при помощи валочно-трелевочно-процессорной машины (ВТПМ (рисунок 10)), скандинавская технология – при помощи валочно-сучкорезно-раскряжевочно-трелевочных машин, которые подразделяются на харвардеры (рисунок 11) и форвестеры (рисунок 12).

Перечисленные одномашинные комплексы выполняют как обрабатывающие (рабочие и смешанные), так и переместительные технологические операции [23].



**Рис. 9.** Форвардер



**Рис.10.** ВТПМ Konrad

ВТПМ очень близка к бесчокерному трелевочному трактору, даже точнее к валочно-трелевочной машине (ВТМ), которые производились в СССР, например, под марками ЛП-17 и ЛП-49 (рисунок 13). Они выполняли валку деревьев при помощи установленного на гидроманипуляторе захватно-срезающего устройства

(ЗСУ) и укладывали их комлями вперед в кониковый зажим, аналогичный бесчоркерному трелевочному трактору. Собрав полновесную пачку, трелевали ее на верхний склад.



**Рис.11.** Харвардер Konrad

ВТПМ принципиально отличается от ВТМ только тем, что вместо ЗСУ у нее на гидроманипуляторе установлена харвестерная головка. Это позволяет ей обработать стрелеванную пачку у лесовозной дороги и получить сортименты (выполнить обрезку сучьев и раскряжевку).

Харвардер отличается от форвестра принципиально тем, что харвардер выполняет на пасеке валку деревьев, обрезку сучьев и раскряжевку непосредственно в тележку для сортиментов (рисунок 11) и, собрав полновесную пачку, трелюет ее на погрузочный пункт, т.е. харвардер является и харвестером, и форвардером одновременно.

Форвестер (рисунок 12), прибыв на лесосеку, демонтирует грейферный захват и тележку для сортиментов, монтирует харвестерную головку, и, двигаясь по пасекам, заготавливает сортименты. Подготовив определенный фронт работ, перемещается на погрузочный пункт, демонтирует харвестерную головку, монтирует грейферный захват и тележку для сортиментов, и едет на пасеки собирать ранее заготовленные сортименты, т.е. форвестер является харвестером и форвардером попеременно [24].



**Рис.12.** Форвестер Ponsse Buffalo Dual

Конечно, все одномашинные комплексы имеют худшие показатели производительности, по сравнению со специализированными трелевочными машинами, и худшие по удельной энергоёмкости, поскольку вынуждены все время возить с собой достаточно тяжелое лесозаготовительное оборудование (харвестерную головку), не считая форвестера.



**Рис. 13.** ВТМ

Одномашинные комплексы, в настоящее время, крайне мало распространены на лесозаготовительных предприятиях нашей страны.

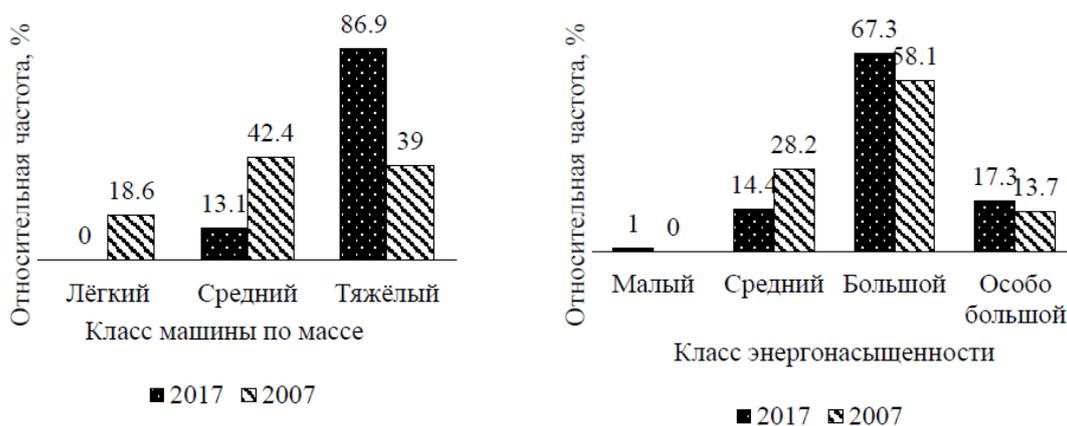
Зато все чаще, особенно на мелких лесозаготовительных предприятиях, встречаются тракторы на полугусеничном ходу (не с гусеницами, одетыми на колеса для лучшей проходимости, как на рисунке 9, а именно со смешанным двигателем – спереди колесным, сзади гусеничным – рисунок 14) [25].



**Рис.14.** Форвардер на базе трактора на полугусеничном ходу

Для погрузки заготовленных сортиментов (или хлыстов) на автолесовозы во всех системах машин возможно использовать или специальные погрузчики (в настоящее время используют в основном манипуляторные), или метод самопогрузки (самопогружающиеся автолесовозы).

Помимо вида двигателя и состава технологического оборудования, трелевочные тракторы подразделяют по массе, классу тяги, установленной мощности двигателя, и, как функции перечисленных показателей, по энергонасыщенности (рисунок 15).



Распределение лесных машин по классам массы

Распределение лесных машин по классам энергонасыщенности

**Рис.15.** Распределение трелевочных тракторов по классам массы и энергонасыщенности [26]

Безусловно, масса и мощность трелевочного трактора напрямую влияют на его грузоподъемность – максимальный объем трелеваемой пачки, при прочих равных условиях. На трелевке могут использоваться как тракторы 0,6 класса тяги (рисунок 16), так и класса тяги 8 (рисунок 17).

Как уже было отмечено, отечественные лесозаготовительные компании отдают предпочтение тяжелым, энергонасыщенным трелевочным тракторам. В условиях доминирующих в России сплошных рубок спелых и перестойных насаждений (ранее называемых рубками главного пользования лесом) и больших расстояний трелевки, эти тракторы показывают наибольшую производительность при наименьшем удельном расходе топлива.



**Рис.16.** Использование легкого колесного вездехода (класса тяги 0,6) для трелевки сортиментов в полностью погруженном положении



Рис.17. Колесный форвардер класса тяги 8

Часовая производительность трелевочного трактора определяется по формуле [9]:

$$P_{ч} = \frac{3600QV_{П}}{t_{рх} + t_{хх} + t_{форм} + t_{разг} + t_{шт}}$$

где  $V_{П}$  – объем трелеваемой пачки;  $t_{рх}$ ,  $t_{хх}$ ,  $t_{форм}$ ,  $t_{разг}$ ,  $t_{шт}$  – время соответственно рабочего хода, холостого хода, формирования пачки, разгрузки пачки, формирования штабеля.

Время, затрачиваемое на формирование пачки, разгрузку пачки, формирование штабеля, достаточно сильно варьируется в зависимости от технологического оборудования трактора, грузоподъемности, квалификации оператора, вида рубки [27].

Объем собираемой за один рейс пачки также зависит от технологического оборудования трактора, грузоподъемности, квалификации оператора, вида рубки.

Время рабочего и холостого ходов определяется по формуле [9]:

$$t_{рх} = \frac{L_{ср}}{v_{рх}}, \quad t_{хх} = \frac{L_{ср}}{v_{хх}}$$

где  $v_{рх}$ ,  $v_{хх}$  – скорость рабочего и холостого ходов трактора, м/с;  $L_{ср}$  – среднее расстояние трелевки, м.

Скорость рабочего и холостого хода трелевочного трактора зависит от мощности двигателя, почвенно-грунтовых и рельефных условий, также квалификации оператора. Среднее расстояние трелевки зависит от размеров и конфигурации лесосеки, схемы размещения сети трелевочных волоков, места размещения верхнего склада (погрузочного пункта).

Сменная производительность ( $P_{см}$ ) тракторной трелевки определяется по формуле [9]:

$$P_{см} = P_{ч}(T_{см} - t_{пз})f_1,$$

где  $P_{ч}$  – часовая производительность трелевочного трактора, м<sup>3</sup>/ч;  $T_{см}$  – продолжительность смены, ч;  $t_{пз}$  – время на подготовительно-заключительные операции, ч;  $f_1$  – коэффициент использования времени смены.

Продолжительность смены, как показывает практика, может варьироваться в достаточно широком диапазоне. Это зависит, прежде всего, от организации работы лесозаготовительной бригады. На средних и крупных лесопромышленных предприятиях, оснащенных современными машинными комплексами для лесосечных работ, лесозаготовительные бригады работают, что называется 24/7, не считая периодов весенней и осенней распутицы, а также времени на перебазировку бригад с лесосеки на лесосеку. В таких условиях смена оператора обычно длится 11 часов [28].

Время на подготовительно-заключительные операции, обычно, варьируется в небольшом диапазоне, поскольку оно отводится на стандартные процедуры ежесменного обслуживания трактора (очистка от грязи, заправка, смазка, проверка соединений), прогрев двигателя в холодное время года, и т.д.

Коэффициент использования времени смены (часто называемый «коэффициент использования рабочего времени») также может варьироваться в очень широких пределах. С одной стороны, он зависит от степени «везения» - погодных условий, поскольку в сильный дождь, сильный туман, сильный ветер и снегопад, согласно требованиям техники безопасности, лесосечные работы должны быть остановлены. Кроме того, что весьма актуально, например, для природно-производственных условий Республики Саха (Якутия), при сильном морозе (более -40°С) возникает эффект морозного охрупчивания металла. В этих условиях эксплуатация машин запрещена [29]. Очевидно, что повлиять на погодные условия человек не в состоянии. С другой стороны, коэффициент использования рабочего времени зависит от качества организации лесозаготовительного процесса (качества проведения вспомогательных работ и планирования), например, коэффициента технической готовности машин, своевременности доставки топлива, других расходных материалов. Даже качество бытового обслуживания рабочих имеет значение: известен случай, когда в Хабаровском крае некачественной пищей отравилась целая бригада лесозаготовителей (обе смены вахты), процесс лесозаготовок был сорван на два дня, ввиду отсутствия необходимых лекарственных средств у бригады.

С учетом того, что трелевка является переместительной технологической операцией лесосечных работ, именно дальность перемещения является во многом определяющей для производительности этой операции.

Поскольку при трелевке производится сбор и перемещение к лесовозной дороге более-менее равномерно распределенного по площади лесосеки запаса древесины, в теории лесосечных работ принято оперировать понятием «среднее расстояние трелевки», которое, прежде всего, зависит от размеров и конфигурации лесосеки, а также схемы размещения сети трелевочных волоков и расположения верхнего склада (погрузочного пункта).

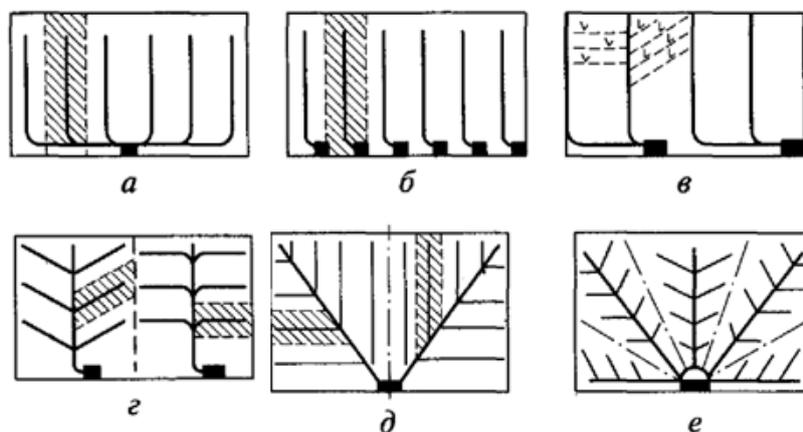
Очевидно, что среднее расстояние трелевки обратно пропорционально влияет на производительность операции трелевки.

Считая, что эксплуатационный запас древесины распределен по площади лесосеки равномерно, среднее расстояние трелевки принято рассчитывать по формуле [9]:

$$L_{\text{ср}} = (K_1B + K_2L)K_0,$$

где:  $K_1$  и  $K_2$  – коэффициенты зависящие от схемы расположения трелевочных волоков,  $K_0$  – коэффициент, учитывающий увеличение расстояния трелевки из-за маневрирования трактора;  $B$  – ширина лесосеки (протяженность перпендикулярная усу лесовозной дороги);  $L$  – длина лесосеки.

Конечно, в подавляющем большинстве случаев, лесосеки выделяются в форме лесотаксационного выдела, которые, опять же в большинстве случаев, имеют неправильную геометрическую форму в плане. Типовые схемы размещения трелевочных волоков представлены на рисунке 18.



**Рис. 18.** Типовые схемы расположения трелевочных волоков [3]:  
*a* – параллельная; *б* – с широким фронтом отгрузки; *в, з* - перпендикулярные; *д* – диагональная; *е* – радиальная; заштрихованный участок – пасека

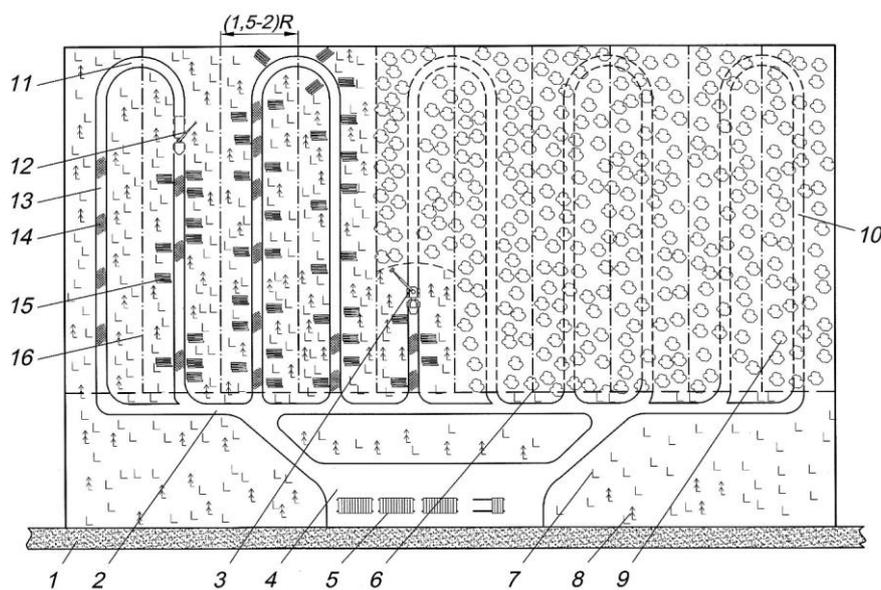
Конечно, правильная форма лесосек в плане, представленная на рисунке 18, не характерна для реальных производственных условий, но для сравнительного теоретического анализа влияния природно-производственных факторов на производительность тракторной трелевки такую форму лесосек вполне можно использовать.

Наиболее часто используемой схемой размещения трелевочных волоков, при хороших почвенно-грунтовых условиях, неглубоком снеге, является параллельная (рисунок 18, а). Она используется и при механизированной, и при машинной заготовке древесины [30].

При использовании сортиментного машинного комплекса для Скандинавской технологии лесосечных работ (харвестер+форвардер) пасечные волоки часто закольцовываются (рисунок 19), и всегда соблюдается принцип «лес не надо везти в лес» - т.е. сбор пачки лесоматериалов производится при движении трелевочного трактора в сторону лесовозной дороги [3].

Если задаться размерами лесосеки 500\*500 м, то при параллельной схеме размещения трелевочных волоков (хорошие почвенно-грунтовые условия) среднее расстояние трелевки составит 412,5 м.

Если же на той же лесосеке будут плохие почвенно-грунтовые условия, то придется использовать радиальную схему размещения трелевочных волоков (рисунок 18, е). В этом случае, при прочих равных условиях, среднее расстояние трелевки составит 552,5 м. Увеличение значения коэффициента, учитывающего увеличение расстояния трелевки из-за маневрирования трактора, связано с тем, что при плохих почвенно-грунтовых условиях трелевочный трактор вынужден совершать значительно больше маневров – двигаться галсами.



**Рис.19.** Схема разработки лесосеки системой машин харвестер+форвардер:  
 1– лесовозный ус; 2 – магистральный волок; 3 – харвестер; 4 – погрузочный пункт; 5 – штабель сортиментов; 6 – граница зоны безопасности; 7 – пни; 8 – сохраненный подрост; 9 – насаждения до рубки; 10 – насаждение с подростом до рубки; 11 – разворотное кольцо; 12 – форвардер; 13 – пасечный волок; 14 – порубочные остатки; 15 – пакеты сортиментов; 16 – граница пасек

Согласно требованиям нормативной документации (Правила заготовки древесины) при проведении лесосечных работ, как при сплошных, так и при выборочных рубках, необходимо сохранять имеющиеся на лесосеке (в случае наличия) объекты биоразнообразия, выделяемые в форме ключевых биотопов, которые относят к неэксплуатационным площадям, наряду с полянами, куртинами подроста, семенными группами [31]. При наличии на лесосеке неэксплуатационных площадей принято использовать диагональную схему размещения трелевочных волоков (рисунок 18, д). В этом случае, в рассматриваемых условиях, среднее расстояние трелевки составит 467,5 м.

Схема с широким фронтом отгрузки (рисунок 18, б) в настоящее время не используется, поскольку она была разработана для условий концентрированных рубок, которые в настоящее время в России запрещены.

Перпендикулярные схемы размещения трелевочных волоков (рисунок 18, в и г), также в настоящее время практически не используются, поскольку они рекомендовались для ВТМ, которые сейчас не производятся и не эксплуатируются.

Максимально возможная грузоподъемность трелевочного трактора (максимальный объем пачки, которую он может собрать и переместить в конкретных природно-производственных условиях) зависит от мощности двигателя, допустимой нагрузки на коник, почвенно-грунтовых и рельефных условий, вида и интенсивности рубки, среднего объема хлыста и размеров собираемых сортиментов при Скандинавской технологии заготовки древесины (которая, как уже отмечалось, доминирует в настоящее время в России и в мире).

Максимальную рейсовую нагрузку трелевочного трактора принимают в виде наименьшей величины расчетного объема пачки  $Q_n$ , полученной по расчету ограничений силы тяги по сцеплению, касательной силы тяги и допустимой вертикальной нагрузки на коник (для чокерных трелевочных тракторов также производится расчет максимально возможного веса пачки по тяговому усилию лебедки).

Возможный объем древесины в трелюемой пачке определяется по формуле [9]:

$$V_n = \frac{Q_n(1 - \beta_{кр} - \beta_к)f}{\rho},$$

где:  $Q_n$  – расчетная рейсовая нагрузка, кН;  $V_n$  – объем трелюемой пачки, м<sup>3</sup>;  $\beta_к$  – доля веса пачки, приходящаяся на крону (при трелевке деревьев);  $\beta_{кр}$  – доля веса пачки, приходящаяся на кору;  $\rho$  – плотность древесины, кН/м<sup>3</sup>;  $f$  – коэффициент, учитывающий недобор пачки относительно максимально возможного значения.

Как видно из этой формулы, доля коры и кроны не входит в учитываемый объем производительности трелевки. Несмотря на то, что «де факто», как минимум кора на лесоматериалах есть, а при трелевке деревьев скиддерами после ВПМ есть и крона, «де юре» они не учитываются, поскольку во всех расчетах, начиная с продажи государством лесопользователю лесоматериалов на корню и заканчивая продажей лесоматериалов потребителю, фигурирует только объем древесины в хлыстах, без коры.

Следовательно, например, при полной возможной загрузке форвардера сортаментами с толстой корой, его производительность будет меньше, чем при такой же загрузке сортаментами с тонкой корой.

В численном выражении этот тезис можно проиллюстрировать следующим образом. Как известно, в общем объеме ствола дерева кора составляет от 6 до 25%, и зависит от породы и возраста дерева (таблица 1).

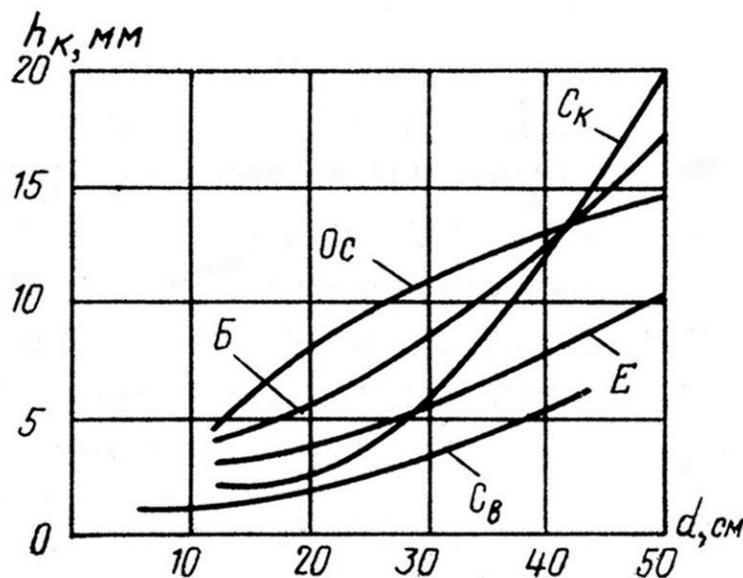
Таблица 1

Объем коры различных древесных пород [32]

Порода	Сосна	Ель	Береза	Осина	Лиственница
Объем коры, %	10-12	7-10	13-15	13-15	18-25

Из таблицы 1 нетрудно увидеть, что при трелевке сортиментов лиственницы объем воза, занимаемого корой, будет примерно в два раза больше, чем при трелевке лесоматериалов сосны таких же размеров (при прочих равных условиях).

Толщина слоя коры зависит и от возраста (диаметра) лесоматериалов (рисунок 20).



**Рис.20.** Зависимости толщины коры  $h_k$  от диаметра бревна  $d$  [33]:  
 B – для березы; Oc – для осины; E – для ели;  $C_k$  – для сосны (комлевое бревно);  $C_v$  – для сосны (вершинное бревно)

Графики на рисунке 20 наглядно иллюстрируют, что чем толще сортименты, тем толще на них слой коры, а значит и тем больше доля объема трелюемой пачки, занимаемой корой, которая не учитывается при определении производительности трелевочного трактора.

С другой стороны, как известно из теории складского учета лесоматериалов, чем меньше уложенные лесоматериалы, тем больше они занимают складочного объема, этот эффект отражает коэффициент прикола – увеличения складочного объема за счет измельчения лесоматериалов. В связи с этим тезисом, получается, что при трелевке тонкомерных лесоматериалов, например получаемых при рубках ухода за лесом, или при отдельной трелевке форвардером вершинных (балансовых) частей хлыста, коэффициент полндревесности воза должен быть меньше, нежели при трелевке крупномерных или среднетолщинных сортиментов.

Данный факт подтверждается данными из ГОСТ 32594-2013 «Лесоматериалы круглые. Методы измерений», и ГОСТ 2708-75 «Лесоматериалы круглые. Таблицы объемов». Эти документы ясно показывают, что чем меньше диаметр бревен – тем меньше коэффициент полндревесности воза, и данный коэффициент также уменьшается с увеличением длины круглых лесоматериалов. Это вполне объясняется тем, что, во-первых, у тонкомерных лесоматериалов больше сбеги, во-вторых, у вершинных бревен часто в большей степени проявляется кривизна, что также не дает лесоматериалам ложиться вплотную друг к другу [34].

Тогда возникает вопрос: у крупномерных и среднетолщинных круглых лесоматериалов кора толще, у тонкомерных – тоньше, учет ведется без учета коры, у каких же лесоматериалов, в конечном итоге, будет больше коэффициент полндревесности?

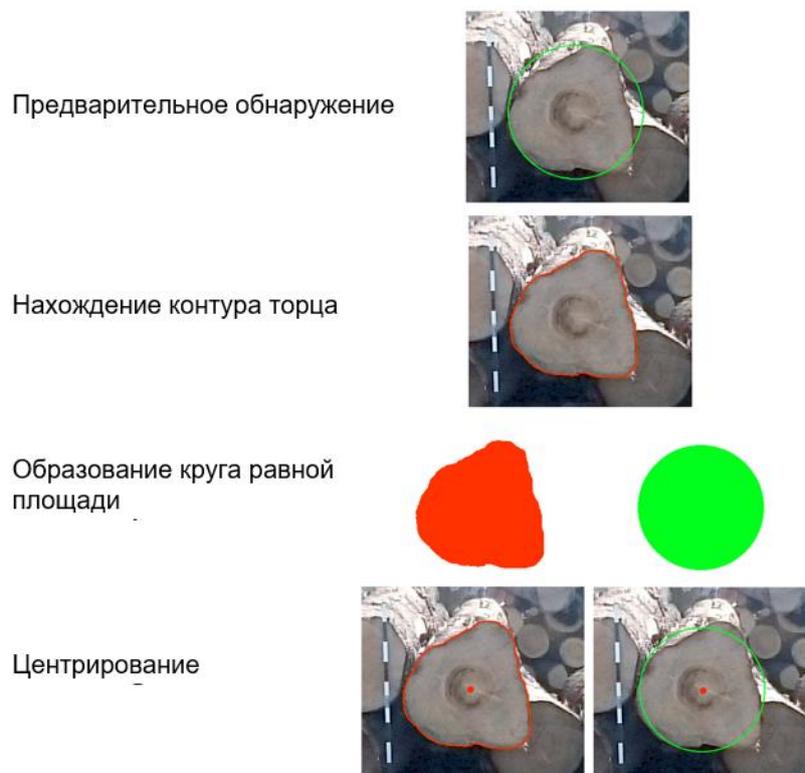
Ответить на данный вопрос могут современные технологии фотометрического (оптического) учета круглых лесоматериалов, базирующиеся на современных отечественных и иностранных специальных программных комплексах, например, Timbeter, Smart Timber (Смарт Тимбер), и др.

На рисунках 21-23 проиллюстрирована работа алгоритма таких программных комплексов, базирующегося на технологии искусственного интеллекта и обработки больших массивов данных [35-38].

Результаты исследований, в области оптического учета круглых лесоматериалов позволяют однозначно утверждать, что доля коры, относительно ствольной древесины, на крупномерных и среднетолщинных лесоматериалах существенно меньше, чем на тонкомерных.

Следовательно, коэффициент полндревесности воза, а значит и производительность трелевочного трактора (при прочих равных условиях), будет меньше при трелевке тонкомерных (вершинных, балансовых) лесоматериалов, нежели чем при трелевке крупномерных и среднетолщинных, даже если не принимать во

внимание тот факт, что для набора полновесной пачки лесоматериалов из тонкомерных лесоматериалов потребует значительно больше времени, чем при наборе пачки из крупномерных или среднетолщинных.



**Рис. 21.** Этапы распознавания торцов бревен программой для оптического учета круглых лесоматериалов

Время набора пачки лесоматериалов, и ее разгрузки (штабелевки) зависит от возможного для данного трактора в данных природно-производственных условиях (почвенно-грунтовых, рельефных) веса пачки, размеров собираемых в пачку лесоматериалов, концентрации лесоматериалов на единице площади (запас на га), вида и интенсивности рубки, технологического оборудования трактора, и квалификации оператора.

Для тракторов с канатно-чокерным оборудованием время набора и разгрузки пачки можно определять по различным эмпирическим формулам [9]:

Время формирования пачки:

$$t_{\text{форм}} = 5,0 + 0,4 \frac{V_{\Pi}}{q_{\text{хл}}} + \frac{175V_{\Pi}}{q},$$

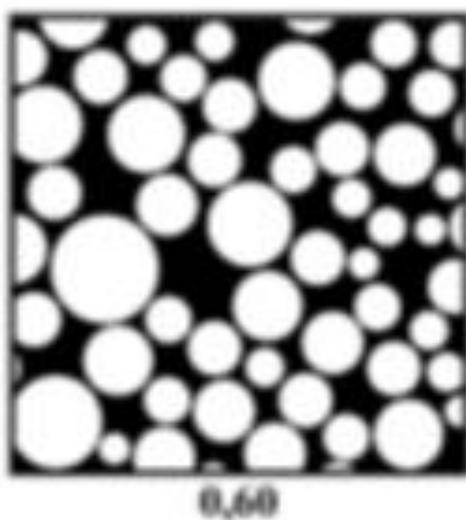
и время разгрузки и отцепки чокеров:

$$t_{\text{разг}} = 1,6 + 0,06 \frac{V_{\Pi}}{q_{\text{хл}}} + 0,5V_{\Pi},$$

где  $q_{\text{хл}}$  – объем хлыста,  $\text{м}^3$ ;  $q$  – запас леса на 1 га,  $\text{м}^3$ .



**Рис.22.** Определение торцев партии круглых лесоматериалов, погруженных на транспортное средство



**Рис. 23.** Черно-белая версия определения программным комплексом площади торцев бревен, без учета коры

Или:

Для тракторов с канатно-чокерным оборудованием [9]:

Время формирования пачки:

$$t_{\text{форм}} = \left( 2,0 + 0,08l + \frac{0,8V_n}{nV_x} + \frac{2V_n}{n} \right) 60,$$

время разгрузки и отцепки чокеров:

$$t_{\text{разг}} = \left( 0,6 + \frac{0,06V_n}{V_x} + 0,5V_n \right) 60,$$

Для бесчокерных трелевочных тракторов [9]:

Время формирования пачки:

$$t_{\text{форм}} = \left( 0,25V_nV_x + 0,44 \frac{V_n}{V_x} + 0,4V_n + \frac{123}{q_{\text{га}}} + 0,32 \right) 60,$$

время разгрузки

$$t_{\text{разг}} = (0,24V_n + 1,33)60,$$

Для скиддеров [9]:

$$t_{\text{форм}} = 180 + 20 \frac{V_n}{V_x} K_{\text{ф.п.}}$$

Время разгрузки пачки для скиддеров определяется аналогично бесчокерным трелевочным тракторам.

В этих формулах:  $l$  — среднее расстояние подачи собирающего каната от трактора к месту чокеровки, м (техническая характеристика трактора, обычно 50–55 м);  $V_x$  — средний объем хлыста (таксационная характеристика лесосеки), м<sup>3</sup>;  $n$  — количество рабочих, участвующих в чокеровке (обычно 1);  $q_{\text{га}}$  — запас древесины на 1 га, м<sup>3</sup> (таксационная характеристика лесосеки);  $K_{\text{ф.п.}}$  — коэффициент формирования пачки, при выполнении в один прием – 1; в два приема – 1,2—1,5; в три приема – 1,7—2,0 [9].

Надо отметить, на практике что скиддер, в большей части случаев, формирует пачку за один прием, даже если захваченного пакета недостаточно для полной загрузки.

Приведенные выше формулы, как было отмечено, эмпирические, и не учитывают большого числа важных обстоятельств. Ведь очевидно, что при выборочной рубке леса малой интенсивности концентрация собираемых лесоматериалов на пасеках будет небольшой, даже при большом общем запасе леса на га. Также очевидно, что при выборочной рубке, или рубке с сохранением равномерно распределенного подроста, собирать пачку будет сложнее, и в таком варианте квалификация оператора будет в большей степени сказываться на времени набора пачки, чем, например, при сплошной рубке без сохранения подроста [39].

Как уже было отмечено, самым распространенным видом трелевочных тракторов в России и в мире, в настоящее время, являются колесные форвардеры. К моменту, когда они получили широкое распространение в нашей стране масштабные производственные испытания лесных машин уже практически не проводились, поэтому каких-либо эмпирических зависимостей, позволяющих

определить затраты на формирование и разгрузку пачки лесоматериалов в известных работах по теории лесосечных работ не представлено.

Длина ленты набора пачки, очевидно равна расстоянию, проходимому форвардером при наборе [9]:

$$l_n = \frac{1000M_{II}}{q_e B},$$

где  $q_e$  – объем выборки (интенсивности рубки) на га,  $m^3$ , (при сплошной рубке  $q_e$  – запас леса на га,  $m^3$ );  $B$  – ширина ленты набора пачки,  $m$ .

При проведении выборочных рубок механизированным способом  $B$  равняется 1/3 расстояния между соседними волоками, если сбор сортиментов с пасеки проводится в три приема: с волока, с лент, примыкающих к волоку с обеих сторон, с дальних от волока лент с обеих сторон.

При проведении сплошных рубок механизированным способом на участках, не имеющих подроста, величина  $B$  равняется двойному вылету манипулятора, а при проведении любых рубок с использованием харвестера  $B$  равна величине двойного вылета манипулятора харвестера [9].

Объем сортиментов, набираемый с одной технологической стоянки [9]:

$$Q_c = \frac{2Bl_{дн}q_e}{10000}.$$

Число стоянок при наборе пачки [9]:

$$n = \frac{Q_n}{Q_{ц}}.$$

Объем сортиментов, погружаемых за один цикл работы манипулятора  $Q_{ц}$ , равен среднему объему хлыста заготавливаемых деревьев.

Время формирования пачки форвардером включает повороты стрелы (2–2,5 с), наводку захвата и подтаскивания сортиментов с пакетированием на земле (рисунок 24, 12–15 сек), повороты и погрузку на платформу (5 с), перевод манипулятора в транспортное положение. В общей сложности время цикла составляет 23–25 сек [9]. Объем сортиментов, разгружаемых и укладываемых в штабель, за один цикл работы манипулятора на разгрузке:

$$Q_3 = l_c s_3 k_u,$$

где  $l_c$  – длина сортимента,  $m$ ;  $s_3$  – площадь зева захвата,  $m^2$ ;  $k_u$  – коэффициент полноты древесины.

Цикл работы манипулятора на разгрузке ( $t_{разг}$ ), включающий захват сортиментов ( $t_3$ ), поворот манипулятора с грузом ( $t_n$ ), укладку сортиментов ( $t_y$ ), поворот манипулятора без груза ( $t_{nx}$ ), составляет 23 с.

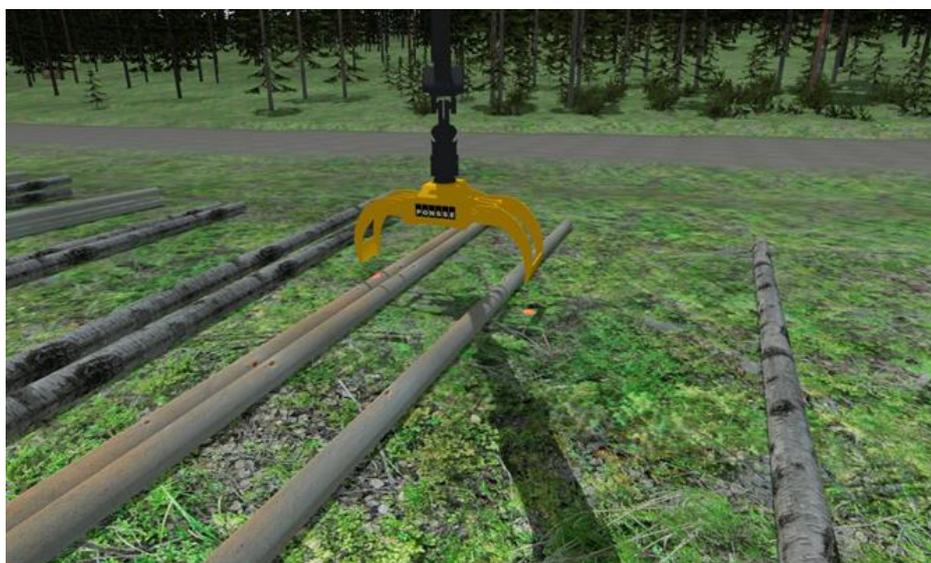
Кроме указанных элементов, время цикла форвардера на заготовке сортиментов включает движение холостым ходом, передвижение машины при наборе веза и движение с грузом.

Часовая производительность форвардера [9]:

$$P_{ч} = \frac{3600M_{П}}{t_{нов} \frac{M_{П}}{Q_c} + \frac{M_{П}t_{ногр}}{Q_z} + \frac{l_n}{v_n} + \frac{l_{xx}}{v_{xx}} + \frac{l_{zx}}{v_{zx}} + \frac{M_{П}t_{разг}}{Q_z}},$$

где  $v_n$ ,  $v_{xx}$ ,  $v_{zx}$  – скорости движения соответственно при переездах, при движении с грузом и на холостом ходу (по данным КарНИИЛПа составили соответственно 0,8, 1,5, 2 с).

С точки зрения теоретического анализа, формулы для расчета производительности форвардера достаточно точны, но, к сожалению, они не помогают на практике получить реальные прогнозные цифры, как минимум, из-за индивидуальных особенностей работы операторов форвардера (квалификации, мотивации, и т.д.). Из практики известно, что производительность операторов на одной и той же лесосеке, на одних и тех же машинах, может различаться на порядок (в 10 раз!), если в одной машине сидит оператор – новичок (только после курсов), а в другой опытный – со стажем 3 и более лет [40].



**Рис. 24.** Пакетирование на земле разрозненных сортиментов

С одной стороны, принцип сдельно-премиальной заработной платы подгоняет операторов, и не заставляет работодателя переплачивать им лишнее. С другой стороны, лесозаготовителю нужна ритмичность на заготовке и вывозке древесины, и его совсем не устроит «то густо, то пусто», поэтому и ставят молодых операторов, обычно, в ночные смены, поскольку в условиях ухудшенной освещенности и опытный оператор не сделает большой объем.

Причем при анализе рассматриваемого вопроса необходимо учитывать не только скорость сбора, но скорость, а также качество разгрузки собранных на пасаках сортиментов в соответствующие штабели.

Для того, чтобы быстро и качественно уложить стрелованные сортименты в штабели соответствующих размерно-качественных групп необходимо выполнить их предварительную сортировку во время сбора загрузки форвардера (рисунок 25-28).

Если «накидать» без разбора все сортименты, встречающиеся на пасеке, то дальше сортировать их при разгрузке будет долго и неудобно. Опять же, получается, что чем больше групп сортировки выпиливается на пасеке (по породам, по размерам, по назначению), тем тщательнее, а значит и дольше придется собирать, а потом и разгружать пачку (рисунок 29).



**Рис. 25.** Укладка сортиментов разных групп сортировки со смещением относительно продольной оси



**Рис. 26.** Укладка сортиментов разных групп сортировки на основание коников и у стоек коников

Кроме того, степень удобства сбора сортиментов для оператора форвардера достаточно сильно зависит от качества работы оператора харвестера (или вальщика леса), ведь без качественного окучивания заготовленных сортиментов, их качественной укладки, придется собирать буквально «по бревнышку», что достаточно отрицательно скажется на производительности.

Насколько сильно на продолжительность погрузки, а, соответственно, и выгрузки форвардера влияет размер выпиливаемых сортиментов (даже при одном и том же среднем объеме хлыста) хорошо иллюстрирует рисунок 30.

Из рисунка 30 видно, что при длине собираемых сортиментов 8 м их надо (в штуках) собрать практически в 2 раза меньше, чем сортиментов, длиной 4,5-3,5 м, а значит, на погрузочном пункте также надо будет в два раза меньше и выгрузить.

Плотность древесины определяется как средневзвешенная величина для свежесрубленной древесины, исходя из породного состава насаждения.

Коэффициент, учитывающий недобор пачки относительно максимально возможного значения всегда меньше единицы, как и коэффициент использования рабочего времени. Он зависит, прежде всего, от интенсивности рубки, и от квалификации оператора. Если трелевка производится на выборочной рубке леса, особенно малой интенсивности, то собрать полную (оптимального размера) пачку крайне затруднительно, поскольку концентрация собираемых лесоматериалов на пасеке достаточно мала [41]. Особенно с учетом того, что выборочные рубки обычно проводятся вальщиками леса, а не лесозаготовительными машинами, а вальщики леса крайне редко качественно выполняют окучивание заготовленных лесоматериалов. Поскольку это очень тяжелый физический труд.



**Рис. 27.** Укладка сортиментов с явно выраженными пороками или с цветовой маркировкой разных групп сортировки



**Рис. 28.** Укладка сортиментов с сортировкой по крупности



**Рис. 29.** Фронт разгрузки форвардера – чем больше штабелей, тем дольше между ними придется перемещаться при разгрузке пачки



**Рис. 30.** Допустимая степень загрузки кузова форвардера, в зависимости от длины сортиментов

Как известно, большая часть лесного фонда Российской Федерации располагается на почвогрунтах III и IV категории, которые в летний период года, особенно в дождливое лето, создают большие проблемы для лесозаготовителей по условиям проходимости.

В этой связи советское лесное машиностроение ориентировалось, в основном, на использование тракторов на гусеничных шасси, которые имеют меньшее давление на опорную поверхность (при прочих равных условиях), и, соответственно, имеют лучшую проходимость на почвогрунтах с низкой несущей способностью [42].

После развала СССР, последовавшего за ним развала, даже скорее уничтожения, отечественного лесного машиностроения, российские лесозаготовительные предприятия начали оснащаться импортными колесными лесопромышленными тракторами. При работе на переувлажненных почвогрунтах их рекомендуется оснащать специальными колесными гусеницами (моногоусеницами, рисунок 31).



**Рис. 31.** Задняя тандемная тележка форвардера, оснащенная моногоусеницей

Но, как показывает практика, оснащение колесных лесопромышленных тракторов моногоусеницами далеко не является панацеей, чтобы они могли сравниться по проходимости с гусеничными тракторами (рисунок 32).

В таких условиях для трелевочных тракторов (особенно колесных) хорошо работает только одна рекомендация (даже при условии укрепления ездовой части трелевочных волоков порубочными остатками) – снижение максимального веса, а значит объема трелеваемой пачки. Но это, в свою очередь, ведет к снижению производительности и повышению удельного расхода топлива на трелевку (л/м<sup>3</sup>).



**Рис. 32.** Заглубление колесного движителя, оснащенного моногусеницей в переувлажненный почвогрунт

И для гусеничных трелевочных тракторов работа в условиях переувлажненных почвогрунтов представляет собой проблему, поскольку появляется ограничение веса пачки по силе тяги по сцеплению движителя с поверхностью движения (для предотвращения буксования) и в этих условиях трактор вынужден совершать больше маневров, то есть повышается значение коэффициента  $f_1$  в формуле для определения среднего расстояния трелевки.

Как известно, уравнение равномерного движения трелевочной системы (трактора с пачкой лесоматериалов) описывается следующим выражением [9]:

$$F_k - P(\varphi_T \cos \alpha \pm \sin \alpha) - KQ(\varphi_T \cos \alpha \pm \sin \alpha) - (1 - K)Q \cdot (\varphi_n \cos \alpha \pm \sin \alpha) = 0.$$

А касательная сила тяги определяется по выражению:

$$F_k = \frac{N\eta_{TP}}{v_P},$$

где:  $N$  – мощность двигателя трактора, Вт,  $\eta_{TP}$  – КПД трансмиссии;  $v_P$  – скорость движения трактора на первой или второй передаче, м/с.

Отсюда исходит выражение для определения возможного веса трелеваемой пачки [9]:

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

где:  $F_k$  – касательная сила тяги трактора, Н;  $P$  – эксплуатационный вес трактора, Н;  $k$  – коэффициент распределения веса трелеваемой пачки между трактором и

волоком;  $Q$  – вес трелюемой пачки, Н. Коэффициенты сопротивления движению трактора: зимой  $\varphi_m=0,09\dots0,18$ ; летом –  $0,14\dots0,25$ ; пачки при трелевке хлыстами зимой  $\varphi_n=0,50$ , летом –  $0,70$ ; при трелевке деревьями зимой и летом  $\varphi_n=0,90$ ;  $\alpha$  - угол уклона пути движения трактора с пачкой, град.

Из данного выражения видно, что при расчете возможного веса трелюемой пачки необходимо учитывать угол уклона пути – т.е. рельефные условия.

Также из данного выражения видно, что при направлении грузового хода трелевочного трактора вниз по уклону (при прочих равных условиях) максимально возможный вес трелюемой пачки может быть увеличен, относительно условия трелевки по горизонтальной местности.

При расчете возможного веса трелюемой пачки обязательно проверяется сила тяги по сцеплению движителя трактора с поверхностью движения (почвогрунтом) [9]:

$$F_{cy} = (P + kQ)\mu,$$

где:  $\mu$  - коэффициент сцепления движителя с почвогрунтом или снегом (летом  $\mu=0,4\dots0,8$ ; зимой  $\mu=0,3\dots0,5$ ).

Чем меньше несущая способность почвогрунта – тем меньше значение коэффициент сцепления движителя. Для предотвращения буксования движителя трактора должно соблюдаться условие ограничения по сцеплению:

$$F_{cy} > F_k.$$

Если данное условие не соблюдается, то приходится корректировать максимально возможный вес трелюемой пачки в меньшую сторону.

Как было отмечено выше, квалификация (и очевидно мотивация) оказывают очень существенное влияние на производительность трелевочных тракторов, особенно тех, с которыми работает один оператор – скиддеры, бесчокерные, форвардеры. Мотивацию, во многом, дает принцип сдельно-премиальной системы оплаты труда, и следующая из него самоорганизация внутри коллектива лесозаготовительной бригады.

Разница, между показателями работы разных операторов, в одинаковых условиях, может быть весьма значительной. И дать строгий анализ в данном случае затруднительно.

Вместе с тем, известны результаты исследований, характеризующих на основе обширных хронометражных данных тренды производительности операторов трелевочных тракторов, в зависимости от их режима работы.

Во всех этих трендах хорошо прослеживается время «разгона» оператора – постепенного увеличения часовой производительности от начала смены, и «торможения» оператора – постепенного падения часовой производительности к концу смены.

Как уже отмечалось, на современных машинных комплексах операторы часто работают по 11 часов, что, к концу их смены, очевидно отрицательно сказывается на их производительности, количестве совершаемых ими ошибок, а значит еще и отрицательно сказывается на сохранности доверенной им машины.

Причем при падении производительности теряет в зарплате не только оператор, нанявшее его предприятие также теряет в прибыли от его работы. Поэтому при грамотном руководстве лесозаготовительным процессом, при приобретении лесных машин не экономят на полезных дополнительных опциях, позволяющих снизить усталость оператора – солнцезащитные шторы, кондиционер, камера заднего вида, и т.д. А при организации вспомогательных работ также освобождают оператора от лишних действий, например, доставляют горячий обед прямо к работающей на лесосеке машине, или нанимают специального повара, при вахтовой организации работ, чтобы операторы имели возможность дольше отдохнуть между сменами [43, 44].

Расчеты сменной производительности различных типов трелевочных тракторов, по приведенным выше зависимостям, отражают влияние среднего расстояния трелевки и среднего объема хлыста, при работе тракторов в равнинных условиях, на почвогрунтах II категории, при прочих равных условиях. Но не отражают влияние квалификации, его мотивации и усталости, не отражают влияние вида и интенсивности рубки, не отражают возможные флюиды коэффициента полнодревесности веза форвардера, при, например, отдельной трелевке пиловочных бревен, и балансовых бревен.

Вместе с тем, строго математически и невозможно формализовать вышеуказанные влияния, их можно более или менее нивелировать, используя оптимальные технологические процессы, если вариативная часть парка лесных машин лесозаготовительного предприятия невелика [45].

Помимо достаточно банальных рекомендаций о том, что не следует экономить на подготовке операторов, повышении их квалификации, и улучшении условий труда в процессе выполнения основной работы и в быту (если речь идет о распространенном варианте лесозаготовок вахтовым методом), для повышения эффективности работы операторов возможно предложить следующие мероприятия.

Прежде всего, представляется вполне возможным пересмотреть график работы операторов, при наличии необходимого для этого кадрового резерва. А именно, в настоящее время, в большинстве случаев, операторы работают по 11 часов, затем проводят ежесменный осмотр и техническое обслуживание машины, сдают ее сменщику, и идут отдыхать.

Для работодателей, особенно организующих лесозаготовки вахтовым методом, такой график удобен тем, что дорогая лесная машина работает практически

24/7, при этом не требуя большого количества персонала (операторов), которым необходимо в вахтовом поселке выделять, а значит и приобретать вахтовый вагон-дом, завозить лишние продукты и т.д.

Отметим, что при хорошей практике организации лесозаготовительных работ вахтовым методом, под каждую смену приобретаются и устанавливаются разные жилые вагон-дома, чтобы пришедшие с очередной смены рабочие не мешали отдыхающим, или готовящимся заступить на смену рабочим.

Но если обычный график режима работы удобен работодателям, то он далеко не всегда удобен для операторов, а значит, если хорошо проанализировать, не всегда оптимален и для работодателя, даже если на первый взгляд он этого не очень понимает.

Изменения часовой производительности операторов трелевочных тракторов наглядно показывают, что на исходе шестого часа рабочей смены производительность оператора начинает заметно снижаться, ввиду естественной для человека физической усталости. Ведь не даром во времена СССР продолжительность смены на лесозаготовках составляла 7 часов.

Если производительность начинает снижаться, значит и для работодателя выработка с машины уменьшается. Кроме того, уставая, человек начинает делать ошибки, что отрицательно сказывается не только на безопасности труда (оператора), и даже не столько на современных машинах, сколько на сохранности самой машины, вероятности и количестве возникающих отказов и поломок.

Для снижения усталости операторов возможно рассмотреть следующий график работы (рисунок 33). Как видно из данного рисунка, предлагаемый график режима работа потребует трех операторов на машину, вместо традиционных двух. В этом есть и свои минусы для работодателя. Помимо перечисленных выше, есть еще минус в том, что в России наблюдается достаточно существенный дефицит квалифицированных операторов современных лесных машин.



**Рис. 33.** Измененный график режима работы операторов современных лесных машин

Вместе с тем, предлагаемый график режима работы операторов может позволить увеличить их общую суточную производительность (суточную производительность современной дорогостоящей машины).

Кроме усталости операторов, на производительность лесных машин отрицательно влияет «усталость» самих машин. Не редко можно наблюдать на лесозаготовительных предприятиях недостатки в организации и проведении работ по текущему техническому обслуживанию и ремонту машин. Часть не хватает квалифицированных механиков и слесарей. После начала СВО, и санкционной войны против нашей страны, периодически наблюдается проблемы со снабжением оригинальными запасными частями и расходными материалами для импортных лесных машин (а они на предприятиях практически все импортные), особенно для ранее популярных в России лесных машин производства финской компании Ponsse.

Сервисные контракты, позволяющие лесозаготовительным предприятиям решать проблемы нехватки ремонтного персонала, и формирования резерва запасных частей и расходных материалов, стали существенно дороже [46]. Все это ведет к снижению коэффициента технической готовности машин, и, соответственно, их производительности.

В досанкционные времена крупные лесозаготовительные предприятия обновляли парк лесных машин, примерно раз в пять лет, по истечении гарантийного срока. Старые машины, обычно, продавались средним лесозаготовительным предприятиям, где их эксплуатировали еще 5-7 лет, а затем, после диагностики и ремонта, они продавались мелким лесозаготовителям, где и дорабатывали свой срок. Схемы Трейд-ин в цепочке реализации лесных машин обычно не использовались. Поскольку 99% процентов машин были импортными, и их производство не было локализовано на территории нашей страны [47, 48].

Следовательно, для поддержания технической готовности, и, соответственно производительности трелевочных тракторов на должном уровне необходимо уделять повышенное внимание их своевременному техническому обслуживанию.

В этом могут помочь специализированные пакеты проактивного сервиса [49, 50]. Например, программный комплекс TimberLink, который собирает данные о производительности лесной машины, не оказывая влияния на ее функции.

Благодаря TimberLink обнаруженные изменения в производительности лесной машины могут быть выявлены на ранней стадии и далее спланированы и предприняты действия по устранению причины.

TimberLink позволяет выполнять детализированные измерения подсистем машин, которые показывают причины ухудшения производительности.

TimberLink помогает выбрать оптимальные настройки лесной машины.

TimberLink также помогает оператору совершенствовать его навыки.

При эффективном использовании отчетов TimberLink руководством лесозаготовительного предприятия возможно гарантировать поддержание производительности лесных машин, включая трелевочные тракторы на уровне, близком к оптимальному (максимально возможному), в конкретных природно-производственных условиях.

TimberLink имеет возможность производить сравнение производительности конкретной машины со средними данными (по выборке показателей работы машин).

Интерфейс программного модуля TimberLink Forwarder представлен на рисунке 34.

Закладка интерфейса программного модуля TimberLink Forwarder, открытая на рисунке 34 позволяет получить общие данные о конкретной машине.

На рисунке 35 представлена графическая интерпретация программой TimberLink Forwarder распределения во времени фаз циклов трелевки.

На рисунке 36 представлена вкладка программы, позволяющая оценивать рациональность расхода топлива трелевочным трактором.

При этом программа позволяет взаимоувязывать зависимость расхода топлива от скорости движения и этапа работ трелевочного трактора (рисунок 37).

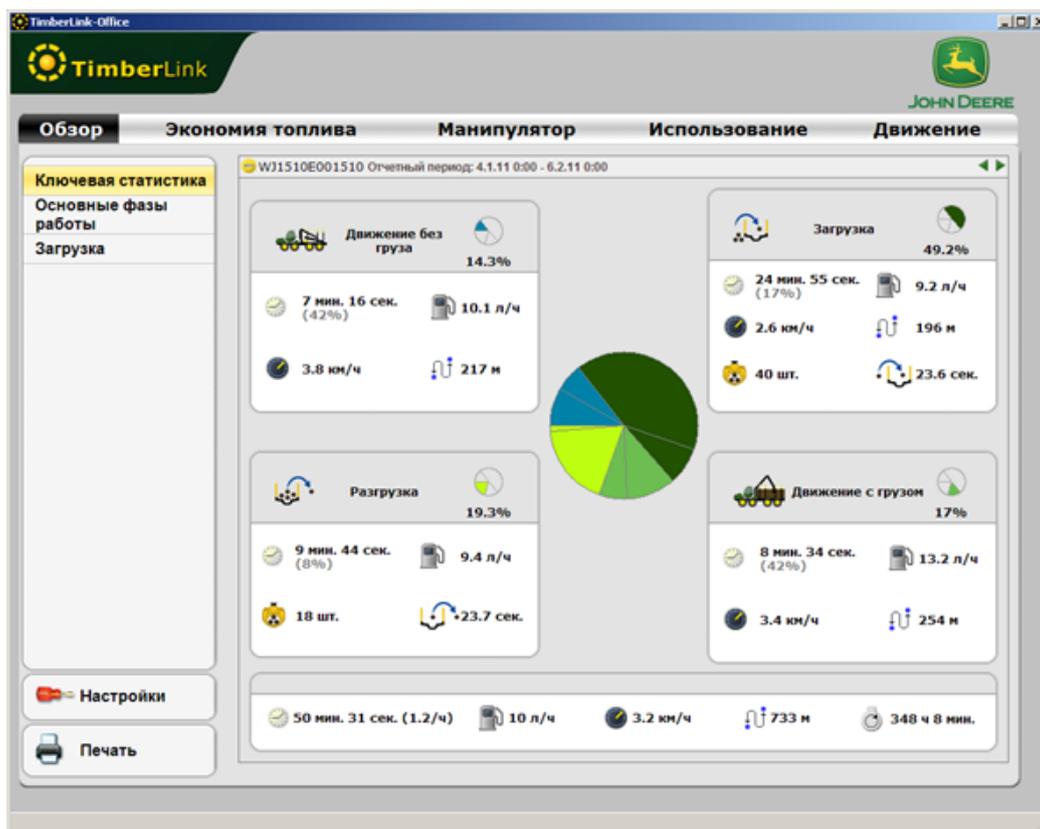


Рис. 34. Интерфейс программного модуля TimberLink Forwarder

Также программа TimberLink Forwarder графически интерпретирует следующие показатели работы форвардера и его оператора:

- Распределение режима работы двигателя (об/мин) для основных функций;
- Распределение использования нескольких функций по времени;
- Работа оператора и машины по фазам работ за сутки (рисунок 38);
- Распределение по скорости движения и фазам работ.

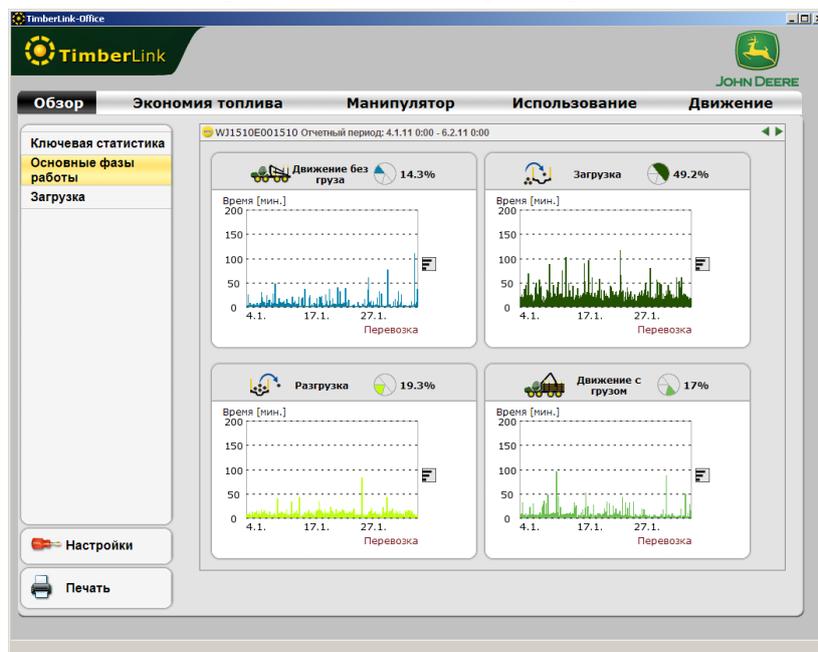


Рис. 35. Графическая интерпретация программой TimberLink Forwarder распределения во времени фаз циклов трелевки

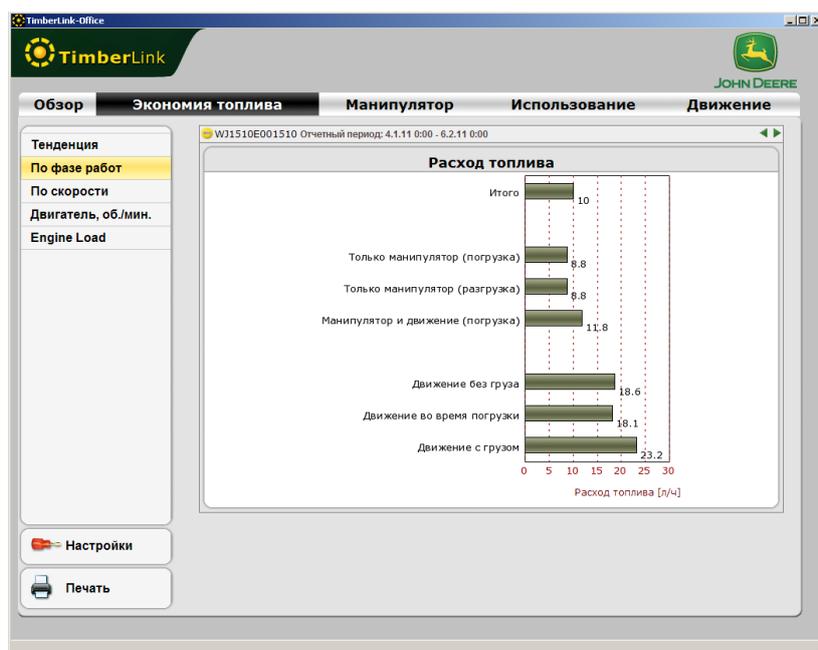


Рис. 36. Оценка расхода топлива по фазам цикла трелевки

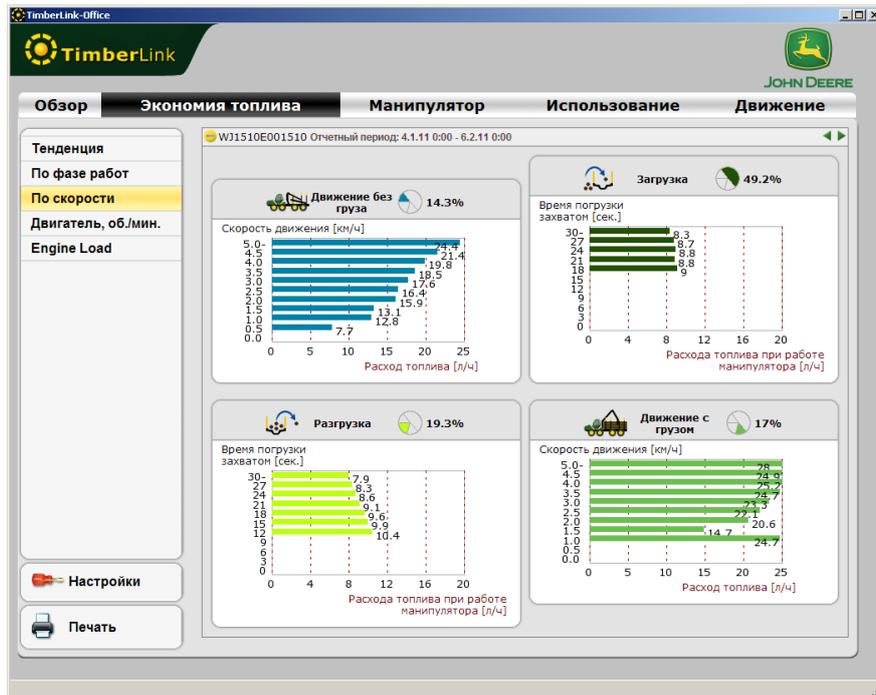


Рис.37. Зависимость расхода топлива от скорости движения и этапа работ трелевочного трактора



Рис. 38. Графическая интерпретация работы оператора и машины по фазам работ за сутки

### Заключение

На основании проанализированных источников и производственного опыта можно утверждать, что несмотря на огромные проблемы в области лесного машиностроения российские лесозаготовительные предприятия имеют пути решения проблемы поддержания на необходимом уровне производительности трелевочных тракторов за счет принятия грамотных управленческих решений, в области технического обслуживания техники, подготовки и повышения квалификации операторов, использования наиболее оптимальных схем размещения путей первичного транспорта леса.

### Литература

1. Григорьев И.В., Григорьева О.И. Эффективность лесопользования в России // Энергия: экономика, техника, экология. 2016. № 5. С. 24-30.
2. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И., Глуховский В.М. Перспективные направления развития технологических процессов лесосечных работ // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2016. № 2 (184). С. 109-116.
3. Куницкая О.А., Чернуцкий Н.А., Дербин М.В., Рудов С.Е., Григорьев И.В., Григорьева О.И. Машинная заготовка древесины по скандинавской технологии. Учебное пособие. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 219. – 192 с.
4. Григорьев И.В., Чураков А.А. Совершенствование конструкции активного полуприцепа форвардера на базе сельскохозяйственного колесного трактора // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. ред. Н. С. Захаров. 2018. С. 84-88.
5. Григорьев И.В., Григорьева О.И. Лесозаготовительные машины на экскаваторной базе // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2018. С. 45-46.
6. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Вернер Н.Н. Системы машин для создания и эксплуатации лесных плантаций // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 5 (31). С. 438-443.
7. Григорьев И.В., Газизов А.М., Григорьева О.И. Новые технологические процессы лесосечных работ // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2016. № 2 (38). С. 97-102.
8. Рудов С.Е., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Григорьев М.Ф., Григорьева А.И. Эффективность лесопользования в криолитозоне // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. Материалы международной научно-практической конференции. 2020. С. 460-463.
9. Пятакин В.И., Григорьев И.В., Редькин А.К., Иванов В.И., Пошарников Ф.В., Шегельман И.Р., Ширнин Ю.А., Кацадзе В.А., Валяжонков В.Д., Бит Ю.А., Матросов А.В., Куницкая О.А. Технология и машины лесосечных работ. СПб.: СПбГЛТУ, 2012. - 340 с.
10. Григорьев И.В., Чураков А.А., Григорьева О.И. Перспективная конструкция гусеничного форвардера // Транспортные и транспортно-технологические системы. материалы международной научно-технической конференции. 2017. С. 140-144.

11. Никифорова А.И., Григорьева О.И. Моделирование воздействия движителей лесных машин на почвы лесосек // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 5-4 (16-4). С. 320-323.

12. Григорьев И.В., Тихонов И.И., Григорьева О.И., Рудов М.Е. Поиск новых технических решений для повышения экологической совместимости лесных машин с лесной средой // Интенсификация формирования и охраны интеллектуальной собственности. Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной 75-летию ПетрГУ. Петрозаводский государственный университет. 2015. С. 9-11.

13. Хитров Е.Г., Хахина А.М., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И. Расчет тягово-сцепных свойств колесных лесных машин с использованием WES-метода // Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 3 (23). С. 196-202.

14. Григорьева О.И., Давтян А.Б., Гринько О.И., Войнаш С.А. Концепция универсальной машины для выполнения лесохозяйственных работ и тушения лесных пожаров // Машиностроение: новые концепции и технологии. Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Красноярск, 2020. С. 45-49.

15. Хитров Е.Г., Хахина А.М., Дмитриева М.Н., Песков В.Б., Григорьева О.И. Уточненная модель для оценки тягово-сцепных свойств колесного движителя лесной машины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. № 217. С. 108-119.

16. Григорьев И.В. Параметры и показатели работы перспективного форвардера для малообъемных лесозаготовок // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6. № 4 (40). С. 21-25.

17. Каляшов В.А., До Туан А., Хитров Е.Г., Григорьева О.И., Гурьев А.Ю., Новгородов Д.В. Современные системы машин и технологии заготовки древесины и лесовосстановления в условиях горных лесосек // Resources and Technology. 2022. Т. 19. № 2. С. 1-47.

18. Григорьев И.В., Валяжонков В.Д. Современные машины и технологические процессы лесосечных работ. СПб.: Издательство ЛТА, 2009. 287 с.

19. Григорьев И.В., Жукова А.И., Лепилин Д.В., Есин Г.Ю. Пути повышения эффективности сплошных рубок // В сборнике: Леса России в XXI веке. Материалы первой международной научно-практической интернет-конференции. 2009. С. 169-172.

20. Никифорова А.И., Хитров Е.Г., Пельмский А.А., Григорьева О.И. Определение осадки при движении лесозаготовительной машины по двуслойному основанию // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2014. № 2 (139). С. 87-91.
21. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Чураков А.А. Эффективные технологии и системы машин для малообъемных заготовок древесины // Энергия: экономика, техника, экология. 2018. № 2. С. 61-66.
22. Рудов С.Е., Григорьев И.В. Правила эффективной эксплуатации форвардеров // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021. С. 166-168.
23. Grigorev I., Ivanov V., Gasparian G., Nikiforova A., Khitrov E. Softwood harvesting and processing problem in Russian Federation // 14th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2014. Sofia, 2014. С. 443-446.
24. Григорьев И.В., Григорьев М.Ф., Степанова Д.И. Перспективы модульных систем машин для лесозаготовительного производства в Якутии // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 9 (35). С. 74-77.
25. Добрецов Р.Ю., Дмитриев А.С., Черемисин К.В., Ревяко С.И., Григорьев И.В. Управляемый межосевой механизм распределения мощности трансмиссии лесных колесно-гусеничных машин // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 1 (57). С. 43-48.
26. Хахина А.М., Григорьев И.В., Газизов А.М., Куницкая О.А. Статистический анализ параметров колесных трелевочных машин // Хвойные бореальной зоны. 2018. Т. 36. № 2. С. 189-197.
27. Григорьев И.В., Григорьева О.И. Общие методические вопросы эргономической оценки системы "оператор - производственная среда - машина" // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2022. № 5. С. 17-22.
28. Григорьев И.В., Григорьева О.И. Постановка задачи экономической оценки улучшения условий труда и безопасности работы операторов лесных машин // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2022. № 4. С. 43-48.
29. Григорьев И.В. Особенности эксплуатации лесных машин в сильные морозы // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности. Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых. Главный редактор И.С. Сазонов. 2018. С. 102.

30. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Рудов С.Е., Жукова А.И. Модель процесса циклического уплотнения грунта в полосах, прилегающих к трелевочному волоку // Вестник КрасГАУ. 2010. № 2 (41). С. 8-14.

31. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И. Возможности биоконсервации при проведении сплошных рубок леса // Биоразнообразие. Биоконсервация. Биомониторинг. Замотайлов А.С., Шаповалов М.И. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Адыгейский государственный университет», НИИ комплексных проблем. Майкоп, 2013. С. 109-111.

32. Газизов А.М., Шапиро В.Я., Григорьев И.В. Вариационный метод расчета и стабилизации параметров роторной окорки // Справочник. Инженерный журнал. 2009. № 7 (148). С. 47-51.

33. Григорьев И.В., Шапиро В.Я., Гулько А.Е. Математическая модель групповой окорки лесоматериалов в окорочных барабанах // Научное обозрение. 2012. № 4. С. 154-171.

34. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Гулько А.Е. Анализ методов расчета параметров и обоснование математической модели разрушения коры при групповой окорке древесины // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2011. № 8 (121). С. 92-96.

35. Куницкая О.А., Беляев Н.Л., Швецова В.В., Рудов М.Е., Григорьев В.И. Развитие цифрового учета круглых лесоматериалов // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 2 (54). С. 55-63.

36. Куницкая О.А., Беляев Н.Л., Хитров Е.Г. Совершенствование методики программного определения объема партии круглых лесоматериалов для повышения точности результатов её применения // Resources and Technology. 2022. Т. 19. № 1. С. 1-47.

37. Куницкая О.А., Беляев Н.Л., Хитров Е.Г., Пузанова О.А. Результаты экспериментальных исследований программного определения объема партии лиственных лесоматериалов // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 1 (53). С. 99-106.

38. Куницкая О.А., Беляев Н.Л., Хитров Е.Г. Результаты экспериментальных исследований программного определения объема партии хвойных лесоматериалов // Деревообрабатывающая промышленность. 2021. № 4. С. 49-59.

39. Григорьева О.И. Новая машина для проведения рубок ухода за лесом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2-2 (13-2). С. 116-119.

40. Григорьев И.В., Григорьева О.И. Практика подготовки операторов лесных машин в России // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Ответственные редакторы Ю.А. Безруких, Е.В. Мельникова. 2017. С. 182-185.

41. Григорьева О.И. Эффективность транспортно-технологических систем для лесного хозяйства // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. ред. Н. С. Захаров. 2018. С. 79-83.

42. Григорьев И.В., Рудов С.Е. Особенности эксплуатации колесных лесных машин в сложных почвенно-грунтовых и рельефных условиях // Forest Engineering. материалы научно-практической конференции с международным участием. 2018. С. 67-71.

43. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Цыгарова М.В. Вахтовые лесозаготовки. Теория и практика // Леспромформ. 2016. № 1. -С. 60-65.

44. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Цыгарова М.В. Вахтовые лесозаготовки. Теория и практика. Часть 2 // Леспромформ, 2016, № 2. С. 72-78.

45. Гаспарян Г.Д., Давтян А.Б., Григорьев И.В., Марков О.Б., Григорьева О.И. Численное исследование показателей заготовки древесины на лесных плантациях // Resources and Technology. 2021. Т. 18. № 4. С. 17-45.

46. Григорьев И.В. Сервисные контракты для современных лесных машин // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Пятой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 26-28.

47. Григорьева О.И., Макуев В.А., Барышникова Е.В., Бурмистрова О.Н., Швецова В.В., Григорьев И.В., Иванов В.А. Перспективы импортозамещения систем машин для искусственного лесовосстановления // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 3 (55). С. 78-84.

48. Григорьева О.И., Давтян А.Б., Гринько О.И. Перспективы импортозамещения в производстве лесохозяйственных и лесопожарных машин в России // Лесозаготовка и комплексное использование древесины. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2020. С. 66-69.

49. Куницкая О.А. Проактивный сервис для лесных машин // повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Шестой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2020. С. 86-87.

50. Григорьев И.В., Куницкая О.А., Фам Н.Л. Применение мобильных технологий для мониторинга, контроля и управления процессами сервиса лесных машин // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Ответственные редакторы Ю.А. Безруких, Е.В. Мельникова. 2020. С. 143-146.

© Куницкая О.А., Петров А.В., Кривошеев А.А.,  
Швецов А.С., Дмитриев А.С., Михайлова Л.М., 2023