

УДК 630\*375.4

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-145-154

## ПОТРЕБЛЕНИЕ ТОПЛИВА ПОРТАЛЬНЫМ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫМ ТРАКТОРОМ С УЧЕТОМ СТОХАСТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

*Д.Г. Мясищев, д-р техн. наук, проф.*

*Д.Н. Шостенко, канд. техн. наук, доц.*

*А.В. Серебrenников, асп.; ResearcherID: [AAY-1917-2020](https://orcid.org/0000-0002-2935-860X),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2935-860X>*

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: d.myasishchev@narfu.ru, d.shostenko@narfu.ru, serebrennikov.a@edu.narfu.ru

В современных условиях просматривается тенденция создания универсальной тракторной базы тягового класса. С позиции производителя таких тракторов, все очень целесообразно и логично: минимизируется количество унифицированных узлов и агрегатов, снижается номенклатурный список комплектующих. Однако это приемлемо до определенной степени, которая ограничена технологическим шлейфом для создаваемого трактора и спецификой его применения. В статье рассматриваются портальный лесохозяйственный трактор тягового класса 6 кН, имеющий разнообразный шлейф рабочих органов и машин, а также грузовую платформу на задней шарнирно-соединенной секции, и грузовой режим движения агрегата по случайному микропрофилю под колесами в колеях. Решается задача статистической динамики. В качестве выходного процесса строится изображение Лапласа для часового расхода топлива двигателем трактора, в качестве входного процесса моделируется Лапласово изображение внешнего случайного воздействия от микропрофиля по колеям. При этом определяется передаточная функция часового расхода топлива, которая позволяет при заданном микропрофиле по колеям оценить спектральную плотность часового расхода топлива трактором и дисперсию часового расхода. С использованием корреляционной теории случайных процессов оценивается математическое ожидание часового расхода топлива при транспортных работах и появляется возможность решения оптимизационной задачи – выбора таких шин ходовых тележек, при которых обеспечивается минимум дисперсии и математического ожидания часового расхода топлива транспортного агрегата. Ситуационная комбинация сводится к тому, что с ростом радиуса шин, с одной стороны, происходит увеличение высоты центра тяжести агрегата, что способствует повышению часового расхода топлива, но, с другой стороны, увеличение радиуса шины снижает коэффициент сопротивления качению колеса и расход топлива. Таким образом, имеется задача дискретной оптимизации – выбора конструкции шины, при которой минимизируются энергетические затраты исследуемого транспортного агрегата.

**Для цитирования:** Мясищев Д.Г., Шостенко Д.Н., Серебrenников А.В. Потребление топлива портальным лесохозяйственным трактором с учетом стохастических факторов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 5. С. 145–154. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-145-154

**Ключевые слова:** портальный трактор, микропрофиль, расход топлива, передаточная функция, оптимизация.

### *Введение*

В современном лесном хозяйстве широко применяются малогабаритные тракторы различных заводов-производителей. Они существенно отличаются

по целому ряду параметров и компоновочных решений. Многие лесохозяйственные предприятия оснащены необходимыми малогабаритными (мощность до 15 кВт, тяговый класс 6 кН и менее) тракторами и самоходными шасси.

Выделяется ряд малогабаритных тракторов и тракторных самоходных шасси, которые выступают в качестве лесохозяйственных. Например, из числа колесных тракторов в перечень лесохозяйственных можно включить трактор Владимирского тракторного завода ТЛ-28 (тяговый класс 6 кН, колесная формула 4×4) с шарнирно-сочлененной ходовой частью и его аналог – трактор ТЛ-30 (тяговый класс 9 кН, колесная формула 4×4), изготавливаемый на заводе им. В.А. Малышева. Оба трактора схожи по компоновке и используются для трелевки древесины от рубок ухода разного вида, а также в агрегате с различными лесохозяйственными машинами и орудиями. Важным достоинством этих машин является шарнирно-сочлененная конструкция рамы, что обеспечивает положительные эксплуатационные свойства – высокую проходимость и маневренность машинно-тракторного агрегата на шасси, оптимальное использование широкопрофильных шин низкого давления. Это имеет определяющее значение для экологической совместимости ходовой системы машин и лесных почв. К отрицательным качествам тракторов относится то, что они представляют из себя только тяговые машины и не имеют возможности перевозить грузы без прицепа или дополнительного оборудования, например канатно-чокерной системы или захвата для перемещения пачек.

Смежным с тракторами Т-28 и Т-30 по достоинствам и недостаткам является малогабаритный колесный трактор Т-25АЛ (тяговый класс 6 кН, колесная формула 4×4), который по сравнению с ними обладает важным преимуществом – имеет большой агротехнический просвет. Достоинство подобного конструктивного решения – возможность монтажа технологического оборудования под корпусами полурам трактора. Кроме того, его задняя секция может оборудоваться грузовым кузовом, возможно самосвальным. Потенциально это позволяет использовать компоненты рассматриваемых тракторов и их технологические шлейфы для выполнения специфических лесохозяйственных мероприятий по обработке кустарниковых культур в ландшафтном строительстве, при проведении работ в междурядьях лесных питомников, перевозке малогабаритных грузов.

#### *Объекты и методы исследования*

На кафедре транспортно-технологических машин, оборудования и логистики Северного (Арктического) федерального университета ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию малогабаритного лесохозяйственного порталного шарнирно-сочлененного трактора, а также технологического шлейфа для него [10, 12, 18]. Устройство и конструкция этого образца-концепта интерпретированы информационным содержанием и фотоиллюстрацией его транспортной комплектации (рис. 1).

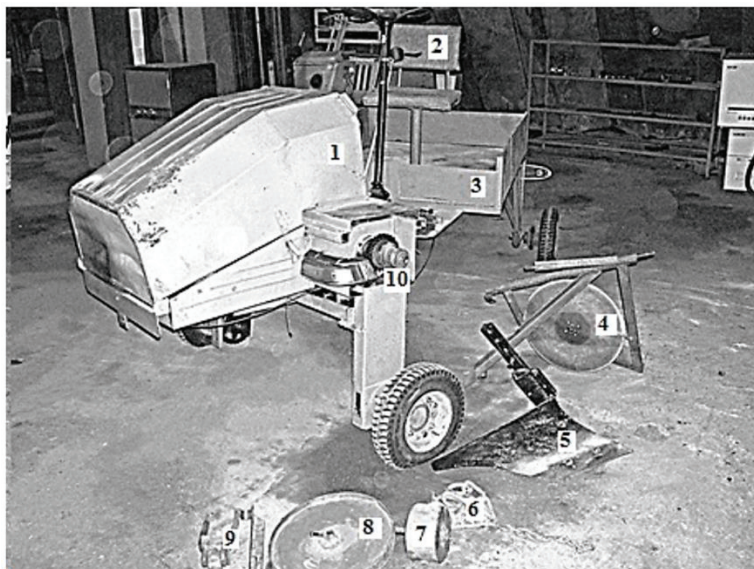


Рис. 1. Лесохозяйственный мини-трактор-концепт АЛТИ-САФУ с компонентами технологического шлейфа: 1 – силовой модуль; 2 – модуль ручного управления; 3 – грузовой кузов универсального прицепа; 4 – сферический дисковый сошник сеялки; 5 – плуг; 6 – боронка сеялки; 7 – высеивающее устройство лабиринтного типа; 8 – опорный каток сеялки; 9 – элемент крепления навесных орудий; 10 – боковой (правый) вал отбора мощности

Fig. 1. Forestry minitractor – concept of ALTI-NArFU with components of the technological trail: 1 – power module; 2 – manual operation module; 3 – cargo body of the multipurpose trailer; 4 – spherical disc opener of the seeder; 5 – plow; 6 – seeder harrow; 7 – labyrinth-type seeding device; 8 – seeder track roller; 9 – fastener of mounted equipment; 10 – side (right) power take-off

Следует отметить, что порталная компоновка ходовой системы в специфических условиях лесохозяйственных микропрофилей на пути движения будет оказывать существенное влияние на энергозатраты (расход топлива) для перемещения трактора. Причем положение центра тяжести агрегата, связанное с конструкцией портала и колес ходовой системы, будет основным влияющим конструктивным фактором при прочих равных условиях. Поэтому решение задачи оценки расхода топлива трактором в зависимости от конструктивных параметров его ходовой системы в условиях случайного микропрофиля пути актуально.

Цель исследования – разработка методики оценки топливной экономичности порталного лесохозяйственного трактора в стохастических условиях эксплуатации.

Для решения данной проблемы использовались методы общей [1, 2, 7] и статистической [8, 11, 15] динамики мобильных технологических машин.

В связи с тем, что поставленная задача решается в первом приближении, были приняты следующие общие допущения:

- динамическая система является стационарной линейной;
- исследуется прямолинейный установившийся режим движения;
- отсутствует продольный уклон опорной поверхности движения;

при движении наблюдается стохастический поперечный уклон по осям ходовой системы;

колеса ходовой системы идеализируются как абсолютно жесткие;

трактор не имеет упругой подвески.

Рассматривается движение шарнирно-сочлененного портального лесохозяйственного трактора (4К4) в режиме транспортировки некоторого груза. Объект, который перевозится, расположен в кузове, смонтированном на задней (по ходу движения) секции шасси. Исходная расчетная схема для последующих выкладок представлена на рис. 2.

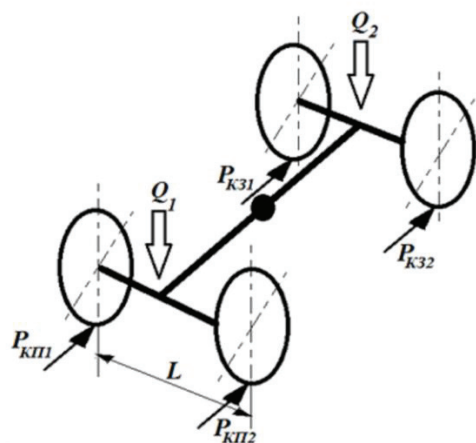


Рис. 2. Расчетная схема шасси:  $L$  – колея колес секций шасси, м;  $Q_1$  и  $Q_2$  – вес передней и задней секций трактора, Н;  $P_{KП1}$  и  $P_{KЛ1}$  – касательная сила на переднем правом и переднем левом колесах трактора, Н;  $P_{KП2}$  и  $P_{KЛ2}$  – касательная сила на заднем правом и заднем левом колесах трактора, Н  
Fig. 2. Computational model of the chassis:  $L$  – wheel track of the chassis sections, m;  $Q_1$  and  $Q_2$  – weight of the front and rear sections of the tractor, N;  $P_{KП1}$  and  $P_{KЛ1}$  – tangential force on the front right and front left wheels of the tractor, N;  $P_{KП2}$  and  $P_{KЛ2}$  – tangential force on the rear right and rear left wheels of the tractor, N

Часовой расход топлива  $G_T$  (кг/ч) двигателя внутреннего сгорания привода машины [3, 4, 19]:

$$G_T = \frac{3600 \partial_{ц} \omega_{кв} C_d}{\pi \tau_d}, \quad (1)$$

где  $\partial_{ц}$  – цикловая подача, кг;  $\omega_{кв}$  – угловая частота вращения коленчатого вала двигателя,  $c^{-1}$ ;  $C_d$  – число цилиндров;  $\pi$  – Архимедово число;  $\tau_d$  – тактность двигателя.

Эффективный крутящий момент  $M_e$  (Н·м), развиваемый рассматриваемым двигателем, представим в виде следующего соотношения:

$$M_e = \frac{10^3 H_u C_d \partial_{ц} \eta_e}{\pi \tau_d}, \quad (2)$$

где  $H_u$  – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг;  $\eta_e$  – эффективный коэффициент полезного действия двигателя.

Выразим из (2) цикловую подачу  $\partial_{ц}$  через  $M_e$  и подставим результат в формулу (1), тогда

$$G_T = \frac{3,6 \omega_{кв} M_e}{\eta_e H_u}. \quad (3)$$

Для изучаемого случая

$$M_e = \frac{P_K R}{i_{тр} \eta_{тр}}, \quad (4)$$

где  $P_K$  – касательная сила на колесах трактора, Н;  $R$  – радиус колеса, м;  $i_{тр}$  – передаточное число трансмиссии;  $\eta_{тр}$  – коэффициент полезного действия трансмиссии.

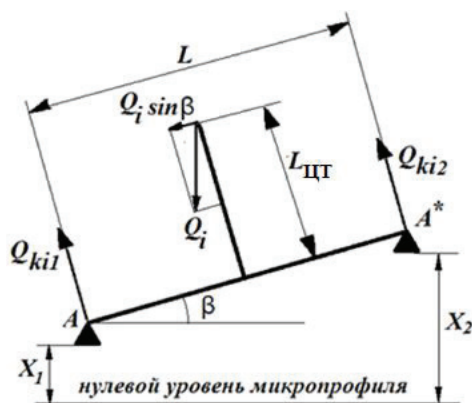
С учетом изложенных выше предпосылок

$$P_K = P_{K\Pi1} + P_{K\Pi2} + P_{K31} + P_{K32}. \quad (5)$$

Слагаемые правой части соответствия (5) проиллюстрированы выше на рис. 2. На рис. 3 представлена расчетная схема для вида спереди на ось трактора.

Рис. 3. Расчетная схема системы «микропрофиль–компоновка портала»: т.  $A$  и т.  $A^*$  интерпретируют опору правого и левого (по ходу машины) колес;  $L$  – колея колес оси;  $X_1$  и  $X_2$  – случайные величины выступов или впадин микропрофиля пути по колеям колес;  $Q_i$  – масса  $i$ -й секции трактора;  $Q_{ki1}$  и  $Q_{ki2}$  – нормальная реакция опорной поверхности по соответствующим колесам бортов портала (1 – правого, 2 – левого), Н;  $L_{ЦГ}$  – высота положения центра тяжести секции относительно условной опорной поверхности  $A-A^*$ , м

Fig. 3. Computational scheme of the microprofile – straddle layout system: point  $A$  and point  $A^*$  interpret the support of the right and left (in the machine's direction) wheels;  $L$  – axle wheel tracks;  $X_1$  and  $X_2$  – random values of peaks or valleys of the microprofile of the path along the wheel tracks;  $Q_i$  – weight of the  $i$ -th section of the tractor ( $\Pi$  – front, 3 – rear);  $Q_{ki1}$  and  $Q_{ki2}$  – normal response of the support surface on the corresponding wheels of the sides of the straddle (1 – right, 2 – left), N;  $L_{ЦГ}$  – height of the position of the center of gravity of the section relative to the conditional supporting surface  $A-A^*$ , m



Ввиду малых значений  $X_1$  и  $X_2$  (рис. 3), допустимо предположить, что текущий случайный угол  $\beta$  поперечного наклона условной оси колес порталов трактора

$$\beta \approx \sin \beta = \frac{X_2 - X_1}{L}. \quad (6)$$

Предположим, что  $L = L_{ЦГ}$  по секциям шасси трактора. С учетом этого допущения имеем

$$Q_{ki1} \approx 0,5Q_i + Q_i \sin(\beta) \frac{L_{ЦГ}}{L}; \quad (7)$$

$$Q_{ki2} \approx 0,5Q_i - Q_i \sin(\beta) \frac{L_{ЦГ}}{L}. \quad (8)$$



Касательную силу на колесах правого  $P_{ki1}$  и левого  $P_{ki2}$  борта трактора можно представить как  $P_{ki1} = Q_{ki1}f$ ;  $P_{ki2} = Q_{ki2}f$ , где  $i$  – секция трактора;  $f$  – коэффициент сопротивления качению колес трактора.

Представим в развернутом виде уравнение (5):

$$P_K = \left[ Q_{ki1} \left( 0,5 + \sin(\beta) \frac{L_{цг}}{L} \right) + Q_{ki2} \left( 0,5 - \sin(\beta) \frac{L_{цг}}{L} \right) + Q_{ki1} \left( 0,5 + \sin(\beta) \frac{L_{цг}}{L} \right) \right] \times \\ \times f + Q_{ki2} \left( 0,5 - \sin(\beta) \frac{L_{цг}}{L} \right) f. \quad (9)$$

Уравнение (9) отражает компонент тягового баланса исследуемого тракторного агрегата с учетом оговоренных выше допущений. При этом структура распределения реакций опор агрегата представлена в статике, без учета стохастического характера микропрофиля пути движения [17, 22].

Введем в уравнение (9) параметр  $\Delta\beta(t)$  – текущее случайное изменение угла  $\beta$  при движении тракторного агрегата при случайном изменении параметров микропрофиля  $X_1$  и  $X_2$ . В результате все слагаемые правой части формул (5) и (9) представим в общем виде:

$$\Delta P_K(t) = \left( 0,5Q_i + Q_i \sin(\Delta\beta(t)) \frac{L_{цг}}{L} \right) f, \quad (10)$$

где  $\Delta P_K(t)$  – текущее случайное изменение касательной силы тяги на колесах секции  $i$  и соответствующих бортов на порталах трактора  $j$ .

Применив к формуле (10) преобразование Лапласа [5, 15, 21], получим изображение в операторном виде:

$$P_K(s) = Q_i \left[ \frac{1}{2s} + \frac{L_{цг}}{L} \left( \frac{\beta_0}{\beta_0^2 + s^2} \right) \right] f, \quad (11)$$

где  $s$  – переменная Лапласа (оператор дифференцирования);  $\beta_0$  – математическое ожидание угла  $\beta$ , рад (рис. 3).

В аспекте статистической динамики данный результат справедлив для всех опор рассматриваемого тракторного шасси, т. е. Лапласово изображение  $P_K(s)$  суммарной касательной силы тяги (5) можно представить как

$$P_K(s) = Q_K \left[ \frac{1}{2s} + \frac{L_{цг}}{L} \left( \frac{\beta_0}{\beta_0^2 + s^2} \right) \right] f, \quad (12)$$

где  $Q_K$  – полная масса тракторного агрегата в исследуемом режиме, Н.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Следует отметить, что математическое ожидание  $\beta_0$  имеет непосредственную зависимость от математических ожиданий  $X_{10}$  и  $X_{20}$  обозначенных выше случайных характеристик микропрофиля  $X_1$  и  $X_2$ . Эта зависимость следует из принятого соответствия (6):

$$\beta_0 \approx \frac{X_{20} - X_{10}}{L}. \quad (13)$$

В качестве входного процесса при движении колес по микропрофилю под их колесами целесообразно принять текущее случайное изменение процесса  $\Delta X(t)$  разности случайных изменений процессов  $\Delta X_2(t)$  и  $\Delta X_1(t)$ .

Основываясь на допущении, принятом при обосновании выражения (6), и с учетом рис. 3, получаем

$$\Delta X(t) = \Delta X_2(t) - \Delta X_1(t) = L \operatorname{tg}(\Delta\beta(t)). \quad (14)$$

Преобразуя по Лапласу данное соотношение, с учетом малых значений текущих углов  $\beta$  запишем внешнее возмущение от микропрофиля пути движения мобильного агрегата:

$$X(s) = L \left( \frac{\beta_0}{s} \right). \quad (15)$$

Исходя из известных положений теории случайных функций [4, 6, 13], получим после промежуточных преобразований передаточную функцию динамической системы «часовой расход портального трактора – микропрофиль пути по колесам колес порталов» в предположении ее линейности:

$$G_T(s) = C \frac{P_K(s)}{X(s)} = C Q_K \left[ \frac{L(\beta_0^2 + s^2) + 2sL_{\text{цт}}\beta_0}{2L^2(\beta_0^2 + s^2)\beta_0} \right]. \quad (16)$$

Основываясь на положениях преобразования Лапласа и с учетом правил действия над комплексными числами, зависимость (16) преобразуем в квадрат модуля частотной характеристики (амплитудно-частотной характеристики – АЧХ) рассматриваемой динамической системы:

$$|G_T(\omega)|^2 = C^2 Q_K^2 \left[ \frac{L(\omega^2 - \beta_0^2) + 2\omega L_{\text{цт}}\beta_0}{2L^2(\omega^2 - \beta_0^2)\beta_0} \right]^2. \quad (17)$$

В формулах (16) и (17) имеется множитель – некоторый собственный параметр системы:

$$C = \frac{3,6\omega_{\text{кв}} R f}{\eta_e H_u i_{\text{тр}} \eta_{\text{тр}}}, \quad (18)$$

а также текущая угловая частота рассматриваемого спектра исследуемой динамической системы  $\omega$ , рад/с.

#### Выводы

1. Найденная аналитическая амплитудно-частотная характеристика позволяет оценивать часовой расход топлива изучаемым тракторным агрегатом в транспортном режиме при заданных проектных и конструктивных параметрах и условиях эксплуатации. Необходима косвенная экспериментальная оценка математического ожидания угла  $\beta_0$  в виде зависимости от математических ожиданий  $X_{10}$  и  $X_{20}$  прямых пути  $X_1$  и  $X_2$  по колесам колес порталов тракторного агрегата.

2. С позиции статистической динамики мобильных машин амплитудно-частотная характеристика (17) позволяет для заданных параметров трактора при известной спектральной плотности процесса изменения угла  $\beta$  и на основе теоремы Винера–Хопфа [5, 8, 20] оценивать спектральную плотность, а в итоге и дисперсию часового расхода топлива исследуемым тракторным портальным шасси. Математическое ожидание расхода топлива находится расчетно-

эмпирически на основе корреляционной теории случайных процессов путем определения интеграла импульсной характеристики переходной функции исследуемой динамической системы.

3. Следует учесть, что для порталного трактора весьма важным является выбор такого параметра, как высота положения центра тяжести относительно условной опорной поверхности  $L_{ЦТ}$ , который зависит как от назначения машины, так и от ее конструкции, например от радиуса колес.

4. Анализ представленных выше математических расчетов указывает на то, что при создании исследуемого объекта необходимо обеспечить такую характеристику (17), которая должна минимизировать дисперсию часового расхода топлива при случайном внешнем воздействии микропрофиля на машину. При этом имеется неоднозначность влияния компонентов ходовой системы, в частности шин колес: увеличение радиуса шин (при прочих равных условиях), с одной стороны, приводит к возрастанию параметра  $L_{ЦТ}$  и, как следует из формулы (16), к росту часового расхода топлива, с другой – как известно [9, 14, 16], снижает коэффициент  $f$ , а значит и часовой расход топлива (см. формулы (9), (18)).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Анисимов Г.М., Жендаев С.Г., Жуков А.В. Лесные машины (тракторы, автомобили, тепловозы) / под ред. Г.М. Анисимова. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 512 с. [Anisimov G.M., Zhendayev S.G., Zhukov A.V. *Forest Machines (Tractors, Cars, Diesel Locomotives)*. Ed. by G.M. Anisimov. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1989. 512 p.].
2. Антипин В.П., Варава В.И., Каршев Г.В. Энергозатраты трактора К-744Р в транспортном режиме // Тракторы и сельхозмашины. 2009. №6. С. 15–18. [Antipin V.P., Varava V.I., Karshev G.V. Energy Consumption of the K-744R Tractor in Transport Mode. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2009, no. 6, pp. 15–18].
3. Антипин В.П., Власов Е.Н., Десято А.Н. Часовой расход топлива трелевочным трактором в условиях эксплуатации // Повышение потенциальных свойств машин и механизмов лесного комплекса: межвуз. сб. науч. тр. СПб.: СПбГЛТА, 2001. С. 13–19. [Antipin V.P., Vlasov E.N., Desyatov A.N. Hourly Fuel Consumption of a Skidding Tractor under Operation. *Improving the Potential Properties of Machines and Mechanisms of the Forestry Complex: Interuniversity Collection of Academic Papers*. Saint Petersburg, GLTA Publ., 2001, pp. 13–19].
4. Антипин В.П., Дурманов М.Я., Каршев Г.В. Производительность, энергозатраты и ресурс машинно-тракторного агрегата. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. 484 с. [Antipin V.P., Durmanov M.Ya., Karshev G.V. *Productivity, Energy Consumption and Resource of a Machine-Tractor Unit*. Saint Petersburg, Polytech Publ., 2017. 484 p.].
5. Гоберман В.А., Гоберман Л.А. Технология научных исследований – методы, модели, оценки. 2-е изд., стереотип. М.: МГУЛ, 2002. 390 с. [Goberman V.A. Goberman L.A. *Research Technology – Methods, Models and Assessment*. Moscow, MGUL Publ., 2002. 390 p.].
6. Коптилов В.И. Аналитические методы определения эксплуатационного расхода топлива и оценки топливной экономичности автомобилей: моногр. Тюмень: Вектор Бук, 2008. 344 с. [Koptilov V.I. *Analytical Methods for Determining the Operational Fuel Consumption and Assessing the Fuel Efficiency of Cars: Monograph*. Tyumen, Vector Book Publ., 2008. 344 p.].
7. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили: теория и технологические свойства. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2014. 506 с. [Kutkov G.M. *Tractors and Cars: Theory and Technological Properties*. Moscow, INFRA-M Publ., 2014. 506 p.].



8. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1981. 382 с. [Lurie A.B. *Statistical Dynamics of Agricultural Machines*. Moscow, Kolos Publ., 1981. 382 p.].

9. Мухамадьяров Ф.Ф., Остальцев В.П. Деформация почвы и энергозатраты на передвижение тракторов // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2010. № 2(17). С. 72–75. [Mukhamadjarov F.F., Ostal'tsev V.P. Deformation of Soil and Energy-Costs at Movement of Tractors. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* [Agricultural Science Euro-North-East], 2010, no. 2(17), pp. 72–75].

10. Мясичев Д.Г. Статистическая динамика машин и оборудования лесного комплекса (в примерах). Архангельск: САФУ, 2015. 126 с. Режим доступа: <http://narfu.ru/university/library/books/1834.pdf> (дата обращения: 13.12.19). [Myasishchev D.G. *Statistical Dynamics of Machines and Equipment of the Forestry Complex (in Examples)*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2015. 126 p.].

11. Мясичев Д.Г. Синтез структуры лесохозяйственного механизированного комплекса на базе малогабаритного мобильного силового модуля // *Лесотехн. журн.* 2017. Т. 7, № 1(25). С. 196–204. [Myasishchev D.G. Synthesis of Structure of Forest Mechanized Complex Based on a Compact Mobile Power Module. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2017, vol. 7, no. 1(25), pp. 196–204]. DOI: [12737/25211](https://doi.org/10.12737/25211)

12. Мясичев Д.Г., Прокопьев А.Ф. Обоснование параметров и выбор компонентов шасси мини-форвардера для рубок ухода в молодняках // *Изв. вузов. Лесн. журн.* 2009. № 3. С. 53–56. [Myasishchev D.G., Prokopjev A.F. Substantiation of Parameters and Components Choice of Miniforwarder Chassis for Young Growth Tending. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2009, no. 3, pp. 53–56]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/e83/e8352f58a992d1e40074132131accc00.pdf>

13. Мясичев Д.Г., Путинцев С.А. Оптимизация расхода топлива роторного измельчителя растительных остатков // *Изв. вузов. Лесн. журн.* 2017. № 1. С. 129–140. [Myasishchev D.G., Putintsev S.A. Fuel Optimization of a Rotary Chopper for Plant Residues. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2017, no. 1, pp. 129–140]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2017.1.129](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.1.129), URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/1ad/myasishchev.pdf>

14. Хабардин С.В., Михайлов Н.А. Методы определения расхода топлива при тяговых испытаниях тракторов и их анализ // *Вестн. РГСХА*. 2015. № 68. С. 114–122. [Khabardin S.V., Mikhailov N.A. Evaluation Methods of Fuel Consumption on Drawbar Tests of Tractors and Its Analysis. *Vestnik IrGSHA*, 2015, no. 68, pp. 114–122].

15. Шупляков С.М. Колебания и нагруженность трансмиссии автомобиля. М.: Транспорт, 1974. 328 с. [Shuplyakov S.M. *Oscillations and Loading of Vehicle Transmission*. Moscow, Transport Publ., 1974. 328 p.].

16. Čiplienė A., Gurevičius P., Janulevičius A., Damauskas V. Experimental Validation of Tyre Inflation Pressure Model to Reduce Fuel Consumption during Soil Tillage. *Biosystems Engineering*, 2019, vol. 186, pp. 45–59. DOI: [10.1016/j.biosystemseng.2019.06.023](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.06.023)

17. Grisso R.D., Kocher M.F., Vaughan D.H. Predicting Tractor Fuel Consumption. *Applied Engineering in Agriculture*, 2004, vol. 20(5), pp. 553–561. DOI: [10.13031/2013.17455](https://doi.org/10.13031/2013.17455)

18. Janulevičius A., Šarauskis E., Čiplienė A., Juostas A. Estimation of Farm Tractor Performance as a Function of Time Efficiency during Ploughing in Fields of Different Sizes. *Biosystems Engineering*, 2019, vol. 179, pp. 80–93. DOI: [10.1016/j.biosystemseng.2019.01.004](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.01.004)

19. Mileusnić Z.I., Petrović D.V., Đević M.S. Comparison of Tillage Systems according to Fuel Consumption. *Energy*, 2010, vol. 35, iss. 1, pp. 221–228. DOI: [10.1016/j.energy.2009.09.012](https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.09.012)

20. Osinenko P., Streif S. Optimal Traction Control for Heavy-Duty Vehicles. *Control Engineering Practice*, 2017, vol. 69, pp. 99–111. DOI: [10.1016/j.conengprac.2017.09.010](https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2017.09.010)

21. Riley K.F., Hobson M.P., Bence S.J. *Mathematical Methods for Physics and Engineering*. Cambridge, Cambridge University Press, 2006. 1304 p.

22. Vilde A., Pirs E. Simulation of the Impact of the Energetic Characters of Tractors and Machines on the Working Efficiency of the Soil Tillage Units. *Proceedings of the 7th International Workshop on Modeling & Applied Simulation, Campora S. Giovanni, Italy, September 17–19, 2008*. Rende, Italy, DIPTM, 2008, pp. 314–320.

## FUEL CONSUMPTION OF A STRADDLE FORESTRY TRACTOR IN CONSIDERATION OF STOCHASTIC FACTORS

*D.G. Myasishchev, Doctor of Engineering, Prof.*

*D.N. Shostenko, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.*

*A.V. Serebrennikov, Postgraduate Student; ResearcherID: [AAY-1917-2020](https://orcid.org/0000-0002-2935-860X),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2935-860X>*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: [d.myasishchev@narfu.ru](mailto:d.myasishchev@narfu.ru), [d.shostenko@narfu.ru](mailto:d.shostenko@narfu.ru), [serebrennikov.a@edu.narfu.ru](mailto:serebrennikov.a@edu.narfu.ru)

Currently, there is a tendency for creation a cross-functional tractor line of drawbar category. Everything is very practical and consistent from the perspective of the producer of such tractors. The number of modular units and assemblies is minimized, and the list of components is reduced. However, all this is acceptable up to a certain limit, which is outlined by the technological trail of the tractor being created and the specifics of its application. The article deals with a straddle forestry tractor of drawbar category of 6 kN. It is assumed that the tractor has a variety of trains of working bodies and machines, as well as a cargo bed on the pin-joint section. The cargo mode of the unit's movement is examined by a random microprofile under the wheels in tracks. The problem of statistical dynamics is solved. As an output process, a Laplace image is drawn for the hourly fuel consumption of the tractor engine. As an input process, a Laplace image is drawn for an external random action from the microprofile along the tracks. Herewith, the transfer function of the hourly fuel consumption is determined, which allows to estimate the spectral density of the tractor's hourly consumption and the dispersion of the hourly consumption for the given microprofile of the tracks. In addition, using the correlation theory of random processes, one can estimate the mathematical expectation of the hourly fuel consumption during transport operations. In the final analysis, it is possible to solve the optimization problem. Namely, the choice of such undercarriage tires, which provide a minimum dispersion and mathematical expectation of the hourly fuel consumption of the transport unit. The situational combination comes down to the fact that an increase in the tire radius on one side increases the height of the center of gravity of the unit, which increases the hourly fuel consumption. On the other hand, an increase in the radius of the tire contributes to a reduction in the coefficient of rolling resistance of a wheel, and hence a decrease in fuel consumption. Thus, there is a problem of discrete optimization, namely, the choice of a tire design, in which the energy costs of the transport unit are minimized.

**For citation:** Myasishchev D.G., Shostenko D.N., Serebrennikov A.V. Fuel Consumption of a Straddle Forestry Tractor in Consideration of Stochastic Factors. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 5, pp. 145–154. DOI: [10.37482/0536-1036-2020-5-145-154](https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-5-145-154)

**Keywords:** straddle tractor, microprofile, fuel consumption, transfer function, optimization.

Поступила 13.12.19 / Received on December 13, 2019