

УДК 630\*377.45

**Л.Д. Бухтояров, П.И. Попиков, А.А. Сидоров**

Бухтояров Леонид Дмитриевич родился в 1979 г., окончил в 2001 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ВГЛТА. Имеет 49 печатных работ в области ухода за лесными насаждениями.  
E-mail: vglta-mlx@yandex.ru



Попиков Петр Иванович родился в 1940 г., окончил в 1967 г. Воронежский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет 140 печатных работ по изучению гидропривода лесных машин.  
E-mail: petropikov@yandex.ru



Сидоров Анатолий Аркадьевич родился в 1969 г., окончил в 1993 г. Воронежский лесотехнический институт, в 2005 г. Воронежский институт МВД РФ, аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет около 20 печатных работ по изучению гидропривода лесных манипуляторов.  
E-mail: sidorov-vm@yandex.ru



### **ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕМПФЕРА ГИДРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА СТРЕЛЫ ЛЕСНОГО МАНИПУЛЯТОРА**

На основании разработанной математической модели проведен компьютерный эксперимент, по итогам которого определены основные конструктивные параметры демпфера, требующие оптимизации. Установлены оптимальные диаметры каналов, даны рекомендации по размерам демпфера.

*Ключевые слова:* оптимизация, математическая модель, демпфер, манипулятор.

Одним из путей повышения технического уровня гидроманипулятора является совершенствование его гидравлической системы. Возникающие при торможении опускающегося груза нагрузки можно снизить при использовании в механизме подъема стрелы тормозных клапанов в сочетании с дросселем, а также демпферов, гасящих колебания [1].

Нами разработана универсальная математическая модель функционирования гидропривода манипуляторов, оснащенных демпфером, серийно выпускаемых Майкопским машиностроительным заводом, в частности ЛВ-184А-06 и ЛВ-110 [2]. В рамках модели воспроизводятся физические процессы, происходящие в механической и гидравлической подсистемах манипулятора. Устройство описывается системой дифференциальных и алгебраических уравнений. При их численном интегрировании [3] получаются временные зависимости основных параметров, характеризующих работу манипулятора и демпфера: давлений в поршневой  $P_{п}(t)$  и штоковой  $P_{ш}(t)$  полостях гидроцилиндра, угла подъема стрелы  $\alpha(t)$ , а также положения плунжера демпфера  $x_{д}(t)$ . По данной математической модели составлена программа на ЭВМ в целях проведения компьютерного эксперимента.

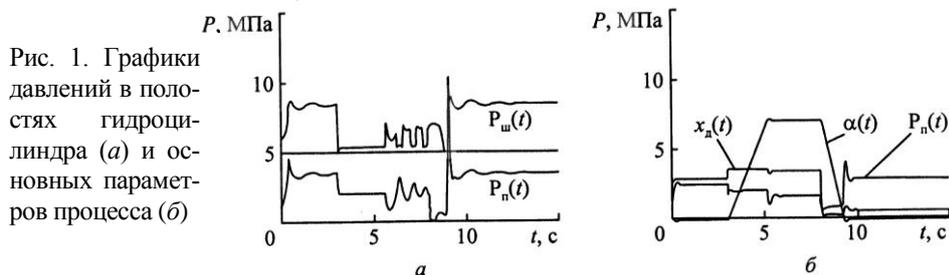


Рис. 1. Графики давлений в полостях гидроцилиндра (а) и основных параметров процесса (б)

В процессе этого эксперимента на экран компьютера непрерывно выводятся следующие выходные характеристики:

схематичные изображения в масштабе: манипулятора, подъемного гидроцилиндра и демпфера, по которым можно визуальнo анализировать эффективность работы демпфера;

временные зависимости давлений в поршневой  $P_{п}(t)$  и штоковой  $P_{ш}(t)$  полостях гидроцилиндра (рис. 1, а) либо давления в поршневой полости  $P_{п}(t)$ , угла поворота стрелы  $\alpha(t)$  и положения плунжера в демпфере  $x_{д}(t)$  (рис. 1, б).

По окончании компьютерного эксперимента по графикам  $P_{п}(t)$  и  $P_{ш}(t)$  определяются пиковые давления  $P_{п}^{пик}$  и  $P_{ш}^{пик}$ , снижение которых составляет основную задачу данной работы.

Предварительный анализ позволил сделать заключение, что на эффективность демпфирования наибольшее влияние оказывают следующие конструктивные параметры:

диаметры дросселирующих каналов  $d_{к}$  (или отдельно диаметры дросселирующих каналов поршневой  $d_{кп}$  и штоковой  $d_{кш}$  частей демпфера);

соотношение диаметров запираемых полостей  $d_{п} / d_{ш}$ ;

масштабный коэффициент (размер) демпфера  $K$ .

Поэтому решены задачи оптимизации трех функций, в которых комбинируются перечисленные переменные:  $P_{п}^{\max}(d_{к}, d_{п})$ ,  $P_{п}^{\max}(d_{кп}, d_{кш})$  и  $P_{п}^{\max}(d_{к}, K)$  (рис. 2).

В процессе оптимизации эффективности демпфирования использовали те же интервалы варьирования факторов, что и на этапе систематических исследований:  $d_{к}$ ,  $d_{кп}$  и  $d_{кш}$  – от 0 до 9 мм с шагом 1 мм;  $d_{п}$  – от 10 до 45 мм с шагом 5 мм (при одновременном уменьшении  $d_{ш}$  от 50 до 15 мм с тем же шагом);  $K$  – от 0,7 до 2,5 с шагом 0,2. В каждой точке ( $F_1$ ,  $F_2$ ) проводили отдельный компьютерный эксперимент, при этом общее их число, позволяющее получить функцию двух переменных, было равно  $10 \times 10 = 100$  для каждой функции.

Важным преимуществом двухфакторной оптимизации является возможность графически изобразить поверхности отклика (рис. 3). Анализируя каждую из них, представленную с помощью линий уровня, можно условно разделить факторное пространство на две области: благоприятную (заштрихована на рис. 3), в которой критерий оптимизации принимает искомые

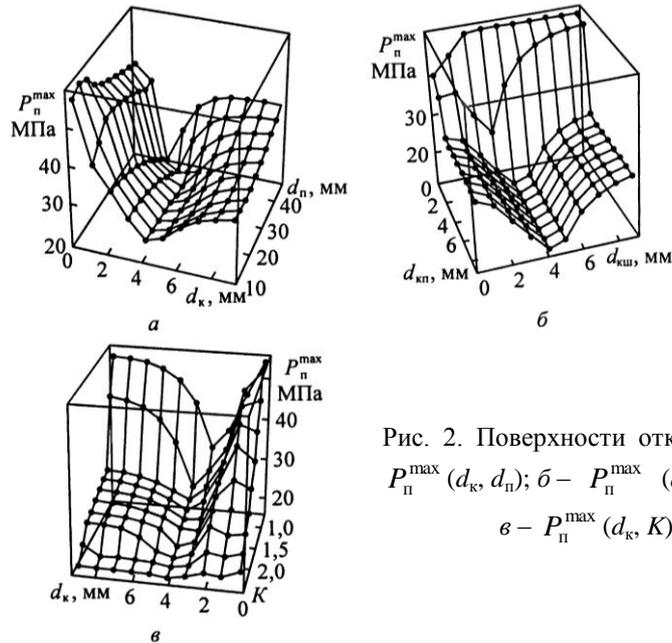


Рис. 2. Поверхности отклика: *a* –  $P_n^{\max}(d_k, d_n)$ ; *б* –  $P_n^{\max}(d_{кп}, d_{кш})$ ; *в* –  $P_n^{\max}(d_k, K)$

минимальное или максимальное значения, и неблагоприятную. В качестве границы между этими областями экспертным путем выбирается некоторая линия уровня. При этом необходимо учитывать ряд требований, которым должна отвечать благоприятная область:

содержать наиболее экстремальные (максимальные или минимальные) значения критерия, по возможности постоянного;

занимать значительное факторное пространство (20...40 %), ограниченное некоторой линией уровня.

В данном случае для всех трех функций в качестве границы была выбрана изолиния давления  $P^{\max} = 50$  МПа.

Анализ конфигурации благоприятных областей в факторных пространствах  $P_n^{\max}(d_k, d_n)$ ,  $P_n^{\max}(d_{кп}, d_{кш})$  и  $P_n^{\max}(d_k, K)$  позволяет сделать следующие выводы.

При увеличении диаметра  $d_n$  и одновременном уменьшении  $d_k$  оптимальный диаметр дросселирующего канала уменьшается с 4...5 до 2...3 мм (рис. 3, *a*).

Диаметр дросселирующего канала  $d_{кп}$  можно выбирать любым, начиная с 2 мм, так как он практически не влияет на  $P_n^{\max}$  (рис. 3, *б*). В то же время диаметр  $d_{кш}$  должен находиться в узком диапазоне от 3,5 до 5,0 мм.

Целесообразно увеличивать размер демфера, если нет ограничений со стороны других факторов (металлоемкость, компактность) (рис. 3, *в*). При больших размерах демфер работает эффективно независимо от диаметра дросселирующих каналов, а при малых оптимальный диаметр  $d_k = 4$  мм.

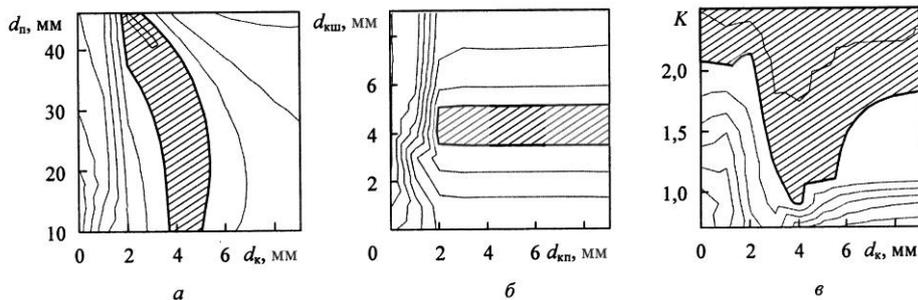


Рис. 3. Оптимальные области факторного пространства на поверхностях отклика, ограниченные жирными линиями уровня:  $a - P_{\Pi}^{\max}(d_k, d_n)$ ;

$$b - P_{\Pi}^{\max}(d_{кп}, d_{кш}); v - P_{\Pi}^{\max}(d_k, K)$$

Поскольку для всех трех функций оптимальная область занимает значительное факторное пространство, то даже при существенном изменении конструктивных параметров демпфер эффективно будет снижать пиковое давление. Такая малая чувствительность к внешним условиям косвенно гарантирует стабильность его работы.

Таким образом, для рассмотренных манипуляторов при диаметре поршневой полости  $d_{\Pi} = 10 \dots 30$  мм оптимальный диаметр дросселирующих каналов  $d_k = 3 \dots 5$  мм, а при  $d_{\Pi} = 30 \dots 45$  мм значение  $d_k = 2 \dots 3$  мм. Оптимальный диаметр дросселирующего канала поршневой полости  $d_{кп} = 2$  мм и более, а штокового канала  $d_{кш} = 3,5 \dots 5,0$  мм.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конструкции и параметры машин для расчистки лесных площадей: моногр. / И.М. Бартенев [и др.] – М. : Наука [Флинта], 2007. – 208 с.
2. Сидоров А.А., Попиков П.И., Бухтояров Л.Д. Моделирование работы гидропривода механизма подъема стрелы лесного манипулятора // Вестн. КрасГАУ. – Красноярск, 2009. – Вып. 8. – С. 3–7.
3. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1998. – 319 с.

*L.D. Bukhtoyarov, P.I. Popikov, A.A. Sidorov*

#### Parameters Optimization of Hydraulic Actuator Damper for Boom Hoisting Mechanism of Forest Manipulator

The computer experiment is carried out based on the developed mathematical model resulting in determining the main design damper parameters to be optimized. Optimal channel diameters are set; recommendations on damper size are made.

Keywords: optimization, mathematical model, damper, manipulator.