

Системный подход к выбору мощности мульчерной машины для подготовки лесных площадей и борьбы с лесными пожарами

Р.К. Калинин, М.В. Ивашинев

Петрозаводский государственный университет

Аннотация: Для предотвращения и тушения лесных пожаров перспективно использование мульчерных машин. При подготовке лесных площадей мульчерными машинами происходит измельчение почвы совместно с произрастающей на поверхности лесокустарниковой растительностью, их корнями и древесными включениями, при этом сам процесс взаимодействия рабочего органа с грунтом требует значительных затрат энергии. Проведен анализ режимов работы мульчерной машины с рабочим органом в виде барабана-измельчителя и определены режимы работы мульчерной машины. Рассмотрен режим работы мульчерной машины при срезании древесной растительности. Разработана программа для ЭВМ для определения рациональных параметров и режимов работы мульчерной машины.

Ключевые слова: барабан-измельчитель, борьба с лесными пожарами, мульчерная машина, срезание древесной растительности.

Машины с активными рабочими органами для удаления древесной растительности все шире используются при культуртехнических работах, при обслуживании полос отвода железных дорог и прилегающих территорий линий электропередачи. Перспективность мульчерных машин на российском и зарубежном рынках рассмотрена в работе [1].

С одной стороны, растет потребность в технологиях и технике для расчистки вырубок и линейных объектов для лесовосстановления, восстановления и создания новых сельскохозяйственных угодий, подготовки новых и защиты действующих линейных объектов, в частности линий электропередачи, реконструкции полезащитных лесных полос [2], вовлечения в промышленное использование древесины пней и корней для биоэнергетики, целлюлозно-бумажного производства и др.

С другой стороны, в России резко обострилась проблема предотвращения и тушения лесных пожаров [3], возрастающие число и площадь лесных пожаров наносят экономические потери, ущерб здоровью населения, ведут к деградации экосистем и выбросам парниковых газов и

являются угрозой для экономического сектора страны [4]. Проблема лесных пожаров также остро стоит за рубежом [5].

В работе [6] рассмотрен системный подход для поиска и создания новых объектов интеллектуальной собственности. Эффективным средством для борьбы с лесными пожарами являются пожарные полосопрокладывающие и грунтометательные машины [7÷9]. Однако, данные машины хорошо работают только на легких песчаных или супесчаных незадернелых почвах, без каменистых и прочих (пни, корни, порубочные остатки) включений. Как показано в работах Петрозаводского государственного университета [10, 11] для предотвращения и тушения лесных пожаров перспективно использование мульчерных машин.

При подготовке лесных площадей мульчерными машинами происходит измельчение почвы совместно с произрастающей на поверхности лесокустарниковой растительностью, их корнями и древесными включениями, при этом сам процесс взаимодействия рабочего органа с грунтом требует значительных затрат энергии. Снижение энергоемкости за счет совершенствования конструкций рабочих органов, выбора их оптимальных параметров и режимов работы способствует увеличению производительности выполнения технологической операции. Основные технические данные мульчерных машин зависят от их кинематических и конструктивных параметров, а именно от соотношения угловой скорости вращения рабочих органов и скорости поступательного движения, диаметра барабана, числа рабочих органов, скорости резания и других факторов.

В работе [12] рассмотрены современные подходы к разработке программного обеспечения для оптимизации машинно-технологических комплексов. В Петрозаводском государственном университете проведен анализ режимов работы мульчерной машины с рабочим органом в виде барабана-измельчителя и определены следующие режимы работы

мульчерной машины: срезание ствола древесной растительности; измельчение срезанного ствола древесной растительности; измельчение срезанного ствола древесной растительности совместно с грунтом.

Рассмотрим режим работы мульчерной машины при срезании древесной растительности. На рисунке 1 представлена геометрия стружки при срезании ствола древесной растительности мульчерной машиной с рабочим органом в виде барабана-измельчителя.

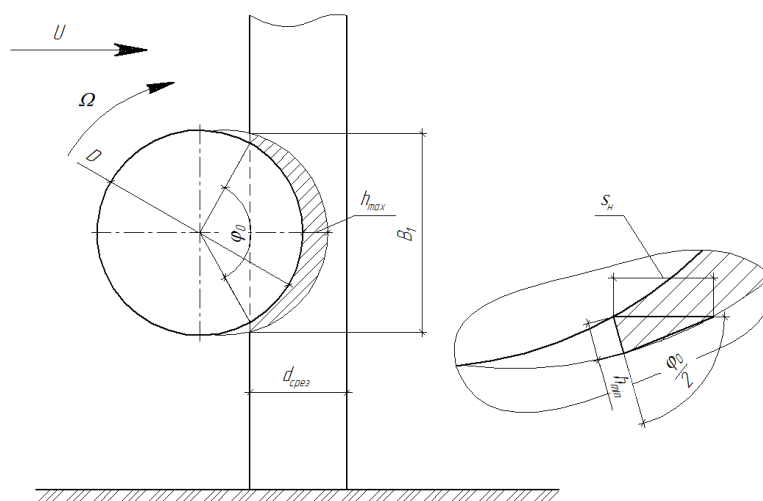


Рисунок 1 – Геометрия стружки при срезании ствола древесной растительности мульчерной машиной с рабочим органом в виде барабана-измельчителя

Из рисунка 1 средняя толщина стружки h на дуге контакта l_p определяется по формуле:

$$h = \frac{\pi R}{\lambda i} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{B_1}{2R} \right)^2} \right), \quad (1)$$

где R – радиус ротора, мм; B_1 – толщина резания, мм; λ – скоростной параметр ротора; i – количество резцов в одном сечении ротора, шт.

Длина дуги резания при резании древесной растительности определяется по формуле:

$$l_p = \frac{2\pi R}{180} \cdot \arcsin \frac{B_1}{2R}, \quad (2)$$

где R – радиус ротора, мм; B_1 – толщина резания, мм.

Средняя сила резания P_{cp} на дуге контакта l_p одним резцом применительно к режиму резания древесной растительности мульчерной машиной можно определить по следующей формуле:

$$P_{cp} = k_p^\circ b h, \quad (3)$$

где k_p° – удельное сопротивление резанию при фрезеровании древесины, МПа; b – ширина резца, мм; h – толщина стружки, мм.

Тогда, среднюю окружную силу резания P_p одним резцом запишем в следующем виде:

$$P_p = \frac{2\pi R k_p^\circ b \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{B_1}{2R} \right)^2} \right)}{360\lambda} \cdot \arcsin \frac{B_1}{2R}, \quad (4)$$

где R – радиус ротора, мм; k_p° – удельное сопротивление резанию при фрезеровании древесины, МПа; b – ширина резца, мм; B_1 – толщина резания, мм; λ – скоростной параметр ротора.

Мощность, необходимая для резания древесной растительности N_p , определяется по следующей формуле:

$$N_p = P_p V_o i_b, \quad (5)$$

где P_p – окружная сила резания при срезании древесной растительности, Н; V_o – окружная скорость вращения ротора, м/с; i_b – количество рядов резцов, участвующих в резании, шт.

Количество рядов резцов, участвующих в резании, определяется по формуле:

$$i_b = \frac{d_c}{b}, \quad (6)$$

где b – ширина резца, мм; d_c – толщина срезаемого ствола, мм.

Средняя окружная сила резания P_o представляет собой фиктивное расчетное усилие, которое действует на окружности резания в течение одного оборота ротора и находится из условия равенства работ резания $A_{рез}$ на дугах l_p от нескольких резцов в одном сечении i и окружной силы резания P_o в течение одного оборота:

$$2\pi R P_o = A_{рез} i, \quad (7)$$

где P_o – средняя окружная сила резания, Н; R – радиус ротора, м; $A_{рез}$ – работа резания одним резцом, Дж; i – количество резцов на роторе в одном сечении, шт.

Подставляя значения в формулу (7) и преобразуя, получим мощность, необходимую для резания древесной растительности N_p рабочим органом мульчерной машины:

$$N_p = \frac{2\pi R k_p^\circ d_c V_o \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{B_1}{2R} \right)^2} \right)}{360\lambda} \cdot \arcsin \frac{B_1}{2R}, \quad (8)$$

где R – радиус ротора, мм; k_p° – удельное сопротивление резанию при фрезеровании древесины, МПа; d_c – толщина срезаемого ствола, мм; V_o – окружная скорость вращения ротора, м/с; B_1 – глубина резания, мм; λ – скоростной параметр ротора.

Мощность, необходимая на отбрасывание древесных частиц N_o за один оборот ротора, определяется по формуле:

$$N_o = \frac{m_o V_o^2 n k_o^\circ}{2}, \quad (9)$$

где m_o – масса отбрасываемого материала, кг; V_o – окружная скорость вращения ротора, м/с; n – частота вращения ротора, c^{-1} ; k_o° – коэффициент отбрасывания срезанной древесины, принимается равным $k_o^\circ = 0,5$.

Масса отбрасываемой древесины m_δ определяется по следующей формуле:

$$m_\delta = \frac{(2\pi R)^2 \rho_\delta d_c}{360\lambda} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{B_1}{2R} \right)^2} \right) \cdot \arcsin \frac{B_1}{2R}, \quad (10)$$

где R – радиус ротора, мм; ρ_δ – плотность древесины, кг/м³; d_c – толщина срезаемого ствола, мм; B_1 – глубина резания, мм; λ – скоростной параметр ротора.

С учетом преобразований мощность, необходимая на отбрасывание древесных частиц N_o за один оборот ротора, определяется по следующей формуле:

$$N_o = \frac{(2\pi R)^2 \rho_\delta d_c V_o^2 n k_o^\delta}{720\lambda} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{B_1}{2R} \right)^2} \right) \cdot \arcsin \frac{B_1}{2R}, \quad (11)$$

где R – радиус ротора, мм; ρ_δ – плотность древесины, кг/м³; d_c – толщина срезаемого ствола, мм; B_1 – глубина резания, мм; λ – скоростной параметр ротора; V_o – окружная скорость вращения ротора, м/с; n – частота вращения ротора, с⁻¹; k_o^δ – коэффициент отбрасывания срезанной древесины, принимается равным $k_o^\delta = 0,5$.

Глубину резания B_1 в общем случае из рисунка 1 можно определить по следующей формуле:

$$B_1 = \sqrt{h(2R - h)}. \quad (12)$$

Суммируя и преобразуя значения мощности, необходимой для резания древесной растительности N_p рабочим органом мульчерной машины и мощности, необходимой на отбрасывание древесных частиц N_o за один оборот ротора, получим мощность, необходимую на срезание древесной растительности N рабочим органом в виде барабана-измельчителя:

$$N = \frac{2\pi U}{360} \left[Rd_c \left(10^6 \cdot k_p^\circ + \frac{\rho_d V_o^2 k_o^\circ}{2} \right) \left(1 + \sqrt{1 - \frac{h(2R-h)}{R^2}} \right) \arcsin \frac{\sqrt{h(2R-h)}}{R} \right], \quad (13)$$

где U – скорость движения мульчерной машины, м/с; R – радиус ротора, м; d_c – толщина срезаемого ствола, м; k_p° – удельное сопротивление резанию при фрезеровании древесины, МПа; ρ_d – плотность древесины, кг/м³; V_o – окружная скорость вращения ротора, м/с; k_o° – коэффициент отбрасывания срезанной древесины, принимается равным $k_o^\circ = 0,5$; h – толщина стружки, м.

Выражение (13) представляет собой математическую модель процесса работы мульчерной машины с рабочим органом в виде барабана-измельчителя при срезании древесной растительности. На основе математической модели (13) разработана программа для ЭВМ «Расчет затрат мощности при срезании древесной растительности рабочим органом в виде барабана-измельчителя». Общий вид диалогового окна разработанной программы представлен на рисунке 2.

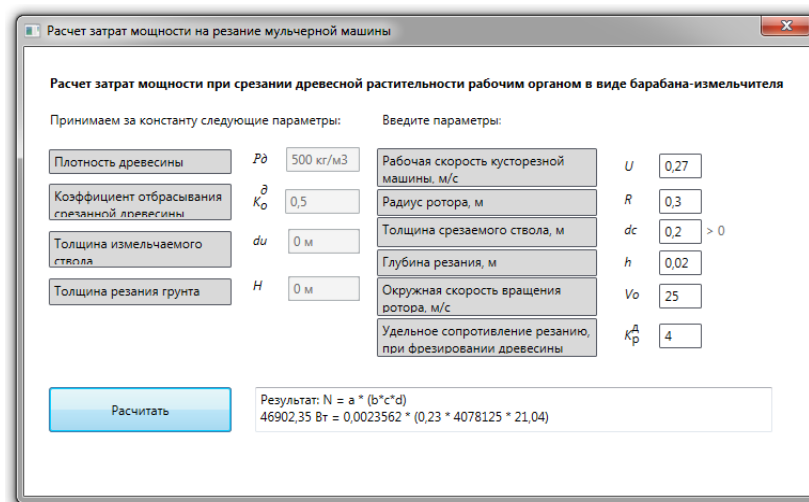


Рисунок 2 – Диалоговое окно разработанной программы для ЭВМ «Расчет затрат мощности при срезании древесной растительности рабочим органом в виде барабана-измельчителя»

На рисунке 3а представлена зависимость изменения мощности на срезание древесной растительности от радиуса ротора при следующих неизменных параметрах ($U=0,27$ м/с; $d_c=0,2$ м; $V_o=25$ м/с), на рисунке 3б представлена зависимость изменения мощности при срезании древесной растительности от толщины стружки при следующих неизменных параметрах ($U=0,27$ м/с; $R=0,3$ м; $d_c=0,2$ м; $V_o=25$ м/с).

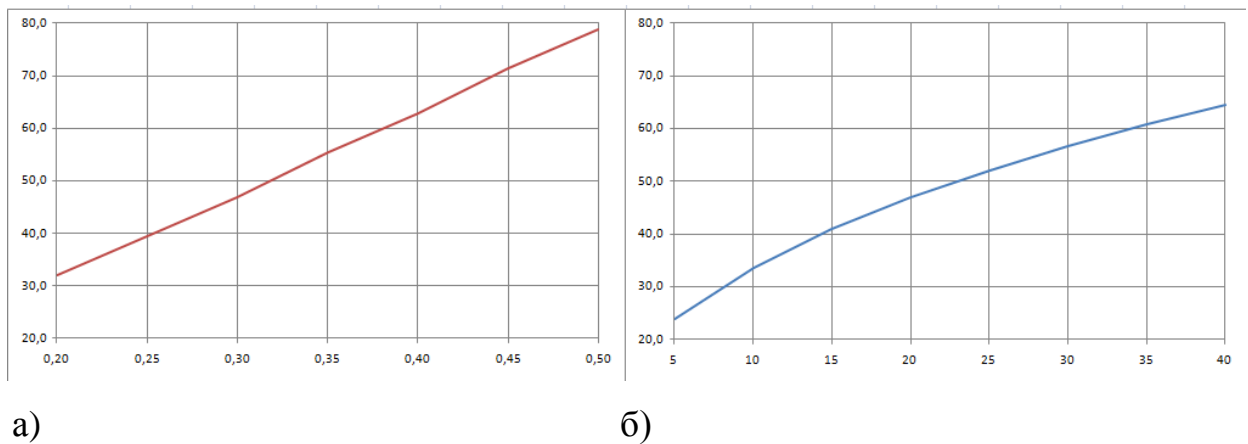


Рисунок 3 – Зависимость мощности при срезании древесной растительности, кВт:

а) от радиуса ротора, м; б) от толщины стружки, мм

В Роспатент подана заявка на государственную регистрацию программы для ЭВМ. На основе разработанной программы рассмотрено влияние конструктивных и кинематических параметров рабочего органа в виде барабана-измельчителя на мощность, затрачиваемую на срезание древесной растительности.

Таким образом, анализ математической модели процесса работы мульчерной машины (13) с помощью разработанной программы для ЭВМ позволяет определить рациональные конструктивные и кинематические параметры рабочего органа в виде барабана-измельчителя при срезании древесной растительности. Стоит отметить, что применение мульчерной техники в лесном хозяйстве позволяет подготовить поверхность для



лесовосстановления, создать противопожарные полосы, улучшить температурный режим почв на вырубках и на гарях после лесного пожара.

Литература

1. Драпалюк М.В., Платонов А.А. Современные машины и оборудование для лесного хозяйства на комбинированном ходу // Современные проблемы науки и образования. - 2013. - №3. - С. 12.

2. Бартенев И.М., Поздняков Е.В. Эффективные способы и технические средства удаления пней // Тракторы и сельхозмашины. - 2013. - №9. - С. 13-16.

3. Шегельман И.Р., Ивашнев М.В., Васильев А.С. Современные подходы к решению проблем предотвращения, обнаружения и тушения лесных пожаров // Материалы V Международной научно-практической конференции «Научное и образовательное пространство: перспективы развития». - Чебоксары: Интерактив плюс, 2017. - С. 125-128.

4. Константинов А. В., Морковина В. В. Лесные пожары как наиболее значимая угроза экономической безопасности лесного сектора // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - Воронеж: ВГЛТУ, 2016. - Т. 4. - № 2 (22). - С. 319-325.

5. Wildfires set to increase: could we be sitting on a tinderbox in Europe?. Date Views 12.12.2020. URL: sciencedaily.com/releases/2018/03/180307100722.htm.

6. Shegelman, I.R., Shtykov A.S., Vasilev A.S., Galaktionov O.N., Kuznetsov A.V., Sukhanov Y.V., 2019. Systematic patent-information search as a basis for synthesis of new objects of intellectual property: methodology and findings. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 8: pp. 369-403.

7. Фокин С.В., Мотова Ю.В., Сариев С.К. О перспективных конструкциях грунтометов с комбинированными рабочими органами // Аграрный научный журнал. - 2019. - №8. - С. 89-94.

8. Бухтояров Л.Д., Гнусов М.А., Шавков М.В., Лепилин Д.В., Есков Д.В., Подъяблонский А.В. Оптимизация параметров комбинированной машины для тушения лесных пожаров на основе теоретических и экспериментальных исследований // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2012, №84. URL: ej.kubagro.ru/2012/10/25.

9. Драпалюк М.В., Бартенев И.М., Гнусов М.А., Дручинин Д.Ю., Марков О.Б., Клубничкин Е.Е. Математическая модель процесса подачи и выброса грунта рабочими органами комбинированной машины для тушения лесных пожаров // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2012, №84. URL: ej.kubagro.ru/2012/10/23.

10. Шегельман И. Р., Васильев А.С. Техника для удаления древесно-кустарниковой растительности при непрерывном движении базовых лесных тракторов в системах машин для предотвращения и тушения лесных пожаров // Инженерный вестник Дона, 2019, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5890.

11. Shegelman, I.R., A.S. Shtykov, A.S. Vasilev and M.V. Ivashnev, 2019. The synthesis of solutions for the prevention and suppression of forest fires. Opcion, 35: 218–231.

12. Лазарева Н. Б. Оптимальный подход к разработке программного обеспечения с использованием современных методологий и технических средств // Инженерный вестник Дона, 2020, №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6625.

References

1. Drapalyuk M.V., Platonov A.A. Sovremennyye problemy` nauki i obrazovaniya. 2013. №3. p. 12.



2. Bartenev I.M., Pozdnyakov E.V. Traktory` i sel`xozmashiny`. 2013. №9. pp. 13-16.

3. Shegel`man I.R., Ivashnev M.V., Vasil`ev A.S. Materialy` V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Nauchnoe i obrazovatel`noe prostranstvo: perspektivy` razvitiya». Cheboksary`: Interaktiv plyus, 2017. pp. 125-128.

4. Konstantinov A. V., Morkovina V. V. Aktual`ny`e napravleniya nauchny`x issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. Voronezh: VGLTU, 2016. T. 4. № 2 (22). pp. 319-325.

5. Wildfires set to increase: could we be sitting on a tinderbox in Europe?. Date Views 12.12.2020. URL:[sciencedaily.com/releases/2018/03/180307100722.htm](https://www.sciencedaily.com/releases/2018/03/180307100722.htm).

6. Shegelman, I.R., Shtykov A.S., Vasilev A.S., Galaktionov O.N., Kuznetsov A.V., Sukhanov Y.V. 2019. Systematic patent-information search as a basis for synthesis of new objects of intellectual property: methodology and findings. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 8: pp.369-403.

7. Fokin S.V., Motova Yu.V., Sariev S.K. Agrarny`j nauchny`j zhurnal. 2019. №8. pp. 89-94.

8. Buxtoyarov L.D., Gnusov M.A., Shavkov M.V., Lepilin D.V., Eskov D.V., Pod`yablonskij A.V. Politematicheskij setevoy e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2012, №84. URL: ej.kubagro.ru/2012/10/25.

9. Drapalyuk M.V., Bartenev I.M., Gnusov M.A., Druchinin D.Yu., Markov O.B., Klubnichkin E.E. Politematicheskij setevoy e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2012, №84. URL: ej.kubagro.ru/2012/10/23.

10. Shegel`man I. R., Vasil`ev A.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5890.



11. Shegelman, I.R., A.S. Shtykov, A.S. Vasilev and M.V. Ivashnev, 2019. The synthesis of solutions for the prevention and suppression of forest fires. Opcion, 35: 218–231.

12. Lazareva N. B. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6625.