

УДК 634.0.332.1.002.5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.129

### **Оптимизация расхода топлива роторного измельчителя растительных остатков**

*Д.Г. Мясищев, д-р техн. наук, проф.*

*С.А. Путинцев, асп.*

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: Сereга29гу@yandex.ru

Для создания более благоприятных условий отдыха людей в условиях парковых зон и повышения плодородия полей используют нулевую обработку почвы, включающую в себя механическое измельчение растительных остатков. Показана необходимость создания нового класса техники для нулевой обработки почвы – измельчителя на базе моташасси, обоснована актуальность предложенной компоновки для предполагаемых условий его использования. Рассмотрены иные варианты исполнения подобных измельчителей в виде навесного оборудования на трактор и сделан вывод о наличии у данного вида рабочей техники некоторых недостатков, связанных со сложностью и дороговизной их транспортировки к месту выполнения работ. Важным техническим отличием от существующей техники, имеющей привод рабочего органа от вала отбора мощности, в нашем случае является то, что рабочий орган приводится в действие автономным двигателем от бензопилы «Урал МП-5 Электрон». Это позволяет отдельно рассчитывать топливную экономичность шасси при движении и двигателя рабочего органа при выполнении работ по измельчению. Предложена математическая модель топливной экономичности самоходного измельчителя растительного напочвенного покрова в условиях лесопарковых, садовых и коммунальных хозяйств. В качестве базового шасси рассмотрен двухколесный вариант с колесной формулой  $2 \times 1$ . В модели исследуется роторный рабочий орган измельчителя, имеющий 16 ножей Г-образной формы, автономный привод от двигателя внутреннего сгорания (проектная ширина захвата барабана–измельчителя 0,5 м, рабочая частота вращения  $1900 \text{ мин}^{-1}$ ). В процессе математического моделирования использованы положения метода статистической динамики линейных стохастических систем и дискретной оптимизации. Сделаны выводы о возможности решения оптимизационной задачи по минимизации удельного технологического расхода топлива при измельчении напочвенной биомассы – листьев, стеблей травы, мелких корней и сучьев.

*Ключевые слова:* измельчение, листья, расход топлива, моташасси, ротор, рабочий орган, оптимизация.

---

*Для цитирования:* Мясищев Д.Г., Путинцев С.А. Оптимизация расхода топлива роторного измельчителя растительных остатков // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 129–140. (Иzv. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.129

*Введение*

Рассмотренный и одобренный на заседании Правительства Российской Федерации 12 ноября 2015 г. законопроект о безвозмездном предоставлении гражданам России земельных участков, расположенных в Дальневосточном федеральном округе, предполагает поиск инновационных решений, разработку оригинальных подходов в вопросах построения эффективной инфраструктуры для реализации указанного направления. Это связано с явно выраженной специфической структурой и состоянием предполагаемых для освоения территорий: отсутствие качественной дорожной сети, пересеченный рельеф местности, значительные лесопокрытые территории, мелкоконтурность площадей и др.

В связи с необходимостью создания на вновь осваиваемых территориях рекреационных благоустроенных зон в лесопарковых хозяйствах, поддержания в них благоприятных для отдыха людей условий, а также для обеспечения эстетичности ландшафта, требуется комплексная механизация лесохозяйственных работ за счет создания агрегатов для измельчения поверхностных растительных остатков. К остаткам прежде всего относятся опавшие листья и растительность нижних ярусов в осенний период года, биомасса которых может составлять до 7 % от суммарного показателя ресурса древостоя [2].

В специальной литературе процесс измельчения биомассы и использование ее в качестве органических удобрений получил название «мульчирование». В нашем случае более приемлем сельскохозяйственный термин «нулевая обработка почвы», который широко применяется в работах зарубежных специалистов [4].

Для нулевой обработки почвы используют лесо- и сельскохозяйственные машины, рабочие органы которых исполняются активного типа, как правило, с приводом карданными передачами от трансмиссии базового трактора. Они представляют собой цилиндрические барабаны с ножами (отечественный агрегат ЛУМ-1П, TRIUMF фирмы «TRIUMF MASHINERI» (США), UFM (ФРГ)), имеющие горизонтальную ось вращения. Диаметр роторного режущего барабана может быть от 40 до 70 см при ширине захвата от 1,5 до 3,5 м. Измельчающие ножи, количество которых может колебаться от 12 до нескольких десятков, выполняются плоской прямоугольной, П-, Г-, Т-образной формы и изготавливаются из специальной износостойкой стали. Их можно устанавливать жестко- или шарнирно-прикрепленными. Привод барабана оснащается предохранительными устройствами – фрикционными муфтами, срезаемыми при перегрузке штифтами. Менее распространены рабочие органы с плоскими (имеющими вертикальную ось вращения) дисковыми режущедробящими роторами с 3–5 ножами (фирм «NATIONAL-HUDRO-ACS», «ROUER» (США)). Рабочая частота вращения ротора может составлять 1500...2000 мин<sup>-1</sup>.

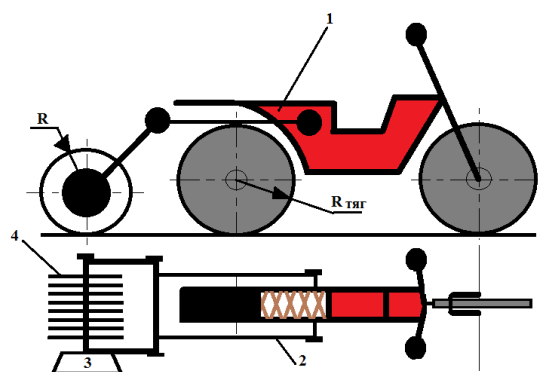
Общим недостатком отмеченного типа оборудования (трактор, прицепной или навесной измельчитель) является то, что транспортировка его к месту применения в дачных, парковых и лесопарковых хозяйствах требует использования дополнительных машин – трейлеров, что увеличивает затраты, иногда нерациональные, например, при обработке мелкоконтурных участков.

Для такого случая нами предложено в качестве тягового модуля технологического оборудования (далее – машина) использовать мототехнику (мотоциклы, мопеды и мокики).

Необходимо отметить, что зарубежные разработчики этих транспортных машин, начиная с 60-х гг. XX в., активно используют принцип «нужен и в труде, и для развлечений» [6, 7]. Особенно это проявляется в конструкциях полноприводных (2×2) мотоциклов, например Roxon Tail-Breaker (США) и «Васюган» (Россия). Подобные решения, по мнению авторов, целесообразны в качестве базового шасси агрегатов для измельчения поверхностных растительных остатков в условиях освоения «щелинных» рекреационных мелкоконтурных земельных участков, расположенных в Дальневосточном федеральном округе, а также в других регионах России.

Цель данной работы – путем математического моделирования на этапе обоснования проектных решений получить совокупность базовых компоновочных и конструктивных параметров, определяющих минимум энергоемкости технологического процесса измельчения растительных остатков, при высоких экологических качествах и целесообразности использования в специфических условиях мелкоконтурных (до 1,5 га) лесопарковых и садовых территорий.

Очевидно, что машина должна обеспечивать транспортные переезды для смены обрабатываемого объекта путем ее погрузки на мотошасси. На рисунке представлено предлагаемое компоновочное решение рассматриваемого агрегата.



Компоновочная схема действующего макетного образца агрегата-измельчителя на мотошасси: 1 – мотошасси (ЗИД-50); 2 – навеска технологической машины; 3 – силовой агрегат (двигатель бензопилы «Урал МП-5 Электрон»); 4 – ротор технологической машины с ножами измельчителя собственной конструкции ( $R$  и  $R_{тяги}$  – см. формулы (4) и (22))

*Объекты и методика исследований*

В качестве методов для достижения поставленной цели использованы положения статистической динамики, математического моделирования и дискретной оптимизации.

При построении модели введены следующие допущения.

*Для тягового шасси:* буксование и скольжение колес ввиду малых скоростей движения не учитываем; опору мотошасси из-за предполагаемой однородности факторов, составляющих сопротивление движению от опорной поверхности агрегата при моделировании его прямолинейного перемещения, считаем поверхностью с заданным направляющим уклоном  $\alpha$ ; движение агрегата считаем равномерным.

*Для машины:* предполагаемая однородность обрабатываемого предмета труда (слой опавших листьев и отпавшая травяная растительность) позволяет для единичного элемента рабочего органа (одному ножу измельчителя на всем барабане) принять сопротивление измельчения равным среднему значению за его «нагруженный» сектор при вращении в течение одного оборота; глубину обработки слоя биомассы при мульчировании в расчетах принимаем средней величиной с учетом специфики компоновки моделируемого агрегата; текущие препятствия типа «выступ» и «впадина» на покрытом растительной биомассой пути движения технологической машины представляем в виде абсолютно жесткой поверхности, наклонной под углом  $\alpha$  с заданными (переменными во времени) геометрическими параметрами пути с микропрофилем, который определяем углом  $\beta(t)$ . Предполагаем, что дискретные выступы и впадины почвенного фона под машиной не накладываются друг на друга при движении.

Изложенные ниже рассуждения и выкладки должны позволить оценить энергетические (часовой расход топлива) показатели системы для тягового мотошасси в статике, для машины – с учетом неустановившегося режима ее работы. Для мотоцикла такой подход объясняется тем, что на этапе проектирования и подготовки к экспериментальным исследованиям ряд показателей мотошасси, в том числе динамическая характеристика его двигателя 1P39FMB-B (Китай), неизвестны.

Актуальность использования положений статистической динамики при моделировании машины основывается на методических рекомендациях В.П. Антипина [1]. В дальнейшем отмеченные особенности адаптированы к исследуемому случаю.

Часовой расход топлива ( $B$ , кг/ч) двигателя внутреннего сгорания привода машины

$$B = \frac{3600 d_{\text{ц}} \omega_{\text{кв}} C_{\text{д}}}{\pi \tau_{\text{д}}}, \quad (1)$$

где  $d_{\text{ц}}$  – цикловая подача, кг;

$\omega_{\text{кв}}$  – угловая скорость вращения коленчатого вала двигателя, рад·с<sup>-1</sup>;  
 $C_{\delta}$  – число цилиндров;  
 $\pi$  – число Архимеда;  
 $\tau_{\delta}$  – тактность двигателя.

Эффективный крутящий момент ( $M_e$ , Н·м), развиваемый двигателем, представим как

$$M_e = \frac{10^3 H_{\text{и}} C_{\delta} \partial_{\text{ц}} \eta_e}{\pi \tau_{\delta}}, \quad (2)$$

где  $H_{\text{и}}$  – низшая теплота сгорания топлива, кДж/ кг;

$\eta_e$  – эффективный коэффициент полезного действия двигателя привода ротора.

Выразив из (2)  $\partial_{\text{ц}}$  через  $M_e$  и подставив результат в формулу (1), получим

$$B = \frac{3,6 \omega_{\text{кв}} M_e}{\eta_e H_{\text{и}}}. \quad (3)$$

Для изучаемого случая

$$M_e = \frac{P_{\text{к}} R}{i_{\text{трм}} \eta_{\text{трм}}}, \quad (4)$$

где  $P_{\text{к}}$  – касательная сила на барабане, Н;

$R$  – радиус барабана–измельчителя по наружным кромкам ножей (см. рисунок), м;

$i_{\text{трм}}$  – передаточное число планетарного редуктора;

$\eta_{\text{трм}}$  – коэффициент полезного действия привода ротора–измельчителя.

При измельчении биомассы машиной затрачивается энергия топлива на преодоление следующих сил и моментов:

а) Результирующая сила сопротивления измельчению ( $P_{\text{рм}}$ , Н) – усредненная по ножам (измельчителям) результирующая сила как от дробления, так и от резания в процессе измельчения растительной напочвенной биомассы, т. е. с учетом послыного снятия ее стружки при продольном попутном перемещении рабочего органа:

$$P_{\text{рм}} = \frac{1}{R} 0,375 K_{\text{изм}} S B [(R - 0,5S) + R] \sin \beta. \quad (5)$$

где  $K_{\text{изм}}$  – удельное сопротивление измельчению (в совокупности резанию, дроблению, сжатию), Н/м<sup>2</sup> (Па);

$S$  – шаг минерализации почвы, м,

$$S = \frac{2\pi V}{Z_{\text{изм}} \omega_{\text{ф}}} = \frac{60V}{Z_{\text{изм}} n_{\text{ф}}}; \quad (6)$$

$B$  – ширина захвата рабочего органа, м;

$\beta$  – угол наклона измельчительного ножа относительно вертикали при его касании с почвой, рад;

$V$  – поступательная скорость агрегата, м/с;

$Z_{\phi}$  – число ножей (измельчителей), шт.;

$\omega_{\phi}$  – угловая скорость рабочего органа агрегата при измельчении, рад·с<sup>-1</sup>;

$n_{\phi}$  – частота вращения вала рабочего органа, мин<sup>-1</sup>.

б) Текущая сила сопротивления поступательного перемещения машины ( $P_f$ , Н):

$$P_f = G_{\text{маш}} \cdot f_k \cos[\beta(t)]; \quad (7)$$

где  $G_{\text{маш}}$  – вес машины, Н;

$f_k$  – коэффициент сопротивления перемещению.

в) Сила сопротивления подъему ( $P_{\alpha}$ , Н):

$$P_{\alpha} = G_{\text{маш}} \sin \alpha. \quad (8)$$

г) Момент инерции измельчающих элементов машины ( $I_{\text{маш}}$ , кг·м<sup>2</sup>):

$$I_{\text{маш}} = m_{\text{изм}} R^2 Z_{\text{изм}}, \quad (9)$$

где  $m_{\text{изм}}$  – масса одного измельчающего элемента машины, кг.

Сумма результатов выражений (5), (7) и (8) равна  $P_k$ .

д) В соответствии с (5) – (9) получим выражение эффективного крутящего момента ( $M_e$ , Н·м) двигателя привода машины:

$$M_e = \frac{R}{i_{\text{трм}} \eta_{\text{трм}}} (P_{\text{рм}} + G_{\text{маш}} \sin \alpha + f_k G_{\text{маш}} \cos[\beta(t)]) + \frac{\pi}{30} (I_{\phi} + I_{\text{маш}}) \frac{dn(t)}{dt}, \quad (10)$$

где  $I_{\phi}$  – приведенные к коленчатому валу моменты инерции вращательно движущихся деталей двигателя, кг·м<sup>2</sup>;

$n$  – частота вращения коленчатого вала двигателя привода технологической машины в режиме измельчения биомассы, мин<sup>-1</sup>.

Приняв во внимание, что

$$\omega_{\text{кв}} = \frac{\pi n}{30}, \quad (11)$$

и подставив (9) в (3), получим

$$B = \frac{3,6\pi n R}{30 H_{\text{и}} \eta_e i_{\text{трм}} \eta_{\text{трм}}} (P_{\text{рм}} + G_{\text{маш}} \sin \alpha + f_k G_{\text{маш}} \cos[\beta(t)]) + \frac{3,6\pi^2 n}{900 H_{\text{и}} \eta_e} (I_{\phi} + I_{\text{маш}}) \frac{dn(t)}{dt}. \quad (12)$$

Обозначив  $I = I_{\phi} + I_{\text{маш}}$ , преобразуем (12):

$$B = P_1 (P_{\text{рм}} n + n G_{\text{маш}} \sin \alpha + f_k G_{\text{маш}} \cos[\beta(t)] n) + P_2 I n \frac{dn(t)}{dt}. \quad (13)$$

Приращения частоты вращения коленчатого вала двигателя мототрактора  $\Delta n(t)$  во времени  $t$ , связанные с изменением угла  $\Delta\beta(t)$ , вызывают приращения часового расхода топлива:

$$\Delta B(t) = P_1 \left[ P_{\text{рм}} \Delta n(t) + \Delta n(t) G_{\text{маш}} \sin \alpha + f_{\text{к}} (\cos \beta_0 \Delta n(t) + n_0 \cos[\Delta\beta(t)]) \Delta n(t) \right] + P_2 I \left( n_0 \frac{d\Delta n(t)}{dt} + \frac{dn}{dt} \Big|_{t=0} \Delta n(t) \right). \quad (14)$$

Здесь  $\beta_0$  – математическое ожидание (среднее значение) угла между горизонталью и поверхностью уклона вдоль микронеровности на выборке участка пути измельчителя, рад;

$n_0$  – постоянная составляющая (оценка математического ожидания) частоты вращения коленчатого вала двигателя привода машины,  $\text{мин}^{-1}$ .

Применив преобразование Лапласа [5], запишем выражение (14) в операторном виде:

$$B(s) = P_1 \left[ P_{\text{рм}} n(s) + n(s) G_{\text{маш}} \sin \alpha + f_{\text{к}} G_{\text{маш}} \left( n(s) \cos \beta_0 + \frac{n_0 s}{\beta_0^2 + s^2} \right) \right] + P_2 I (n_0 s n(s) + \Phi_{\text{п}} n(s)), \quad (15)$$

где  $s$  – оператор дифференцирования,  $s = \frac{d}{dt}$ ;

$\Phi_{\text{п}}$  – константа двигателя,  $\Phi_{\text{п}} = \frac{dn}{dt} \Big|_{t=0} = \text{const}$ .

В операторном виде переменную составляющую момента сопротивления  $M_c(t)$  движению транспортного агрегата запишем как

$$M_c(s) = \frac{G_{\text{маш}} f_{\text{к}} s R}{(\beta_0^2 + s^2) i_{\text{трм}} \eta_{\text{трм}}}. \quad (16)$$

Согласно теореме Винера–Хопфа, разделив левую и правую части выражения (15) на входное возмущающее воздействие  $M_c(s)$ , получим передаточную функцию часового расхода топлива данной машины:

$$W(s) = P_1 \left[ P_{\text{рм}} U(s) + G_{\text{маш}} U(s) \sin \alpha + G_{\text{маш}} f_{\text{к}} (U(s) \cos \beta_0 + P_3 n_0) \right] + P_2 I (n_0 s U(s) + \Phi_{\text{п}} U(s)), \quad (17)$$

где  $W(s) = \frac{B(s)}{M_c(s)}$  – передаточная функция часового расхода топлива;

$P_1, P_2, P_3$  – расчетные коэффициенты модели;

$U(s)$  – передаточная функция угловой частоты вращения коленчатого вала двигателя привода машины (динамическая характеристика двигателя бензопилы «Урал МП-5 Электрон») [3],  $U(s) = \frac{n(s)}{M_c(s)}$ .

В соответствии с теоретическими положениями методики [1] определим математическое ожидание спектральной плотности часового расхода топлива измельчителя:

$$M_b(\omega) = \left[ \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} |W(j\omega)|^2 d\omega \right]^{0.5}, \quad (18)$$

где  $|W(j\omega)|^2$  – квадрат модуля передаточной функции (17);

$\omega$  – текущая угловая частота гармоник процесса, рад·с<sup>-1</sup>.

Отметим, что выражение (18) получено в предположении, что плотность вероятности появления каждой гармоники с частотой  $\omega$  равна 1, т. е. для упрощения вывода этой формулы (из-за невозможности охватить весь диапазон характеристик случайного процесса переменной составляющей момента сопротивления  $M_c(s)$  использована характеристика –  $\Delta$  функции). Поэтому при практическом использовании (численном интегрировании) выражения (18) верхний предел интеграла  $\infty$  необходимо принимать по значению частоты  $\omega$ , соответствующей математическому ожиданию (среднему значению) переменной момента сопротивления  $M_c(s)$  (формула (16)) в исследуемых условиях эксплуатации.

При этом результат  $M_b(\omega)$  интерпретируется как корень квадратный из площади (в соответствующем масштабе) под интегральной кривой  $|W(j\omega)|^2$  в интервале интегрирования для реального диапазона частоты  $\omega$ .

Таким образом, часовой расход топлива ( $B$ , кг/ч) рассматриваемой технологической машины на базе мотопшасси [1]:

$$B = B_0 + M_b(\omega), \quad (19)$$

где  $B_0$  – часовой расход топлива, соответствующий средним значениям частоты вращения  $n_0$  при  $\beta(t) = 0$  и отсутствии сил инерции.

В нашем случае из (13) следует, что

$$B_0 = n_0 P_1 [P_{рм} + G_{маш} (\sin \alpha + f_k)] + 0,5 P_2 I_{маш} n_0^2 \eta_e. \quad (20)$$

Исходя из представленных выше допущений при математическом моделировании, оценку часового расхода топлива тяговым мотопшасси следует определять отдельно.

Сила тяги мотопшасси при измельчении ( $P_{тяг}$ , Н):

$$P_{тяг} = G_{тяг} (f_{тяг} \cos \alpha + \sin \alpha) - P_{рм}, \quad (21)$$

где  $G_{тяг}$  – вес мотопшасси с оператором, Н;

$f_{тяг}$  – коэффициент сопротивления качению колес тягового модуля.



Последняя величина ( $P_{рм}$ ) в выражении (21) вычитается, так как результирующая сопротивления роторной машиной измельчению надпочвенной биомассы создает силу, способствующую движению тягового модуля (базового мотошасси).

Таким образом, эффективный крутящий момент ( $M_{ет}, Н \cdot м$ ), развиваемый рассматриваемым двигателем мотошасси, представим как

$$M_{ет} = \frac{R_{тяг} P_{тяг}}{i_{трт} \eta_{трт}}, \quad (22)$$

где  $R_{тяг}$  – радиус ведущего колеса мотошасси, м;

$i_{трт}$  – передаточное число трансмиссии мотошасси в режиме измельчения (1-я или 2-я передача);

$\eta_{трт}$  – коэффициент полезного действия трансмиссии тягового модуля.

С учетом соотношений (3) и (12) искомый часовой расход ( $B_{тяг}, кг/ч$ ) топлива

$$B_{тяг} = \frac{M_{ет} 3,6\pi n_{от}}{30\eta_{ет} H_{Ут}}, \quad (23)$$

где  $n_{от}$  – частота вращения коленчатого вала двигателя мотошасси при максимальном  $M_{ет}$  по внешней скоростной характеристике;

$\eta_{ет}$  – эффективный коэффициент полезного действия двигателя тягового модуля;

$H_{Ут}$  – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

Тогда суммарный часовой расход топлива ( $B_{агр}, кг/ч$ ) агрегата–измельчителя (мотошасси + роторная машина):

$$B_{агр} = B_{тяг} + B. \quad (24)$$

Важным этапом является проверка возможности двигателей агрегата–измельчителя обеспечить необходимую мощность рассматриваемого процесса.

Для проверки машины по мощности должны обеспечиваться необходимые соотношения реализации расчетных вариантов и параметров энергетических установок агрегата.

Систематизируя представленные математические выкладки, можно заключить, что, задаваясь при расчетах возможной производительностью агрегата по площади измельчения в час ( $\Pi_{агр}, м^2/ч$ ), основываясь на его рабочей скорости поступательного движения и ширине захвата роторной машины, реально прогнозировать важный технико-экономический показатель – удельный расход топлива ( $B_{уд}, кг/м^2$ ) в течении 1 ч рабочего хода технологической системы на единицу производительности:

$$B_{уд} = \frac{B_{агр}}{\Pi_{агр}}. \quad (25)$$

Основываясь на отмеченных особенностях предлагаемого математического описания, можно сформулировать оптимизационную задачу.

*Пусть заданы:* компоновочная схема, основные проектные параметры и характеристики агрегата для измельчения растительных остатков в парках и лесопарковых хозяйствах; характеристики взаимодействия ножей-измельчителей с предметом труда – биомассой.

*Требуется:* среди множества значений количества ножей-измельчителей на роторном барабане найти такое, при котором будет обеспечен минимум показателя эффективности системы ( $\min B_{уд}$ ).

Макетный действующий образец агрегата находится в стадии изготовления. Для удешевления опытно-конструкторских работ и принятия предварительных проектных решений, а также в целях поддержки потенциальных отечественных производителей тяговый модуль представляет собой российский мокик ЗИД-50 (2×1). Ротор измельчителя оснащен 16 Г-образными ножами культиватора на базе мотоблока МБ «Нева» (Россия) с активным приводом от двигателя отечественной бензопилы «Урал МП-5 Электрон». Вращение от коленчатого вала на ведущий вал ротора передается через планетарный редуктор. Проектная ширина захвата барабана-измельчителя 0,5 м, рабочая частота вращения 1900 мин<sup>-1</sup>.

#### Выводы

1. Предложенное теоретическое построение рекомендуется для оценки энергетических и технологических показателей самоходного агрегата на шасси 2×1 в целях оптимального выбора количества ножей-измельчителей для обеспечения минимума удельных энергозатрат на выполнение технологического процесса измельчения напочвенной растительной биомассы.

2. Анализ математических соотношений указывает на необходимость дополнения исходных параметров экспериментальными результатами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипин В.П. Энергозатраты машинно-тракторного агрегата. СПб.: Политехн. ун-т, 2012. 326 с.
2. Лосицкий К.Б., Цехмистренко А.Ф. Энергетические ресурсы леса // Повышение технического уровня и качества машин для лесозаготовок и лесного хозяйства. 1982. № 12. С. 64 – 67.
3. Мясцев Д.Г. Оценка модуля передаточной функции частоты вращения коленчатого вала двигателя лесохозяйственного мотоблока // Изв. СПбЛТА. 2005. С. 96–104.
4. Развитие сельской механизации: обзор моделей и прогресса со всего мира: интегрированное управление Vol.20-2013 Group. Завод по производству и защите пищевых продуктов деления и сельского хозяйства Организации Объединенных Наций. Рим, 2013.
5. Шупляков С.М. Колебания и нагруженность трансмиссии автомобиля. М.: Транспорт, 1974. 328 с.
6. Code K. *The Soft Science of Road Racing Motorcycles: the Technical Procedures and Workbook for Road Racing Motorcycles*. US, 1986. 166 p.
7. Code K. *A Twist of the Wrist. Volume I. The Motorcycle Roadracers Handbook*. US, 1983. 128 p.

Поступила 22.03.16

UDC 634.0.332.1.002.5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.129

### Fuel Optimization of a Rotary Chopper for Plant Residues

*D.G. Myasishchev, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

*S.A. Putintsev, Postgraduate Student*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya

Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: Cepera29ru@yandex.ru

Zero tillage technology, including mechanical chopping of plant residues, is used in order to create the most favorable conditions for the people's rest in the park zones, and to improve fertility of the fields. The article describes the need of a new class of equipment for zero tillage – a chopper on the basis of moto chassis, and justifies the relevance of the proposed arrangement for the intended conditions of use. Other versions of these choppers in the form of attachment to the tractor are also considered; some disadvantages of this type of equipment associated with the complexity and high cost of its transportation to the place of work are established. An important technical difference from the modern equipment, having a tool driven by the PTO, in our case, is that the actuator is driven by a self-contained engine of the chainsaw "Ural MP-5 Electron". This allows us to calculate separately the chassis fuel economy when driving and the tool engine while chopping. The paper presents a mathematical model of fuel efficiency of the self-propelled cutter of the plant ground cover in the aesthetic forestries and fruit farmings. A two-wheeled version of a wheel formula 2x1 is considered as the base chassis. A rotary actuator of a chopper having 16 L-shaped knives, self-driven by an internal combustion engine (designed drum operating width is 0.5 m; operating speed is 1900 min<sup>-1</sup>) is investigated in the model. The provisions of the method of statistical dynamics of linear stochastic systems and discrete optimization are used in the process of mathematical modeling. We made the conclusions about the optimization problem solution to minimize the proportion of technological fuel consumption during chopping of ground biomass – leaves, grass stems, small roots and twigs.

*Keywords:* chopping, leaf, fuel consumption, moto chassis, rotor, tool, optimization.

### REFERENCES

1. Antipin V.P. *Energozatraty mashinno-traktornogo agregata* [Power Consumption of the Machine-Tractor Unit]. Saint Petersburg, 2012. 326 p.
2. Lositskiy K.B., Tsekhmistrenko A.F. Energeticheskie resursy lesa [Forest Energy Resources]. *Povyshenie tekhnicheskogo urovnya i kachestva mashin dlya lesozagotovok i lesnogo khozyaystva* [Technical Level and Machinery Quality Improvement for Logging and Forestry], 1982, no. 12, pp. 64–67.
3. Myasishchev D.G. Otsenka modulya peredatochnoy funktsii chastoty vrashcheniya kolenchatogo vala dvigatelya lesokhozyaystvennogo motobloka [Evaluation of the Transfer

---

*For citation:* Myasishchev D.G., Putintsev S.A. Fuel Optimization of a Rotary Chopper for Plant Residues. *Lesnoy zhurnal*, 2017, no. 1, pp. 129–140. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.129

Function Module of the Engine Crankshaft Rotational Speed of the Forest Motoblock]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)*, 2005, pp. 96–104.

4. *Razvitie sel'skoy mekhanizatsii: obzor modeley i progressa so vsego mira: integrirovannoe upravlenie Vol. 20-2013 Group. Zavod po proizvodstvu i zashchite pishchevykh produktov deleniya i sel'skogo khozyaystva Organizatsii Ob"edinennykh Natsiy* [Development of Agricultural Engineering: an Overview of Models and Progress of All Over the World: the Integrated Management of Vol.20-2013 Group. Food Fission Fragments and Agriculture Manufacturing and Protective Plant of the United Nations Organization]. Rome, 2013.

5. Shuplyakov S.M. *Kolebaniya i nagruzhennost' transmissii avtomobilya* [Vibrations and Vehicle Transmission Loading]. Moscow, 1974. 328 p.

6. Code K. *The Soft Science of Road Racing Motorcycles: the Technical Procedures and Workbook for Road Racing Motorcycles*. US, 1986. 166 p.

7. Code K. *A Twist of the Wrist. Volume I. The Motorcycle Roadracers Handbook*. US, 1983. 128 p.

Received on March 22, 2016