



УДК 630*432

С.Н. Орловский¹, А.И. Карнаухов²

¹Красноярский государственный аграрный университет

²Сибирский государственный технологический университет

Орловский Сергей Николаевич родился в 1943 г., окончил в 1969 г. Красноярский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Красноярского государственного аграрного университета. Имеет более 200 печатных работ в области динамики лесохозяйственных агрегатов и их конструирования, резания грунтов, механизации тушения лесных пожаров.
E-mail: orlovskiysergey@mail.ru



Карнаухов Андрей Иванович родился в 1979 г., окончил в 2002 г. Сибирский государственный технологический университет, доцент кафедры технологии и машин природообустройства и защиты окружающей среды Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 20 печатных работ в области резания лесных почв активными рабочими органами фрезерного типа для прокладки минерализованных опорных полос при локализации лесных пожаров.
E-mail: Sky_angel_33@mail.ru



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ РОТОРНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

Предложен методологический подход к обоснованию параметров и режимов работы роторных рабочих органов лесопожарных агрегатов. Произведен выбор исследуемых параметров. Определено их влияние на толщину срезаемой стружки, углы резания и скольжения, а также на скорости резания и подачи для лесных почв. Представлены и проанализированы результаты теоретических расчетов энергоемкости прокладки минерализованных опорных полос.

Ключевые слова: резание, лесные почвы, торцовые фрезы, факторы, энергоемкость резания, экскавации, отбрасывания, древесные включения, баланс мощности, затраты энергии.

Разработка методики аналитического определения энергоемкости резания минеральных грунтов и лесной подстилки, определения конструктивных и геометрических параметров, а также режимов резания рабочих органов на стадии проектирования позволит повысить производительность орудий, снизить их массу, сократить сроки создания новой техники.

Целью исследований являются проведение теоретического анализа резания лесных почв активными рабочими органами; расчет оптимальных по критерию минимума энергоемкости режимов резания, конструктивных и геометрических параметров рабочих органов; определение оптимальных энергетических параметров лесопожарных агрегатов.

При этом необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать влияние конструктивных и геометрических параметров активных рабочих органов лесохозяйственных агрегатов, а также режимов их работы на энергоемкость прокладки минерализованных полос.

2. Проанализировать затраты энергии на прокладку минерализованных противопожарных полос по элементам технологического процесса на основании математической модели технологического процесса резания и заданных в виде констант свойств почв.

3. Определить оптимальные режимы резания, конструктивные и геометрические параметры рабочих органов за счет варьирования скоростей резания и движения, углов резания и установки резцов, а также диаметров фрез и числа ножей.

Лесные почвы представляют собой двухфазную среду «лесная подстилка – грунт». Для нее теоретические основы расчета процессов резания грунтов с большей точностью могут быть заменены математическими зависимостями, основывающимися на законах теории упругости и пластичности, а также изложенными в теоретических работах В.К. Фомина и С.Н. Орловского [4, 5]. С учетом их развития авторами была разработана математическая модель резания торцевой фрезой лесных почв с древесными включениями, позволяющая определить удельные затраты энергии по элементам технологического процесса прокладки минерализованных полос [3].

Проведенный нами дисперсионный анализ факторов, влияющих на резание грунтов, выявил существенную зависимость энергоемкости процесса от следующих факторов [1]: β' – угол резания, приведенный к направлению подачи; α – угол наклона режущей кромки ножа относительно радиуса фрезерного диска торцевой фрезы; R_{ϕ} – радиус фрезы; z – число ножей; $V_{\text{дв}}$ – скорость движения агрегата; $V_{\text{рез}}$ – скорость резания.

С учетом значимости влияния факторов произведены расчеты энергоемкости резания лесных почв по элементам технологического процесса. В расчетах учтено, что возрастание толщины стружки свыше 25 мм приводит к прекращению ее скалывания и резанию почвы без отбрасывания [2]. Энергоемкость резания при этом возрастает, технологический процесс прекращается. На рис. 1 представлены конструкция торцевой фрезы, схема резания и зависимость угла резания от угла установки ножей.

Как следует из результатов испытаний, изменение скорости движения агрегата в пределах $0,2 \dots 1,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ при скорости резания $8,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ не оказывает влияния на энергоемкость процесса резания лесной почвы. Повышение скорости резания приводит к возрастанию энергоемкости.

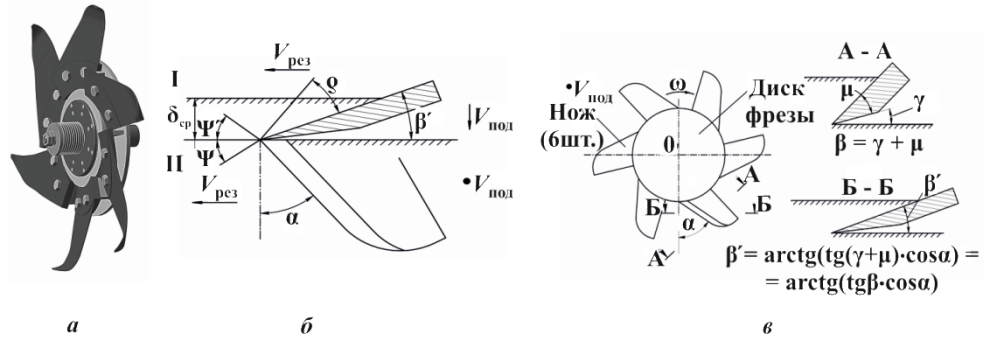


Рис. 1. Конструкция торцевой фрезы с ножами ФБН-410 лесопожарного агрегата (а), схема резания ножом (б) и влияние углов установки ножа на угол резания (в): I – резание в горизонтальной плоскости относительно продольной оси тракторного агрегата; II – в вертикальной плоскости, перпендикулярной его продольной оси

На рис. 2 приведены графики, отражающие влияние скоростей движения и резания на энергоёмкость экскавации подстилки и грунта.

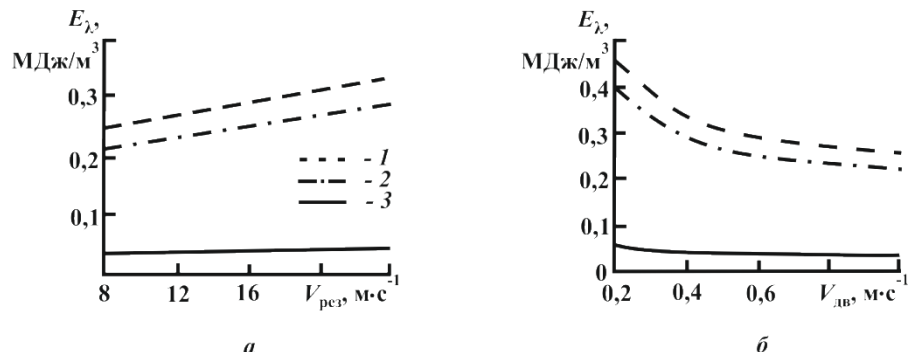


Рис. 2. Графики зависимости энергоёмкости E_{λ} экскавации почвы ножом фрезы от скорости резания $V_{рез}$ при $V_{дв} = 0,2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ (а) и от скорости движения $V_{дв}$ при $V_{рез} = 16,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ (б)

Из приведенных на рис. 2, а графиков следует, что возрастание скорости движения от $0,2$ до $1,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ при скорости резания $8,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ вызывает снижение энергоёмкости экскавации подстилки и грунта на 275 и 250 % соответственно. Изменение скорости резания (рис. 2, б) от $8,0$ до $24,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ при скорости движения $0,2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ приводит к возрастанию энергоёмкости экскавации подстилки и грунта на 63 и 76 % соответственно, что можно объяснить увеличением затрат энергии на метание почвенной стружки с учетом действия инерционных сил. При этом: затраты мощности на экскавацию грунта в 6–10 раз больше, чем на лесную подстилку; затраты мощности на экскавацию грунта по сравнению с подстилкой возрастают при повышении скорости резания.

На диаграммах (рис. 3) представлено влияние скоростей движения (в диапазоне $0,2 \dots 1,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) и резания ($8,0 \dots 24,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) на энергоёмкость прорезания древесных включений в лесных почвах и затрат мощности. Из представленных диаграмм следует, что затраты мощности на прорезание древесных включений практически не зависят от скорости движения, но находятся в прямой зависимости от скорости резания. При скорости движения $0,2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ и увеличении скорости резания от $8,0$ до $16,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ энергозатраты возрастают на 99, от $16,0$ до $24,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ – на 48 %. Аналогичная зависимость отмечена и для скоростей движения $0,6$ и $1,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

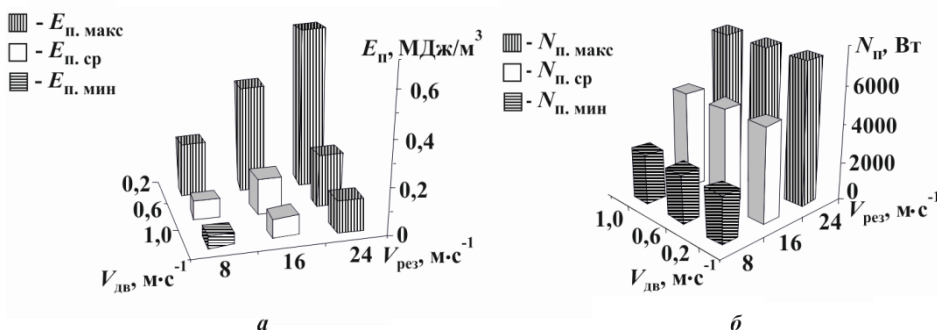


Рис. 3. Диаграммы зависимости энергоёмкости прорезания $E_{п}$ древесных включений в лесных почвах (а) и затрат мощности $N_{п}$ (б) от скоростей движения $V_{дв}$ и резания $V_{рез}$

Графики, приведенные на рис. 4, иллюстрируют, как влияют углы резания β' и установки ножей относительно радиуса фрезерного диска α на энергоёмкость процесса резания лесных почв.

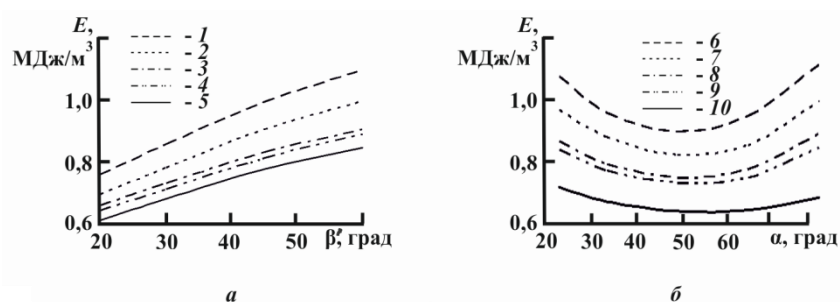


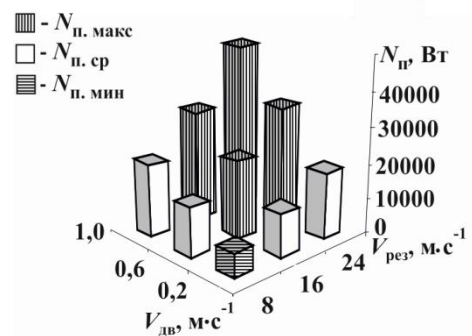
Рис. 4. Графики зависимости энергоёмкости процесса резания лесных почв E от угла резания β' (а) и угла наклона лезвия ножа относительно радиуса фрезерного диска α (б) при $V_{рез} = 8,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ и $V_{дв} = 1,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$: 1 – $\alpha = 0^\circ$; 2 – 15° ; 3 – 30° ; 4 – 60° ; 5 – 45° ; 6 – $\beta' = 60^\circ$; 7 – 45° ; 8 – 75° ; 9 – 30° ; 10 – 20°

Из данных рис. 4 следует, что увеличение угла α до $45 \dots 70^\circ$ снижает энергоёмкость резания почв, при дальнейшем его росте энергоёмкость возрастает. Объяснить снижение энергоёмкости можно скользящим резанием, при котором фактический угол заострения ножей уменьшается. Увеличение угла α в дальнейшем приводит к возрастанию пути трения грунта о лезвие ножа и, соответственно, росту затрат энергии на резание.

Уменьшение угла β' вызывает снижение энергоёмкости резания почв. Минимально допустимые значения угла β' обусловлены механической прочностью ножа и углом его установки относительно плоскости фрезерного диска.

Общий баланс мощности на резание лесных почв и выполнение технологического процесса представлен на рис. 5.

Рис. 5. Диаграммы зависимости затрат мощности на резание лесной почвы и выполнение технологического процесса от скоростей движения $V_{дв}$ и резания $V_{рез}$



Задача оптимизации, стоящая перед нами, решалась по критерию минимизации затрат энергии на прокладку опорных полос в лесных почвах торцовыми фрезами, при ограничениях на коэффициент загрузки, скорость движения и массу базовой машины. К вектору параметров оптимизации относились: число ножей z , радиус фрезерного диска $R_{ф}$, скорость резания $V_{рез}$, угол наклона α режущей кромки ножа относительно радиуса фрезерного диска и угол резания β' .

Для получения целевой функции (уравнения регрессии, описывающего процесс резания лесной почвы торцевой фрезой) использовали метод имитационного моделирования.

Для оптимизации параметров был применен метод сопряженных градиентов. В результате решения задачи оптимизации для параметрического ряда тракторов с мощностью двигателя (базовых машин) $15 \dots 115$ кВт нами были получены рациональные режимы резания и параметры торцовых фрез, представленные в таблице.

Рациональные режимы резания и параметры торцовых фрез

$N_{дв}$, кВт не более	$V_{дв}$, м·с ⁻¹ не более	$R_{ф}$, м	z , шт.	$V_{рез}$, м·с ⁻¹	α	β'
					град	
15	0,75	0,25	6	8	52...58	26
35	0,90	0,30	8	9		27
55	1,30	0,35	12	10		28
80	1,60	0,40	12	14		28
115	2,20	0,45	16	16		28

Выводы

1. Уменьшение скорости резания во всех случаях обеспечивает снижение затрат мощности на выполнение работ по резанию лесных почв, при этом пределы снижения скорости резания лимитируются толщиной срезаемой стружки и дальностью отбрасывания экскавированного грунта. Рациональная скорость резания составляет 8,0 м·с⁻¹.

2. Увеличение угла скольжения α до 45...65° позволяет снизить затраты мощности на резание, однако дальнейшее его повышение приводит к росту затрат мощности.

3. Уменьшение угла резания β' снижает затраты мощности, пределы уменьшения угла резания лимитируются прочностью ножей.

4. Результаты определения затрат энергии на резание лесных почв в зависимости от конструктивных параметров фрезерных рабочих органов и режимов их работы позволяют оценить затраты энергоемкости и выбрать необходимые для выполнения технологического процесса мощности энергетических средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карнаухов А.И. Лесопожарные агрегаты с торцовой фрезой. Концепция энергосбережения: моногр. для студентов, преподавателей и научных работников техн. вузов. Красноярск: СибГТУ, 2011. 220 с.
2. Мартыщенков В.В., Протасов А.В., Романович К.В. Экспериментальные исследования работы лесопожарного агрегата АЛК-25 // Лесные пожары и борьба с ними: сб. науч. тр. М.: ВНИИЛМ, 1988. С. 65–71.
3. Орловский С.Н., Карнаухов А.И. Теоретическое и экспериментальное исследование резания лесных почв фрезерными рабочими органами // Вестн. КрасГАУ. 2007. № 16. С. 215–222.
4. Орловский С.Н. Повышение эффективности дискофрезерных щелерезных агрегатов обоснованием параметров: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2000. 154 с.
5. Фомин В.К., Фомина Г.В. Определение энергоемкости процесса резания винтовой фрезой машины ММК-ПГ аналитическим методом // Торфяная пром-сть. 1972. № 10. С. 12–15.

Поступила 11.01.11

S.N. Orlovsky¹, A.I. Karnaukhov²

¹Krasnoyarsk State Agrarian University

²Siberian State Technological University

Theoretical Background of Rotary Tools Parameters and Operating Modes

A theoretical approach to substantiate parameters and operating modes of rotary tools of forest fire extinguishing machines is described. The parameters for investigation are selected and studied to determine their influence on the thickness of chips, angles of cutting and slide, as well as cutting speed and feed rate for forest soil. The results of theoretical calculations of energy consumption when cutting fire lines are presented. The results obtained have been analyzed.

Key words: cutting, forest soil, face mill, factors, cutting energy consumption, excavations, kickbacks, wood inclusions, power balance, energy consumption.
