

УДК 629.114.2

В.И. Посметьев, Л.Т. Свиридов, В.А. Зеликов

Воронежская государственная лесотехническая академия

Посметьев Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1978 г. Воронежский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет свыше 250 научных работ в области технических средств и систем защиты машин от перегрузок.

E-mail: posmetyev@mail.ru



Свиридов Леонид Тимофеевич родился в 1948 г., окончил в 1975 г. Воронежский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин Воронежской государственной лесотехнической академии, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный изобретатель РФ, академик РАЕН. Имеет более 470 научных работ и 60 изобретений в области механизации лесного хозяйства и деревообработки.

E-mail: nis@vglta.vrn.ru



Зеликов Владимир Анатольевич родился в 1974 г., окончил в 1996 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 35 научных работ в области технических средств и систем защиты машин от перегрузок.

E-mail: zelikov-vm@mail.ru



ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО МЕХАНИЗМА ЛЕСНОГО ДИСКОВОГО КУЛЬТИВАТОРА

Выполнена оптимизация основных конструктивных параметров механизма виброзаглубления культиватора КЛБ-1,7. Оптимизация проведена на основе разработанной ранее математической модели, при этом используется графическое представление поверхностей отклика и благоприятных областей факторного пространства.

Ключевые слова: лесная почва, культиватор, дисковая батарея, виброзаглубление, оптимизация, математическое моделирование.

Сообщение вибрации рабочим органам лесных почвообрабатывающих орудий способствует их заглублению [3, 4]. Применение вибрационного метода позволяет не утяжелять орудия заглубляющим балластом (камни или песок), в результате уменьшить их массу и повысить маневренность. Ранее авторами был разработан механизм для виброзаглубления рабочих органов лесного дискового культиватора КЛБ-1,7. Дополнительное заглубление осуществляется благодаря вибрации рабочих органов с амплитудой 2...5 см. Вибрация сообщается гидроцилиндром стойке с дисковой батареей, при этом стойка совершает колебания относительно шарнира пружинного амортизатора [4]. В гидравлической системе механизма, к которому подключен гидроцилиндр, создаются пульсации давления специальным гидропульсатором.

Выполненное ранее теоретическое исследование показало, что за счет сообщения вибрации дисковым батареям культиватора КЛБ-1,7 можно добиться увеличения глубины обработки почвы примерно на 15...20 % (при частоте синусоидальных колебаний 12...20 Гц и амплитуде 5 см). Применение вибрации на рабочих органах позволяет снизить на 25...30 % рабочее сопротивление культиватора, а следовательно, примерно на столько же уменьшить мощность, потребляемую двигателем агрегатируемого трактора. В то же время мощность, затрачиваемая на привод вибрационного

механизма, составляет 20...25 %, что не превышает ее снижения от применения виброэффекта на рабочих органах культиватора. При этом эффект дополнительного заглубления зависит от углов установки дисковой батареи. Наибольшее влияние наблюдается при угле атаки дисков $\alpha = 30^\circ$ и их наклоне к вертикали $\beta = 5^\circ$ [3].

Таким образом, использование вибрационного механизма на дисковом культиваторе не требует дополнительных затрат мощности от двигателя агрегируемого трактора, но обеспечивает повышение качества обработки почвы при уходе за лесными культурами.

Цель данной работы состоит в том, чтобы на основе математического моделирования определить основные параметры механизма для виброзаглубления: частоту пульсаций и рабочее давление в гидросистеме, обеспечивающие наибольшую эффективность работы вибратора и наименьшие энергетические затраты.

Исследования базируются на использовании разработанной ранее математической модели механизма для виброзаглубления. В рамках модели воспроизводится как механическая подсистема (взаимное движение трактора, рамы орудия, дисковой батареи, взаимодействие с почвой), так и гидравлическая (взаимодействие гидропульсатора, соединительного шланга, гидроцилиндра) [5]. В целом модель представляет собой систему из большого количества дифференциальных и алгебраических уравнений, определяющую эволюцию с течением времени механической и гидравлической подсистем культиватора, а также системы шарообразных элементов почвы. Для численного интегрирования системы используется модифицированный метод Эйлера. В целях организации комплексного исследования механизма для виброзаглубления культиватора КЛБ-1,7 разработана специальная компьютерная программа на языке Object Pascal в интегрированной среде программирования Borland Delphi 7. Программа позволяет проводить компьютерные эксперименты с моделью, в процессе которых трактор движется с постоянной горизонтальной скоростью и преодолевает путь 10 м. При этом рассчитываются такие выходные параметры, как мощность, затрачиваемая на горизонтальное движение культиватора и функционирование механизма для виброзаглубления, средняя глубина обработки почвы, амплитуда вибрации дисковой батареи. Спустя некоторое время после начала компьютерного эксперимента культиватор выходит на установившуюся глубину обработки, при этом переходные процессы в гидросистеме сменяются стабильным режимом ее работы.

Задача оптимизации сложных систем сводится к отысканию экстремума функции ряда переменных [2]. При этом необходимо определить такие области изменения входных параметров F_i (факторов), при которых выходные характеристики машины удовлетворяют некоторому принятому критерию либо несколькими частным. Критерий оптимизации должен всесторонне характеризовать изучаемую систему, поэтому его обычно составляют в виде линейной комбинации с соответствующими весовыми коэффициентами частных критериев оптимизации k_i , представляющих собой экономические или качественные показатели [1].

Ранее выполненные теоретические исследования позволили определить, что наибольшее влияние на эффективность сообщения вибрации механизмом для виброзаглубления оказывают такие параметры, как рабочее давление в гидросистеме P_p и частота пульсаций гидропульсатора $f_{гп}$. При оптимизации необходимо найти такой набор параметров $(P_p, f_{гп})$, при которых амплитуда вибрации дисковой батареи $A(P_p, f_{гп})$ будет максимальной, а суммарная мощность (поступательного перемещения культиватора и гидропульсатора) $N(P_p, f_{гп})$ – минимальной. Таким образом, в данной статье решена следующая задача оптимизации:

$$\begin{cases} A(P_p, f_{гп}) \rightarrow \max; \\ N(P_p, f_{гп}) \rightarrow \min. \end{cases}$$

Выбор в качестве критериев оптимизации амплитуды вибрации A и мощности N связан с тем, что первая является мерой интенсифицирующего действия механизма, а вторая определяет энергетические затраты на обработку почвы и экономическую эффективность.

При оптимизации параметров механизма для виброзаглубления P_p варьировали от $15 \cdot 10^5$ до $40 \cdot 10^5$ Па, а $f_{гп}$ от 3 до 8 Гц на шести равноотстоящих уровнях (включая границы интервала). В каждой точке $(P_p, f_{гп})$ проводили отдельный компьютерный эксперимент, при этом общее их количество, позволившее получить табличный вид функций двух переменных $A(P_p, f_{гп})$ и $N(P_p, f_{гп})$, было равно $6 \times 6 = 36$.

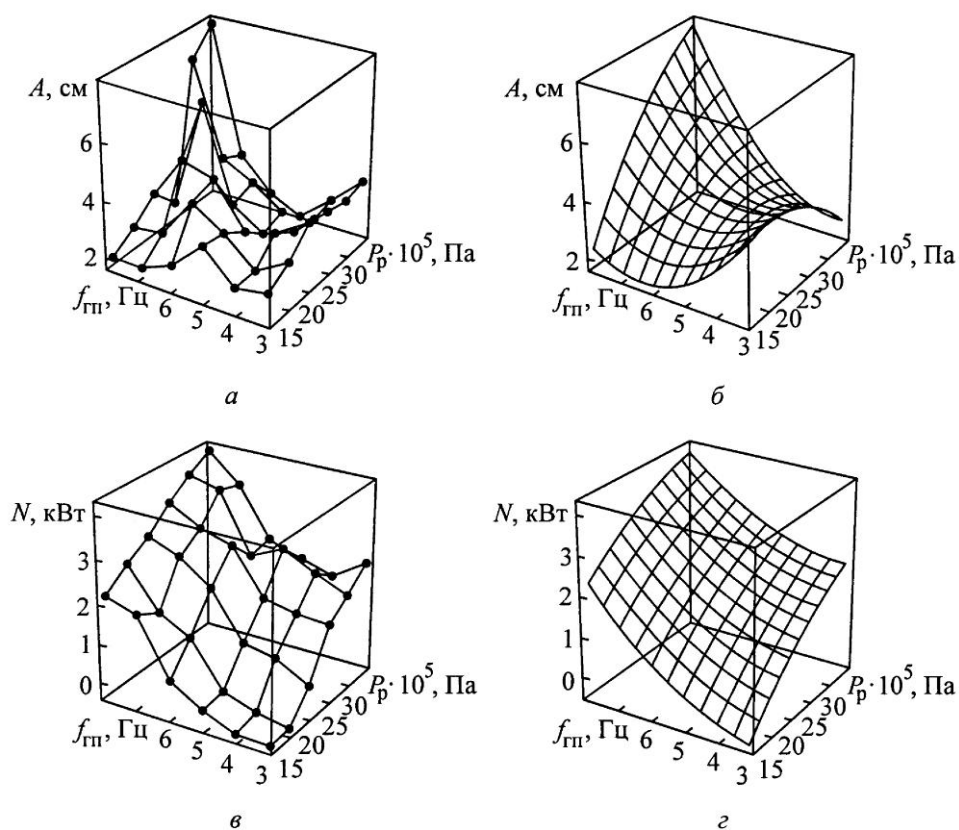


Рис. 1. Поверхности отклика к оптимизации параметров устройства виброзаглубления: *а, в* – результаты компьютерных экспериментов; *б, з* – соответствующие аппроксимирующие поверхности

При двухкритериальной оптимизации имеется возможность графически изобразить поверхность отклика и провести ее анализ (рис. 1) [2]. Как видно из рис. 1, поверхности отклика можно условно разделить на две области: благоприятную (затемнена на рис. 2), в которой критерий оптимизации принимает искомые минимальные и максимальные значения, и неблагоприятную. Для выбора границы между этими областями в данном случае руководствовались соображениями, что благоприятная область должна включать высокие или низкие значения функции (в соответствии с задачей), занимать значительную долю факторного пространства (10...50 %)

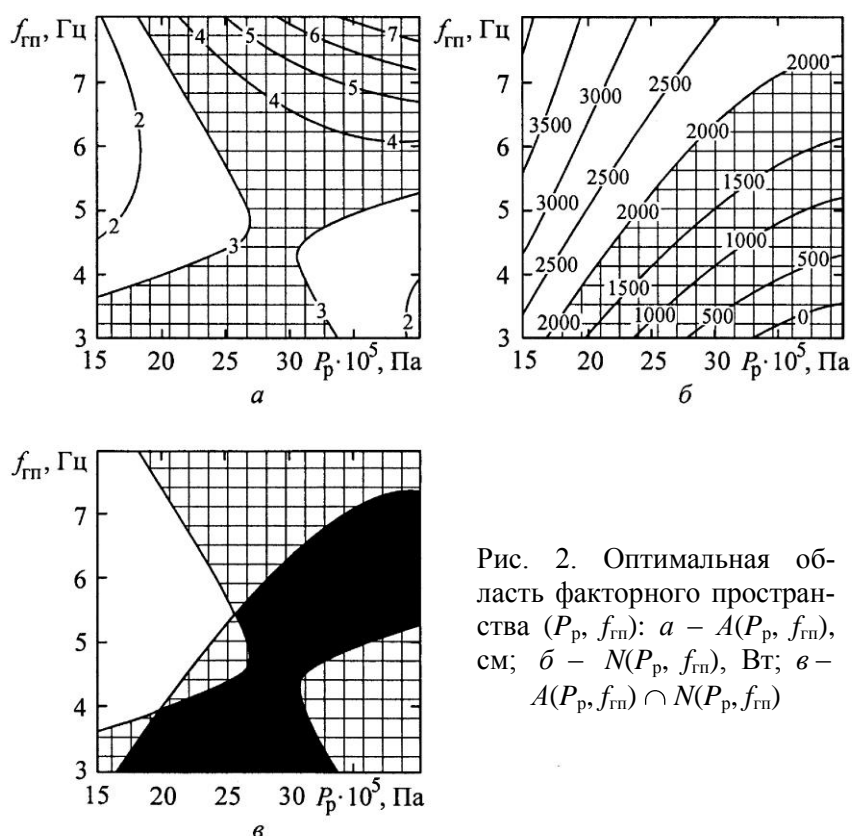


Рис. 2. Оптимальная область факторного пространства $(P_p, f_{гп})$: $a - A(P_p, f_{гп})$, см; $b - N(P_p, f_{гп})$, Вт; $c - A(P_p, f_{гп}) \cap N(P_p, f_{гп})$

и не присоединять области существенного изменения факторов (нестабильного функционирования) [1]. В качестве границ между благоприятной и неблагоприятной областями выбраны: для функции A (изолиния 3 см; для $N(P_p, f_{гп})$ изолиния 2000 Вт.

Анализ конфигурации благоприятных областей в факторном пространстве $(P_p, f_{гп})$ позволяет сделать следующие выводы (рис. 2). При выборе рабочего давления и частоты гидропульсатора необходимо учитывать, что оптимальная комбинация качественных и экономических показателей достигается для протяженной области факторного пространства $(P_p, f_{гп})$, изображенной на рис. 2 (черный цвет). В частности, целесообразно использовать рабочее давление $(25...40) \cdot 10^5$ Па, а частоту пульсаций давления $5...7$ Гц. В случае, если гидропульсатор настроен на меньшую частоту ($3...4$ Гц), необходимо использовать рабочее давление $(20...30) \cdot 10^5$ Па.

Таким образом, оптимальные выходные характеристики механизма для виброзаглубления достигаются при рабочем давлении $(25...40) \cdot 10^5$ Па и частоте пульсаций давления $5...7$ Гц. Плавный характер зависимостей выходных характеристик позволяет утверждать, что даже при существенном изменении условий эксплуатации механизм для виброзаглубления будет стабильно и эффективно функционировать.

Результаты выполненных авторами полномасштабных экспериментов на натурных образцах серийного и опытного культиваторов методом электротензометрирования подтвердили аналогичные результаты компьютерного моделирования [3]. Предлагаемая конструкция вибрационного механизма может быть использована также для повышения заглубляющего эффекта рабочих органов других почвообрабатывающих орудий аналогичного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий: учеб. для вузов. М.: Наука, 1976. 279 с.
2. Дегтярев Ю.И. Методы оптимизации: учеб. пособие для вузов. М.: Сов. радио, 1980. 272 с.
3. Исследование динамического и вибрационного заглубления дисковой батареи культиватора КЛБ-1,7/В.И. Посметьев [и др.]// Вестн. Москов. гос. ун-та леса. 2009. № 4 (67). С. 112–116.
4. Посметьев В.И., Посметьев В.В. Модель процесса вибрационного взаимодействия с почвой дисковых рабочих органов лесных орудий//Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса : сб. науч. тр. / ВГЛТА. Воронеж, 1999. С. 202–206.
5. Расчет и проектирование строительных и дорожных машин на ЭВМ /под ред. Е.Ю. Малиновского. М.: Машиностроение, 1980. 216 с.

Поступила 20.01.11

V.I. Posmetiev, L.T. Sviridov, V.A. Zelikov

Voronezh State Academy of Forestry and Technology

Operating Parameters Optimization of Vibration Device for Forest Disc Cultivator

Main parameters optimization of vibro-deepening device for KLB-1.7 cultivator is carried out based on the earlier-developed mathematical model. Graphic presentation of the response surfaces and favorable areas factorial space are used.

Keywords: forest soil, cultivator, disk battery, vibro-deepening, optimization, mathematical modeling.