

УДК 630*432

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАБОЧЕГО ОРГАНА ГРУНТОМЕТА
ДЛЯ ТУШЕНИЯ КРОМКИ ЛЕСНОГО НИЗОВОГО ПОЖАРА**© *С.Н. Орловский, канд. техн. наук, доц.*

Красноярский государственный аграрный университет, просп. Мира, 90,

г. Красноярск, Россия, 660049

E-mail: Orlovskiysergey@mail.ru

При проектировании грунтометов, осуществляющих направленное метание струи грунта на кромку лесного пожара, актуальным является определение на стадии проектирования основных параметров рабочего органа и тракторного агрегата. Необходимо получить обобщенные математические зависимости для определения удельных затрат энергии по элементам технологического процесса резания и метания грунта и лесной подстилки, позволяющие в дальнейшем решить задачу оптимизации конструктивных и геометрических параметров рабочих органов, а также режимов их работы по критерию минимума энергоемкости. Лесная подстилка представляет собой волокнистую среду, для которой теоретические основы расчета процессов резания грунтов не подходят. Они могут быть заменены с большей точностью математическими зависимостями, основывающимися на законах теории упругости и пластичности. Их использование позволило разработать методику и уравнения для определения аналитическим методом энергоемкости резания и метания лесных почв с подстилкой, а также с древесными включениями, активным рабочим органом грунтомета. Получены математические зависимости затрат удельной работы на преодоление упругих сил резания грунта и подстилки; преодоление сопротивления вязкопластического течения продуктов резания при прохождении ножом дуги контакта с залежью и протаскивании по вращающемуся кожуху; резание древесных включений (корней и валежа); со-общение кинетической энергии продуктам резания. По данным математическим зависимостям произведен расчет энергоемкости тушения кромки низового лесного пожара, определен баланс затрат мощности на выполнение технологического процесса при заданных параметрах рабочего органа и режимах резания. Сравнение зависимостей энергоемкости, полученных экспериментально и расчетным путем, показывает, что отклонения не превышают 6...14 %. На основании полученных результатов можно определить рациональную скорость резания, углы заточки и установки ножей, форму лопасти метателя, диаметр вращающегося кожуха, производительность и дальность метания, а также затраты мощности на выполнение технологического процесса. Анализ полученных результатов показал, что рациональная скорость резания составляет 5...6 м/с. Предложенная методика аналитического определения энергоемкости резания и метания лесных почв дает возможность выбирать режимы резания и параметры рабочего органа с одновременной оценкой затрат удельной работы на выполнение технологического процесса по элементам, что позволяет достичь минимальных значений энергоемкости создаваемых орудий на стадии проектирования. Кроме того, учет влияния подстилки повышает точность расчетов на 13...21 %, а реализация результатов исследований позволит повысить технический уровень лесопожарных агрегатов, обеспечивающих выполнение работ по энергосберегающим технологиям при минимальных нарушениях окружающей среды.

Ключевые слова: грунтометы, лесные почвы, энергоемкость, затраты энергии, баланс мощности.

Грунтомет представляет собой навесной механизм, агрегатируемый с гусеничным трелевочным трактором, оборудованным гидравлической системой отбора мощности и передней навеской. Особенность грунтомета рассматриваемой конструкции заключается в отделении процесса резания грунта от его метания. Вращающийся кожух своими ножами разрабатывает грунт, захватывает его внутрь и лопастями метателя переносит в точку выброса, сообщая ему дополнительную скорость. Процесс забора и выброса грунта повторяется два раза за один оборот рабочего органа. Резание грунта в рассматриваемой конструкции грунтомета производится на обоснованно низкой скорости, что обеспечивает снижение энергоемкости технологического процесса по сравнению с аналогами.

Цель исследований – теоретический анализ резания и метания лесных почв активным рабочим органом грунтомета.

При этом необходимо получить обобщенные математические зависимости для определения удельных затрат энергии по элементам технологического процесса резания и метания грунта, позволяющие в дальнейшем решить задачу оптимизации конструктивных и геометрических параметров рабочих органов, а также режимов их работы по критерию минимума энергоемкости.

Лесная подстилка представляет собой волокнистую среду, для которой теоретические основы расчета процессов резания грунтов не подходят и могут быть заменены математическими зависимостями, основывающимися на законах теории упругости и пластичности и на теоретических работах В.К. Фомина, С.Н. Орловского и А.И. Карнаухова [2–4].

Их использование позволило на основе физико-математической модели разработать методику и уравнения для определения аналитическим методом энергоемкости резания и метания рабочим органом грунтомета лесных почв с подстилкой, а также с древесными включениями.

Для условий работы грунтомета удельная работа e_{Σ} представлена в виде суммы затрат энергии на преодоление упругих сил резания грунта $e_{упр.г}$ и подстилки $e_{упр.п}$; преодоление сопротивления вязкопластического течения продуктов резания при прохождении ножом дуги контакта с залежью и протаскивании по вращающемуся кожуху e_{λ} ; резание древесных включений (корней и валежа) $e_{п}$; сообщение кинетической энергии продуктам резания $e_{отбр}$; преодоление трения в трансмиссии привода рабочего органа орудия $e_{тр}$.

Схема взаимодействия грунтомета с разрабатываемой средой представлена на рис. 1.

Энергетический баланс работы грунтомета можно представить в виде уравнения

$$e_{\Sigma} = e_{упр.г} + e_{упр.п} + e_{\lambda г} + e_{\lambda п} + e_{п} + e_{отбр} + e_{тр}. \quad (1)$$

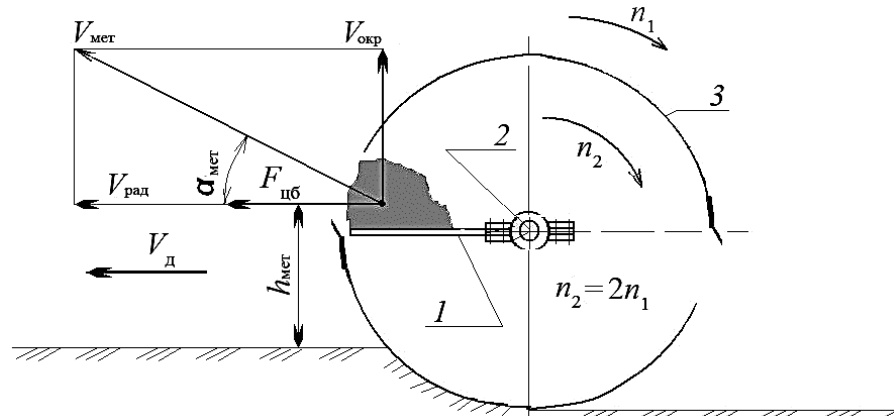


Рис. 1. Взаимодействие грунтмета с разрабатываемой средой: 1 – лопасть метателя, 2 – вал со ступицей, 3 – вращающийся кожух (n_1 и n_2 – частота вращения соответственно кожуха и метателя)

Удельная работа на преодоление упругих сил резания грунта $e_{упр.г}$ и подстилки $e_{упр.п}$ определяется с учетом взаимодействия ножа грунтмета с разрабатываемой средой [2]:

$$e_{упр} = \tau \left(\frac{1}{\text{tg}\psi'_0} + \frac{1}{\text{tg}\psi} \right), \quad (2)$$

где τ – сопротивление разрабатываемой среды сдвигу, Па;

ψ'_0 – угол сдвига стружки в плоскости резания, град;

ψ – угол сдвига стружки относительно плоскости резания, град.

Угол сдвига стружки для подстилки $\psi'_п$ и минерального грунта $\psi'_г$ в плоскости резания (рис. 2) определим по известной формуле К.А. Зворыкина [1]:

$$\psi'_0 = 90 - \frac{\varphi - \rho + \beta'_0}{2}, \quad (3)$$

где φ и ρ – углы внешнего и внутреннего трения, град;

β'_0 – угол резания, приведенный к направлению подачи, град.

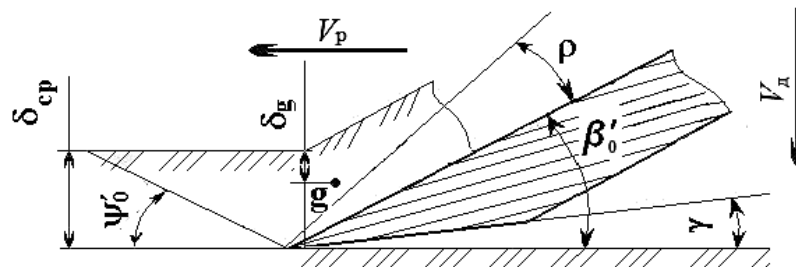


Рис. 2. Схема резания грунта ножом вращающегося кожуха грунтмета

Угол сдвига стружки относительно плоскости резания

$$\Psi = 90 - \frac{(90 - \alpha) + \varphi + \rho}{2},$$

где α – угол расположения режущей кромки относительно плоскости, перпендикулярной плоскости резания, град.

Соппротивление сдвигу τ продуктов резания найдем по уравнению Кулона:

$$\tau = \theta + P_n f_2, \quad (4)$$

где θ – предельное напряжение сдвига подстилки и минерального грунта, Па;

P_n – нормальное давление от действия инерционных сил в плоскости, проходящей под углом Ψ к направлению подачи, Па;

f_2 – коэффициент внутреннего трения разрабатываемого материала (грунт, подстилка).

Нормальное давление стружки на поверхность ножа от действия инерционных сил P_n с учетом абсолютной скорости движения ножа:

$$P_n = \frac{\gamma_0 V_p^2 \sin \beta'_0 \sin \psi'_0 \cos^2 \alpha \cos^2 \psi \sin(\varphi + \psi'_0 + \beta'_0 - 90)}{q \cos \varphi \sin^2(90 - \psi + \alpha)}, \quad (5)$$

где γ_0 – удельный вес разрабатываемого материала, Н/м³;

V_p – скорость резания, м/с;

q – ускорение свободного падения, м/с².

Затраты мощности на преодоление упругих сил резания грунта и подстилки $N_{упр}$ определяются как сумма произведений работы по преодолению упругих сил резания грунта и подстилки на соответствующую производительность рабочего органа:

$$N_{упр\Sigma} = P_n e_{упр.п} + P_r e_{упр.г}, \quad (6)$$

где P_n и P_r – производительность, м³/с, рабочего органа по резанию подстилки и грунта,

$$P = baV_d;$$

b – ширина прорезаемой полосы, м;

a – глубина резания, м;

V_d – поступательная скорость движения, м/с.

Удельная работа (e_λ , Дж/м³), происходящая при воздействии лопасти метателя на продукты резания, складывается из степени ее воздействия в процессе резания при свободном λ_{po} и стесненном $\lambda_{рт}$ заполнении пространства секции, а также за счет протаскивания продуктов резания по кожуху λ_k :

$$e_\lambda = K_{0cp} \lambda_{po}, \quad (7)$$

где K_{0cp} – коэффициент сопротивления вязкопластическому течению (средний от начала до конца фрезерующего устройства) [3].

На основании проведенных исследований предложено следующее уравнение:

$$\lambda_{po} = \sqrt{2} (l - l_\tau) \left[\frac{\cos \alpha \sin \beta'_0 \sin(\varphi_m - \psi'_0 + \beta'_0 - 90) \cos \psi_m}{2 \delta_{cp} \sin(90 - \psi_m + \alpha)} \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha \operatorname{tg}^4 \psi_m} + \frac{1}{B} \right], \quad (8)$$

где l, l_τ – длина дуги волочения при свободном и стесненном заполнении секции, м;

B – ширина лопасти метателя, м.

В данном выражении все значения углов применяются для случая трения грунта по металлу вращающегося кожуха (нижний индекс «м»).

Условия свободного заполнения продуктами резания площади лопасти метателя $F_{вп}$ определяются конструктивными особенностями ее передней грани и углами установки. Свободное заполнение лопасти метателя с плоской передней гранью возможно до величины удельного объема на единицу ширины:

$$F_{вп} = \frac{1}{2} h_{л}^2 [\operatorname{tg}(90 - \beta_0) - \operatorname{tg}\rho_m], \quad (9)$$

где $h_{л}$ – высота лопасти по радиусу, м.

У лопасти метателя, имеющей переднюю грань вогнутой цилиндрической формы, площадь впадины определим по следующему выражению (рис. 3):

$$F_{вп} = \frac{R_{вп}^2}{2B} \left(\pi \frac{\alpha_{вп}}{180} - \frac{1}{2} \sin \alpha_{вп} \right) \left\{ \frac{1}{\sin \beta'_0} \left[h - \frac{h_{вп} \sin \gamma}{\sin(\beta'_0 - \gamma)} - \frac{h_{вп} \operatorname{tg}(\beta'_0 + \rho_m)}{2} \right] \right\} + \frac{1}{2} \left\{ h_{н} - h_{вп} \left[\frac{\cos \rho_m}{\cos(\rho'_0 + \rho_m)} + \frac{\sin \gamma}{\sin(\beta'_0 - \gamma)} \right] \right\}^2 [\operatorname{tg}(90 - \beta'_0) - \operatorname{tg}\rho_m]. \quad (10)$$

Удельная работа резания древесных включений $e_{п}$ рассчитывается по эмпирическим зависимостям, приведенным в работе [2]:

$$e_{п} = \left[78 - V_p \left(0,9 - \frac{9,55z}{V_{л} R_{фп}} \right) \right] 10 \xi_{п}, \quad (11)$$

где z – число ножей на рабочем органе, шт.;

$R_{фп}$ – радиус вращающегося кожуха, м;

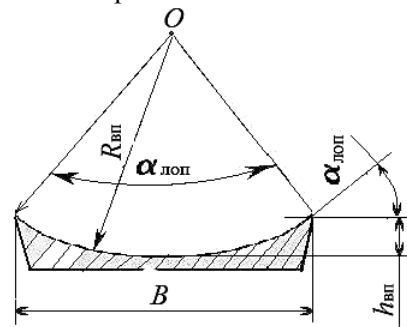
$\xi_{п}$ – степень пнистости (отношение объема фрезеруемых древесных включений к объему вырезаемого грунта), %.

Удельная работа на сообщение кинетической энергии продуктам резания

$$e_{отбр} = \frac{\gamma_0 V_p^2 \eta_{отбр}}{2}, \quad (12)$$

где $\eta_{отбр}$ – КПД отбрасывания разрабатываемого материала.

Рис. 3. Схема лопасти метателя с передней гранью, имеющей вогнутую цилиндрическую форму



Удельная работа на выполнение технологического процесса определяется как сумма всех его элементов по выражению (1). По приведенным выше математическим зависимостям произведены расчеты энергоемкости тушения кромки низового лесного пожара при суммарной мощности почвенных горизонтов A_0 и A_1 0,07 м и глубине резания 0,21 м. Результаты расчетов представлены на гистограмме (рис. 4), где $N_{упр}$ – затраты мощности на преодоление упругих сил резания, N_{λ} – то же сопротивления вязкопластического течения продуктов резания, $N_{п}$ – резание древесных включений, $N_{отбр}$ – сообщение кинетической энергии продуктам резания, $N_{тр}$ – преодоление трения в трансмиссии привода рабочего органа орудия, $N_{передв}$ – передвижение агрегата. Параметры процесса: скорость движения – 0,60 м/с; диаметр рабочего органа – 1 м; частота его вращения – 3 с⁻¹; ширина прорезаемой полосы – 1,2 м; производительность по метанию – 0,144 м³/с (518 м³/ч). Механические свойства грунта взяты из табл. 2.5 работы [2]. При испытаниях макетного образца орудия затраты мощности определялись по результатам замеров давления в гидросистеме привода рабочего органа и составляли 52,0...57,0 кВт. Расчетные затраты мощности на выполнение технологического процесса – 49,2 кВт.

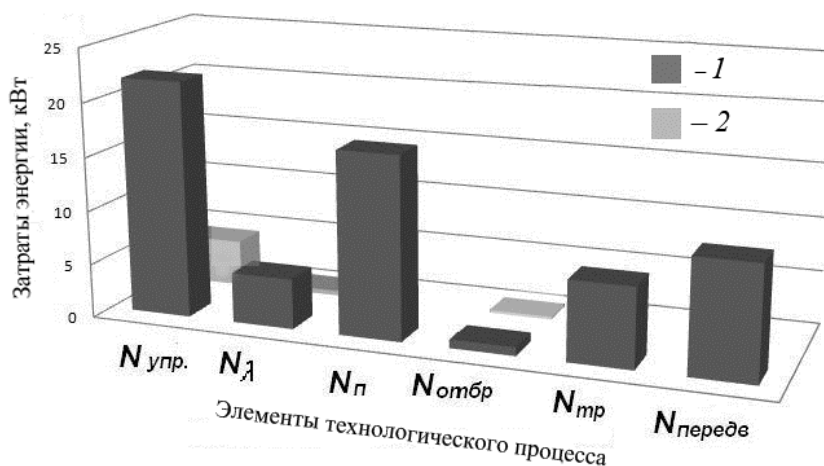


Рис. 4. Гистограмма баланса затрат мощности на выполнение технологического тушения кромки пожара грунтометом при скорости резания 9,42 м/с: 1 – грунт; 2 – подстилка

Расчетная энергоемкость технологического процесса тушения составила 0,095 кВт·ч/м³. Для сравнения энергоемкость грунтомета АЛФ-10 составляет 0,82 кВт·ч/м³ при производительности 175 м³/ч [2].

Дальность отбрасывания грунта по горизонтали (S , м) при заданной скорости метания определяли по выражению

$$S = \frac{V_0^2}{g} K_y \sin 2\alpha, \quad (13)$$

где V_0 – скорость метания, м/с;
 g – ускорение свободного падения, м/с²;
 K_y – коэффициент уменьшения дальности полета грунта;
 α – угол метания к горизонту, град.

Для приведенного выше режима работы грунтомета при ограничении по высоте траектории 2,5...3,0 м (высота крон, мешающих полету струи грунта) дальность метания составляла 29,0 м, что свидетельствует о возможности снижения скоростей резания и метания и, соответственно, энергоемкости рабочего процесса. Сравнение зависимостей энергоемкости, полученных экспериментально и расчетным путем, показало, что эти значения достаточно точно согласуются. Определение энергосберегающих режимов резания, конструктивных и геометрических параметров грунтометров для параметрического ряда тракторов может быть выполнено методом сопряженных градиентов [2].

Выводы

1. Снижение скорости резания и метания во всех случаях обеспечивает снижение затрат мощности на выполнение работ; пределы снижения скорости лимитируются дальностью отбрасывания экскавированного грунта и высотой траектории его полета, рациональная скорость резания составляет 5...6 м/с.

2. Предложенная методика аналитического определения энергоемкости резания и метания лесных почв дает возможность выбирать режимы резания и параметры рабочего органа с одновременной оценкой затрат удельной работы на выполнение технологического процесса по элементам, что позволяет достичь минимальных значений энергоемкости создаваемых орудий на стадии проектирования.

3. Учет влияния подстилки повышает точность расчетов на 13...21 %.

4. Реализация результатов исследований позволит повысить технический уровень лесопожарных агрегатов, обеспечивающих выполнение работ по энергосберегающим технологиям при минимальных нарушениях окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеленин А.Н. Лабораторный практикум по резанию грунтов. М.: Высш. шк., 1969. 310 с.
2. Карнаухов А.И. Лесопожарные агрегаты с торцевой фрезой. Концепция энергосбережения: моногр. Красноярск: СибГТУ, 2011. 220 с.
3. Орловский С.Н. Определение энергетических и динамических параметров тракторов, режимов резания активных рабочих органов машинно-тракторных агрегатов: моногр. Красноярск, КрасГАУ, 2011. 376 с.
4. Фомин В.К., Фомина Н.Ф. Методика определения энергоемкости процесса резания торфа дисковыми фрезами аналитическим методом // Торф. пром-сть. 1979. № 5. С. 9–13.

Поступила 17.10.12

Design Procedure of Ground-Throwing Machine Executive Device for Extinguishing Creeping Fire Borders

S.N. Orlovsky, Candidate of Engineering, Associate Professor

Krasnoyarsk State Agricultural University, Prospect Mira, 90, Krasnoyarsk, 660049, Russia

E-mail: orlovskiysergey@mail.ru

In the engineering of ground-throwing machines, accomplished direct jet soil on forest fire borders, characterization the major parameters of executive device and tractor-driven units is topical on the blue-print stage. It is necessary to receive generalized mathematical relationships to determine specific energy demands for the elements of cutting process and ground throwing. Such calculation allows to determine optimization problem of the constructive and geometrical parameters of executive devices and operating regimes in energy intensity criterion.

Forest litter is a fibrous surroundings falling out of any theoretical calculations of the ground cutting processes. So, mathematical relations, based on the rules of elasticity and plasticity theory, can be more reliable. Usage of these rules made possible elaboration of the methods and equations for calculation of power consumption during the ground cutting and throwing of forest soil containing forest litter and dead-wood fragments by the executive device of ground-throwing machine. Mathematical relationships of specific work charges were determined for:

- overcoming of elastic force demanded for cutting ground and litter;
- crossing resistance of viscoplastic cutting products stream under cutter operating on contact arc with fallow and carrying on revolving encasement;
- cutting of roots and dead-wood;
- kinetic energy of cut wood and soil.

These mathematic functions allowed to calculate the power waste demanded for extinguishing creeping fire borders, to estimate the balance of power expenditure at processing, depending on executive device parameters and different regimes of ground cutting. Comparison between experimental and calculated energy intensity shows that discrepancy does not exceed 6-14 %. As a results of the conducted research, rational cutting velocity, sharpening angles and blade angles, form of throwing unit fans, revolving encasement diameter, capability and range of throw, power waste necessary for the whole technological process can be determinated.

The analysis of obtained results has shown that the rational cutting velocity is 5-6 $m \cdot s^{-1}$; the suggested methods of analytical energy intensity definition of forest soil cutting and throwing give possibility to choose the cutting regimes and executive device parameters with simultaneous assessment of energy usage at the technological process on all its stages. This methods allow to reach minimum energy intensity of designing the forest fire extinguishing machines.

The influence consideration of forest litter enhances accuracy of calculations for 13-21%. Realization of these methods would make possible to raise the technical level of fire extinguishing machines at the lowest damage to forest ecosystems.

Keywords: ground throwers, forest soil, energy intensity, energy consumption, power balance.

REFERENCES

1. Zelenin A.N. *Laboratornyy praktikum po rezaniyu gruntov* [Laboratory Practice of Ground Cutting] Moscow, 1969. 310 p.
 2. Karnaukhov A.I. *Lesopozharnye agregaty s tortsovoy frezoy. Kontseptsiya energosberezheniya* [Forest Fire Eliminating Machines Equipped with End Mill. Strategy of Energy Saving]. Krasnoyarsk, 2011. 220 p.
 3. Orlovsky S.N. *Opreделение energeticheskikh i dinamicheskikh parametrov traktorov, rezhimov rezaniya aktivnykh rabochikh organov mashinno-traktornykh agregatov* [Characterization of Tractor Energy and Dynamic Parameters, Cutting Conditions of active tractor aggregates executive devices]. Krasnoyarsk, 2011. 376 p.
 4. Fomin V.K., Fomina N.F. *Metodika opredeleniya energoemkosti protsessa rezaniya torfa diskovymi frezami analiticheskim metodom* [Methods for analytical determination of turf cutting energy intensity by disc cutter] *Torfyanaya promyshlennost'*, 1979, no. 5, pp. 9–13.
-
-