



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 630.317

А.И. Карнаухов, А.А. Агеев

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛЕСОПОЖАРНОГО АГРЕГАТА С ТОРЦОВОЙ ФРЕЗОЙ

В статье приведены результаты экспериментальных исследований лесопожарного агрегата с торцовой фрезой на базе самоходного шасси Т-16М. Определены оптимальные значения скорости движения агрегата, частоты вращения рабочего органа, радиуса фрезы по концам ножей, их количества, параметры заднего угла установки ножей относительно плоскости фрезерного диска, а также параметры угла наклона режущей кромки ножа относительно плоскости диска.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, лесопожарный агрегат, резание лесных почв, торцовая фреза, энергоёмкость, геометрические параметры, режимы резания.

A.I. Karnaukhov, A.A. Ageev

EXPERIMENTAL STUDY RESULTS ON OPTIMIZING THE CHARACTERISTICS AND WORKING MODES OF THE FOREST-FIRE UNIT WITH THE FACE CUTTER

The experimental research results of the forest-fire unit with the face cutter based on the self-propelled chassis T-16M are presented in the article. The optimum values of the unit movement velocity, the working body rotation frequency, the cutter radius on the knife edge, their number, the parameters of the back angle of the knife set relative to the milling disk, as well as the parameters of the inclination angle of the knife cutting edge relative to the disc plane are considered.

Key words: experimental research, forest fire unit, forest soil cutting, face cutter, power intensity, geometric parameters, cutting modes.

Введение. Одной из важнейших причин сокращения в России покрытых лесом площадей являются лесные пожары. Они способны в кратчайшие сроки негативно изменить и преобразовать окружающую среду, состояние лесного биогеоценоза, динамику и тенденции дальнейшего его развития. Проблема борьбы с лесными пожарами является одной из наиболее актуальных в лесном хозяйстве Российской Федерации. Она стала важной составной частью более общей проблемы – охраны окружающей среды.

Самой распространённой технологической операцией при локализации лесных низовых пожаров является выполнение отжига от минерализованной опорной полосы. Для прокладки опорных полос перспективно использование торцовых фрез с осью вращения, параллельной продольной оси трактора, вырезающих в лесных почвах сегментную канавку и минерализующих прилегающую к ней полосу экскавированным грунтом [1].

Изучение процессов резания минеральных грунтов и лесных почв активными рабочими органами лесохозяйственных, и в частности лесопожарных, агрегатов при прокладке опорных и заградительных минерализованных полос при локализации и тушении лесных пожаров является весьма значимым.

Цель исследований. Достижение оптимальных параметров и режимов работы роторных рабочих органов типа торцовых фрез лесопожарных агрегатов, а также определение точности теоретических расчётов [2].

В соответствии с поставленной целью была сформулирована основная задача оптимизации – обеспечение качественной опорной полосы при минимальном значении энергоёмкости процесса.

Планирование экспериментальных исследований. На основании системного анализа, а также исходя из поставленной задачи, были выделены выходные факторы и параметры оптимизации, характеризующие процесс взаимодействия торцовой фрезы с лесной почвой. Все выходные факторы разделены на три группы: неуправляемые, управляемые и контролируемые.

Неуправляемые факторы включают в себя все первичные входные факторы окружающей среды. К управляемым отнесены факторы, характеризующие параметры и режимы работы торцовой фрезы.

Реализация опытов осуществлялась с применением методов теории планирования экспериментов.

Планирование эксперимента позволяет одновременно варьировать несколькими факторами и получать количественные оценки основных факторов и эффектов взаимодействия.

При проведении эксперимента принято решение изменять в опытах два фактора: x_1 – угол резания β (угол установки ножа фрезы относительно плоскости фрезерного диска); x_2 – частоту вращения фрезы n .

Для решения задач оптимизации объекта исследований и аппроксимации опытных данных использовали математическую модель $y = f(x_1, x_2)$, связывающую параметры оптимизации с варьируемыми факторами и их взаимодействиями

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{12}x_1x_2, \quad (1)$$

где y – значения параметра измерения (энергоёмкость процесса резания);

x_1, x_2 – значения уровней факторов, влияющих на процесс;

a_0 – постоянная составляющая, своего рода фон, на котором проявляется действие факторов;

a_1, a_2 – коэффициенты регрессии, отображающие степень влияния каждого фактора на выход процесса;

a_{12} – коэффициент регрессии, соответствующий эффектам парного взаимодействия.

Выполнение серии опытов планируется произвести в соответствии с нижеприведенной схемой (табл. 1, для ПФЭ 2^2 с эффектом парного взаимодействия) [3, 4].

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	$x_1 \cdot x_2$	$Y_{оп}$	Y_p	δ_i
1	1	1	1	1	$Y_{оп(1)}$	$Y_p(1)$	δ_1
2	1	1	-1	-1	$Y_{оп(2)}$	$Y_p(2)$	δ_2
3	1	-1	1	-1	$Y_{оп(3)}$	$Y_p(3)$	δ_3
4	1	-1	-1	1	$Y_{оп(4)}$	$Y_p(4)$	δ_4

В таблице 1 столбцы x_1 и x_2 задают планирование – по ним непосредственно определяются условия опытов, а столбцы x_0 и $x_1 \cdot x_2$ служат только для расчета;

$y_{оп}$ – результаты экспериментальных исследований (параметр оптимизации);

y_p – результаты вычислений с использованием уравнений регрессии;

δ_i – погрешность.

Пределы варьирования факторов составляют

$$40 \leq x_1 \leq 55,$$

$$4,5 \leq x_2 \leq 9.$$

Размерность угла резания x_1 принимается в градусах, частоты вращения фрезы x_2 – в c^{-1} .

Переход к нормированным переменным выполнен согласно таблице 2.

Таблица 2

Характеристика плана

Характеристика	x_1	x_2
Параметр $z_{(i)н}$	47,5	6,75
Шаг нормирования	7,5	2,25
Нормирующие значения	$\frac{z_1 - 47,5}{7,5}$	$\frac{z_2 - 6,75}{2,25}$

Частота вращения фрезы регулировалась за счет изменения передаточного отношения редуктора, связывающего карданный вал, идущий от вала отбора мощности трактора, с карданным валом привода фрезы. Угол резания регулировался подкладыванием шайб под болты крепления ножей фрезы к диску.

Объект исследований. В качестве объекта исследований и воздействия на лесные почвы на кафедре технологий и машин природообустройства (ТМП) СибГТУ был спроектирован и изготовлен натуральный образец лесопожарного агрегата на базе самоходного шасси Т-16 М (табл. 3).

Таблица 3

Техническая характеристика лесопожарного агрегата

Параметр	Единица измерения	Числовое значение
Тип орудия		Навесное
Базовые трактора		Т-16 М
Тип рабочего органа		Торцовая фреза
Частота вращения рабочего органа n	c^{-1}	4,5 и 9
Радиус фрезы по концам ножей R_ϕ	м	0,3
Количество ножей z	шт.	6
Угол наклона режущей кромки ножа относительно радиуса фрезерного диска торцовой фрезы α	град	56
Глубина резания регулируется опорной лыжей		

Из анализа научной литературы следует, что качественная опорная полоса достигается при толщине грунта на поверхности ЛГМ 3–4 см. При площади вырезаемого сегмента 0,05 м² (табл. 4) обеспечивается ширина покрытия 1–1,5 м (рис. 1), что является достаточным для предотвращения низового пожара [5].



Минерализованная опорная полоса

Результаты экспериментальных исследований

Результаты экспериментальных исследований приведены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты испытаний лесопожарного агрегата

Параметр	$n = 9 \text{ с}^{-1}, \beta=40^\circ$	$n = 4,5 \text{ с}^{-1}, \beta=40^\circ$	$n = 9 \text{ с}^{-1}, \beta=55^\circ$	$n = 4,5 \text{ с}^{-1}, \beta=55^\circ$
Глубина борозды, см	15		15	
Ширина борозды, см	50		50	
Ширина полосы, см	131	116	142	121
Мощность привода, кВт	10,14	5,07	11,51	5,45
Коэффициент загрузки фрезы по моменту η	0,51	0,28	0,57	0,29
Энергоёмкость резания из опыта, кВт · ч/м ³	0,125	0,067	0,149	0,071
Энергоёмкость резания расчётная, кВт · ч/м ³	0,139	0,075	0,167	0,082
Скорость движения, м·с ⁻¹	0,4			

Результаты реализации плана эксперимента после серии опытов и обработки экспериментальных значений представлены в таблице 5.

Таблица 5

Результаты экспериментальных исследований

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	$x_1 \cdot x_2$	z_1	z_2	$y_{оп}$	y_p	δ_i
1	1	1	1	1	55	9	0,148658769	0,148658769	$2,78 \cdot 10^{-17}$
2	1	1	-1	-1	55	4,5	0,070584064	0,070584064	$1,39 \cdot 10^{-17}$
3	1	-1	1	-1	40	9	0,131003985	0,131003985	0
4	1	-1	-1	1	40	4,5	0,066549968	0,066549968	0
$\Sigma \delta =$									$4,17 \cdot 10^{-17}$

После нахождения коэффициентов уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$y = 0,104199197 + 0,00542222 \cdot x_1 + 0,035632181 \cdot x_2 + 0,003405172 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (2)$$

Так как разность между соответствующими значениями опытных и расчетных по уравнению регрессии результатов $\Sigma \delta < 1$, т.е. меньше погрешности измерения, следовательно, линейная аппроксимация хорошо описывает действительную зависимость $y = f(x_1, x_2)$ [3].

Проверка гипотезы об адекватности уравнений регрессии по F -критерию Фишера показала, что уравнение является адекватным. Независимая проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента выявила значимость всех коэффициентов при факторах x_1 и x_2 и при их взаимодействиях, так как величина расчетных значений критериев Стьюдента t_{pi} по абсолютной величине больше табличного значения $t_{таб} = 2,78$ (табл. 6).

Таблица 6

Расчетные значения критериев Стьюдента для коэффициентов регрессии

	a_0	a_1	a_2	a_{12}
	0,104199197	0,00542222	0,035632181	0,003405172
t_{pi}	$6,71567 \cdot 10^{15}$	$3,49464 \cdot 10^{14}$	$2,2965 \cdot 10^{15}$	$2,19464 \cdot 10^{14}$

Заменяя нормированные отклонения x_1 и x_2 параметрами z_1, z_2 , получим зависимость $y_p = f(z_1, z_2)$

$$y = 0,104199197 + 0,00542222 \cdot \left(\frac{z_1 - 47,5}{7,5} \right) + 0,035632181 \cdot \left(\frac{z_2 - 6,75}{2,25} \right) + 0,003405172 \cdot \left(\frac{z_1 - 47,5}{7,5} \right) \cdot \left(\frac{z_2 - 6,75}{2,25} \right). \quad (3)$$

После преобразования получаем формулу, являющуюся статистической моделью изучаемого процесса

$$y = 2,7660195 \cdot 10^{-2} + 6,3910613 \cdot 10^{-4} \cdot z_1 + 6,2515963 \cdot 10^{-3} \cdot z_2 + 2,0178797 \cdot 10^{-4} \cdot z_1 \cdot z_2. \quad (4)$$

По уравнению регрессии можно оценить относительную степень влияния факторов на изменение выходной величины, для этого используем значение критерия t_{pi} (табл. 6); чем он больше, тем сильнее влияние соответствующего фактора на изменения выходной величины. Важную информацию несут знаки коэффициентов регрессии: если линейный коэффициент положителен, то выходная величина возрастает с увеличением соответствующего фактора и наоборот. На основании этого можно сделать вывод, что наибольшее влияние на выходную величину оказывает частота вращения фрезы, а меньшее влияние – угол резания; стоит отметить, что с увеличением данных факторов критерий оценки увеличивается. Также влияние на выходную величину оказывает и парное взаимодействие сочетания частоты вращения фрезы и угла резания, с увеличением этих факторов выходная величина увеличивается.

Обоснование параметров и режимов работы лесопожарного агрегата. Экспериментальные исследования фрезерных рабочих органов на натурном образце лесохозяйственного агрегата

показали удовлетворительную сходимостъ результатов с теоретическими значениями. Расхождение результатов не превышает 10,2 %, что позволяет сделать вывод об адекватности методики расчета и достоверности полученных результатов [6, 7], а также, используя метод покоординатного спуска, провести оптимизацию параметров и режимов работы торцовой фрезы для данного лесохозяйственного агрегата (табл. 7).

Таблица 7

Оптимальные параметры и режимы работы лесопожарного агрегата с торцовой фрезой на базе Т-16М

Трактор	$V_{дв}$, м·с ⁻¹	$R_{ф}$, м	z , шт.	n , с ⁻¹	α , град	β , град	η_T	ΣN , кВт	ΣE , кВт·ч/м ³
Т-16М	0,4	0,3	6	4,5	52,26	23,01	0,49	7,02	0,08514

Примечание: $V_{дв}$ – скорость движения агрегата; ΣN – суммарная мощность, затрачиваемая на процесс фрезерования лесной почвы; ΣE – полная энергоёмкость процесса фрезерования лесной почвы.

Выводы

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Уменьшение угла резания β вызывает снижение энергоёмкости резания почв. Величина минимально допустимых значений угла обуславливается механической прочностью ножа и угла его установки относительно плоскости фрезерного диска.

2. Изменение частоты вращения фрезы в сторону увеличения вызывает возрастание энергоёмкости резания лесной почвы, что можно объяснить увеличением затрат энергии на метание почвенной стружки с учётом действия инерционных сил.

3. Экспериментальные исследования, выполненные с применением теории планирования экспериментов, позволили оценить достоверность аналитического расчета, а также показали относительную степень влияния варьируемых факторов на энергоёмкость процесса фрезерования лесной почвы, исходя из чего была проведена оптимизация параметров и режимов работы лесопожарного агрегата.

Заключение. Результаты работы имеют практическое внедрение, данный агрегат передан в Мининский опытно-механизированный лесхоз Агентства лесной отрасли при администрации Красноярского края и успешно используется на прокладке минерализованных опорных полос с целью профилактической защиты лесных поселков и тушения лесных пожаров.

Литература

1. Карнаухов А.И. Лесопожарные агрегаты с торцовой фрезой. Концепция энергосбережения. – Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2011. – 220 с.
2. Карнаухов А.И., Орловский С.Н. Теоретические предпосылки к обоснованию параметров и режимов работы роторных рабочих органов // Лесной журнал. – 2012. – №4 (328). – С. 70–76.
3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 278 с.
4. Рафалес-Ламарка Э.Э., Николаев В.Г. Некоторые методы планирования и математического анализа биологических экспериментов. – Киев: Наук. думка, 1970. – 120 с.
5. Матвеев А.М. Способы и средства тушения лесных пожаров: учеб. пособие. – Дивногорск: Огни Енисея, 1993. – 143 с.

6. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. – Л.: Колос, 1981. – 382 с.
7. Коршун В.Н. Энергетические параметры и режимы функционирования рабочих полевых машин // Тракторы и с.-х. машины. – 2010. – № 7. – С. 24–28.



УДК 630.37:001.891

В.Н. Холопов, В.А. Лабзин

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ С ПРЕПЯТСТВИЕМ

В статье представлено разделение области функционирования технических средств заготовки лесного сырья на 3 зоны, выполнена классификация лесных препятствий, определена возможность подъёма двухгусеничной машины на вертикальную стенку.

Ключевые слова: функционирование, технические средства, лесное сырье, классификация лесных препятствий, гусеницы, тяговое усилие, сцепление, вертикальная стенка.

V.N. Kholopov, V.A. Labzin

THE TRACKED VEHICLE INTERACTION WITH THE OBSTACLE

The division of the functioning field of the technical means for wood raw material harvesting into 3 zones is presented, the classification of forest obstacles is carried out, the opportunity to lift two-track vehicle on the vertical wall is determined in the article.

Key words: functioning, hardware, wood raw materials, classification of forest obstacles, caterpillars, traction effort, adhesion, vertical wall.

Введение. При разработке технических средств функционирования в местах массовой заготовки дикорастущего пищевого и лекарственного сырья, проведения лесоразработок и лесовосстановления целесообразно учитывать условия эксплуатации лесной техники применительно к трем зонам:

- тундра, лесотундра и подтаежная зона;
- лесная таежная зона;
- зона горных лесов.

Цель исследований. Разработать классификацию лесных препятствий и исследовать взаимодействие параметров двухгусеничной машины на вертикальную стенку подъёма.

Объект и методы исследований. Двухгусеничная машина, принятые допущения, исследование преодоления лесных препятствий.

В зависимости от преимущественных условий эксплуатации лесная машина может быть выполнена горной, болотоходной, плавающей, а также предназначенной для работы в равнинно-холмистой местности. Каждая из модификаций лесной машины, предназначенная для функционирования в определённых зонах, должна иметь соответствующие конструктивные особенности, позволяющие ей безопасно выполнять необходимые технологические операции и иметь достаточно высокую проходимость, позволяющую преодолевать встречающиеся препятствия [1].

К характерным условиям функционирования лесной техники во всех трёх зонах относится пересеченная местность, представляющая собой совокупность различных препятствий естественного и искусственного происхождения, ориентированных в различных направлениях и расположенных в случайном порядке.