

Фам Нгок Линь, В.Д. Валяжонков, Ю.Л. Пушков

**ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ВРЕМЕННЫХ РЕЖИМОВ СОВМЕСТНОЙ ТРЕЛЕВКИ
И ТРАНСПОРТИРОВКИ СОРТИМЕНТОВ ТРАКТОРНЫМ
КОЛЕСНЫМ СОРТИМЕНТОПОДБОРЩИКОМ**

Введение. При малообъемных заготовках леса в последние годы все большее внимание уделяется доставке сортиментов напрямую с лесосеки потребителю без создания промежуточного верхнего склада. Это положительно отражается на снижении затрат ресурсов и сохранении качества поставляемой древесины. Совмещение трелевки и транспортировки осуществляют с помощью тракторных колесных сортиментоподборщиков (ТКСП), представляющих собой машинно-тракторные агрегаты (МТА), составленные на базе колесных тракторов классической компоновки и специальных лесных прицепов.

Одним из важных востребуемых ресурсов при выполнении данного технологического процесса (ТП) является время. Его затраты относятся к основным определяющим факторам производительности, которая является главным показателем применяемой технологии. Учитывая стохастический характер протекания ТП, необходимо иметь четкие представления о вероятностно-статистической оценке затрат времени каждой составляющей и в целом о режимах исполнения технологического цикла [Химмельблау, 1973].

Цель исследования – выявление рациональных временных режимов работы ТКСП в процессе трелевочно-транспортного технологического процесса перемещения сортиментов непосредственно с лесосеки потребителю с применением математического моделирования.

Методика исследования. Метод исследования – математическое моделирование. Для реализации поставленной цели программой исследования предусматривалось решение следующих задач:

- разработать структурную схему затрат времени технологического цикла совместной трелевки и транспортировки сортиментов от выборочных рубок леса тракторным колесным сортиментоподборщиком;
- разработать математические модели временных режимов работы ТКСП в едином технологическом процессе трелевки и транспортировки сортиментов;

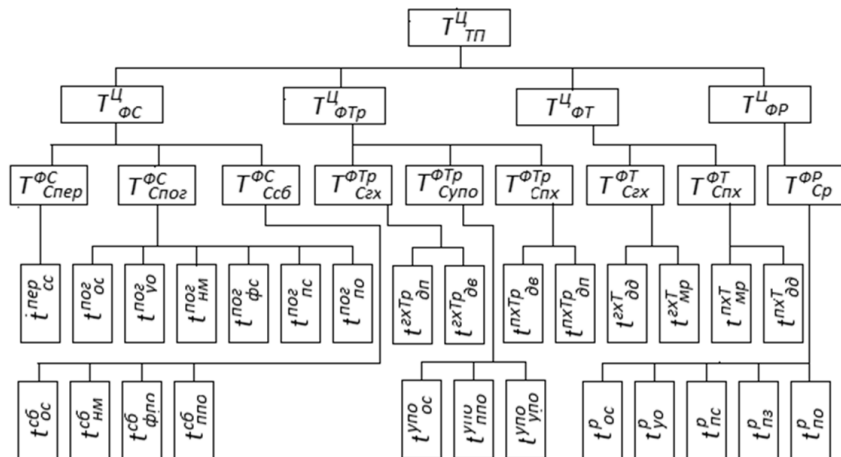
– доказать адекватность теоретических результатов временных режимов работы ТКСП, полученных с помощью разработанных математических моделей, результатам экспериментальных исследований, полученным в реальных условиях производственной эксплуатации.

Результаты исследования. Разработана структурная схема затрат времени технологического цикла трелевки и транспортировки сортиментов ТКСП (рис. 1). Согласно приведенной схеме время цикла технологического процесса $T_{\text{ТП}}^{\text{II}}$ распределяется на выполнение фаз сбора $T_{\text{ФС}}^{\text{II}}$, трелевки $T_{\text{ФТр}}^{\text{II}}$, транспортировки $T_{\text{ФТ}}^{\text{II}}$ и разгрузки $T_{\text{ФР}}^{\text{II}}$ сортиментов. Каждая фаза представляет собой отдельный законченный цикл.

В свою очередь, время каждой фазы распределяется на реализацию стадий, объединяющих отдельные операции ТП для исполнения конкретных видов работ – по перемещению сортиментов и порубочных остатков, для укрепления волоков. Фаза времени сбора сортиментов состоит из стадий времени переездов ТКСП $T_{\text{Спер}}^{\text{ФС}}$, погрузки сортиментов $T_{\text{Спог}}^{\text{ФС}}$ и сбора порубочных остатков $T_{\text{Соб}}^{\text{ФС}}$. При этом данные стадии многократно повторяются в процессе выполнения технологического цикла. В фазу времени трелевки сортиментов $T_{\text{ФТр}}^{\text{II}}$ входят стадии времени грузовых $T_{\text{СГХ}}^{\text{ФТр}}$ и порожних $T_{\text{СПХ}}^{\text{ФТр}}$ ходов ТКСП, а также стадия времени многократного исполнения укладки порубочных остатков $T_{\text{Супо}}^{\text{ФТр}}$. Фазу времени транспортировки сортиментов $T_{\text{ФТ}}^{\text{II}}$ обеспечивают стадии грузового $T_{\text{СГХ}}^{\text{ФТ}}$ и порожнего $T_{\text{СПХ}}^{\text{ФТ}}$ ходов. Фаза времени разгрузки $T_{\text{ФР}}^{\text{II}}$ представлена одной стадией – разгрузкой сортиментов с укладкой их в штабель $T_{\text{Ср}}^{\text{ФР}}$.

Затраты времени на выполнение операций стадий и в целом цикла технологического процесса представлены на схеме (рис. 1). Приведенная структура затрат времени технологического цикла совместной трелевки и транспортировки сортиментов ТКСП позволяет:

- отразить в едином целом все составляющие затрат времени цикла ТП и порядок пооперационного их использования;
- служить программой для определения затрат времени на выполнение в целом цикла и его составляющих;
- для эффективной реализации потенциальных возможностей способов и средств технологического обеспечения установить пути совершенствования затрат времени ТП на всех этапах развития его цикла;
- вскрыть затраты времени на выполнение каждого элемента структуры.



$T_{ТП}^{II}$ – время цикла технологического процесса; затраты времени на выполнение циклов фаз соответственно: $T_{ФС}^{II}$ – сбора, $T_{ФТр}^{II}$ – трелевки, $T_{ФТ}^{II}$ – транспортировки, $T_{ФР}^{II}$ – разгрузки сортиментов; затраты времени на выполнение стадий соответственно: $T_{Спер}^{ФС}$ – переездов ТКСП при сборе сортиментов, $T_{Спог}^{ФС}$ – погрузки сортиментов, $T_{Ссб}^{ФС}$ – сбора порубочных остатков, $T_{Ссх}^{ФТр}$ – грузовых ходов ТКСП при трелевке сортиментов, $T_{Суло}^{ФТр}$ – укладки порубочных остатков, $T_{Спх}^{ФТр}$ – порожних ходов ТКСП при трелевке, $T_{Ссх}^{ФТ}$ – грузовых ходов ТКСП при транспортировке сортиментов, $T_{Спх}^{ФТ}$ – порожних ходов ТКСП при транспортировке сортиментов, $T_{Ср}^{ФР}$ – разгрузки сортиментов с укладкой их в штабель; затраты времени на выполнение операций технологического процесса соответственно: $t_{сс}^{пер}$ – переездов при сборе сортиментов, $t_{ос}^{лог}$ – остановки для погрузки сортиментов, $t_{ю}^{лог}$ – установки опор для устойчивости ТКСП, $t_{нм}^{лог}$ – наводки захвата манипулятора на сортименты, $t_{фс}^{лог}$ – формирования пачек сортиментов, $t_{пс}^{лог}$ – погрузки пачек сортиментов, $t_{по}^{лог}$ – подъема опор, $t_{ос}^{сб}$ – остановки для сбора порубочных остатков, $t_{нм}^{сб}$ – наводки захвата манипулятора на порубочные остатки, $t_{фпо}^{сб}$ – формирования пачек порубочных остатков, $t_{пно}^{сб}$ – погрузки порубочных остатков, $t_{дп}^{хтр}$ – грузового движения ТКСП по пасеке, $t_{дв}^{хтр}$ – грузового движения ТКСП по волоку, $t_{пно}^{упо}$ – остановки для укладки порубочных остатков, $t_{пдно}^{упо}$ – перемещение порубочных остатков, $t_{упо}^{упо}$ – укладка порубочных остатков, $t_{дп}^{пхтр}$ – порожнего движения по волоку, $t_{дп}^{пхтр}$ – порожнего движения по пасеке, $t_{дд}^{хт}$ – грузового движения ТКСП по дороге, $t_{дп}^{хт}$ – грузового движения ТКСП при маневрах на месте разгрузки, $t_{дп}^{пхт}$ – порожнего движения ТКСП при маневрах на месте разгрузки, $t_{дд}^{пхт}$ – порожнего движения ТКСП по дороге, $t_{ос}^p$ – остановки на месте разгрузки, $t_{ю}^p$ – установки опор для устойчивости ТКСП, $t_{пс}^p$ – перемещение сортиментов с укладкой в штабель, $t_{пз}^p$ – перемещение захвата манипулятора со штабеля в грузовой отсек, $t_{по}^p$ – подъема опор.

Рис. 1. Структурная схема затрат времени технологического цикла совместной трелевки и транспортировки сортиментов тракторным колесным сортиментоподборщиком

Fig. 1. Schematic diagram time cycle costs joint skidding and transportation of assortment tractor wheeled assortment

Для всего этого необходима разработка вероятностно-статистических моделей, описывающих созданную структурную схему [Химмельблау, 1973]. Рассматриваемый процесс перемещения древесины является стохастическим. Значения показателей моделей являются случайными величинами математического ожидания $m(\bar{X})$ с диапазоном его изменения $m(X_{\min}) \dots m(X_{\max})$ и характерными отклонениями σ_x . В общем виде вероятностно-статистические модели можно представить следующими выражениями изменения времени технологического цикла:

$$P_{\text{ТП}}^{\text{II}} = \sum_{i=1}^{n=4} P_{\Phi_i}^{\text{IIТП}} = \sum_{j=1}^{n=7} P_{C_j}^{\text{II}\Phi} = \sum_{f=1}^{n=17} P_{\Phi_f}^{\text{II}}; \quad (1)$$

$$m(T_{\text{ТП}}^{\text{II}}) = \sum_{i=1}^{n=4} m(T_{\Phi_i}^{\text{II}}) = \sum_{j=1}^{n=9} m(T_{C_j}^{\Phi}) = \sum_{v=1}^{n=27} m(T_{Iv}^C). \quad (2)$$

Первая модель отражает вероятностный характер схемы, вторая – статистический.

В результате анализа потоков распределения временных затрат на выполнение трелевочно-транспортного цикла перемещения сортиментов получены следующие модели:

– изменения времени цикла технологического процесса $m(T_{\text{ТП}}^{\text{II}})$ в зависимости от продолжительности времени выполнения рабочих фаз:

$$m(T_{\text{ТП}}^{\text{II}}) = m(n_{\Phi_C})m(T_{\Phi_C}^{\text{II}}) + m(T_{\Phi_{\text{Тр}}}^{\text{II}}) + m(T_{\Phi_{\text{Т}}}^{\text{II}}) + m(n_{\Phi_{\text{Р}}})m(T_{\Phi_{\text{Р}}}^{\text{II}}); \quad (3)$$

– изменения времени технологического цикла $m(T_{\text{ТП}}^{\text{II}})$ в зависимости от времени затрачиваемого на выполнение стадий рабочих фаз цикла:

$$\begin{aligned} m(T_{\text{ТП}}^{\text{II}}) = & m(n_{\text{Спер}})m(T_{\text{Спер}}^{\Phi C}) + m(n_{\text{Спор}})m(T_{\text{Спор}}^{\Phi C}) + \\ & + m(n_{\text{Ссб}})m(T_{\text{Ссб}}^{\Phi C}) + m(T_{\text{Срх}}^{\Phi \text{Тр}}) + m(n_{\text{Супо}})m(T_{\text{Супо}}^{\Phi \text{Тр}}) + \\ & + m(T_{\text{Спх}}^{\Phi \text{Тр}}) + m(T_{\text{Срх}}^{\Phi \text{Т}}) + m(T_{\text{Спх}}^{\Phi \text{Т}}) + m(n_{\text{Ср}})m(T_{\text{Ср}}^{\Phi \text{Р}}); \end{aligned} \quad (4)$$

– изменение времени технологического цикла $m(T_{\text{ТП}}^{\text{II}})$ в зависимости от использования времени на выполнение операций:

$$\begin{aligned} m(T_{\text{ТП}}^{\text{II}}) = & m(n_{\text{ос}}^{\text{пер}})m(t_{\text{ос}}^{\text{пер}}) + m(n_{\text{ос}}^{\text{пор}})m(t_{\text{ос}}^{\text{пор}}) + m(n_{\text{ос}}^{\text{пор}})m(t_{\text{ос}}^{\text{пор}}) + \\ & + m(n_{\text{нм}}^{\text{пор}})m(t_{\text{нм}}^{\text{пор}}) + m(n_{\text{фс}}^{\text{пор}})m(t_{\text{фс}}^{\text{пор}}) + m(n_{\text{пс}}^{\text{пор}})m(t_{\text{пс}}^{\text{пор}}) + \\ & + m(n_{\text{ос}}^{\text{пор}})m(t_{\text{по}}^{\text{пор}}) + m(n_{\text{ос}}^{\text{сб}})m(t_{\text{ос}}^{\text{сб}}) + m(n_{\text{нм}}^{\text{сб}})m(t_{\text{нм}}^{\text{сб}}) + \\ & + m(n_{\text{фпо}}^{\text{сб}})m(t_{\text{фпо}}^{\text{сб}}) + m(n_{\text{ппо}}^{\text{сб}})m(t_{\text{ппо}}^{\text{сб}}) + m(t_{\text{дп}}^{\text{гхТр}}) + m(t_{\text{дв}}^{\text{гхТр}}) + \\ & + m(n_{\text{ос}}^{\text{упо}})m(t_{\text{ос}}^{\text{упо}}) + m(n_{\text{ппо}}^{\text{упо}})m(t_{\text{ппо}}^{\text{упо}}) + m(n_{\text{упо}})m(t_{\text{упо}}) + \\ & + m(t_{\text{дв}}^{\text{пхТр}}) + m(t_{\text{дп}}^{\text{пхТр}}) + m(t_{\text{дл}}^{\text{гхТ}}) + m(t_{\text{мр}}^{\text{гхТ}}) + m(t_{\text{мр}}^{\text{пхТ}}) + \\ & + m(t_{\text{дл}}^{\text{пхТ}}) + m(t_{\text{ос}}^{\text{р}}) + m(t_{\text{йо}}^{\text{р}}) + m(n_{\text{п}}^{\text{р}})m(t_{\text{пс}}^{\text{р}}) + m(n_{\text{п}}^{\text{р}})m(t_{\text{пз}}^{\text{р}}) + m(t_{\text{по}}^{\text{р}}); \end{aligned} \quad (5)$$

– изменение времени цикла фазы сбора сортиментов $m(T_{\text{ФС}}^{\text{II}})$ в зависимости от использования времени операций фазы:

$$m(T_{\text{ФС}}^{\text{II}}) = m(n_{\text{сс}}^{\text{пер}})m(t_{\text{сс}}^{\text{пер}}) + m(n_{\text{ос}}^{\text{пог}})m(t_{\text{ос}}^{\text{пог}}) + m(n_{\text{ос}}^{\text{пог}})m(t_{\text{yo}}^{\text{пог}}) + \\ + m(n_{\text{нм}}^{\text{пог}})m(t_{\text{нм}}^{\text{пог}}) + m(n_{\text{ФС}}^{\text{пог}})m(t_{\text{ФС}}^{\text{пог}}) + m(n_{\text{пс}}^{\text{пог}})m(t_{\text{пс}}^{\text{пог}}) + \\ + m(n_{\text{ос}}^{\text{пог}}) + m(t_{\text{по}}^{\text{пог}}) + m(n_{\text{ос}}^{\text{сб}})m(t_{\text{ос}}^{\text{сб}}) + m(n_{\text{нм}}^{\text{сб}})m(t_{\text{нм}}^{\text{сб}}) + \\ + m(n_{\text{фпо}}^{\text{сб}})m(t_{\text{фпо}}^{\text{сб}}) + m(n_{\text{ппо}}^{\text{сб}})m(t_{\text{ппо}}^{\text{сб}}); \quad (6)$$

– изменение времени цикла фазы трелевки сортиментов $m(T_{\text{ФТР}}^{\text{II}})$ в зависимости от использования времени операций фазы:

$$m(T_{\text{ФТР}}^{\text{II}}) = m(t_{\text{дп}}^{\text{гхТр}}) + m(t_{\text{дв}}^{\text{гхТр}}) + m(n_{\text{ос}}^{\text{упо}})m(t_{\text{ос}}^{\text{упо}}) + \\ + m(n_{\text{ппо}}^{\text{упо}})m(t_{\text{ппо}}^{\text{упо}}) + m(n_{\text{упо}}^{\text{упо}})m(t_{\text{упо}}^{\text{упо}}) + m(t_{\text{дв}}^{\text{пхТр}}) + m(t_{\text{дп}}^{\text{пхТр}}); \quad (7)$$

– изменение времени цикла фазы транспортировки сортиментов $m(T_{\text{ФТ}}^{\text{II}})$ в зависимости от использования времени операций фазы:

$$m(T_{\text{ФТ}}^{\text{II}}) = m(t_{\text{дл}}^{\text{гхТ}}) + m(t_{\text{мр}}^{\text{гхТ}}) + m(t_{\text{мр}}^{\text{пхТ}}) + m(t_{\text{дл}}^{\text{пхТ}}); \quad (8)$$

– изменение времени цикла фазы разгрузки сортиментов $m(T_{\text{ФР}}^{\text{II}})$ в зависимости от использования времени операций фазы:

$$m(T_{\text{ФР}}^{\text{II}}) = m(t_{\text{ос}}^{\text{р}}) + m(t_{\text{yo}}^{\text{р}}) + m(n_{\text{п}}^{\text{р}})m(t_{\text{пс}}^{\text{р}}) + m(n_{\text{п}}^{\text{р}})m(t_{\text{пз}}^{\text{р}}) + m(t_{\text{по}}^{\text{р}}); \quad (9)$$

Для установления тождественности временных режимов работы ТКСП в реальных условиях производственной эксплуатации результатам математического моделирования выполнены специальные экспериментальные наблюдения. Наблюдения проводились в Велико-Устюгском лесничестве Вологодской области на лесных площадях, характерных для среднетаежной подзоны Северо-Запада. Состав древостоев на 40–60% состоит из хвойных насаждений в возрасте 60–90 лет. Общий запас древесины в насаждениях колеблется в диапазоне 315–335 м³/га. Почвенный покров лесозаготовительных площадей по типизации ЦНИИМЭ представлен на 20–30% второй и на 70–80% – третьей категорией, расположение которых по поверхности мозаично. Разработка лесосек производилась выборочными рубками заготовки сортиментов по узкопасечной технологии с одним или двумя вспомогательными коридорами. Заготовка выполнялась харвестерами и бензопилами, трелевка и транспортировка – ТКСП. Схема разработки лесосек представлена на рис. 2. Она разработана на основании рекомендаций [Желдак, 2010; Наставления..., 1994; Ширнин, Пошарников, 2001].

Наибольшее насыщение отечественного парка колесных сортиментоподборщиков принадлежит машинам среднего класса. Особенно это касается малообъемных лесозаготовок, где приоритет имеют ТКСП. С целью повышения эффективности их использования требуется всестороннее изучение временных режимов работы машин данного типа и их технологического оборудования в условиях производственной эксплуатации [Ширнин, Пошарников, 2001; Efficient..., 2006; Forest..., 1980; Forest..., 1991].

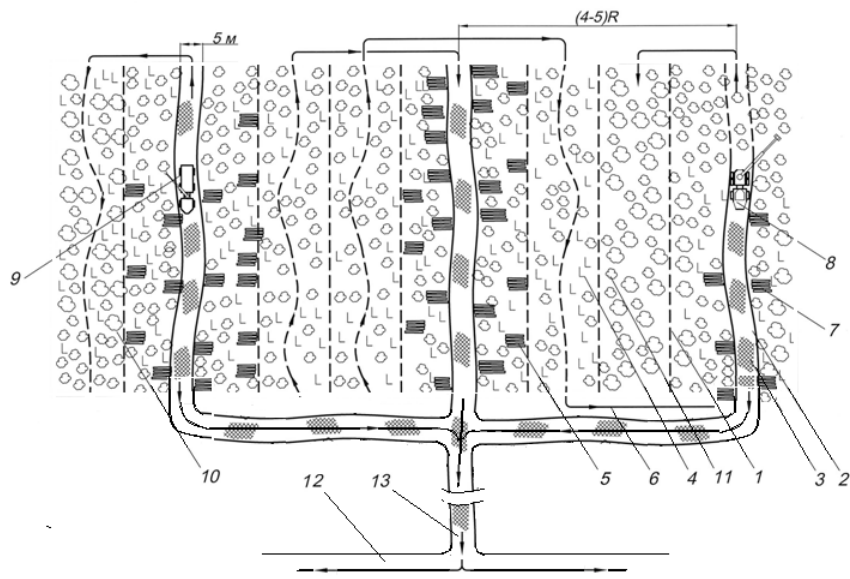


Рис. 2. Схема разработки лесосек по узкопасечной технологии с двумя вспомогательными коридорами с заготовкой сортиментов на базе харвестера и сортиментоподборщика

- 1 – граница ленты; 2 – пасечный технологический коридор (пасечный волок);
 3 – порубочные остатки; 4 – пни; 5 – пачки сортиментов, сформированные при рубке вспомогательной ленты; 6 – ход харвестера; 7 – сортименты, заготовленные харвестером при прокладке коридора и разработке лент вдоль него;
 8 – харвестер; 9 – сортиментоподборщик; 10 – полоса лесонасаждений после рубки;
 11 – полоса лесонасаждений до рубки; 12 – дорога; 13 – магистральный волок;
 R – радиус вылета стрелы манипулятора

Fig. 2. Cutting area development scheme for apiary technology with two auxiliary corridors with harvesting assortments based on a harvester and assortment assortment

Проведены хронометражные наблюдения за работой тракторного колесного сортиментоподборщика МТЗ-952.4 + ONIAR 12T WD при доставке сортиментов с лесосеки непосредственно на базу потребителя. Сортиментоподборщик МТЗ-952.4 + ONIAR 12T представляет собой двухмодульный МТА. Его тягово-энергетическим модулем является лесная модификация универсального белорусского колесного трактора МТЗ-952.4, технологическим – специальный лесной прицеп эстонского производства ONIAR 12T.

Данный ТКСП имеет: мощность 70 кВт, массу 7670 кг, грузоподъемность 12000 кг, объем грузового отсека $14,8 \text{ м}^3$ и его сечение $2,6 \text{ м}^2$, габариты (длина \times ширина \times высота) $10,2 \times 2,3 \times 2,8 \text{ м}$, дорожный просвет 610 мм, ширина колеи по трактору 1,7 м.

Сортиментоподборщик МТЗ-952.4 + ONIAR 12Т имеет полноприводную ходовую систему 8К8. В качестве погрузочного устройства на прицепе установлен гидроманипулятор ONIAR 671 с вылетом стрелы 6,7 м.

Для наблюдения за работой ТКСП в процессе экспериментальных исследований использовались общепринятые методики государственных стандартов по эксплуатационно-технологической оценке и испытаний сельскохозяйственных тракторов и машин [ГОСТ..., 1976; ГОСТ..., 1996].

Минимальное необходимое количество наблюдений определялось исходя из требуемой точности опыта:

$$n = t^2 C_v^2 / P^2,$$

где t – критерий Стьюдента для принятого уровня значимости (обычно при 0,05 равен 1,96); C_v – коэффициент вариации, определяемый по данным прежних наблюдений или на основе пробной выборки; P – точность, планируемая в данном опыте (обычно 5–10%).

Установлена достаточность проведения опытов в объеме 38–54.

Основными факторами, влияющими на производительность тракторного колесного сортиментоподборщика и затраты времени на выполнение технологического процесса, являются переместительные, временные и скоростные режимы работы. Хронометражными наблюдениями и специальными экспериментами определены статистические характеристики параметров и показателей, характеризующие данные режимы. Они приведены в табл. 1. С помощью моделей (1)–(9), являющихся основой методики вероятностно-статистического определения временных режимов цикла доставки сортиментов с применением ТКСП, установлены распределения временных затрат на выполнение фаз и операций ТП (табл. 2).

На рис. 3 приведена диаграмма распределения стадийных затрат времени, отражающих все виды работ машины и ее технологического оборудования в течение цикла. В обоих случаях данные дают полное представление о количественном и вероятностном распределении потока данных затрат.

Общие затраты времени на выполнение цикла ТП по доставке $12,46 \text{ м}^3$ сортиментов на расстояние 12,93 км составляют 134,01 мин. Совместно с сортиментами перемещали по лесосеке для усиления опорной поверхности волока в среднем за рейс грузового хода ТКСП $0,9 \text{ м}^3$ порубочных остатков.

Таблица 1

Статистические характеристики параметров и показателей выполнения технологического процесса

Statistical characteristics of parameters and indicators process performance

Показатель	Значение			
	$m(X)$	min–max	$m(\sigma_x)$	$m(K_v), \%$
Объем трелеваемого вoза $Q_B, м^3$	12,46	9,63–15,29	0,942	7,56
Коэффициент сопротивления движению ТКСП:				
по пасеке $\psi_{п}$	0,25	0,226–0,524	0,008	3,05
по волоку $\psi_{в}$	0,30	0,267–0,333	0,011	3,75
по дороге $\psi_{д}$	0,03	0,027–0,033	0,001	3,30
Скорость грузового хода ТКСП, км/ч:				
по пасеке $v_{п}^{гх}$	3,35	2,615–4,085	0,275	8,21
по волоку $v_{в}^{гх}$	3,63	2,634–4,626	0,332	9,15
по дороге $v_{д}^{гх}$	17,33	14,07–20,59	1,087	6,27
при маневрах $v_{м}^{гх}$	3,97	2,458–4,582	0,204	5,13
Скорость порожнего хода КСП, км/ч:				
по пасеке $v_{п}^{пх}$	3,91	3,010–4,810	0,300	7,68
по волоку $v_{в}^{пх}$	4,12	3,073–5,167	0,349	8,47
по дороге $v_{д}^{пх}$	19,14	15,53–22,75	1,204	6,29
при маневрах $v_{м}^{пх}$	5,32	4,507–6,133	0,271	5,09
Длина волока, м:				
пасечного $L_{Пв}$	123,7	105,9–141,9	6,074	4,91
магистрального $L_{Мв}$	648,5	458,4–838,6	63,36	9,77
Длина переезда при сборе сортиментов $\ell_{пер}, м$	31,0	23,41–38,59	2,530	8,16
Длина пути порожнего движения ТКСП, м:				
по пасеке $\ell_{п}^{пх}$	58,0	43,35–72,65	4,884	8,42
по волоку $\ell_{в}^{пх}$	456,0	352,9–559,1	34,38	7,54
по дороге $\ell_{д}^{пх}$	12260	9752–14768	836,1	6,82
при маневрах $\ell_{м}^{пх}$	73,0	60,43–85,57	4,489	6,15
Длина пути грузового движения ТКСП, м:				
по пасеке $\ell_{п}^{гх}$	94,0	68,25–119,75	8,582	9,13
по волоку $\ell_{в}^{гх}$	456,0	356,3–555,72	33,24	7,29
по дороге $\ell_{д}^{гх}$	12260	9811–14710	816,5	6,66
при маневрах $\ell_{м}^{гх}$	47,0	38,43–55,57	2,858	6,08
Длина пути движения ТКСП за цикл $L_{ц}, м$	25860	18180–33540	2560,1	9,90

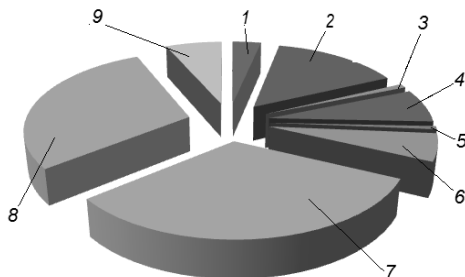


Рис. 3. Диаграмма распределения затрат времени технологического цикла перемещения сортиментов по стадиям выполнения работ

1 – проезды ТКСП при сборе сортиментов $T_{\text{Спер}}^{\text{ФС}} = 4,46$ мин, $P_{\text{Спер}}^{\text{ФС}} = 0,033$;
 2 – погрузка сортиментов $T_{\text{Сног}}^{\text{ФС}} = 19,62$ мин, $P_{\text{Сног}}^{\text{ФС}} = 0,146$; 3 – сбор порубочных остатков $T_{\text{Соб}}^{\text{ФС}} = 1,12$ мин, $P_{\text{Соб}}^{\text{ФС}} = 0,008$; 4 – грузовые хода ТКСП при трелевке сортиментов $T_{\text{Срх}}^{\text{ФТр}} = 9,92$ мин, $P_{\text{Срх}}^{\text{ФТр}} = 0,069$; 5 – укладка порубочных остатков $T_{\text{Суно}}^{\text{ФТр}} = 0,9$ мин, $P_{\text{Суно}}^{\text{ФТр}} = 0,007$; 6 – порожние хода ТКСП при трелевке $T_{\text{Спх}}^{\text{ФТр}} = 7,53$ мин, $P_{\text{Спх}}^{\text{ФТр}} = 0,056$; 7 – грузовые хода ТКСП при транспортировке сортиментов $T_{\text{Срх}}^{\text{ФТ}} = 43,16$ мин, $P_{\text{Срх}}^{\text{ФТ}} = 0,323$; 8 – порожние хода ТКСП при транспортировке сортиментов $T_{\text{Спх}}^{\text{ФТ}} = 39,25$ мин, $P_{\text{Спх}}^{\text{ФТ}} = 0,293$; 9 – $T_{\text{Ср}}^{\text{Фр}}$ – разгрузка сортиментов с укладкой их в штабель $T_{\text{Ср}}^{\text{Фр}} = 8,75$ мин, $P_{\text{Ср}}^{\text{Фр}} = 0,065$

Fig. 3. Time Allocation Chart technological cycle of moving assortments by work stages

Баланс изменения времени цикла технологического процесса $m(T_{\text{ПТ}}^{\text{II}})$ перемещения сортиментов в зависимости от продолжительности выполнения рабочих фаз представлен моделью (3). Анализ его вероятностно-статистических характеристик (табл. 2) показывает, что наибольшую продолжительность имеет фаза транспортировки сортиментов ($m(T_{\text{ФТ}}^{\text{II}}) = 82,41$ мин, $m(P_{\text{ФТ}}^{\text{II}}) = 0,62$). Она в 3,5, 4,9 и 10,5 раз продолжительнее соответственно фаз сбора, трелевки и разгрузки сортиментов. В итоге на фазу транспортировки приходится 62% времени цикла, а на остальные три фазы – 28%.

Вероятностно-статистический характер стадийного распределения затрат времени проиллюстрирован диаграммой (рис. 3). Она хорошо отражает баланс изменения времени $m(T_{\text{ПТ}}^{\text{II}})$ в зависимости от продолжительности выполнения рабочих стадий, представленных моделью (4). Как и следовало ожидать, основное количество времени ПТ затрачивается на выполнение стадий грузового, $m(T_{\text{Срх}}^{\text{ФТ}}) = 43,16$ мин, $m(P_{\text{Срх}}^{\text{ФТ}}) = 0,33$, и порожнего, $m(T_{\text{Спх}}^{\text{ФТ}}) = 39,25$ мин, $m(P_{\text{Спх}}^{\text{ФТ}}) = 0,29$, ходов транспортировки сортиментов. Превышающие затраты времени на грузовой ход объясняются низким скоростным режимом, в сравнении с порожним ходом при равном плече перемещения.

Таблица 2

**Статистические характеристики затрат времени
на выполнение технологического цикла**

Statistical characteristics of time spent for execution technological cycle

Операция процесса	Значения показателя затрат, мин				
	\bar{X} , мин	$X_{\min} - X_{\max}$	σ_x	$Cv, \%$	P_x
Затраты времени на выполнение технологического цикла					
Суммарные цикловые затраты, $m(T_{\text{ТП}}^{\text{II}})$	134,01	91,9–168,4	12,7	9,79	1,0
Затраты времени на выполнение фаз технологического цикла					
Сбор сортиментов, $m(T_{\text{ФС}}^{\text{II}})$	23,23	14,5–31,9	2,99	12,5	0,18
Трелевка сортиментов, $m(T_{\text{ФТР}}^{\text{II}})$	16,75	10,6–22,9	2,06	12,3	0,13
Транспортировка сортиментов, $m(T_{\text{ФТ}}^{\text{II}})$	82,41	53,9–110,9	9,49	11,5	0,63
Разгрузка сортиментов, $m(T_{\text{ФР}}^{\text{II}})$	7,80	5,4–10,2	0,79	10,1	0,06
Затраты времени на выполнение операций технологического цикла					
Порожные маневры на разгрузке, $t_{\text{MP}}^{\text{пхГ}}$	0,82	0,46–1,18	0,12	14,60	0,006
Порожнее движение по дороге, $t_{\text{дл}}^{\text{пхГ}}$	38,43	22,16–54,70	5,42	14,11	0,29
Порожнее движение по волоку, $t_{\text{дв}}^{\text{пхГр}}$	6,64	3,04–10,24	1,20	18,06	0,05
Порожнее движение по пасеке, $t_{\text{дл}}^{\text{пхГр}}$	0,89	0,37–1,41	0,17	19,33	0,07
Переезд при сборе сортиментов, $t_{\text{сс}}^{\text{пер}}$	$0,7 \times 5,16 = 4,46$	1,72–7,21	0,96	20,51	0,03
Остановка погрузки сортиментов, $t_{\text{ос}}^{\text{пор}}$	$0,1 \times 5,16 = 0,52$	0,17–0,87	0,12	22,34	0,01
Установка опор устойчивости, $t_{\text{юо}}^{\text{пор}}$	$0,44 \times 5,16 = 2,3$	1,05–3,49	0,41	17,92	0,02
Наводка захвата на сортименты, $t_{\text{нм}}^{\text{пор}}$	$0,11 \times 26,7 = 2,9$	1,24–4,58	0,56	19,18	0,02
Формирование пачек сортиментов $t_{\text{ФС}}^{\text{пор}}$	$0,28 \times 26,7 = 7,5$	2,96–11,96	1,50	20,11	0,04
Погрузка пачек сортиментов, $t_{\text{пс}}^{\text{пор}}$	$0,17 \times 26,7 = 4,5$	2,38–6,681	0,72	15,82	0,04
Подъем опор устойчивости, $t_{\text{по}}^{\text{пор}}$	$0,37 \times 5,16 = 1,9$	0,97–2,85	0,31	16,37	0,02
Грузовое движение по пасеке, $t_{\text{дл}}^{\text{пхГр}}$	1,68	0,73–2,63	0,32	18,79	0,01
Остановки сбора порубочных остатков, $t_{\text{ос}}^{\text{сб}}$	$0,10 \times 2 = 0,20$	0,08–0,32	0,03	13,11	0,001
Наводка захвата на порубочных остатках, $t_{\text{нм}}^{\text{сб}}$	$0,11 \times 2 = 0,22$	0,07–0,37	0,05	21,03	0,001
Формирование пачек порубочных остатков, $t_{\text{фпо}}^{\text{сб}}$	$0,19 \times 2 = 0,38$	0,20–0,56	0,06	16,94	0,003
Погрузка порубочных остатков, $t_{\text{пно}}^{\text{сб}}$	$0,16 \times 2 = 0,32$	0,14–0,50	0,06	18,34	0,003
Грузовое движение по волоку, $t_{\text{дв}}^{\text{пхГр}}$	7,54	3,68–11,40	1,29	17,06	0,06

Окончание табл. 2

Операция процесса	Значения показателя затрат, мин				
	\bar{X} , мин	$X_{\min} - X_{\max}$	σ_x	C_v , %	P_x
Остановка укладки порубочных остатков, $t_{\text{ос}}^{\text{упо}}$	0,10×2=0,20	0,05–0,35	0,05	12,38	0,001
Перемещение порубочных остатков, $t_{\text{ппо}}^{\text{упо}}$	0,12×2=0,24	0,12–0,36	0,04	15,21	0,001
Укладка порубочных остатков, $t_{\text{упо}}^{\text{упо}}$	0,23×2=0,46	0,22–0,70	0,08	17,77	0,003
Грузовое движение по дороге, $t_{\text{дд}}^{\text{гхГ}}$	42,45	26,11–58,79	5,45	12,83	0,33
Грузовые маневры на разгрузке, $t_{\text{мп}}^{\text{гхГ}}$	0,71	0,39–1,03	0,12	15,07	0,005
Остановка на месте разгрузки, $t_{\text{ос}}^{\text{р}}$	0,10	0,07–0,13	0,01	9,75	0,001
Установка опор устойчивости, $t_{\text{йо}}^{\text{р}}$	0,44	0,29–0,59	0,05	12,15	0,003
Перемещение сортиментов в штабель, $t_{\text{пс}}^{\text{р}}$	0,22×24,4=5,4	3,09–7,65	0,76	14,14	0,05
Перемещение захвата в грузовой отсек, $t_{\text{пз}}^{\text{р}}$	0,1×24,4=2,44	1,43–3,45	0,34	13,83	0,02
Подъем опор устойчивости, $t_{\text{по}}^{\text{р}}$	0,37	0,25–0,49	0,04	11,33	0,003

Полное и подробное представление о вероятностно-статистическом характере изменения времени ТП перемещения сортиментов дает баланс его затрат времени на выполнение отдельных операций ТП. Данный баланс отражает модель (5). Она открыла возможность количественно и качественно оценить все операции процесса и порядок его исполнения. Значения оценочных показателей в вероятностно-статистическом виде приведены в табл. 2.

В результате использования временных данных операций процесса установлены вероятностно-статистические затраты времени на работу МТА и его технологического оборудования. Они составили: на работу агрегата – $m(T_{\text{МТА}}^{\text{II}}) = 103,60$ мин, $m(P_{\text{МТА}}^{\text{II}}) = 0,762$, гидроманипулятора – $m(T_{\text{ГМ}}^{\text{II}}) = 25,38$ мин, $m(P_{\text{ГМ}}^{\text{II}}) = 0,186$, и опор устойчивости – $m(T_{\text{ОУ}}^{\text{II}}) = 7,01$ мин, $m(P_{\text{ОУ}}^{\text{II}}) = 0,052$. Полученные сведения гласят о том, что более 76% времени оператор занят управлением машины, около 19% – гидроманипулятором и свыше 5% – опорами устойчивости.

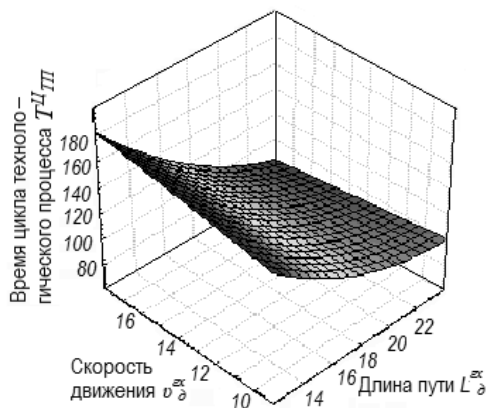
Наибольшая продолжительность времени технологического процесса приходится на операцию «грузовое движение ТКСП по дороге», что составляет 33% общего времени цикла. Основными факторами, влияющими на изменчивость ее продолжительности, являются скорость движения машины $v_{\text{д}}^{\text{гх}}$ и длина пути $l_{\text{д}}^{\text{гх}}$. Учитывая особенности продолжительности рассматриваемой операции, выполнен эксперимент по выявлению характера и степени влияния данных факторов на суммарные затраты времени цикла ТП.

Обработка экспериментальных данных выполнена с помощью регрессионного анализа. В результате получено множественное нелинейное регрессионное уравнение совместного влияния скорости движения машины и длины пути при грузовом ходе ТКСП на общие затраты времени цикла технологического процесса, которое имеет следующий вид:

$$T_{\text{ТП}}^{\text{II}} = 272,14 - 15,92v_{\text{д}}^{\text{гх}} + 6,97\ell_{\text{д}}^{\text{гх}} + 0,395v_{\text{д}}^{\text{гх}^2} - 0,363v_{\text{д}}^{\text{гх}} \ell_{\text{д}}^{\text{гх}} - 0,008 \ell_{\text{д}}^{\text{гх}^2}. \quad (10)$$

Уравнение имеет высокое значение коэффициента детерминации ($RI = 0,828$), свидетельствуя о том, что точки хорошо ложатся на поверхность отклика и о высокой достоверности всего уравнения регрессии ($p < 0,0003$).

С помощью полученного регрессионного уравнения (10) построена графическая зависимость $T_{\text{ТП}}^{\text{II}} = f(v_{\text{д}}^{\text{гх}}, \ell_{\text{д}}^{\text{гх}})$, которая полностью представляет характер и степень влияющих факторов на суммарные затраты времени цикла ТП (рис. 4). Целесообразно также получить регрессионные уравнения, отражающие характер и степень влияния параметров других операций процесса. Полученное уравнение открывает возможность установления рационального сочетания значений влияющих параметров, обеспечивающих работу ТКСП с минимальными затратами времени технологического процесса.



Распределение поверхности отклика по уровням значений времени цикла технологического процесса



Рис. 4. Зависимость изменения времени цикла технологического процесса под совместным влиянием скорости движения грузового хода и длины грузового хода

Fig. 4. Dependence of change of cycle time technological process under joint influence movement speed, freight stroke and the length of the freight stroke

В результате проведенного анализа доказана целесообразность выявления рациональных временных режимов работы ТКСП трелевочно-транспортного технологического процесса перемещения сортиментов. Доказательства отражены в разработке структурной схемы затрат времени на выполнение технологического процесса, создании математических моделей временных режимов работы ТКСП и адекватности полученных теоретических и экспериментальных данных.

Выводы. На основании решения поставленных задач исследования сделаны следующие выводы:

- разработанная структурная схема затрат времени технологического цикла совместной трелевки и транспортировки сортиментов ТКСП позволяет отразить в едином целом все составляющие затрат времени цикла ТП и порядок пооперационного их использования;
- разработанный комплекс математических моделей позволяет описывать временные режимы работы ТКСП при реализации технологического процесса трелевки и транспортировки сортиментов под влиянием продолжительности времени выполнения рабочих фаз, их стадий и отдельных операций;
- экспериментально определенные статистические характеристики параметров и показателей характеризуют переместительные и нагрузочно-скоростные режимы работы тракторного колесного сортиментоподборщика МТЗ-952.4 + ONIAR 12Т WD при доставке сортиментов с лесосеки непосредственно на базу потребителя.

Установлены вероятностно-статистические характеристики временных затрат цикла доставки сортиментов исходя из возможности объема грузового отсека сортиментоподборщика МТЗ-952.4 + ONIAR 12Т WD и параметров принятой технологии реализации производственного процесса в среднетаежных условиях Северо-Запада. При этом с помощью математических моделей получены распределения в виде балансов временных затрат ТП на выполнение его фаз и операций.

Получено множественное нелинейное регрессионное уравнение, позволяющее установить характер и степень совместного влияния длины пути и скорости движения ТКСП наиболее времязатратной операции грузового хода на общие затраты времени цикла технологического процесса, выполняемого сортиментоподборщиком МТЗ-952.4 + ONIAR 12Т WD.

Библиографический список

- Химмельблау Д.* Анализ процессов статистическими методами: пер. с англ. М.: Мир, 1973. 957 с.
- Желдак В.И.* Эколого-лесоводственные основы целевого устойчивого управления лесами. М.: ВНИИЛМ, 2010. 377 с.

Наставления по рубкам ухода в равнинных лесах европейской части России / ФСЛХ. М.: ВНИИЦлесресурс, 1994. 190 с.

Ширнин Ю.А., Пошарников Ф.В. Технология и оборудование малообъемных лесозаготовок и лесовосстановления: учеб. пособие. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. 398 с.

Efficient servicing-minimal downtime // Ponsse News. Newsletter for Ponsse Group's customers and shareholders. 2006. No. 1. P. 46.

Forest Improvement Techniques and Machinery / Arvi A Karisto. Finland: Metsaajitussaaion, 1980. 107 p.

Forest Operations in Sweden. Sweden: Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, 1991. 59 p.

ГОСТ 20915–75. Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1976. 34 с.

ГОСТ 7057–96. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1996. 25 с.

References

Himmelblau D. Analysis of processes by statistical methods: translated from english. М.: World, 1973. 957 p.

Zheldak V.I. Ecological and forestry basics of targeted sustainable forest management. М.: VNIILM, 2010. 377 p.

Instructions on thinning in the lowland forests of the European part of Russia / FSLH. М.: VNIITSlesresurs, 1994. 190 p.

Shirnin Y.A., Posharnikov F.V. Technology and equipment for low volume logging and reforestation: tutorial. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2001. 398 p.

Efficient servicing-minimal downtime. Ponsse News. Newsletter for Ponsse Group's customers and shareholders, 2006, no. 1, p. 46.

Forest Improvement Techniques and Machinery / Arvi A Karisto. Finland: Metsaajitussaaion, 1980. 107 p.

Forest Operations in Sweden. Sweden: Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, 1991. 59 p.

GOST 20915–75. Agricultural machinery. Methods for determining test conditions. М.: Standards Publishing, 1976. 34 p.

GOST 7057–96. Agricultural tractors. Test methods. М.: Standards Publishing, 1996. 25 p.

Материал поступил в редакцию 14.01.2019 г.

Фам Нгок Линь, Валяжонков В.Д., Пушков Ю.Л. Вероятностно-статистическая оценка временных режимов совместной трелевки и транспортировки сортиментов тракторным колесным сортиментоподборщиком // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. Вып. 226. С. 66–81. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.226.66-81

Цель исследования – выявление временных режимов работы тракторных колесных сортиментоподборщиков (ТКСП) на выполнении трелевочно-транспортного технологического процесса (ТП) перемещения сортиментов непосредственно с лесосеки потребителю с применением математического моделирования. Для реализации цели разработаны структурная схема затрат времени цикла ТП и комплекс математических моделей – временные режимы работы ТКСП. Экспериментально установлены вероятностно-статистические характеристики временных затрат составляющих цикла доставки сортиментов сортиментоподборщиком МТЗ-952.4 + ONIAR 12Т WD в среднетаежных условиях Северо-Запада. Для выявления характера и степени влияния длины пути и скорости при грузом движении данного ТКСП в приведенных условиях на общие затраты времени цикла ТП получено множественное нелинейное регрессионное уравнение.

Ключевые слова: временные режимы работы тракторного колесного сортиментоподборщика, трелевочно-транспортный технологический процесс перемещения сортиментов.

Pham Ngoc Linh, Valyazhonkov V.D., Pushkov Yu.L. Probabilistic-statistical estimation of timing modes of skidding and transportation of assortment by a skidder. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2019, is. 226, pp. 66–81 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2019.226.66-81

The purpose of the article is to identify temporary modes of operation wheeled tractor selector assortment (WTSA) on the performance of the logging process (LP) movement of assortments directly from the cutting area to the consumer using mathematical modeling. To accomplish the goal, a structural scheme of cycle time costs LP and a set of mathematical models of temporal modes of operation WTSA. The probabilistic-statistical characteristics of the time-consuming components of the cycle of delivery of assortments by selector assortment MTW-952.4 + ONIAR 12T WD in the mid-taiga conditions of the North-West. To identify the nature and extent of the influence of the length of the path and speed during the freight movement of the WTSA in the above conditions on the total cost of cycle time LP obtained multiple nonlinear regression equation.

Keywords: temporary operating modes wheeled tractor selector assortment, logging process of assortments.

ФАМ НГОК ЛИнь – университет Сао До, Вьетнам, кандидат технических наук. ул. Thai Hoc, д. 24, район Sao Do, г. Chi Linh, провинция Hai Duong, Vietnam. E-mail: linhpham110@gmail.com

PHAM Ngoc Linh – PhD (Technical), SAO DO University, Vietnam. Nguyen Thai Hoc 24. Sao Do. Thi xa Chi Linh. Hai Duong. Vietnam. E-mail: linhpham110@gmail.com

ВАЛЯЖОНКОВ Владимир Дмитриевич – доцент кафедры лесного машиностроения, сервиса и ремонта лесных машин Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: valy-vladimir@yandex.ru

VALYAZHONKOV Vladimir D. – PhD (Technical), Associate Professor, Department of operation of transport and technological machines, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institutsky per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: valy-vladimir@yandex.ru

ПУШКОВ Юрий Леонидович – доцент кафедры лесного машиностроения, сервиса и ремонта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: pushkov_yura@mail.ru

PUSHKOV Yuri L. – PhD (Technical), Associate Professor of Department of operation of transport and technological machines, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institutsky per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: pushkov_yura@mail.ru