



УДК 631.3.072

**И.М. Бартнев, М.Н. Лысыч**

Бартнев Иван Михайлович родился в 1936 г., окончил в 1959 г. Воронежский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин Воронежской государственной лесотехнической академии, академик РАЕН, заслуженный лесовод РФ. Имеет 300 печатных работ по проблемам лесной промышленности.

Тел.: 8(4732) 53-72-51



Лысыч Михаил Николаевич родился в 1983 г., окончил в 2006 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ВГЛТА. Имеет 9 печатных работ по проблемам лесной промышленности.

E-mail: Miklynea@yandex.ru



### **ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ЛЕСНОГО КУЛЬТИВАТОРА**

Рассмотрен процесс оптимизации параметров комбинированного рабочего органа, основанный на создании их твердотельных моделей средствами САПР. Приведены данные о влиянии геометрических параметров рабочего органа на его прочностные, тяговые и динамические характеристики. Определены оптимальные параметры комбинированного рабочего органа.

*Ключевые слова:* оптимизация, твердотельное моделирование, рабочие органы культиватора.

Необходимость создания новых рабочих органов лесных культиваторов возникла в связи с тем, что применяемые в настоящее время дисковые рабочие органы недостаточно полно уничтожают нежелательную растительность, что требует многократных проходов агрегата по одному следу. Однако они надежны в работе на почвах с твердыми включениями, хорошо преодолевают препятствия, не забиваются почвой и растительной массой, поэтому получили широкое распространение в лесном хозяйстве.

Лемешные рабочие органы, напротив, достаточно хорошо уничтожают нежелательную растительность, но вследствие низкой прочности их применение на вырубках не представляется возможным. Как показали исследования, решить данную проблему можно, если лемешные рабочие органы выполнить с дополнительным устройством, обеспечивающим свободный проход через препятствия в почве.

В целях повышения эффективности уничтожения сорной растительности и исключения «заякоревания» за пни и корни нами предложен комбинированный рабочий орган, который согласно [4] представляет собой совокупность серийной стрелчатой лапы культиватора КРТ-3 и черенкового

ниже криволинейной формы с переменным радиусом кривизны, что имеет большое значение для обеспечения свободного скольжения ножа, установленного ниже опорной поверхности лемешного рабочего органа, по поверхности препятствия (рис. 1).

К параметрам, определяющим работоспособность рабочего органа, в условиях лесных вырубок с пониженными пнями относятся: угол вхождения ножа в почву ( $\alpha_{уст}$ ) и его толщина ( $b_n$ ); ширина захвата стрелчатой лапы ( $b_l$ ), площадь критического сечения ее крыла ( $S_l$ ). Были приняты следующие их значения:  $\alpha_{уст} = 90...130^\circ$  с шагом  $10^\circ$ ;  $b_n = 4...12$  мм с шагом 2 мм;  $b_l = 260...360$  мм с шагом 25 мм,  $S_l = 570...810$  мм<sup>2</sup> с шагом 60 мм<sup>2</sup>.

Для определения оптимальных параметров проведена серия опытов на твердотельных моделях рабочих органов, позволившая установить их динамические и прочностные характеристики. Динамические испытания выполняли на виртуальном стенде при преодолении лесным культиватором пня высотой 10 см [3], прочностные – на твердотельных моделях методом конечных элементов [2]. В ходе прочностных исследований установлены наиболее опасные варианты нагрузки – боковая, прикладываемая к черенковому ножу в области лобовика, и нормальная в крайней точке режущей кромки крыла стрелчатой лапы. Все дальнейшие прочностные испытания проводили по этим вариантам нагружения.

Параметрическая оптимизация механизмов в общем случае сводится к отысканию экстремума функции нескольких переменных. В данном случае необходимо найти экстремум некоторой функции факторов оптимизации (параметров  $\alpha_{уст}$ ,  $b_n$  и  $S_l$ ,  $b_l$ , варьируемых при анализе модели), так называемый критерий оптимизации  $k(\alpha_{уст}, b_n)$ ,  $k(S_l, b_l)$ . Для всесторонней характеристики описываемой системы его обычно составляют в виде линейной комбинации с соответствующими весовыми коэффициентами нескольких частных критериев  $k_i(\alpha_{уст}, b_n)$ ,  $k_i(S_l, b_l)$ , максимально учитывающих технико-экономические и качественные показатели функционирования машины [1].

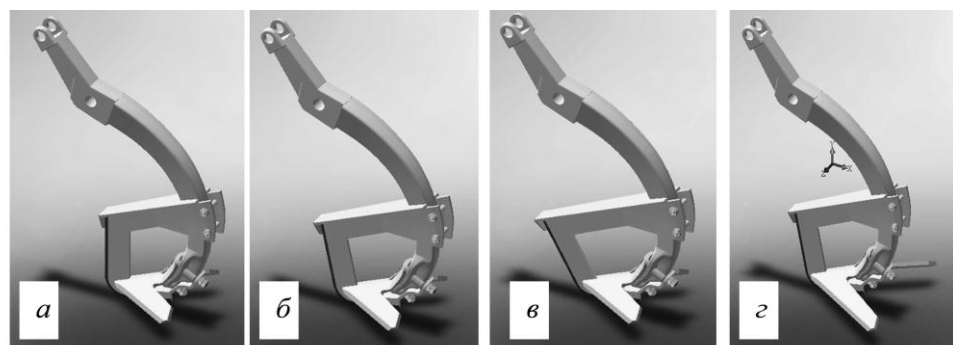


Рис. 1. Твердотельные модели экспериментального рабочего органа с различными параметрами: а –  $\alpha_{уст} = 90^\circ$ ,  $b_n = 260$  мм; б –  $\alpha_{уст} = 110^\circ$ ,  $b_n = 260$  мм; в –  $\alpha_{уст} = 130^\circ$ ,  $b_n = 260$  мм; г –  $\alpha_{уст} = 110^\circ$ ,  $b_n = 360$  мм

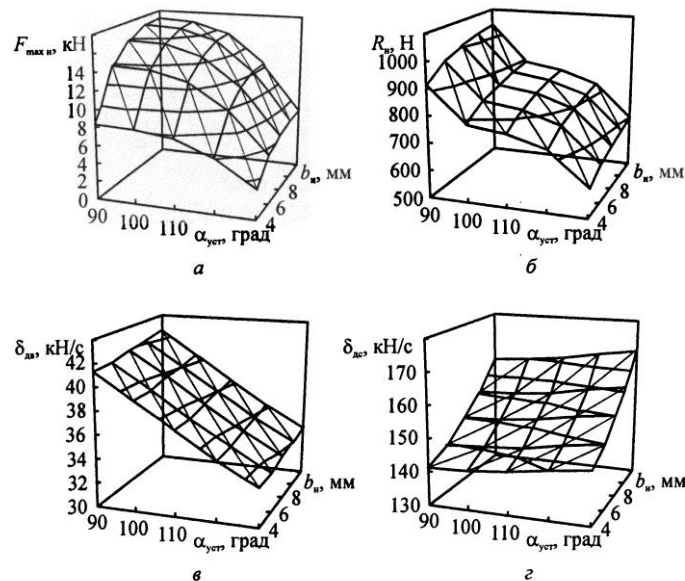
При решении задачи оптимизации параметров черенкового ножа находили экстремумы четырех частных критериев. В качестве первого использовали критическую силу  $F_{\max н}(\alpha_{уст}, b_n)$ , по достижении которой конструкция разрушается. В процессе оптимизации необходимо максимизировать  $F_{\max н}(\alpha_{уст}, b_n) = k_1(\alpha_{уст}, b_n)$  подбором параметров  $\alpha_{уст}$  и  $b_n$ . В процессе работы устойчивость рабочего органа по глубине обработки зависит, в первую очередь, от тягового сопротивления. С его ростом необходимо увеличивать упругий момент, создаваемый пружинами предохранительного механизма на стойке рабочего органа. Это ведет к росту динамических нагрузок при преодолении препятствия. Поэтому вторым критерием выбираем тяговое сопротивление  $R_n(\alpha_{уст}, b_n)$  рабочего органа, которое необходимо минимизировать  $R_n(\alpha_{уст}, b_n) = k_2(\alpha_{уст}, b_n)$  путем подбора параметров  $\alpha_{уст}$  и  $b_n$ . Динамические нагрузки на рабочий орган при въезде на препятствие зависят в основном от угла установки черенкового ножа, а при сходе с пня, кроме того, и от толщины ножа. Поэтому третьим критерием выделим отдельно абсолютный показатель динамики при въезде на препятствие  $\delta_{дв}(\alpha_{уст}, b_n)$ , а четвертым – при сходе с него  $\delta_{дс}(\alpha_{уст}, b_n)$ . Оба параметра  $\delta_{дв}(\alpha_{уст}, b_n) = k_3(\alpha_{уст}, b_n)$  и  $\delta_{дс}(\alpha_{уст}, b_n) = k_4(\alpha_{уст}, b_n)$  необходимо минимизировать путем подбора  $\alpha_{уст}$  и  $b_n$ , т. е. решить следующие задачи оптимизации:

$$\begin{cases} F_{\max н}(\alpha_{уст}, b_n) \rightarrow \max; \\ R_n(\alpha_{уст}, b_n) \rightarrow \min; \\ \delta_{дв}(\alpha_{уст}, b_n) \rightarrow \min; \\ \delta_{дс}(\alpha_{уст}, b_n) \rightarrow \min. \end{cases}$$

В каждой точке проводили отдельный компьютерный эксперимент, их общее число, позволяющее получить функцию двух переменных, было равно  $5 \times 5 = 25$  для каждой функции.

Анализируя каждую из поверхностей отклика (рис. 2), представленную с помощью линий уровня, факторное пространство можно условно разделить

Рис. 2. Поверхности отклика к оптимизации параметров черенкового ножа: а –  $F_{\max н}$ ; б –  $R_n$ ; в –  $\delta_{дв}$ ; г –  $\delta_{дс}$



на две области: благоприятную, в которой критерий оптимизации принимает искомые значения, и неблагоприятную. В качестве границы между областями экспертным путем выбирается некоторая линия уровня. При этом учитывается, что благоприятная область должна занимать значительную долю факторного пространства (10...20 %), содержать максимальные или минимальные значения критерия, который должен быть более или менее постоянным. В качестве границ выбраны следующие изолинии: для функции  $F_{\max \text{ н}}(\alpha_{\text{уст}}, b_{\text{н}}) - 10,8 \text{ кН}$  (соответствует трехкратному запасу прочности); для  $R_{\text{н}}(\alpha_{\text{уст}}, b_{\text{н}}) - 1 \text{ кН}$  (большее сопротивление при данном преднатяжении пружин сделает неустойчивым рабочий орган по глубине обработки); для  $\delta_{\text{дв}}(\alpha_{\text{уст}}, b_{\text{н}}) - 38$ , для  $\delta_{\text{дс}}(\alpha_{\text{уст}}, b_{\text{н}}) - 150 \text{ кН/с}$  (минимально возможные значения).

Анализ конфигурации благоприятных областей в факторном пространстве  $(\alpha_{\text{уст}}, b_{\text{н}})$  позволяет сделать следующие выводы (рис. 3):

оптимальный угол установки черенкового ножа составляет  $105...120^\circ$  при его толщине  $5...7 \text{ мм}$ ;

целесообразно использовать по возможности меньшие углы наклона черенкового ножа, что способствует увеличению прочности конструкции;

тот факт, что оптимальная область занимает значительную площадь факторного пространства  $(\alpha_{\text{уст}}, b_{\text{н}})$ , свидетельствует о том, что даже при существенном изменении условий эксплуатации рабочий орган будет выполнять свои функции. Такая малая чувствительность к внешним условиям косвенно гарантирует стабильность работы предлагаемого комбинированного рабочего органа.

При решении задачи оптимизации стрелчатой лапы находили экстремумы двух частных критериев. Первый – критическая сила  $F_{\max \text{ л}}(S_{\text{л}}, b_{\text{л}})$ , по достижении которой происходит разрушение стрелчатой лапы в области основания крыла. В процессе оптимизации необходимо максимизировать  $F_{\max \text{ л}}(S_{\text{л}}, b_{\text{л}}) = k_1(S_{\text{л}}, b_{\text{л}})$  путем подбора параметров  $S_{\text{л}}$  и  $b_{\text{л}}$ . Вторым критерием

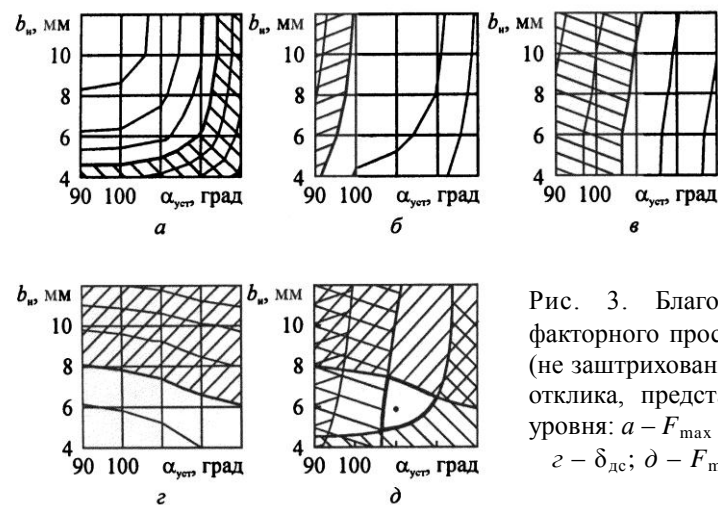


Рис. 3. Благоприятные области факторного пространства  $(\alpha_{\text{уст}}, b_{\text{н}})$  (не заштрихованы) на поверхностях отклика, представленных линиями уровня:  $a - F_{\max \text{ н}}$ ;  $б - R_{\text{н}}$ ;  $в - \delta_{\text{дв}}$ ;  $з - \delta_{\text{дс}}$ ;  $д - F_{\max \text{ н}} \cap R_{\text{н}} \cap \delta_{\text{дв}} \cap \delta_{\text{дс}}$

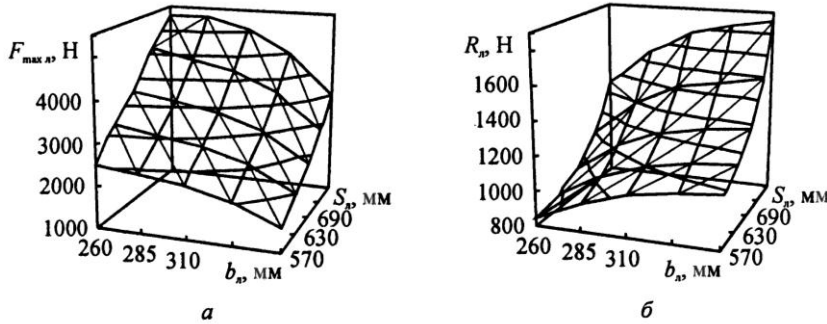


Рис. 4. Поверхности отклика к оптимизации параметров стрельчатой лапы:  
 $a - F_{\max, л}$ ;  $b - R_{л}$

выбираем тяговое сопротивление  $R_{л}(S_{л}, b_{л})$  рабочего органа. Его необходимо минимизировать  $R_{л}(S_{л}, b_{л}) = k_2(S_{л}, b_{л})$  подбором параметров  $S_{л}, b_{л}$  для обеспечения стабильности рабочего органа по глубине обработки. Иными словами, необходимо решить следующие задачи оптимизации:

$$\begin{cases} F_{\max, л}(S_{л}, b_{л}) \rightarrow \max; \\ R_{л}(S_{л}, b_{л}) \rightarrow \min. \end{cases}$$

В каждой точке проводили отдельный компьютерный эксперимент, общее их число, позволяющее получить функцию двух переменных, было равно  $5 \times 5 = 25$  для каждой функции.

В качестве границ между благоприятной и неблагоприятной областями выбраны следующие изолинии: для функции  $F_{\max, л}(S_{л}, b_{л}) - 3900$  Н (соответствует двукратному запасу прочности); для  $R_{л}(S_{л}, b_{л}) - 1000$  Н (большее сопротивление при данном преднатяжении пружин сделает неустойчивым рабочий орган по глубине обработки).

Анализ конфигурации поверхностей отклика (рис. 4) и благоприятных областей в факторном пространстве  $(S_{л}, b_{л})$  (рис. 5) позволяет сделать следующие выводы:

оптимальная ширина захвата стрельчатой лапы составляет 260...270 мм при площади поперечного сечения критической области основания 660...710 мм<sup>2</sup>;

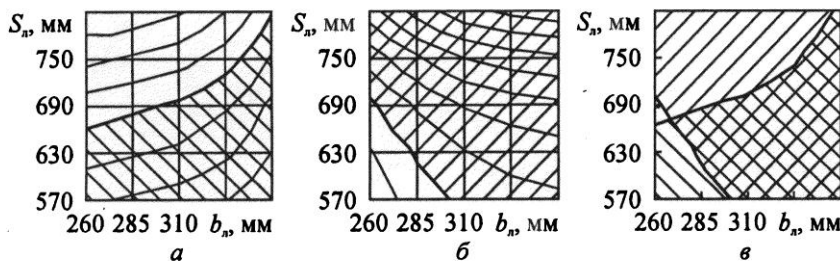


Рис. 5. Благоприятные области факторного пространства  $(S_{л}, b_{л})$  (не заштрихованы) на поверхностях отклика, представленных линиями уровня:

$$a - F_{\max, л}; \quad b - R_{л}; \quad v - F_{\max, л} \cap R_{л}$$

целесообразно использовать стрелчатую лапу с шириной захвата 260 мм, что соответствует ширине захвата серийной лапы культиватора КРТ-3 и позволяет рационально расположить секции по раме с обеспечением зон перекрытия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аттетков А.В., Зарубин В.С., Канатников А.Н.* Введение в методы оптимизации: учеб. – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2008. – 272 с.
2. *Лысыч М.Н.* Применение метода конечных элементов для прочностных расчетов рабочих органов почвообрабатывающих орудий // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. В.С. Петровского. – Воронеж: ВГЛТА, 2009. – Вып. 14. – С. 86–90.
3. *Лысыч М.Н.* Использование систем твердотельного моделирования и инженерных расчетов при проектировании и испытании почвообрабатывающих орудий // Вестн. КрасГАУ. – 2010. – № 1. – С. 194–198.
4. Пат. 2319329 Российская Федерация, МКИ А01В49/02, 76/00. Комбинированное почвообрабатывающее орудие / Бартенев И.М., Лысыч М.Н., Кузнецов А.А.; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. – № 2006127356/12; заявл. 27.07.2006; опубл. 20.03.2008, Бюл. № 12. – 3 с.

*I.M. Bartenev, M.N. Lysych*

#### **Parameters Optimization of Combined Operating Element for Forest Cultivator**

The parameters optimization process of combined operating element are considered based on creation of their solid models by means of computer-aided design. The data on effect of operating element geometrics on its strength, tractive and dynamic characteristics are provided. The optimal parameters of the combined operating element are set.

Keywords: optimization, solid modeling, operating elements of cultivator.

---