

УДК 629.3.065

UDC 629.3.065

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ  
ГИДРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА  
ПОДЪЕМА ЛЕСНОГО МАНИПУЛЯТОРА****EXPERIMENTAL STUDY OF PROCESSES IN  
HYDRAULIC DRIVE SYSTEM OF FOREST  
MANIPULATORS**

Попиков Петр Иванович  
д.т.н., профессор  
*Воронежская государственная лесотехническая  
академия, Воронеж, Россия*

Popikov Petr Ivanovich  
Dr.Sci.Tech., professor  
*Voronezh State Academy of Forestry and  
Technologies, Voronezh, Russia*

В статье дано описание гидрокинематической схемы лесного манипулятора с Подключением дополнительного демпфера. На основании решения математической модели рабочих процессов определены оптимальные параметры демпфера для снижения динамической нагруженности манипулятора

Description of hydro kinematic scheme of forest manipulator with additional damper connection is given in the article. Optimal damper parameters for manipulator dynamic loading decrease are defined on the basis of operation mathematical model solution

Ключевые слова: МАНИПУЛЯТОР,  
ДЕМПФЕР, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ,  
ПАРАМЕТРЫ

Keywords: MANIPULATOR, DAMPER,  
MATHEMATICAL, MODEL, PARAMETERS

Анализ исследования динамики гидропривода лесных манипуляторов показывает, что рабочие процессы механизмов подъема стрелы сопровождаются большими динамическими нагрузками, вызывающими резкие скачки давления рабочей жидкости в пуско-тормозных режимах. Захват длинномерных сортиментов не всегда осуществляется по центру их тяжести, поэтому при остановках манипулятора в промежуточных положениях происходит раскачивание груза, которое вызывает колебательные процессы и знакопеременные напряжения в металлоконструкции, что снижает их надежность и производительность. Отказы в работе гидропривода составляют 30 % от общего количества отказов по машинам манипуляторного типа. Существующие демпфирующие устройства срабатывают только в конечных положениях поршней гидроцилиндров. Решению задач создания высокоэффективных конструкций отечественных манипуляторов сортиментовозов препятствует недостаточная изученность влияния демпфирующих устройств на снижение динамической нагруженности и повышение производительности сортиментовозов. Целью исследования

является повышение эффективности работы лесных манипуляторов сортиментовозов путем совершенствования механизма подъема стрелы манипулятора за счёт обоснования и оптимизации параметров дополнительного демпфирующего устройства.

В соответствии с поставленной целью решаются следующие основные задачи: обосновать гидрокинематическую схему лесного манипулятора с дополнительным демпфером; разработать математическую модель рабочих процессов гидропривода механизма подъема стрелы манипулятора с дополнительным демпфером для уменьшения колебаний давления рабочей жидкости при промежуточных положениях поршня гидроцилиндра; получить экспериментальные зависимости динамических характеристик гидропривода механизма подъёма стрелы манипулятора с подключением дополнительного демпфера и определить ожидаемый экономический эффект от его применения; обосновать и оптимизировать параметры демпфера гидропривода механизма подъема манипулятора, реализовать в опытной конструкции и определить ожидаемый экономический эффект от его внедрения.

Предлагается новый механизм подъема стрелы манипулятора лесозаготовительной машины [1], содержащий гидроцилиндр и дополнительный демпфер, плунжер которого, образует с корпусом две изолированные полости, причем объемы полостей демпфера соединенные со штоковой и поршневой полостями гидроцилиндра относятся между собой как объемы штоковой и поршневой полостей гидроцилиндра (рис. 1).

Для решения системы дифференциальных уравнений, положенной в основу модели и для проведения различных компьютерных экспериментов с моделью составлена компьютерная программа "Программа для моделирования демпфера гидросистемы манипулятора лесовозного автопоезда" на языке Object Pascal в интегрированной среде

программирования Borland Delphi 7.0 [3]. Получено свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2009610503.

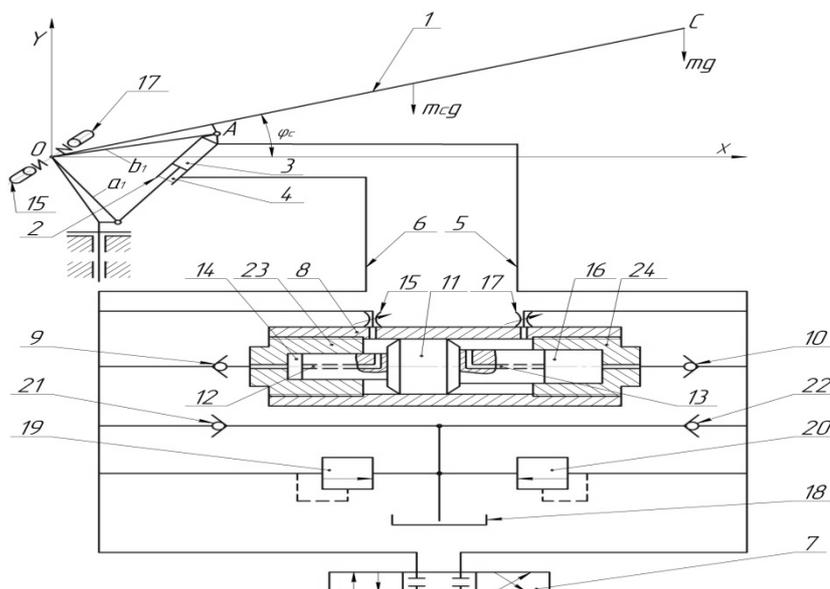


Рисунок 1 – Схема механизма подъема стелы манипулятора с дополнительным демпфером:

1 – стрела манипулятора, 2 – гидроцилиндр, 3 – поршневая полость, 4 – штоковая полость, 5, 6 – гидрролинии, 7 – гидрораспределитель, 8 – демпфер, 9, 10 – обратные клапаны, 11 – ступенчатый плунжер, 12, 13 – дросселирующие каналы, 14 – штоковая полость демпфера, 15, 17 – регулируемые дроссели, 16 – поршневая полость демпфера, 18 – гидробак, 19, 20 – предохранительные клапаны, 21, 22 – подпиточные клапаны, 23, 24 – резьбовые пробки

программирования Borland Delphi 7.0. [3]. Получено свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2009610503.

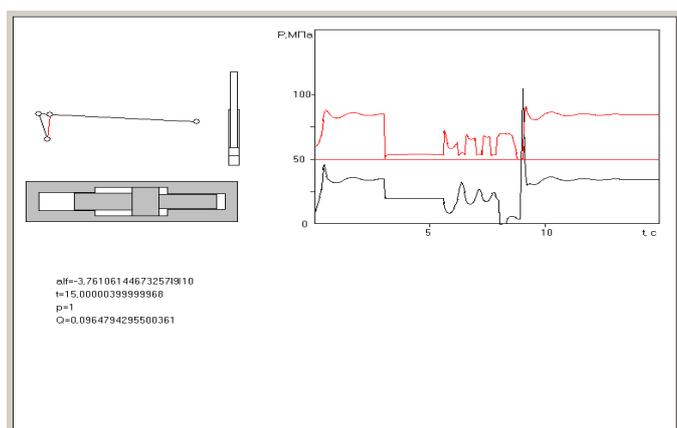


Рисунок 2 – изображение выводимое на экран компьютера.

Компьютерный эксперимент с моделью заключается в подъеме и опускании стрелы манипулятора с быстрым запираем магистралей в конце процессов подъема и опускания. При этом фиксируются временные зависимости давления в поршневой и штоковой полостях гидроцилиндра  $P_{П}(t)$  и  $P_{Ш}(t)$  (рис. 2).

- Предварительный анализ показал, что на эффективность демпфирования наибольшее влияние оказывают следующие конструктивные параметры:

- диаметры дросселирующих каналов  $d_K$  (или отдельно диаметры дросселирующих каналов поршневой и штоковой части демпфера  $d_{КП}$  и  $d_{КШ}$ );

- соотношение диаметров запираемых полостей  $d_{П} / d_{Ш}$ ;

- масштабный коэффициент (размер) демпфера  $K$ .

Для лабораторных исследований используется натуральный образец манипулятора ЛВ-210-01, смонтированный на раму сварной конструкции из швеллеров № 10. Гидропривод механизма подъема стрелы был подключен дополнительный демпфер, спроектированный и изготовленный диссертантом на кафедре механизации лесного хозяйства и проектирования машин ВГЛТА.

Манипулятор состоит из стрелы 1 с удлинителем (рисунок 3), поворотной колонны 2, механизма поворота 3, гидросистема манипулятора

подключена к насосной станции, а дополнительный демпфер 4 с помощью гибких трубопроводов подсоединен к поршневой и штоковой полостям гидроцилиндра 5 механизма подъема стрелы. В трубопроводы демпфера подключен датчик давления рабочей жидкости фирмы Danfoss 6.

Изменения давления в подводящей гидромагистрали отслеживаются датчиком (рисунок 4), который снабжён демпфирующим устройством, для предотвращения его выхода из строя при гидравлическом ударе.

Сигналы от датчика подавались через модули аналогового ввода-вывода (ADAM-4017 и ADAM-4016) на преобразователь интерфейса RS-232/RS-485 (ADAM-4520) и далее обрабатывались ЭВМ.



Рисунок 3 – Общий вид манипулятора ЛВ-210-01 с контрольно-измерительной аппаратурой и демпфером

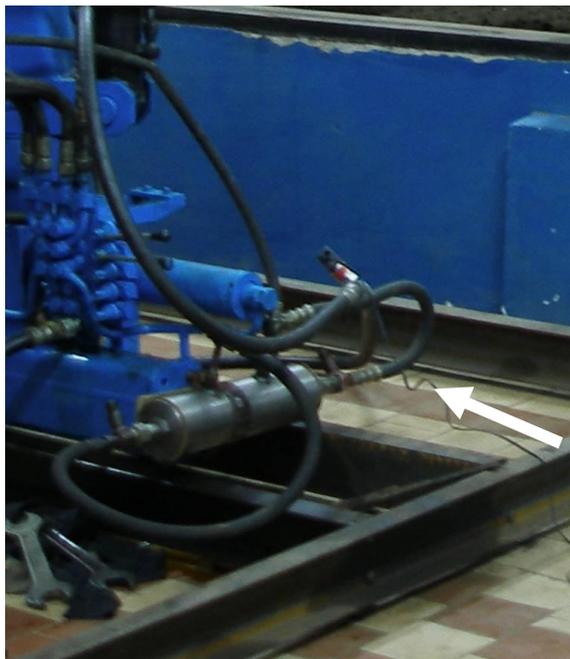


Рисунок 4 – Общий вид датчика давления и демпфера

Исследование динамики гидропривода проводилось для поршневой и штоковой полости, с учетом наличия и отсутствия в гидросистеме демпфера для 20 характерных значений давления. При проведении лабораторного эксперимента были выделены 4 этапа работы манипулятора: 1 - включение; 2 - начало подъёма; 3 - окончание подъема; 4 - начало опускания; 5 - окончание опускания. Груз удерживается на максимальном вылете при горизонтально расположенной стреле. Торможение стрелы осуществляется при угле поворота  $80^\circ$ . Измерение давления и поворота стрелы проводится при следующих схемах испытания:

а) в поршневую и штоковую полости гидроцилиндра механизма подъёма устанавливались поочередно дроссели диаметром 1 мм; 2 мм; 3 мм; 4 мм; 5 мм; 6 мм.

б) изменялись объёмы полостей демпфера, соединенные с поршневой и штоковой полостями, соответствующие диаметрам 20 мм; 30 мм; 40 мм; 50 мм; 60 мм с помощью регулировочных пробок.

в) замеры давления в поршневой и штоковой полости гидроцилиндра механизмы подъёма стрелы производились при углах поворота стрелы  $0^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $80^\circ$ .

На рис. 5 представлены образцы полученных осциллограмм переходных процессов гидропривода стрелы манипулятора с подключением дополнительного демпфера с различными диаметрами дросселирующих каналов.

На основании статистического материала находим среднее арифметическое значение выходного параметра, меру рассеивания выходной величины относительно среднеарифметического, т.е. дисперсию, меру рассеивания отклонения в виде среднеквадратического отклонения, доверительную вероятность, коэффициент вариации

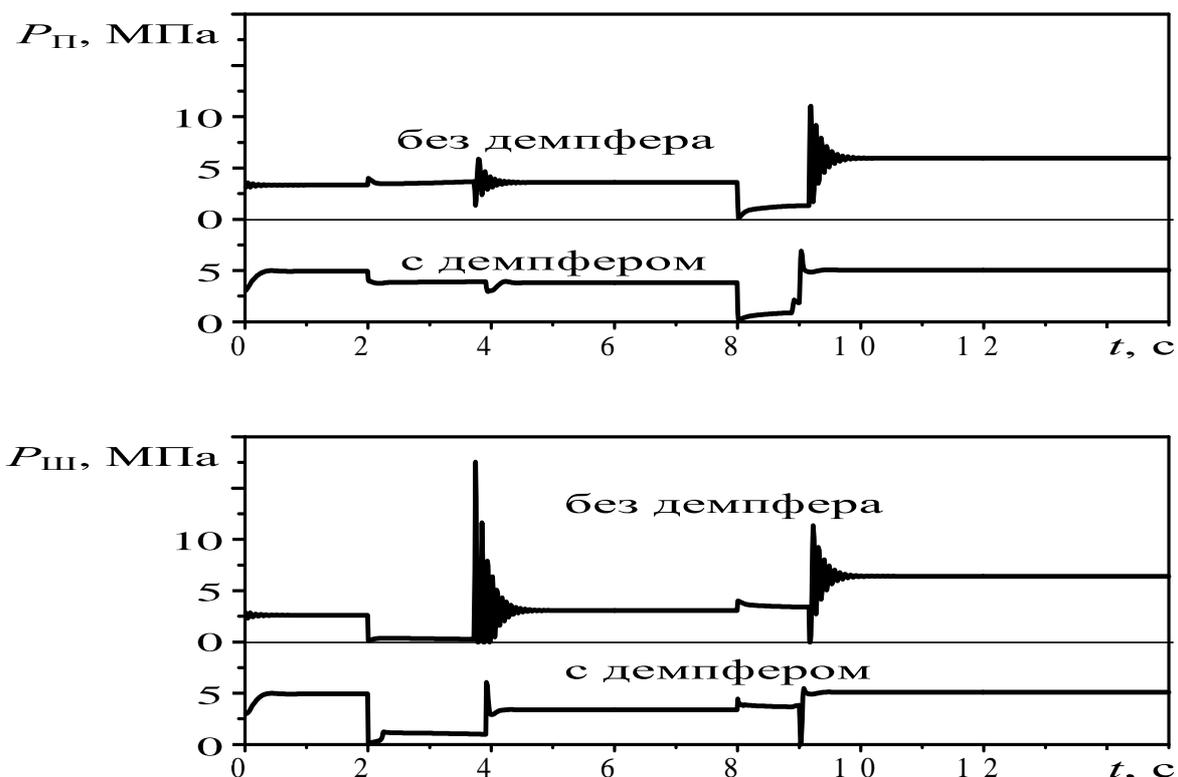
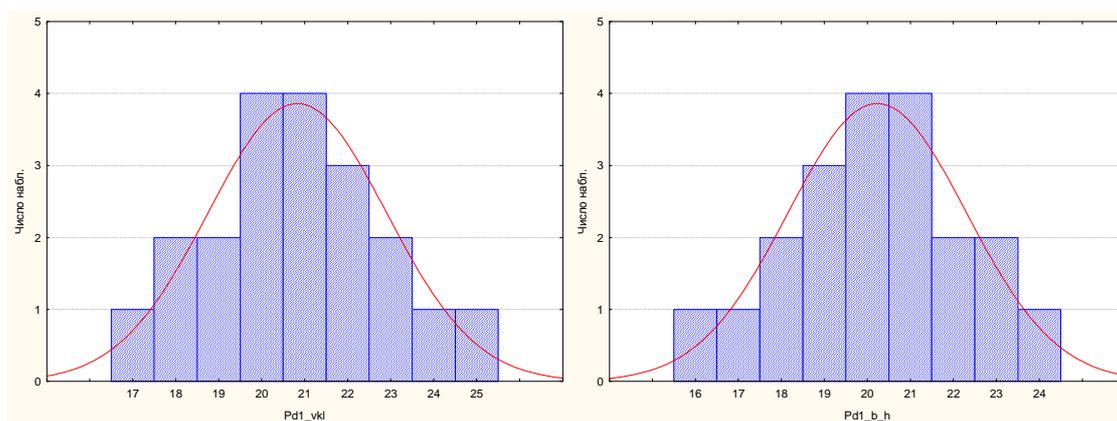


Рисунок 5 – Осциллограммы переходных процессов в гидроприводе стрелы манипулятора

Также при помощи программы Statistica 7, на основании статистического материала, представленного в таблицах, были построены гистограммы распределения давления, которые позволяют предварительно оценить нормальность эмпирического распределения. Для большей наглядности на гистограммы наложена кривая нормального распределения (рис. 6)

По результатам экспериментов построена зависимость максимального давления в гидросистеме от параметра  $d_K$  (рисунок 7).

На зависимостях  $P_{II}^{max}(d_K)$  и  $P_{III}^{max}(d_K)$  наблюдается минимум при значениях диаметра в интервале 4,0–4,5 мм для  $P_{II}$  и в интервале 2,0–2,5 мм для  $P_{III}$ . Высокие значения  $P^{max}$  при малом диаметре  $d_K$  связаны с тем, что рабочая жидкость в ходе быстропротекающего переходного процесса не успевает протекать по дросселирующим каналам, и демпфер оказывается практически исключенным из гидросистемы.



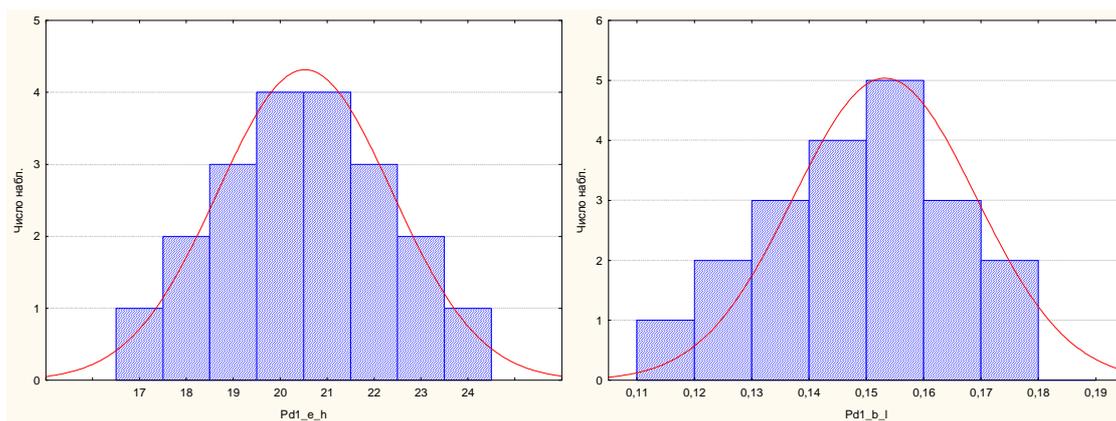


Рисунок 6 - Гистограммы распределения максимального давления рабочей жидкости в гидроцилиндре подъёма стрелы манипулятора с демпфером при включении, начале подъёма, окончании подъёма и начале опускания

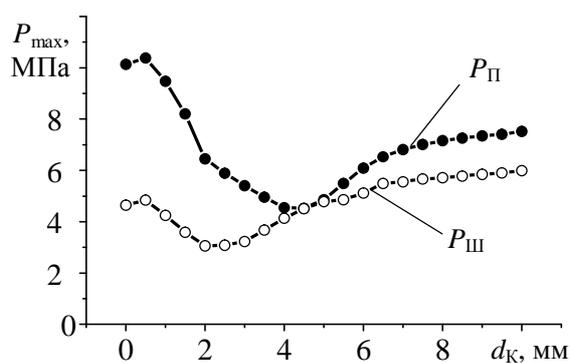


Рисунок 7 – Влияние диаметра дросселирующих каналов на пиковое давление в гидросистеме

Таким образом, оптимальный диаметр дросселирующего канала, при котором демпфер не оказывается "запертым" и в то же время хорошо гасит импульсы давления, составляет около 4 мм.

Предварительный анализ привел к заключению, что на эффективность демпфирования наибольшее влияние оказывают следующие конструктивные параметры: диаметры дросселирующих каналов  $d_k$  (или отдельно диаметры дросселирующих каналов поршневой и штоковой части демпфера  $d_{kП}$  и  $d_{kШ}$ ); соотношение диаметров

запираемых полостей  $d_{\text{П}} / d_{\text{Ш}}$ ; масштабный коэффициент (размер) демпфера  $K$ .

Оптимизация параметров демпфера по критерию минимального давления рабочей жидкости осуществлялась помощью метода планирования полнофакторного эксперимента (ПФЭ). На основании априорного исследования с учетом теоретических и экспериментальных данных были отобраны для изучения следующие факторы:  $X_1$  - диаметр дросселирующего канала демпфера  $d_{\text{К}}$ ;  $X_2$  - диаметр полости демпфера  $d_{\text{П}}$ .

По полученным средним значениям критерия оптимизации  $Y$  рассчитана математическая модель в виде уравнения регрессии второго порядка.

$$\bar{Y} = 23.64 + 1.75x_1 + 0.06x_2 + 6.84x_1x_2 + 5.78x_1^2 - 0.14x_2^2.$$

На рисунке 8 изображена поверхность, описываемая полученными нами уравнением регрессии.

Анализ экспериментальных графиков зависимостей давления рабочей жидкости от диаметра полости демпфера при различных диаметрах дроссельных отверстий показал, что при  $d_{\text{К}}=0$  минимальное давление рабочей жидкости получается при диаметре полости демпфера около 50 мм, при  $d_{\text{К}}=2$  мм минимальное давление рабочей жидкости получается, при диаметре полости демпфера около 47 мм, при  $d_{\text{К}}=4$  мм минимальное давление рабочей жидкости получается при диаметре полости демпфера около 30 мм, при  $d_{\text{К}}=6$  мм минимальное давление рабочей жидкости получается при диаметре полости демпфера около 20 мм.

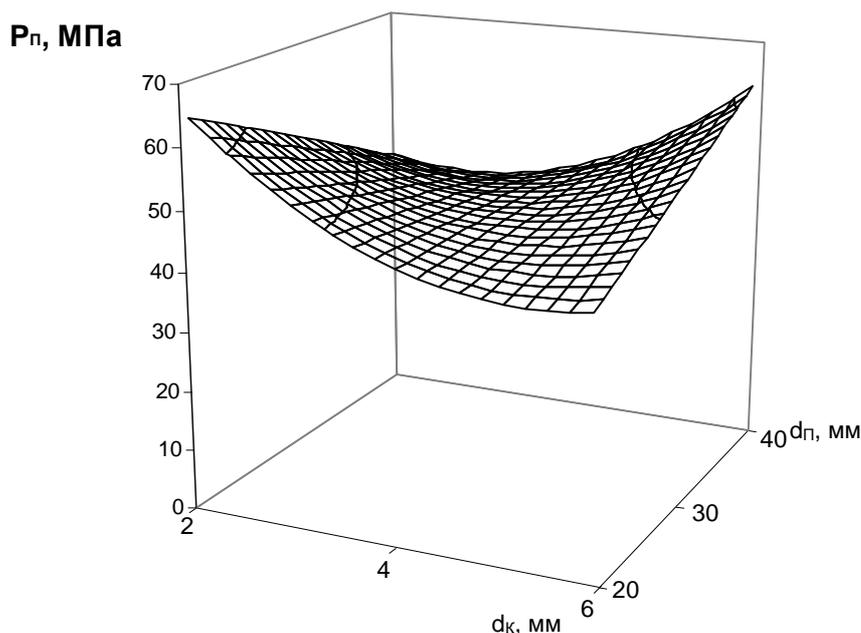


Рисунок 8 – Зависимость давления рабочей жидкости диаметров дроссельных отверстий  $d_k$  и плунжера демпфера  $d_p$

С учетом теоретической двухфакторной оптимизации оптимальными параметрами демпфера являются диаметр дроссельных отверстий равный 4 мм, а диаметр полости, соединенной с поршневой полостью гидроцилиндра, равный 30 мм.

Таким образом, найдены статистические характеристики режимов работы гидропривода манипулятора с учётом демпфера (среднее арифметическое значение максимального давления, меру рассеивания выходной величины относительно среднеарифметического, т.е. дисперсию, меру рассеивания отклонения в виде среднеквадратического отклонения, доверительную вероятность, коэффициент вариации); при помощи программы Statistica 7 построены гистограммы распределения давления, которые позволяют предварительно оценить нормальность эмпирического распределения. Для большей наглядности на гистограммы наложена кривая нормального распределения; оптимальными параметрами демпфера являются диаметр дроссельных отверстий равный 4 мм, а диаметр полости, соединенной с поршневой полостью гидроцилиндра,

равный 30 мм, что совпадает с теоретическими исследованиями.

### **Литература**

1. Пат. на полезную модель 89091 РФ , МПКВ 66 С 13/42. Гидропривод грузоподъемного механизма [Текст] / П. И. Попиков, Л. Д. Бухтояров, А. А. Сидоров ; заявитель и патентообладатель ВГЛТА . – № 2009119635/22 ; заявл. 25.05.2009 ; опубл.27.11.2009.
2. Сидоров, А. А. Моделирование работы гидропривода механизма подъема стрелы лесного манипулятора [Текст] / А. А. Сидоров, Л. Д. Бухтояров // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 10. – С. 112-115.
3. Попиков П. И. Математическое моделирование процессов в системе гидропривода лесных манипуляторов [Текст] / П. И. Попиков, П. И. Титов, А. А. Сидоров, С. В. Долженко, Д. В. Обоянцев // Научный журнал КубГАУ, №69(05), 2011 года