

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРОВ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ HONEYWELL СЕРИИ ML ОТ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ГИДРОИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ

Леонид Владимирович Городилов

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, доктор технических наук, заведующий лабораторией, тел. (383)205-30-30, доб. 118, e-mail: gor@misd.ru

Виталий Геннадьевич Кудрявцев

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, научный сотрудник, тел. (383)205-30-30, доб. 155, e-mail: vit22@mail.ru

Алексей Игоревич Першин

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, инженер, тел. (383)205-30-30, доб. 155, e-mail: a.ig.pershin@gmail.com

Представлена конструкция фильтра низкой частоты, включающего дроссель с калиброванным отверстием и фиксированный объем жидкости. Проведены его испытания при исследовании рабочих циклов гидроударного устройства. С применением датчика давления Kistler 6001 определены частотные характеристики фильтра с дросселями с диаметрами отверстий 0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.6 мм и выбраны их параметры, обеспечивающие защиту датчиков и необходимую точность измерений.

Ключевые слова: гидравлический фильтр, дроссель, давление, датчик, осциллограмма, частотная характеристика.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF LOW FREQUENCY FILTERS FOR PROTECTING HONEYWELL ML PRESSURE SENSORS FROM DYNAMIC LOADS IN STUDYING HYDROIMPULSE SYSTEMS

Leonid V. Gorodilov

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, D. Sc., Head of Laboratory of Impulse Systems Modeling, phone: (383)205-30-30, extension 118, e-mail: gor@misd.ru

Vitaly G. Kudryavtsev

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Researcher, phone: (383)205-30-30, extension 155, e-mail: vit22@mail.ru

Aleksei I. Pershin

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Engineer, phone: (383)205-30-30 extension 155, e-mail: pershin.aleksey.i@gmail.com

The design of a low-frequency hydraulic filter including a throttle with a calibrated hole and a fixed volume of liquid is presented. The filter was tested when studying the working cycles of a hydraulic impact device. Using Kistler 6001 pressure sensor, the frequency characteristics of the

filter with throttles having hole diameters of 0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.6 mm were determined and their parameters ensuring the protection of sensors and required measurement accuracy were selected.

Key words: hydraulic filter, throttle, pressure, sensor, oscillogram, frequency characteristic.

Введение

В гидроимпульсных системах как правило имеют место динамические процессы, вызываемые ударными взаимодействиями механических элементов и соединением каналов, находящихся под давлением (связанных с напорной остановкой) с камерами или каналами, находящимися без давления, приводящие к гидравлическим ударам. При исследовании динамики таких систем (для регистрации давлений в рабочих камерах) нами использовались датчики давления Honeywell серии ML. Оказалось, что даже при сравнительно небольших предупредительных скоростях бойка (до $\sim 3-4$ м/с) эти датчики быстро выходят из строя, что проявляется в постепенном смещении нуля (приходится при каждом измерении производить калибровку), вследствие чего происходит сужение диапазона измеряемого давления.

Отметим, что наблюдаемые в гидравлической системе средние значения давлений, как правило, не превышали половины рабочего диапазона используемых датчиков, и лишь на участках, перед которыми происходило ударное взаимодействие механических элементов или, соединении каналов, находящихся под давлением с каналами, находящимися без давления, приближались к верхнему пределу диапазона. По паспортным данным датчики Honeywell серии ML допускают 1.5-кратное превышение максимального давления. Способ присоединения датчиков к рабочим камерам на наш взгляд исключал то, что данное явление вызвано вибрацией корпуса ударного узла, так как датчики крепились к нему через гибкие рукава высокого давления длиной ~ 0.08 м, которые обеспечивали их демпфирование (рис. 1).



Рис. 1. Присоединение датчика к рабочей камере:

1 – ствол гидроударного устройства, 2,3 – штуцеры, 4 – рукав, 5 – датчик давления Honeywell серии ML

В связи с этим в [1] были разработаны устройство и методика испытаний датчиков Honeywell серии ML и протестированы его частотные характеристики. Также было исследовано влияние параметров макета фильтра низкой частоты, состоящего из дросселя и фиксированного объема жидкости между ним и датчиком, на его характеристики: постоянную времени спада τ_c и величину времени, в течение которого давление в объеме жидкости падало до $\frac{1}{4}$ от максимального значения.

Отметим, что характерная частота процесса (количество циклов в сек) не превышает величины $\sim 15-20$ Гц, следовательно, для достоверного отражения процесса в осциллограммах давления ($p-t$ – осциллограммах), необходимо обеспечить пропускание частот до $0.5-1.0$ кГц. Паспортное время ответа датчиков серии ML составляет 0.5 мс, что превышает верхнюю границу указанного частотного диапазона.

В настоящей работе приводится разработанная нами конструкция фильтра низкой частоты, методика его испытаний, а также представлены результаты испытаний и рекомендации по выбору параметров.

Конструкция фильтра и методика испытаний

На рис. 2 представлена конструкция фильтра, основными элементами которого являлись корпус 1 с резьбовыми соединениями 2, 3 для подключения к рукаву подачи жидкости и датчика и цилиндрический затвор 4 с радиальным отверстием, в который вставлялся дроссель 5 с калиброванным отверстием. В корпусе в канале между дросселем и датчиком предусмотрена полость 6, которая при работе заполнялась рабочей жидкостью. Винт 7 служит для выпуска воздуха, который остается в канале и полости 6 после сборки фильтра.

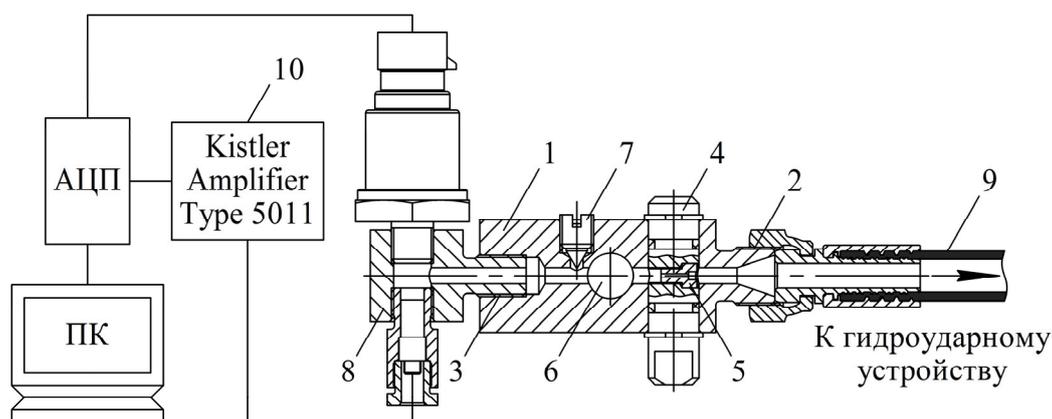


Рис. 2. Конструкция гидравлического фильтра и схема эксперимента:

- 1 – корпус, 4 – цилиндрический затвор, 5 – дроссель, 6 – жидкостная полость, 7 – винт для выпуска воздуха, 8 – тройник, 9 – рукав, 10 – усилитель заряда

При тестировании характеристик фильтра его присоединяли через резьбовое соединение 3 к тройнику 8 (рис. 2) с испытуемым и «эталонным» (Kistler 6001

с собственной частотой ~ 150 КГц и классом точности 0.3) датчиками давления и через резьбовое соединение 2 к штуцеру рукава 9. Рукав соединяли с камерой прямого хода гидроударного устройства (ГУ). Сигналы от датчиков поступали на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), их регистрация и анализ производилась на ПК в программе PowerGraph 3.3 [2]. Сигнал от датчика Kistler 6001 подавался на АЦП через усилитель заряда Kistler Charge Amplifier Type 5011.

На рис. 3 представлено окно программы PowerGraph 3.3 (1) с записанными при работе ГУ сигналами датчиков давления и перемещения бойка, а также окно Спектроанализатора (2) с выделенными каналами (вверху) и их амплитудно-частотными спектрами (внизу).

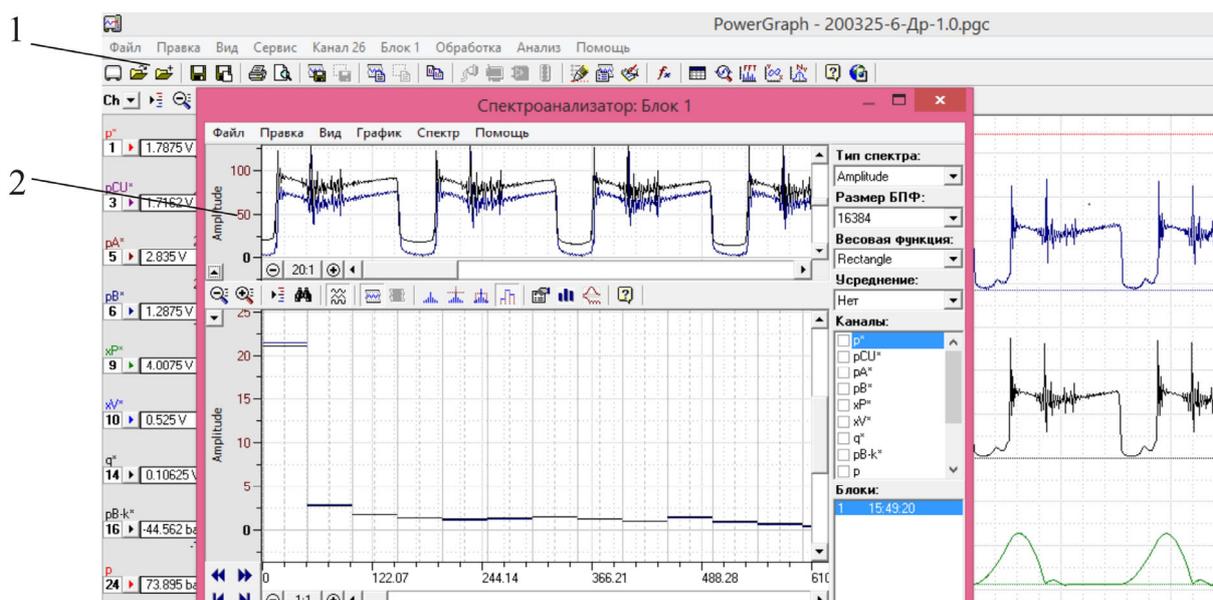
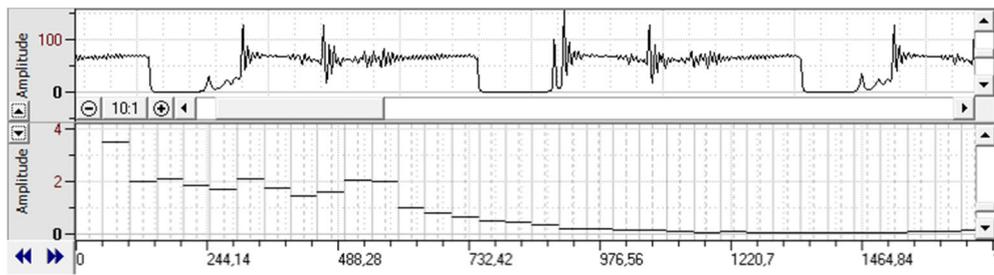


Рис. 3. 1 – окно программы Power Graph 3.3, 2 – окно Спектроанализатора (вверху – осциллографический дисплей, внизу – спектральный дисплей)

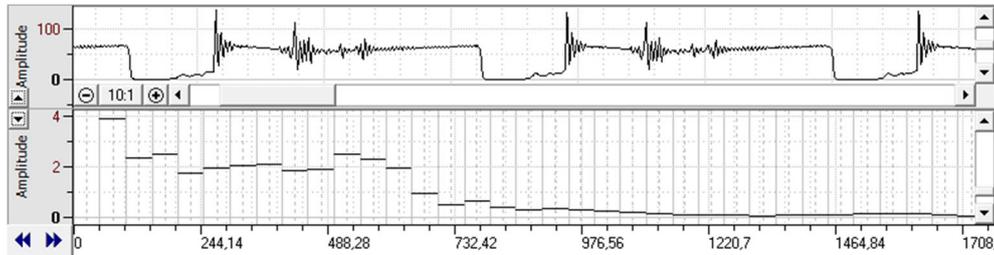
Результаты опытов и их обсуждение

Для тестирования разработанного фильтра и определения его параметров, обеспечивающих безотказную работу датчиков Honeywell серии ML, была проведена серия опытов с регистрацией сигналов датчиков давления при работе ГУ с дросселями с диаметрами отверстий 0.4, 0.5, 0.6, 1, 1.6 мм и с открытым входом. На рис 2а-г показаны сигналы от датчика Kistler 6001 и их амплитудно-частотные спектры при открытом входе и с дросселями 1.6, 1, 0.6 мм.

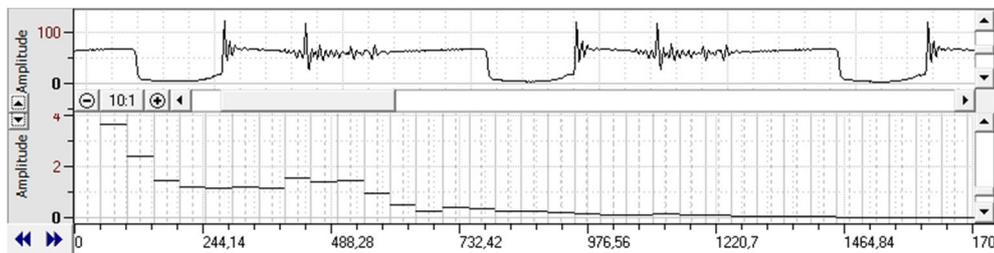
Визуально можно отметить существенное снижение максимальных значений давлений (очевидно высокочастотных пиков) при переходе от работы без дросселя и с дросселем диаметром 1.6 к дросселю диаметром 0.6 мм со ~ 150 до 60-70 атм. В амплитудно-частотных спектрах это приводит к тому, что при частотах 300-500 Гц амплитуды снижаются почти на порядок (с $\sim 1.6-2$ до $\sim 0.2-0.6$ единиц).



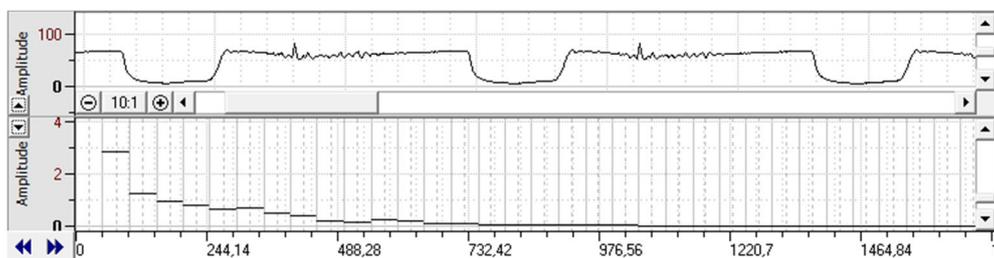
a)



б)



в)



г)

Рис. 4. Сигналы от датчика Kistler 6001 и их амплитудно-частотные спектры:
 а) при открытом входе; б)–г) – соответственно с дросселями 1.6, 1, 0.6 мм

На рис. 5, а–д представлены амплитудно-частотные характеристики гидравлического фильтра [3, 4], полученные обработкой полученных амплитудно-частотных характеристик сигналов при установленных дросселях и сравнением их с амплитудно-частотной характеристикой сигнала с открытым входом. Характеристики сигналов определяли по 10 рабочим циклам ГУ, перед обработкой производили нормирование сигналов по среднему за принятый период времени значению величины давления.

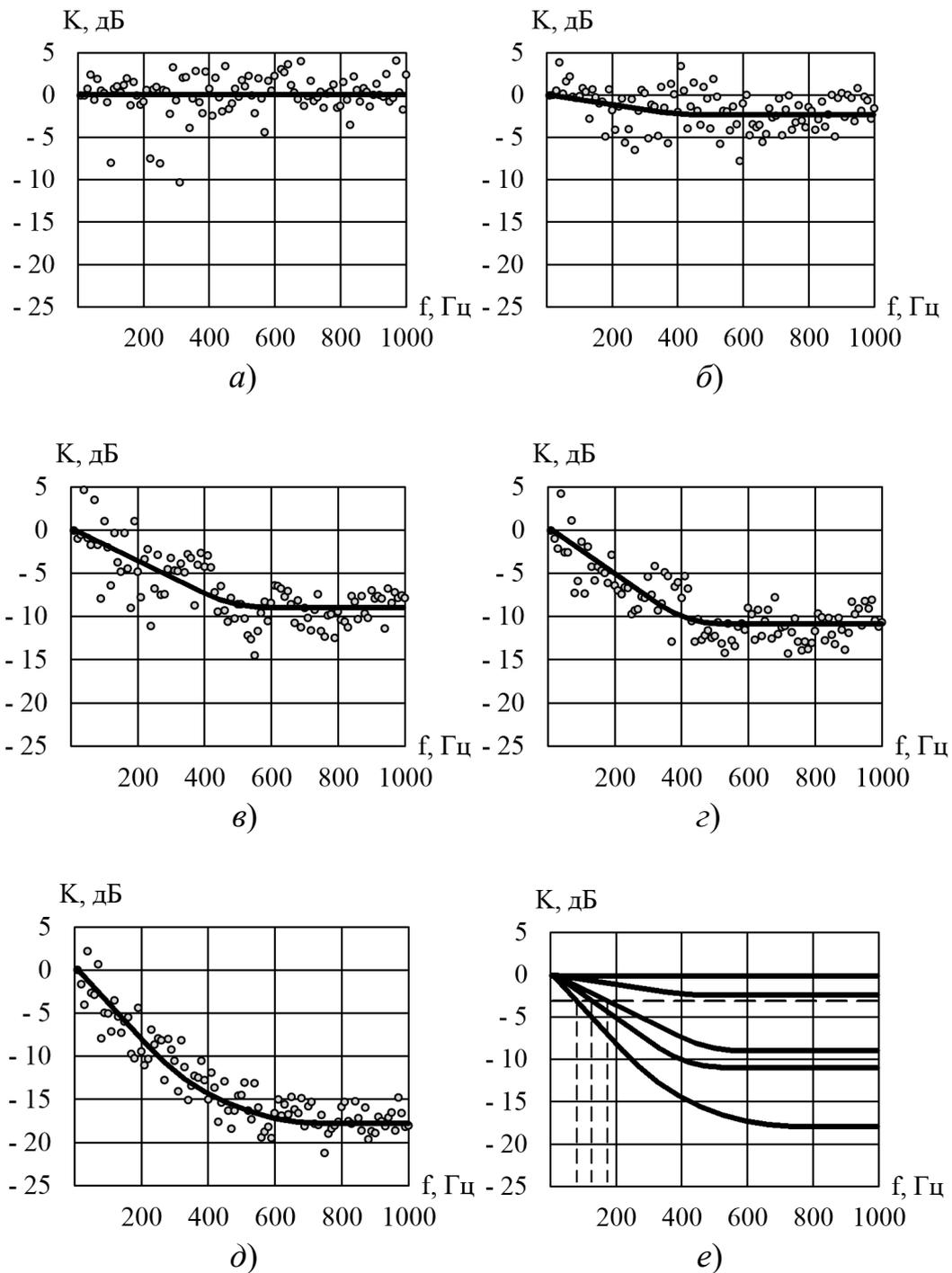


Рис. 5. Амплитудно-частотные характеристики гидравлического фильтра:
 а)–д) – соответственно с дросселями 1.6, 1.0, 0.6, 0.5, 0.4 мм; е) полоса пропускания

Как видно из полученных графиков срезание высокочастотной составляющей сигнала начинается при диаметре дросселя, меньшем 1.6 мм, однако при диаметре 1 мм ее снижение не превышает 3 дБ (~1.4 раз). Дальнейшее уменьшение диаметра приводит к существенному снижению сигнала, которое происходит в диапазоне до 500-600 Гц.

Заключение

В результате выполненных исследований определено влияние диаметра дросселя гидравлического фильтра на его амплитудно-частотную характеристику. Установлено, что при диаметре ~ 1 мм снижение амплитуды составляющих сигнал частот до 1000 Гц не превышает 3 дБ. Необходима проверка эффективности фильтра при длительной регистрации давления на работающем устройстве.

Работа выполнена в рамках проекта ФНИ № гос. регистрации АААА-А17-117122090003-2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Городилов Л.В., Ефимов В.П. Методика тестирования датчиков давления для исследования гидравлических импульсных систем // *Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды: тр. конф. с участием иностран. ученых (7-11 июля 2008 г., Новосибирск)*. Т. 2: *Машиноведение*. Новосибирск: Ин-т горного дела СО РАН, 2009. – С. 54–58.
2. Программное обеспечение «PowerGraph». Версия 3.3. Руководство пользователя. ООО «Интероптика-С». 2007. 60 с.
3. Бесекерский, В. А., Попов Е.П. *Теория систем автоматического регулирования*. – СПб: Профессия, 2003. 752 с.
4. Амплитудный спектр сигнала. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ). URL: <https://microtechnics.ru/amplitudnyj-spektr-signal-a-amplitudno-chastotnaya-karakteristika-achx/> [Electronic resource]. 2019.

© Л. В. Городилов, В. Г. Кудрявцев, А. И. Першин, 2020