

УДК 630\*4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РОТОРА  
ГРУНТОМЕТА-ПОЛОСОПРОКЛАДЫВАТЕЛЯ

М.А. Гнусов  
(ФГБОУ ВПО ВГЛТА)

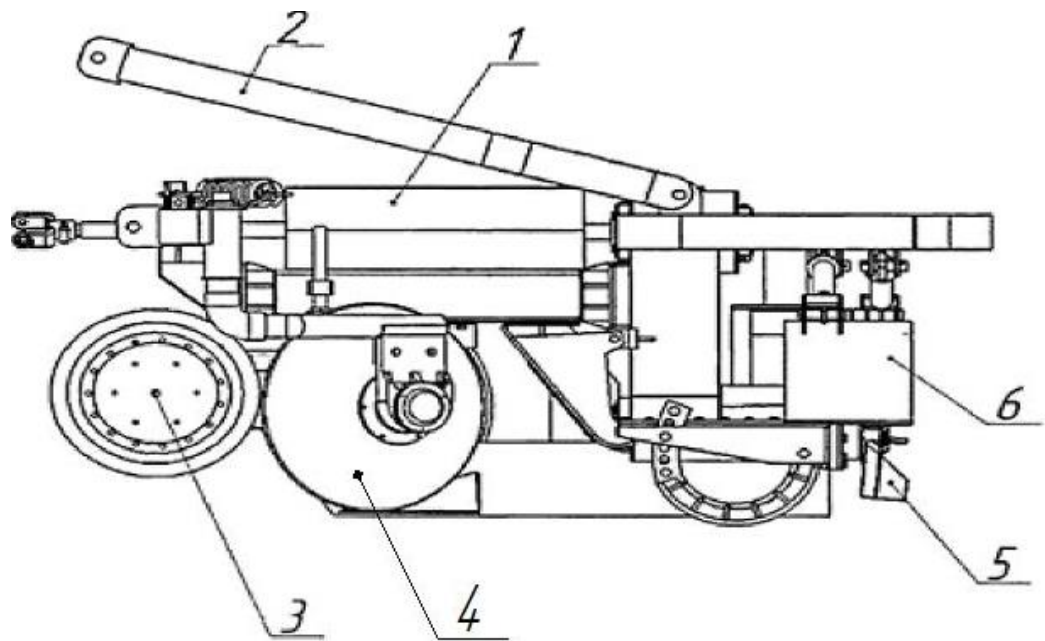
Минерализованная полоса представляет собой полосу поверхности земли определенной ширины, очищенную от лесных горючих материалов или обработанную почвообрабатывающими орудиями либо иным способом до сплошного минерального слоя почвы [1].

Ширину и способы их создания устанавливают с учетом возможного характера и интенсивности распространения пожара, почвенных и лесорастительных условий и наличия необходимых машин и орудий.

В зависимости от назначения создаваемой минерализованной полосы ее ширина может варьировать от 0,4 до 1,4 м, а в хвойных лесных насаждениях на сухих почвах двумя такими полосами на расстоянии 5-10 метров одна от другой, а в условиях лесостепи от 10 до 15 м. Прокладывать минерализованную полосу на торфяных почвах не рекомендуется, т. к. взрыхленный слой торфа усиливает горение. В планах противопожарного устройства лесов создание минерализованная полоса предусматривается в профилактических целях - для ограничения распространения и создания условий тушения возможных лесных пожаров.

Учитывая перспективность темы борьбы с лесными пожарами и их локализацией и предотвращением, учеными Воронежской государственной лесотехнической академии разработан лесопожарный комбинированный грунтомет-полосопрокладыватель (рис. 1).

Для полевого экспериментального исследования использовали агрегат, состоящий из трактора Т-150 и навешенной машины с приводом от вала отбора мощности (рис. 2). Для оценки эффективности машины был выбран лесной участок с песчаной почвой. В качестве базовых параметров полевого эксперимента были выбраны: скорость движения агрегата 2,0 м/с; частота вращения роторов 5 об/с; величина заглубления роторов 10 см; величина заглубления дисков 10 см; угол атаки дисков  $20^{\circ}$ .



- 1 – рама; 2 – навесное устройство; 3 – опорные колеса;  
4 – диски; 5 – фрезы-мататели; 6 – кожухи-направители

Рисунок 1 – Грунтомет-полосопрокладыватель

При оптимизации сложных систем необходимо найти экстремум функции нескольких переменных. В ходе решения оптимизационной задачи необходимо установить такие области изменения факторов  $F_i$ , при которых выходные характеристики грунтомета удовлетворяют ряду частных критериев [2-3].

Так как основная новизна предлагаемой машины связана с ротором, оптимизация выполнена для таких параметров ротора, как:

частота вращения ротора  $\omega$ ;

заглубление ротора в грунт  $a_p$ .

В качестве критериев оптимизации выбраны:

производительность машины  $P$ ;

среднее расстояние выброса грунта  $L_{cp}$ ;

средняя мощность, потребляемая машиной  $N$ .



Рисунок 2 – Грунтомет-полосопрокладыватель в работе

В ходе оптимизации необходимо, чтобы производительность машины  $P$  была как можно большей, расстояние выброса грунта  $L_{cp}$  – как можно большим, а потребляемая мощность  $N$  была как можно меньшей. Поэтому задача оптимизации может быть записана аналитически следующим образом.

$$\begin{cases} P(\omega, a_p) \rightarrow \max; \\ L_{cp}(\omega, a_p) \rightarrow \max; \\ N(\omega, a_p) \rightarrow \min. \end{cases} \quad (1)$$

Для установления взаимосвязи между параметрами ротора и показателями эффективности грунтомета-полосопрокладывателя проведена серия из девяти экспериментов ( $3 \times 3 = 9$ ), в которых фактор  $\omega$  варьировали на уровнях 5,0, 7,5, 10,0 об/с, одновременно варьируя фактор  $a_p$  на уровнях 10, 15, 20 см (табл. 1) [9].

Большую ценность представляли бы аналитические формулы, по которым можно рассчитать показатели эффективности  $P$ ,  $L_{cp}$ ,  $N$  по заданным параметрам ротора  $\omega$  и  $a_p$ . Аналитические зависимости будем искать в виде полиномов второго порядка вида

$$P(\omega, a_p) = k_2 a_p^2 + k_2 \omega^2 + k_3 a_p \cdot \omega + k_4 a_p + k_5 \omega + k_6, \quad (2)$$

где  $P$  – рассчитываемый показатель (вместо производительности  $P$  может быть  $L_{cp}$  или  $N$ );  $k_1 \dots k_6$  – коэффициенты многочлена [3].

Таблица 1 – Показатели эффективности машины для тушения лесных пожаров в зависимости от факторов  $\omega$  и  $a_p$

№ п/п	$\omega$ , об/с	$a_p$ , см	$P$ , кг/с	$L_{cp}$ , м	$N$ , кВт
1	5,0	10	24,4	3,8	2,7
2	5,0	15	43,7	3,0	5,1
3	5,0	20	77,9	2,3	8,9
4	7,5	10	18,1	13,5	3,6
5	7,5	15	49,7	9,9	9,0
6	7,5	20	94,0	5,5	16,0
7	10,0	10	15,6	4,3	3,2
8	10,0	15	35,3	9,1	8,7
9	10,0	20	68,5	9,9	16,6

Коэффициенты зависимостей  $P(\omega, a_p)$  определены аппроксимацией методом наименьших квадратов. В рамках метода решается обратная задача: необходимо найти такие коэффициенты  $k_1 \dots k_6$ , при которых сумма квадратов отклонений аналитической формулы от экспериментальных данных будет стремиться к минимуму:

$$\sum_{i=1}^{N_{\text{э}}} (P_{\text{аналит.}}(\omega^i, a_p^i) - P_{\text{табл.}}^i(\omega^i, a_p^i))^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

где  $N_{\text{э}}$  – количество экспериментов, по которым производится обработка;  $i$  – номер эксперимента;  $P_{\text{аналит.}}$  – рассчитанное по аппроксимирующему выражению значение  $P$ ;  $P_{\text{табл.}}$  – экспериментальные значения показателя  $P$  для  $i$ -го эксперимента.

Аппроксимация МНК производилась с использованием математической программы MathCAD 14. В результате получены следующие формулы для быстрой оценки влияния факторов:

$$P(\omega, a_p) = -1,552 a_p^2 + 0,274 \omega^2 - 0,012 a_p \cdot \omega + 21,687 a_p - 2,053 \omega - 55,48; \quad (4)$$

$$L_{cp}(\omega, a_p) = -0,677 a_p^2 - 0,031 \omega^2 + 0,142 a_p \cdot \omega + 8,977 a_p - 0,255 \omega - 24,17; \quad (5)$$

$$N(\omega, a_p) = -0,320 a_p^2 + 0,036 \omega^2 + 0,144 a_p \cdot \omega + 3,427 a_p - 1,093 \omega - 6,67, \quad (6)$$

где  $P$  измеряется в килограммах в секунду,  $L_{cp}$  – в метрах,  $N$  – в кВт.

Статистическую значимость коэффициентов полиномов проверяли с помощью  $t$ -критерия Стьюдента [4-5]. Полученные аппроксимацией формулы  $P(\omega, a_p)$ ,  $L_{cp}(\omega, a_p)$  и  $N(\omega, a_p)$  могут быть использованы конструктором машины для тушения лесных пожаров для предварительной оценки ее эффективности.

Малое количество факторов (два) позволяет изобразить графически поверхности отклика и выполнить их визуальный анализ (рис. 3) [8, 10]. На каждой поверхности отклика, если перестроить ее с помощью линий уровня (рис. 4), факторное пространство можно условно разделить на две области. В благоприятной области (затемнены на рис. 4), критерий оптимизации принимает искомое максимальной или минимальное значение. В неблагоприятной области критерий далек от требуемых значений. Граница между благоприятной и неблагоприятной областями выбирается экспертным путем. При этом необходимо руководствоваться следующими правилами. Благоприятная область должна занимать существенную долю факторного пространства (10-60 %), не должна включать участки резкого изменения функции [6-7]. В данном случае экспертным путем выбраны следующие границы между благоприятной и неблагоприятной областями: для функции  $P(\omega, a_p)$  изолиния 50 кг/с; для  $L_{cp}(\omega, a_p)$  изолиния 10 м; для  $N(h_y, l_y)$  изолиния 10 кВт.

Наложение благоприятных областей дает общую оптимальную область треугольной формы (рисунок 4, внизу справа). Оптимальной области соответствует диапазон частоты вращения ротора 7,5 ... 8,0 об/с и диапазон величины заглубления 15 ... 16 см.

Таким образом, на основе двухфакторной оптимизации сформулированы рекомендации по выбору параметров роторов машины. Частота вращения рото-

ра должна составлять 7,5 ... 8,0 об/с; величина заглубления 15 ... 16 см. При этом машина обеспечивает производительность более 50 кг/с, дальность выброса более 10 м, потребляемую мощность менее 10 кВт.

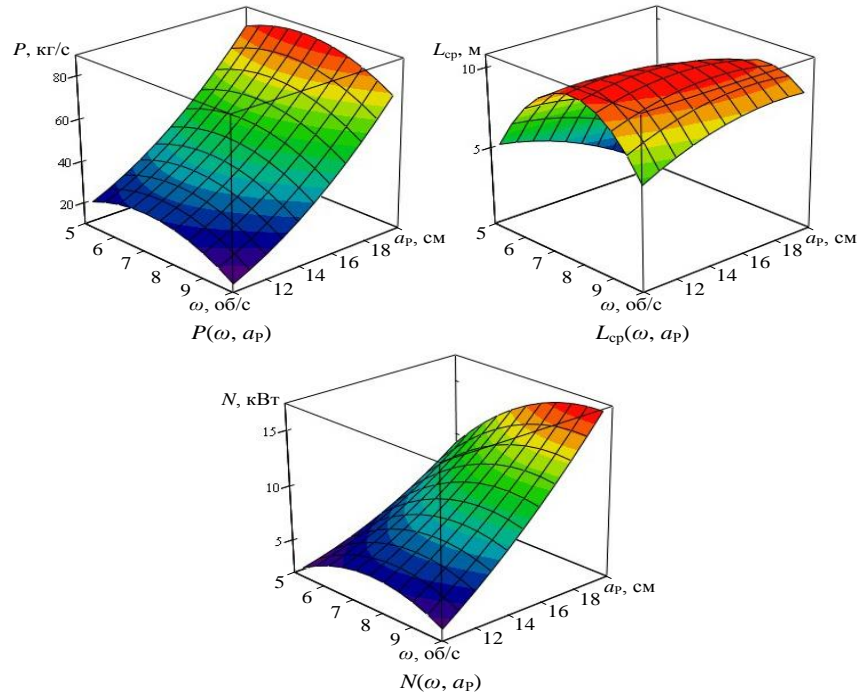


Рисунок 3 – Поверхности отклика к оптимизации параметров ротора машины для тушения лесных пожаров

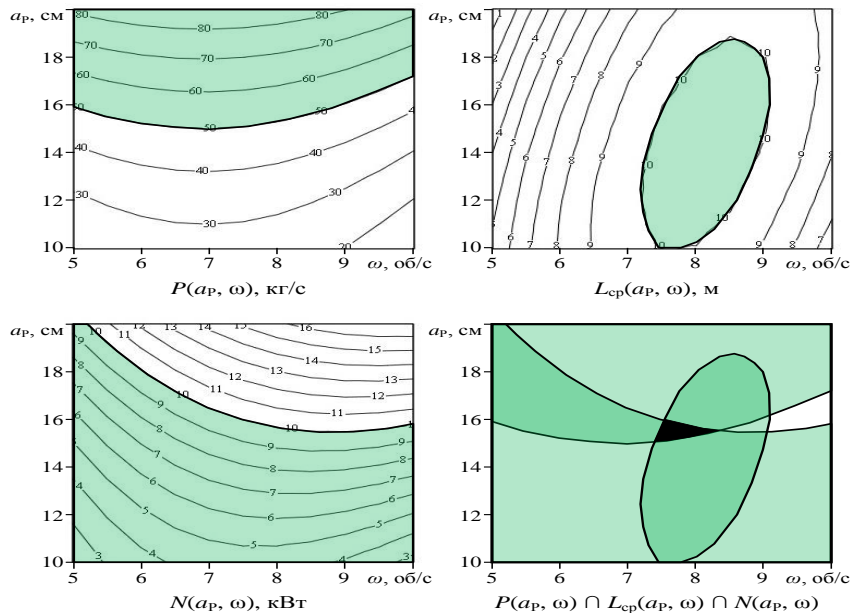


Рисунок 4 – Карты оптимизации (поверхности отклика, изображенные с помощью линий уровня) параметров ротора машины для тушения лесных пожаров. В факторном пространстве благоприятные области затемнены, а оптимальная область выделена черным цветом

Выводы и рекомендации по оптимизации параметров роторов полосопрокладывателя:

1 На основе экспериментальной оптимизации сформулированы рекомендации по выбору параметров роторов полосопрокладывателя. Частота вращения ротора должна составлять 7,5 ... 8,0 об/с; величина заглубления 15 ... 16 см. При этом машина обеспечивает производительность более 50 кг/с, среднюю дальность выброса грунта более 10 м, потребляемую мощность менее 10 кВт.

2 Для повышения эффективности машины целесообразно изгибать край лопатки ротора: ориентировочно  $1/3$  длины лопатки на  $15^{\circ}$  в направлении вращения ротора. При этом лопатка не просто сгребает грунт, а производит его подрезание, накапливает большой объем грунта на плоскости лопатки до момента выброса грунта, выбрасывает грунт под большим углом к горизонту при малом заглублении ротора (без изгиба лопатки грунт выбрасывается под углом  $30^{\circ}$ , с изгибом лопатки – под углом  $45^{\circ}$ , обеспечивающим наибольшую дальность полета фрагментов грунта).

3 Эффективность машины повышается также, если плоскость каждой лопатки ротора расположена не параллельно оси ротора, а под некоторым углом к ней (ориентировочно под  $15^{\circ}$  в направлении вращения ротора). При этом улучшается подрезание грунта, грунт отводится от зоны резания, не создавая дополнительное давление в зоне резания. Кроме того, грунт более равномерно распределяется по плоскости лопатки, и в момент выброса обеспечивается большая кучность выброса.

#### Библиографический список

1 Жданов, Ю. М. Профилактика и тушение пожаров в лесоаграрных ландшафтах // Проблемы и перспективы развития лесомелиораций и лесного хозяйства в Южном федеральном округе: материалы международной науч.-практ. конф., посв. 90-летию высшего лесного образования на Дону. Новочеркасск, 2010 С. 246-251.

2 Дегтярев, Ю. И. Методы оптимизации : Учеб. пособие для вузов. – М. : Сов. радио, 1980. – 272 с.

3 Кузьмичев, Д. А. Автоматизация экспериментальных исследований [Текст] : учеб. пособие / Д. А. Кузьмичев, И. А. Радкевич – М. : Наука. Главн.

ред. физико-мат. литер., 1983. – 392 с.

4 Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: В 2-х кн. Кн. 2 / Пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Финансы и статистика, 1987. – 351 с.

5 Четыркин, Е. Н. Статистические методы прогнозирования. – М. : Статистика, 1975. – 200 с.

6. Румшицкий, Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента [Текст] : справочное руководство / Л. З. Румшицкий – М. : Наука, 1971. – 192 с.

7 Грановский, В. А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях [Текст] : учеб. пособие / В. А. Грановский, Т. Н. Сирая – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 288 с.

8. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ : Подход с использованием ЭВМ. – М.: Мир, 1982. – 488 с.

9 [Оптимизация параметров комбинированной машины для тушения лесных пожаров на основе теоретических и экспериментальных исследований](#) / Бухтояров Л. Д., Гнусов М. А., Шавков М. В., Лепилин Д. В., Есков Д. В., Подъяблонский А. В. // [Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета](#). 2012. № 84. С. 373-382.

10 Бартенева, И. М. К вопросу о тушении лесных пожаров грунтом / И. М. Бартенева, Д. Ю. Дручинин, М. А. Гнусов // Лесотехнический журнал / ВГЛТА. 2012. № 4. С. 97-101.