

УДК 621.923.5

С.И. Осадчий, М.М. Подгаецкий, К.К. Щербина
S.I. Osadchy, M.M. Podgaetskiy, K.K. Scherbina

Кировоградский национальный технический университет, Украина
Kirovograd national technical university, Ukraine

**БЕЗЫНЕРЦИОННАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ
РАДИАЛЬНОГО РАЗМЕРА В ПРОЦЕССЕ
ХОНИНГОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ**

**WITHOUT INERTIA SYSTEM REGULATION
OF THE RADIAL SIZE IN THE COURSE
OF HONING**

Рассмотрена безынерционная система регулирования радиального размера в процессе хонингования отверстий, которая состоит из упругих звеньев. Для системы регулирования был проведен динамический анализ, получены переходная и логарифмическая амплитудно-частотные характеристики. На основании характеристик определено, что в системе в условиях переходного процесса отсутствует инерционность. Для подтверждения теоретических предположений была проведена серия экспериментальных исследований процесса регулирования радиального размера с использованием безынерционной системы. Было установлено, что в процессе регулирования присутствует гистерезис между характеристикой прироста и падения контактного давления в процессе обработки. Подтверждены теоретические предположения, с учетом того, что в дальнейшем будет использоваться дросселирующий распределитель с линейными характеристиками.

Ключевые слова: упруго-винтовой хон, система регулирования радиального размера, динамические характеристики, контактное давление, безынерционность.

In article it is considered without inertial system of regulation of the radial size in the course of a honing of openings which consists of elastic links. For without inertial system of regulation of the radial size the dynamic analysis was carried out. Behind results which were the transitional characteristic and diagram Bode is received. On the basis of the received characteristics it was defined that in system in the conditions of transient there is no inertial effect. For confirmation of the received theoretical assumptions a series of pilot studies of process of regulation of the radial size with use without inertial system was carried out. As a result of the conducted research it was established that in the course of regulation there is a hysteresis between the characteristic of a gain and falling of a contact pressure at processing. The caused results of a pilot study confirm theoretical assumptions taking into account that the throttling distributor with straight-line characteristics will be used further.

Keywords: cylindrical spiral spring hone, system of regulation of the radial size, dynamic characteristics, contact pressure, without inertial effect.

Большое влияние на качество и точность обрабатываемого отверстия при хонинговании деталей гидравлических машин имеет процесс регулирования радиального размера. Следует отметить, что обусловленный процесс происходит при относительно малых скоростях перемещений и малом времени их исполнения, т.е. функционирование осуществляется в условиях переходного режима в соответствии с исследованиями проф. В.Е. Пуша, Д.Н. Решетова [1, 2]. Функционирование систем регулирования радиального размера (СРРР) необходимо оценивать на основе динамических исследований.

Традиционные схемы СРРР имеют такой показатель, как инерционность в процессе функционирования в условиях переходного режима, что не дает возможности совершать точное автоматическое регулирование радиального размера. В нашей работе рассматриваются возможности создания безынерционных СРРР. Основными элементами таких систем являются упругие составляющие, которые дают возможность совершать точное регулирование в зоне малых перемещений в соответствии с работами проф. В.В. Бушуева и проф. Д.Н. Решетова [2, 3]. Также упругие составляющие имеют линейные статические и динамические характеристики. Как правило, такие элементы могут быть безынерционными и отвечать условиям точного регулирования радиального размера.

Теоретическое исследование функционирования системы. Рассмотрим конкретную СРРР на основе упруго-винтового хона (рис. 1, а) [4], которая состоит из упруго-винтового хона 1 (УВХ), который взаимодействует с оболочковой формой направленного действия 2, управление которой совершает дросселирующий гидрораспределитель 3. Для поддержания постоянного давления в гидравлической системе применяется аккумулятор 4, редукционный клапан 6 и дроссель 5.

СРРР будет работать следующим образом: при перемещении золотника дросселирующего гидрораспределителя x_3 изменяется величина объемной подачи рабочей жидкости, что в свою очередь приводит к увеличению гидростатического давления во внутренней полости оболочковой формы направленного действия. Все это приводит к деформации дна оболочковой формы направленного действия в осевом направлении, что вызывает осевую деформацию упруго-винтового хона и увеличение радиального размера. Для поддержания постоянного давления во внутренней полости оболочковой формы направленного действия и уменьшения энергетических затрат на поддержание обусловленного давления применяется гидравлический аккумулятор.

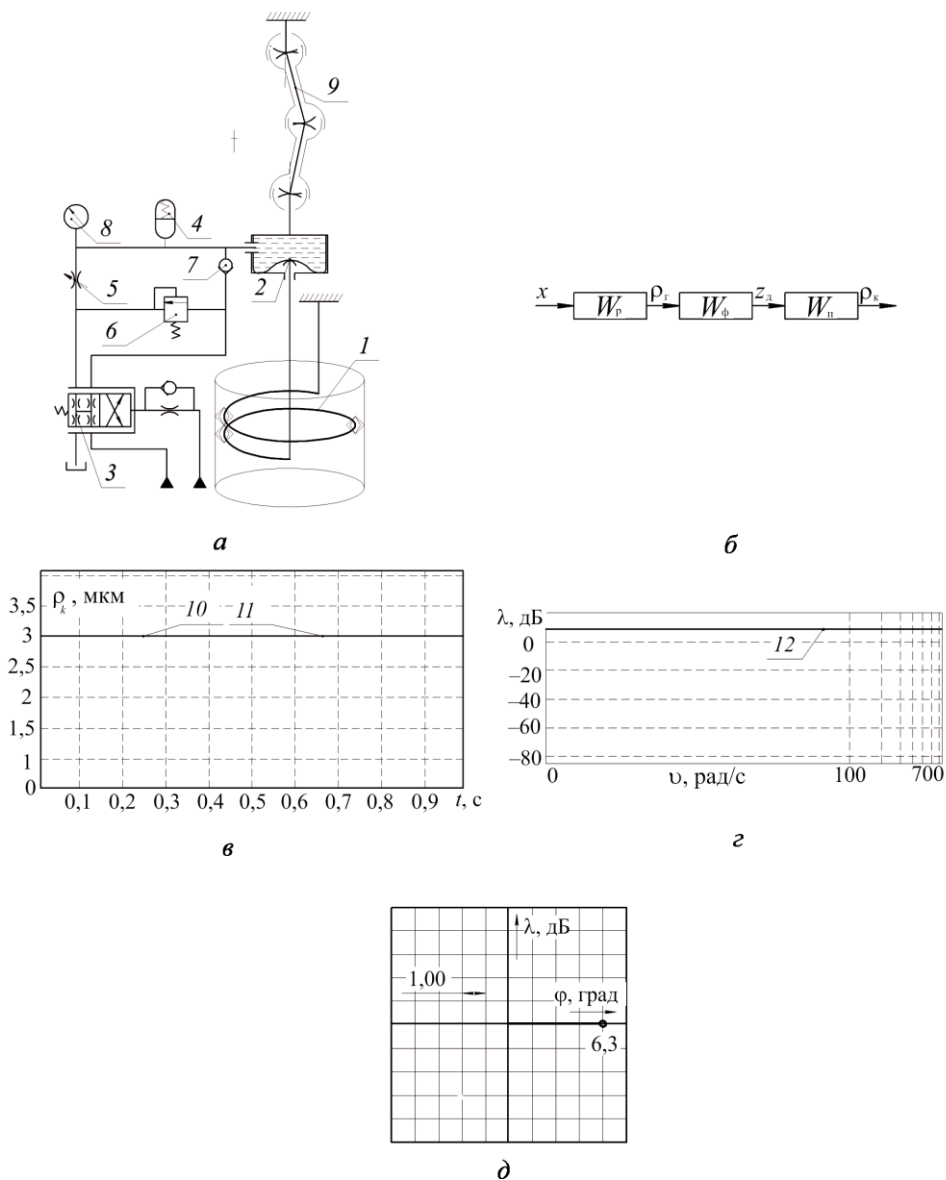


Рис. 1. Безынерционная CPPP на основе упруго-винтового хона и характеристики переходного процесса: *а* – конструктивная схема; *б* – структурная схема; *в* – переходная характеристика; *г* – логарифмические частотные характеристики; *д* – амплитудно-фазовая частотная характеристика; 1 – УВХ; 2 – оболочковая форма направленного действия; 3 – дросселирующий распределитель; 4 – гидравлический аккумулятор; 5 – дроссель; 6 – редукционный клапан; 7 – обратный клапан; 8 – манометр; 9 – шарнирная подвеска; 10 – переходная характеристика входной величины $x_3 = f(t)$; 11 – переходная характеристика исходящей величины $\rho_k = f(t)$; 12 – логарифмическая амплитудно-фазовая характеристика

Исследование динамических характеристик СРРР на основе УВХ будем проводить в соответствии с теорией автоматического управления [5]. Определим уравнение передаточной функции СРРР в динамике. Для этого построим структурную схему (рис. 1, б).

СРРР на основе УВХ в динамике характеризуется передаточной функцией

$$W = W_p W_\phi W_n,$$

где W_p – передаточная функция дросселирующего распределителя; W_ϕ – передаточная функция оболочковой формы направленного действия; W_n – передаточная функция упруго-винтового хона.

Определим значение передаточных функций звеньев СРРР на основе УВХ. Передаточная функция дросселирующего распределителя определяется по следующему оператору:

$$W_n = \frac{\rho_r}{x_3} = F_i (r + r_i) \sqrt{\frac{\rho_d}{\gamma}},$$

где ρ_r – изображение Лапласа исходящего действия «гидростатическое давление», МПа; x_3 – изображение Лапласа входящего действия «перемещение золотника дросселирующего распределителя», мм; F_i – длина образующей дросселирующей щели, мм; ρ_d – падение давление, МПа; γ – вязкость жидкости, Ст; r – радиус корпуса распределителя, мм; r_i – радиус i -й образующей усеченного конуса, мм.

Оболочковая форма направленного действия характеризуется следующей передаточной функцией в динамике:

$$W_\phi = \frac{z_d}{\rho_r} = \frac{U_d [1 - \vartheta]}{2Eh},$$

где E – модуль упругости материала, МПа; ν – коэффициент Пуассона; h – толщина стенки дна оболочковой формы направленного действия, мм; U_d – площадь дна оболочковой формы направленного действия, мм²; z_d – изображение Лапласа исходящего действия величина деформации дна, мм.

Упруго-винтовой хон характеризуется следующей передаточной функцией в динамике:

$$W = \frac{\rho_k}{z_d} = \frac{\sigma a^4 \left(\sin \alpha + \frac{\cos \alpha^2}{2 \sin \alpha} \right)}{\delta d^3 i U_\Sigma},$$

где ρ_k – изображение Лапласа исходящего действия контактное давление на обрабатываемую поверхность, МПа; σ – модуль сдвига, МПа; a – толщина

сечения прямоугольной формы, мм; δ – коэффициент жесткости; d – диаметр УВХ, мм; α – угол подъема винтовой линии УВХ, °С; U_{Σ} – общая площадь резания, мм²; i – количество витков УВХ, шт.

В полученное операторы передаточной функции подставим значение передаточных функций составляющих звеньев СРРР на основе УВХ:

$$W = \frac{p_k}{x_3} = \frac{\sigma a^4 \left(\sin \alpha + \frac{\cos \alpha^2}{2 \sin \alpha} \right) U_{\Sigma} [1 - \vartheta]}{\delta d^3 i U_{\Sigma}} \frac{U_{\Sigma} [1 - \vartheta]}{2 E h} F_i(r + r_i) \sqrt{\frac{\rho_d}{\gamma}}.$$

Полученная передаточная функция позволяет построить переходную характеристику (рис. 1, е), логарифмические частотные характеристики (рис. 1, з) СРРР с помощью программного продукта MATLAB.

Переходная характеристика СРРР на основе УВХ указывает на отсутствие инерционности в процессе регуляции радиального размера, что позволяет максимально точно руководить обусловленным процессом.

Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика указывает на постоянство процесса функционирования СРРР на основе УВХ, что в свою очередь подтверждает и амплитудно-фазовая частотная характеристика (рис. 1, д).

Экспериментальная проверка теоретических предположений. Проверка теоретических предположений проходила в один этап, а именно будет определяться величина контактного давления, создаваемая СРРР, на обрабатываемую поверхность. Исследование проводилось на специальной экспериментальной установке, которая создана на основе вертикально-сверлильного станка 2Н135 (рис. 2).

Экспериментальная установка состоит из СРРР на основе УВХ 1, гидронасоса 3, манометра 4, дросселя 5, оболочковой формы направленного действия 7, УВХ 8, толкателя 9 и обрабатываемой детали 6. Установка работает следующим образом: гидравлический насос 3 подает рабочую жидкость через напорную магистраль 2 во внутреннюю полость оболочковой формы направленного действия 7, в которой образуется гидростатическое давление $p_{гст}$. Обусловленное давление создает силу для деформации дна оболочковой формы направленного действия 7, которое перемещает толкатель 9, который в свою очередь действует на УВХ 8. В результате этого УВХ 8 деформируется в радиальном направлении, что приводит к созданию контактного давления p_k на поверхность обрабатываемой детали 6. Регулирование гидростатического давления осуществляется дросселем 5.

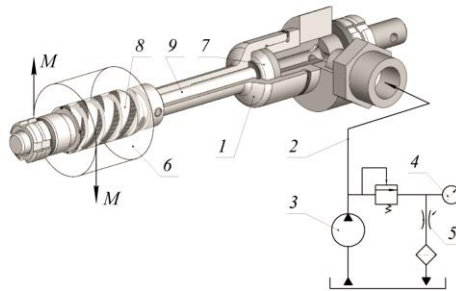
Измерение момента сдвига для дальнейшего определения контактного давления проводилось при помощи динамометрических весов ДПУ (ДРВ) – 2К ГОСТ 13837–68. Контактное давление p_k рассчитывается по уравнению

$$\rho_k = \frac{M}{rf_y U_\Sigma},$$

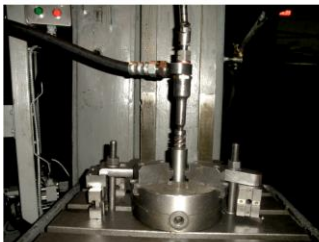
где M – момент сдвига, Н·мм; r – радиус рычага, через который действует динамометрические весы, мм; f_y – коэффициент трения-царапания УВХ; U_Σ – общая площадь контакте УВХ с обрабатываемой поверхностью, мм².



a



б



в



г

Рис. 2. Экспериментальная установка диагностирования гидростатических характеристик УВХ: *a* – наладка хонинговальной системы; *б* – схема тарирования значения гидростатического давления $\rho_{гст}$ от необходимого значения контактного давления ρ_k в сопряжении хон – отверстие; *в* – зона обработки; *г* – внешний вид СРРР на основе УВХ; 1 – СРРР на основе УВХ; 2 – напорная магистраль; 3 – насос; 4 – манометр; 5 – дроссель; 6 – обрабатываемая деталь; 7 – оболочковая форма направленного действия; 8 – УВХ; 9 – толкатель взаимодействия оболочковой формы направленного действия и УВХ

Параметром оптимизации является величина гистерезиса между входным и выходным сигналом.

В результате эксперимента была получена зависимость контактного давления от гидростатического в полости оболочковой формы направленного действия (рис. 3).

Сравним показатели СРРР на базе УВХ и традиционные схемы (таблица).

СРРР на основе УВХ и традиционные конструкции

Показатель		Традиционные конструкции		СРРР на основе УВХ [4]
		Электромеханическая СРРР [6]	Гидравлическая СРРР [6]	
Составляющие элементы [6]	Привод	Шаговый двигатель	Гидронасос с системой управления	
	Передающее звено 1-го порядка	Зубчатая, винтовая передача	Гидроцилиндр с распределителем	Оболочковая форма направленного действия с дросселирующим распределителем
	Передающее звено 2-го порядка	Комплект промежуточных толкателей		Отсутствует, так как перемещение происходит потоком рабочей жидкости
	Конечное звено (передаточное отношение)	Хон в виде конуса, который взаимодействует с комплектом алмазно-абразивных брусков ($i = 0,17...0,26$)		УВХ ($i = 0,07...0,46$)
Динамическая составляющая ошибки, которая возникает по причине инерционности [4]		В процентах от номинального значения входящего сигнала		Отсутствует вследствие безынерционности системы
		~ 35 %	~ 65 %	
Кинематическая составляющая ошибки, которая возникает вследствие наклона промежуточных толкателей		В процентах от номинального значения входящего сигнала ~ 10 %		Отсутствует, так как перемещение происходит потоком рабочей жидкости
Возможность обратного движения		Ограничена		Без сложностей за счет обратной упругости
Мощность, кВт		1,0 [7]		0,71*
Возможность автоматического регулирования		Диаметр отверстия, при котором возможно регулирование		
		35 мм [7]		10 мм

* По фактическим измерениям затрат мощности на электрическом двигателе привода гидронасоса.

Таким образом, в результате динамического анализа СРРР на основе УВХ установлено, что в условиях переходного процесса отсутствует инерционность, что дает возможность максимально точно совершать регулирование.

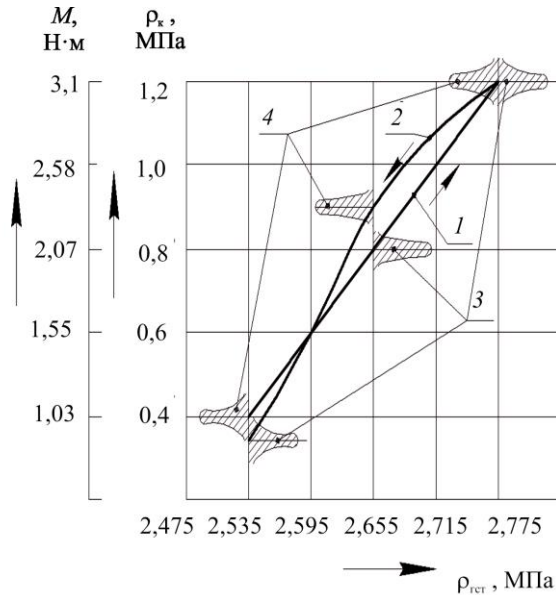


Рис. 3. Зависимость контактного давления ρ_k от гидростатического давления $\rho_{гст}$ в полости оболочковой формы направленного действия: 1 – ветка подъема $\rho_{гст}$; 2 – ветка падения $\rho_{гст}$; 3, 4 – поле рассеивания значения ρ_k , (3 – на ветке подъема, 4 – на ветке падения $\rho_{гст}$); M – момент сдвига, принятый для расчета контактного давления ρ_k

СРРР на основе УВХ исключает функцию шарнира как элемента передачи движения для регулирования радиального размера. Также имеется возможность автоматического регулирования радиального размера начиная с диаметра 10 мм и возможность обратного действия.

Гистерезис между линиями графика, которые описывают рост и падение контактного давления в пределах значения 0,1 МПа, возможно избежать, например, введением обратной связи в систему гидростатической регулирования радиального размера или путем использования дросселирующего распределителя с линейными статическими характеристиками.

Список литературы

1. Пуш В.Е. Малые перемещения в станках. – М.: Машигиз, 1961. – 123 с.
2. Бушуев В.В. Основы конструирования станков. – М.: Станкин, 1992. –
3. Решетов Д.Н. Детали и механизмы металлорежущих станков: в 2 т. – М.: Машиностроение, 1972. – Т. 2. – 520 с.
4. Пат. України UA 101565. Інструмент для алмазної або абразивної обробки отворів. – 10.04.2013, Бюл. № 7.
5. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.

6. Хонингование. Справочное пособие / С.И. Куликов, В.А. Романчук, Ф.Ф. Ризванов, Ю.М. Евсеев. – М.: Машиностроение, 1973. – 168 с.

7. Каталог фирмы Sunnen [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.sunnen.com/honing-catalogs> (дата обращения: 2.12.2013).

Получено 6.02.2014

Осадчий Сергей Иванович – доктор технических наук, профессор, Кировоградский национальный технический университет (25006, г. Кировоград, пр. Университетский, 8, e-mail: srg2005@ukr.net).

Подгаецкий Михаил Матвеевич – кандидат технических наук, доцент, Кировоградский национальный технический университет (25006, г. Кировоград, пр. Университетский, 8, e-mail: kir2912s@yandex.ru).

Щербина Кирилл Константинович – ассистент, Кировоградский национальный технический университет (25006, г. Кировоград, пр. Университетский, 8).

Osadchy Sergey Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kirovograd National Technical University (25006, Kirovograd, Universitetsky av., 8, e-mail: srg2005@ukr.net).

Podgaetskiy Michael Matveevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kirovograd National Technical University (25006, Kirovograd, Universitetsky av., 8, e-mail: kir2912s@yandex.ru).

Sherbina Kirill Konstantinovich – Assistant, Kirovograd National Technical University (25006, Kirovograd, Universitetsky av., 8).