

УДК 631.542

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ  
КУСТОРЕЗА С УПОРАМИ-  
УЛАВЛИВАТЕЛЯМИ ПОРОСЛЕВИН  
НА ОСНОВЕ ЛАБОРАТОРНЫХ  
ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

Малюков Сергей Владимирович  
аспирант  
*ГОУВПО "Воронежская государственная лесо-  
техническая академия", Воронеж, Россия*

На основе лабораторного экспериментального исследования определены оптимальные параметры кустореза с упорами-улавливателями порослевин. Исследовано влияние частоты вращения фрезы, скорости подачи порослевин на фрезу, высоты установки упоров-улавливателей по отношению к оси фрезы, зазора между упором-улавливателем и фрезой на показатели качества удаления поросли и энергетические затраты

Ключевые слова: КУСТОРЕЗ, ЛАБОРАТОРНЫЙ  
ЭКСПЕРИМЕНТ, ОПТИМИЗАЦИЯ, УПОРЫ-  
УЛАВЛИВАТЕЛИ ПОРОСЛЕВИН

UDC 631.542

**OPTIMIZATION OF A BUSH CUTTER  
EQUIPMENT WITH VEGETATION  
SUPPORTING DEVICE ON THE BASIS OF  
LABORATORY EXPERIMENTS**

Malyukov Sergey Vladimirovich  
postgraduate student  
*Voronezh State Academy of Forestry Engineering,  
Voronezh, Russia*

On the basis of a laboratory experimental research optimum parameters of a bush cutter with vegetation supporting device are defined. Influence frequency of a rotation cutter, speed of giving vegetation on a cutter, heights of installation supporting device in relation to an axis of a cutter, a backlash between supporting device and a cutter on indicators quality of remove the shoots and power expenses is investigated

Keywords: BUSH CUTTER, LABORATORY  
EXPERIMENT, OPTIMIZATION, VEGETATION  
SUPPORTING DEVICE

В лесном хозяйстве при выращивании молодых сеянцев необходимо устранять нежелательную кустарниковую растительность в междурядьях. Существующие кусторезы и осветлители, например, кусторез-осветлитель КОМ-2,3, не удаляют некоторую долю порослевин, особенно имеющих малое сопротивление изгибу [1]. Такие порослевины отклоняются и не перерезаются полностью ножами кустореза, поэтому продолжают расти после прохода. Это приводит к снижению срока между проходами и увеличению их количества.

В кусторезе новой конструкции, предложенном нами ранее, создаются благоприятные условия для срезания поросли, и таким образом повышается эффективность работы кустореза. Новизна кустореза заключается в установке специальных упоров-улавливателей перед режущим рабочим органом типа цилиндрической фрезы (рис. 1). Упоры-улавливатели обеспечивают подпор поросли при фрезеровании и более полное ее уничтожение. При этом упоры-улавливатели выполнены в виде двугранного

клина с поперечной пластиной. Упоры-улавливатели установлены в ряд и одновременно захватывают весь набегающий на кусторез поток порослевин. Центральный угол при вершине клина выбирается равным половине или менее угла трения древесины по стали, что обеспечивает свободный проход порослевин и исключает сгуживание их между упорами-улавливателями.

Кусторез (рис. 2) изготовлен и испытан в лабораторных условиях. Фреза приводится во вращение гидромотором, частоту вращения которого можно изменять регулировкой подачи насосной станции. Подача платформы с закрепленными на ней в ряд порослевинами осуществляется электродвигателем через трос и систему блоков. Напряжение на тензоэлементах, установленных в узле привода фрезы, автоматически считывается устройством ADAM и преобразуется на компьютере в зависимость момента сопротивления на фрезе от времени  $M(t)$  [2, 3].



Рис. 1. Упоры-улавливатели кустореза новой конструкции



Рис. 2. Внешний вид лабораторной установки для оптимизации параметров кустореза новой конструкции

Интегрирование данной зависимости позволяет определить среднюю потребляемую кусторезом мощность  $N$  при срезании ряда порослевин.

$$N = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} M(t) \cdot \omega_0 \cdot dt,$$

где  $t_1$  и  $t_2$  – моменты времени, в которые фреза начинает и заканчивает контактировать с порослевинами;  $\omega_0$  – угловая скорость вращения фрезы.

Первые эксперименты показали, что кусторез новой конструкции удаляет поросль эффективнее серийного прототипа КОМ-2,3. Наличие упоров-улавливателей приводит к прижиманию порослевин к фрезе и вероятность удаления поросли заметно повышается.

Цель данной работы заключалась в определении оптимальных конструктивных и эксплуатационных параметров кустореза на основе экспе-

риментального лабораторного исследования.

С точки зрения оптимизационной постановки задачи можно выделить три группы переменных, характеризующих эксперимент [4]. Первая группа представляет совокупность конструктивных и технологических параметров кустореза, которые могут быть заданы на необходимых уровнях в процессе проведения эксперимента. Из большого количества доступных к изменению параметров выбраны четыре основных фактора, оказывающих наиболее существенное влияние на эффективность процесса удаления порослевин:

$\omega_0$  – частота вращения фрезы;

$v_{\text{под}}$  – скорость подачи порослевин на фрезу;

$h_y$  – высота установки упоров-улавливателей по отношению к оси фрезы;

$l_y$  – зазор между упором-улавливателем и фрезой.

Во вторую группу входят параметры порослевин, которые можно изменять подбором подходящих порослевин:

$P$  – порода древесины;

$d_{\text{п}}$  – характерный диаметр порослевин;

$h_{\text{п}}$  – характерная высота порослевин.

$N_{\text{п}}$  – плотность порослевин (количество на единицу площади).

К третьей группе (показатели эффективности) относятся характеристики процесса удаления поросли, подлежащие измерению в ходе экспериментальных исследований. В качестве них приняты:

$p$  – вероятность удаления порослевин кусторезом (показатель качества работы кустореза);

$N$  – затрачиваемая кусторезом мощность (показатель экономичности кустореза).

Задача оптимизации заключается в том, чтобы найти оптимальные диапазоны параметров кустореза (факторов), так чтобы показатели эффек-

тивности (критерии) были наилучшими и при этом желательно, чтобы кусторез был эффективен независимо от значений параметров поросли. Аналитически задача оптимизации записывается следующим образом [5, 6].

$$\begin{cases} p(w_0, v_{nod}, h_y, l_y) \rightarrow \max; \\ N(w_0, v_{nod}, h_y, l_y) \rightarrow \min; \\ p \rightarrow const(\Pi, d_n, h_n, N_n); \\ N \rightarrow const(\Pi, d_n, h_n, N_n). \end{cases}$$

Поиск двойного оптимума в четырехфакторном пространстве с условиями независимости от еще четырех факторов является чрезвычайно сложной задачей [7]. В лабораторном эксперименте такая задача была решена в два этапа. На первом этапе исследованы зависимости от каждого отдельного фактора:  $\omega_0$ ,  $v_{под}$ ,  $h_y$ ,  $l_y$ ,  $\Pi$ ,  $d_{п}$ ,  $h_{п}$ ,  $N_{п}$ . Каждый из перечисленных факторов варьировался на 3 ... 10 уровнях при фиксированных значениях остальных факторов, и делался соответствующий вывод о наилучшем значении параметров кустореза  $\omega_0$ ,  $v_{под}$ ,  $h_y$ ,  $l_y$  или о влиянии параметров поросли  $\Pi$ ,  $d_{п}$ ,  $h_{п}$ ,  $N_{п}$ . На втором этапе были решены две частные двухфакторные задачи оптимизации:

$$1. \begin{cases} p(w_0, v_{nod}) \rightarrow \max; \\ N(w_0, v_{nod}) \rightarrow \min. \end{cases} \quad 2. \begin{cases} p(h_y, l_y) \rightarrow \max; \\ N(h_y, l_y) \rightarrow \min. \end{cases}$$

При этом конструктивные параметры удалось разбить на две практически независимых друг от друга группы: кинематические параметры  $\omega_0$ ,  $v_{под}$  и параметры установки упора-улавливателя  $h_y$ ,  $l_y$ .

Остановимся подробно только на результатах решения второй задачи оптимизации, так как элементы новизны кустореза связаны именно с уста-

новкой упоров. Малое количество находящихся в рассмотрении факторов позволило провести полный факторный эксперимент. Для этого была проведена серия экспериментов в пределах которой  $h_y$  варьировали на уровнях:  $-4, 0, 4$  см,  $l_y$  варьировали на уровнях  $2, 4, 6$  см (табл. 1).

Табл. 1. Результаты экспериментального исследования влияния параметров установки упора-улавливателя на эффективность кустореза

№	$h_y$ , см	$l_y$ , см	$p(h_y, l_y)$	$N(h_y, l_y)$ , кВт
1	-4	2	0,83	2,61
2	-4	4	0,81	2,12
3	-4	6	0,79	1,90
4	0	2	0,94	3,27
5	0	4	0,85	2,77
6	0	6	0,81	2,60
7	4	2	0,99	3,54
8	4	4	0,99	3,04
9	4	6	0,97	2,80

Для корректного расчета вероятности удаления  $p$  в каждой экспериментальной точке  $(h_y, l_y)$  проведено по пять отдельных экспериментов по удалению кусторезом восьми закрепленных в ряд порослевин. Порода древесины порослевин – осина, диаметр – около 1,0 см.

Для удобства анализа результаты эксперимента аппроксимированы полиномом второго порядка с помощью метода наименьших квадратов с использованием математического пакета MathCAD 2000 [3]:

$$p(h_y, l_y) = 1,88 \cdot 10^{-3} h_y^2 + 9,47 \cdot 10^{-4} l_y^2 + 7,62 \cdot 10^{-4} h_y l_y + 0,018 h_y - 0,023 l_y + 0,941;$$

$$N(h_y, l_y) = -0,013 h_y^2 + 0,036 l_y^2 - 9,95 \cdot 10^{-4} h_y l_y + 0,118 h_y - 0,46 l_y + 4,07.$$

В данных формулах  $h_y$  и  $l_y$  измеряются в сантиметрах,  $N$  в киловаттах.

Благодаря малому количеству факторов появляется возможность графически изобразить поверхности отклика  $p(h_y, l_y)$  и  $N(h_y, l_y)$  и провести их визуальный анализ (рис. 3). Кроме того, на рис. 4 представлены поверхности отклика в виде линий уровня.

Основным фактором, определяющим вероятность удаления порослевины является высота расположения упора по отношению к оси фрезы  $h_y$  (рис. 3, а, 4, а). С увеличением  $h_y$  возрастает вероятность  $p$  так как высокое расположение упора не дает отклоняться порослевинам. При этом, с увеличением  $h_y$ , увеличивается также и потребляемая кусторезом мощность  $N$ , так как необходимо не просто отклонить порослевины, а качественно ее срезать (рис. 3, б, 4, б). Кроме того, мощность  $N$  увеличивается с уменьшением расстояния от упора до фрезы  $l_y$ . При малых расстояниях  $l_y$  порослевина находится в плотном контакте с упором и фрезой, что затрудняет сре-

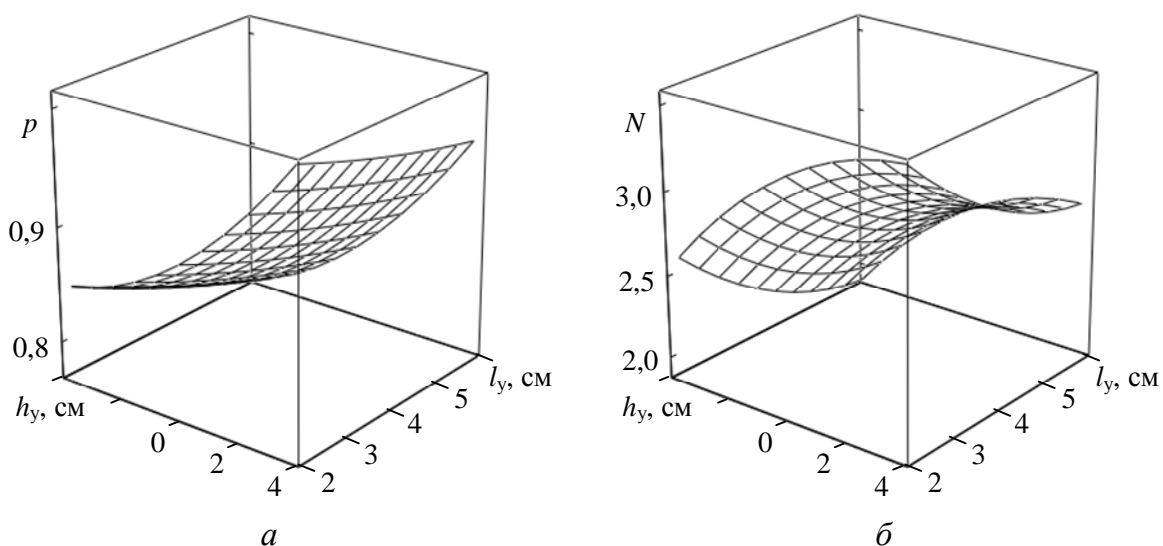


Рис. 3. Поверхности отклика к оптимизации параметров установки упора-улавливателя

зание и требует больших затрат мощности. При больших же расстояниях  $l_y$

порослевина находится в менее поджатом состоянии, поэтому процесс среза проходит с меньшими затратами мощности.

На рис. 4, *а*, *б* затемнены благоприятные области факторного пространства. В качестве границ областей выбраны изолинии  $p = 0,90$  (достаточно высокая вероятность удаления порослевины) и  $N = 3,0$  кВт (достаточно низкая потребляемая мощность). На рис. 4, *в* приведено пересечение благоприятных областей. В наиболее затемненной области достаточно велика вероятность удаления порослевины, и в то же время достаточно мала потребляемая мощность. Оптимальная область имеет расположена ориентировочно при  $1,0 < h_y < 4,0$  см и  $3,5 < l_y < 8,0$  см.

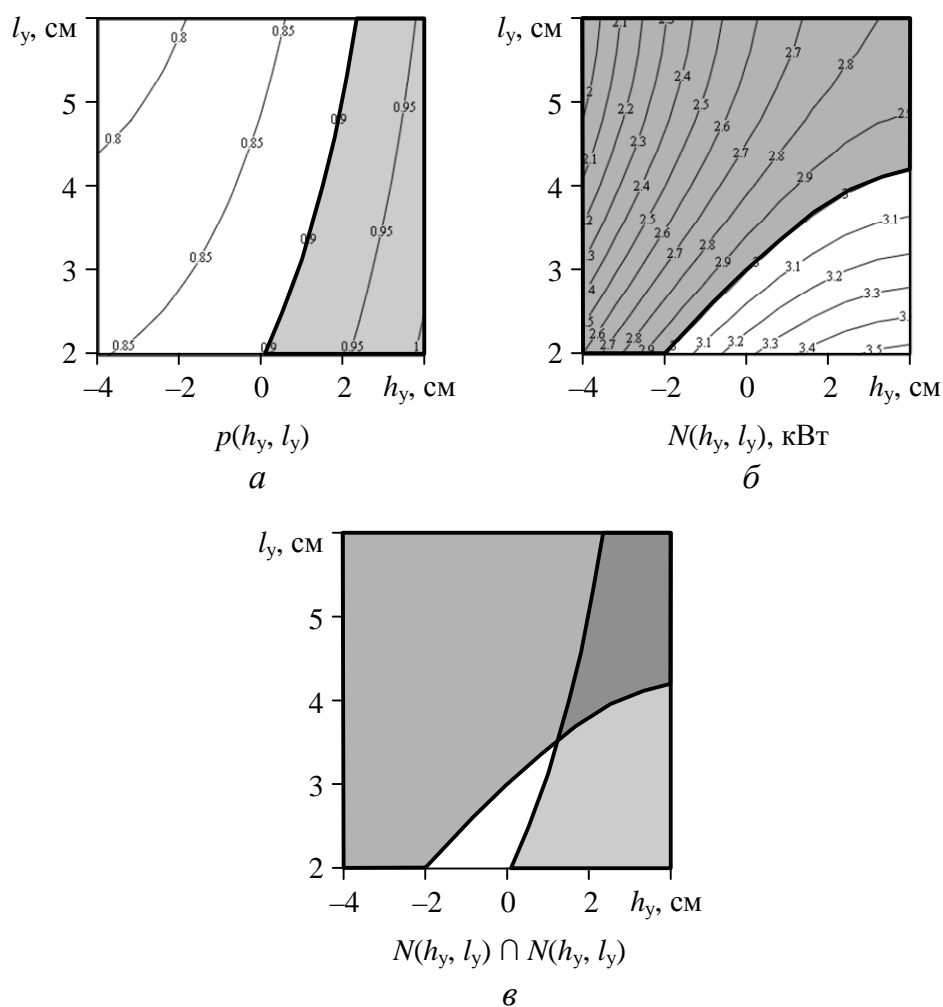


Рис. 4. Благоприятные области факторного пространства ( $h_y, l_y$ ) (затемнены) на поверхностях отклика, представленных линиями уровня



Таким образом, на основе проведенного лабораторного экспериментального исследования можно рекомендовать высоту установки упоров-улавливателей от 1 до 4 см вверх относительно оси фрезы; и зазор между упором и фрезой от 3,5 до 8,0 см. При такой установке упоров-улавливателей порослевины гарантированно удаляются (вероятность более 0,9) и, одновременно, невелика мощность потребляемая кусторезом (менее 3 кВт).

### Список литературы

1. Бартенев, И.М. Система машин для лесного хозяйства и защитного лесоразведения [Текст] : учеб. пособие / И.М. Бартенев, М.В. Драпалюк, М.Л. Шабанов; ГОУ ВПО ВГЛТА. – Воронеж, 2010. – 215 с.
2. Технологии и механизация лесохозяйственных работ [Текст] : учеб. пособие / И.М. Бартенев, М.В. Драпалюк, П.Э. Гончаров, С.В. Дорохин, В.А. Смирнов; ГОУ ВПО ВГЛТА. – Воронеж, 2010. – 136 с.
3. Бухтояров, Л. Д. Математическое моделирование при проектировании лесных машин [Текст] : метод. указания / Л. Д. Бухтояров, П. И. Попиков, Р.В. Юдин; ГОУ ВПО ВГЛТА. – Воронеж, 2009. – 95 с.
4. Федоров, В.В. Теория оптимального эксперимента [Текст] : учеб./ В.В. Федоров. – М.: ГРФМЛ изд-ва Наука, 1971. – 312 с.
5. Финни, Д. Введение в теорию планирования экспериментов [Текст] : учеб./ Д. Финни. Пер. с англ. – М.: ГРФМЛ изд-ва Наука, 1970. - 287 с.
6. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] : учеб./ Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
7. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов [Текст] : учеб. пособие / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рощин – Л. : Колос, 1980. – 168 с.