

УДК 621.01:534

Экспериментальные исследования самонастраивающегося гидравлического демпфирующего устройства двухстороннего действия

Нгуен Мань Дык^а, Н.К. Кузнецов^б

Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет, ул. Лермонтова 83, Иркутск, Россия

^аDuchien19811989angs@gmail.com, ^бknik@istu.edu

Статья поступила 16.05.2013, принята 2.08.2013

Обеспечение высокого быстродействия и точности позиционирования исполнительных механизмов в условиях изменений масс и скоростей движения является актуальной проблемой создания мехатронных систем с цикловыми системами управления. В настоящее время она решается путем создания гидравлических демпфирующих устройств, обеспечивающих снижение скоростей движения перед позиционированием. Недостатком существующих устройств является необходимость ручной настройки при изменениях нагрузок и скоростей движения и обеспечение торможения лишь в одном направлении. Эффективным средством решения этой проблемы является использование самонастраивающихся гидравлических демпфирующих устройств двухстороннего действия, обладающих свойством самонастройки при изменениях масс и скоростей движения исполнительных механизмов и обеспечивающих торможение в двух направлениях. В статье излагаются результаты экспериментальных исследований опытного макета самонастраивающегося гидравлического демпфирующего устройства двухстороннего действия, предназначенного для использования в промышленном роботе модели МП-9С. Даются выбор современной измерительной аппаратуры, описание экспериментальной установки, методики проведения исследований и анализ их результатов. Экспериментальные исследования подтвердили результаты теоретических расчетов и показали работоспособность и высокую эффективность использования предложенного демпфирующего устройства. Одновременно использование предложенных демпфирующих устройств позволит повысить динамическую точность, быстродействие и надежность работы этих мехатронных систем.

Ключевые слова: макет гидравлического демпфера, методика проведения эксперимента, результаты экспериментальных исследований.

Experimental research of self-adjusting double-acting hydraulic damping device

Nguyen Manh Duc^а, N.K. Kuznetsov^б

National Research Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov st., Irkutsk, Russia

^аDuchien19811989angs@gmail.com, ^бknik@istu.edu

Received 16.05.2013, accepted 2.08.2013

Providing high speed and accuracy of the actuators positioning under the conditions of changing masses and motion speed is an urgent problem for developing mechatronic systems with interlocking systems. At present, it is solved by developing hydraulic damping devices, which provide speed reduction prior the positioning. The disadvantage of the existing devices is the necessity for manual adjustment according to the changes in loads and motion speed and providing just one-way braking. The effective means of solving this problem is to use a self-adjusting double action hydraulic dampers offering bootstrapping under the conditions of changing masses and motion speed of the actuators and providing braking in both directions. The article presents the results of experimental research of the experimental model of a self-adjusting double-acting hydraulic damping device to use it in the industrial robot MP-9S. The choice of modern measuring equipment, the experimental apparatus description, the research procedure and the results analysis are given in the article. The experimental studies have confirmed the results of theoretical calculations and demonstrated performance and high efficiency of the proposed damping device. At the same time, the use of the proposed damping devices will improve the dynamic accuracy, operation speed and reliability of these mechatronic systems.

Keywords: hydraulic damper model, experimental technique, experimental studies results.

Введение. Актуальной проблемой создания мехатронных систем является обеспечение высокого быстродействия и точности исполнительных механизмов [1]. Эффективным средством торможения исполнительных механизмов мехатронных систем с цикловыми системами управления в условиях изменений масс и скоростей

движения является использование самонастраивающихся гидравлических демпфирующих устройств [2]. В работах [3, 4] представлена математическая модель и определены основные конструктивные параметры самонастраивающихся гидравлических демпферов двухстороннего действия. С целью экспериментальной проверки

эффективности был спроектирован и изготовлен опытный образец самонастраивающегося гидравлического демпфирующего устройства для пневматического промышленного робота модели МП-9С [5]. В настоящей статье излагаются результаты экспериментальных исследований этого демпфирующего устройства.

Описание экспериментальной установки. Проверка эффективности работы самонастраивающегося гидравлического демпфирующего устройства проводилась на серийном роботе МП-9С. Этот робот работает в цилиндрической системе координат и имеет три переносных степени подвижности, движения по которым осуществляются пневмомеханическими приводами. Грузоподъемность робота составляет 2 Н , погрешность позиционирования – $\pm 0,05 \cdot 10^{-3}\text{ м}$, а максимальная скорость линейных перемещений – $0,3\text{ м/с}$. Величины перемещений устанавливаются с помощью передвижных упоров, а скорости движения регулируются дросселями. Торможение руки обеспечивается регулируемыми гидравлическими демпферами двухстороннего действия. Общая схема экспериментальной установки показана на рис. 1.

Исследования процессов позиционирования выполнялись в направлении координаты q_{*1} руки 1. Величины перемещений по этой координате определяются передвижными упорами 2 и 9. Экспериментальный образец самонастраивающегося гидравлического демпфирующего устройства 5 крепился к руке робота с помощью кронштейна 4, а его штоки 3 и 6 при движениях в прямом и обратном направлениях взаимодействовали соответственно с упорами 2 и 9. Колебания руки робота в момент торможения на жестком упоре, фиксировались с помощью отражающей площадки 10, закрепленной в схвате 7 робота. В качестве груза 8 использовались сменные стальные цилиндры различной массы.

Измерение скоростей колебательных движений руки в процессе торможения осуществлялось с помощью дальнометричного лазерного виброметра модели установленного на расстоянии $L = 5\text{ м}$. В этом вибро-

метре реализованы современные технологии лазерных измерений и регистрации колебательных процессов на микроуровне, что позволяет проводить испытания как стационарных, так и подвижных объектов. Отраженный от площадки 10 сигнал попадал на сенсорную головку 11, затем контроллер 12, связанный видеокабелем 13 посредством платы 14 с персональным компьютером 15, в котором и анализировался с помощью специальной программы.

Методика проведения экспериментальных исследований. В процессе эксперимента исследовалась интенсивность и продолжительность колебательных процессов, возникающих в процессах позиционирования как с помощью ненастраиваемого «штатного», так и опытного образцов гидравлических демпфирующих устройств в зависимости от нагрузки и скорости движения руки. Исследования осуществлялись путем измерения скоростей колебательных движений в прямом и обратном направлениях перемещения руки при различных значениях массы перемещаемого груза и скоростей движения.

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с известными рекомендациями по планированию и проведению эксперимента. Число необходимых замеров определялось по заданной доверительной вероятности измерений. Проведению экспериментальных исследований предшествовало составление программы испытаний, в которой указывались: последовательность замеров, величины грузов и скоростей и направления движения руки. Непосредственно перед измерениями проводилась тщательная установка виброметра и контрольная тарировка измерительного тракта. Запись параметров скоростей колебаний осуществлялась только в момент позиционирования при движении в двух противоположных направлениях. Полученные результаты экспериментальных исследований обрабатывались методами математической статистики.

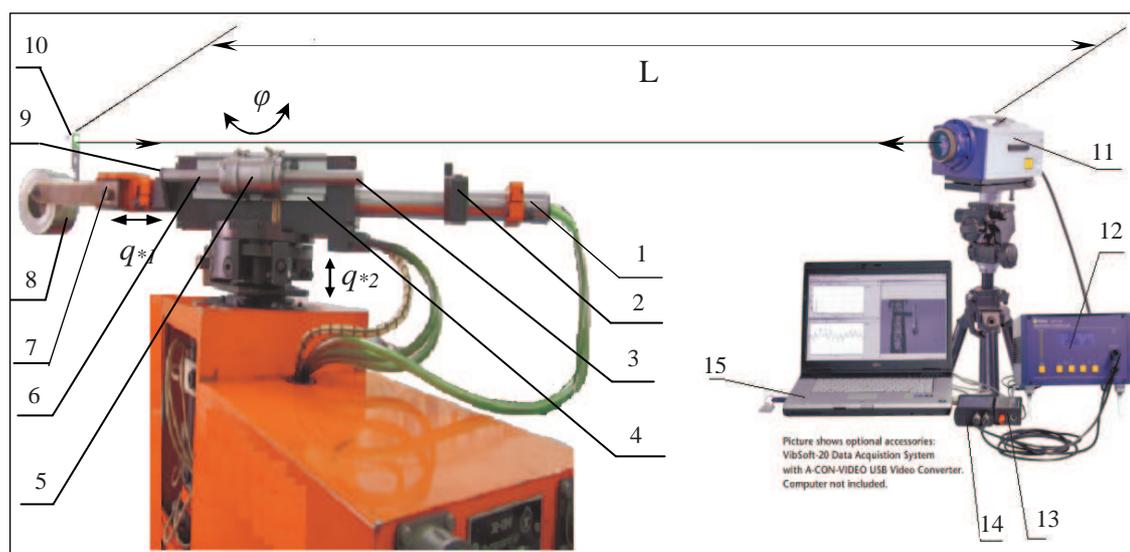


Рис. 1. Общая схема экспериментальной установки: 1 – рука робота; 2, 9 – передвижные упоры; 3, 6 – штоки демпфера; 4 – кронштейн; 5 – гидравлический демпфер; 7 – схват робота; 8 – груз; 10 – отражающая площадка; 11 – сенсорная головка RSV-I-150; 12 – контроллер RSV-E-150; 13 – видеокабель BNC – RCA; 14 – плата преобразователя RSV-A-160; 15 – компьютер

Анализ результатов исследований. Исследовано двенадцать вариантов позиционирования руки робота, соответствующих различным грузам: без груза; $M_2 = 0,0128$ и $M_{max} = 0,0426$ кг и двум различным скоростям: $V_{min} = 0,05$ м/с и $V_{max} = 0,3$ м/с. Проведенные исследования показали, что опытный образец гидравлического демпфирующего устройства (ОДУ) обладает большей эффективностью по сравнению с ненастраиваемым «штатным» демпфером. Он позволил обеспечить меньшие амплитуды скоростей и продолжительность колебательных движений руки робота при позиционировании как в прямом, так и обратном направлениях движения.

В качестве иллюстрации, на рис. 2–7 приведены графики изменения скорости колебаний руки при позиционировании в прямом направлении с помощью «штатного» (а) и опытного (б) образцов демпфиру-

ющих устройств. Эти графики были получены соответственно: рис. 2 – при минимальной скорости движения руки без груза; рис. 3 – при минимальной скорости движения и грузе M_2 ; рис. 4 – при минимальной скорости движения и максимальном грузе; рис. 5 – при максимальной скорости движения руки без груза; рис. 6 – при максимальной скорости движения и грузе M_2 ; рис. 7 – при максимальной скорости движения и максимальном грузе.

Как видно из графиков, показанных на рис. 2, при позиционировании руки без груза с минимальной скоростью $V_{min} = 0,05$ мм/с величина размаха скорости колебаний в момент удара об упор со штатным демпфером составила 180 мм/с, с ОДУ — 160 мм/с, а полная продолжительность колебаний соответственно 0,48 и 0,37 с.

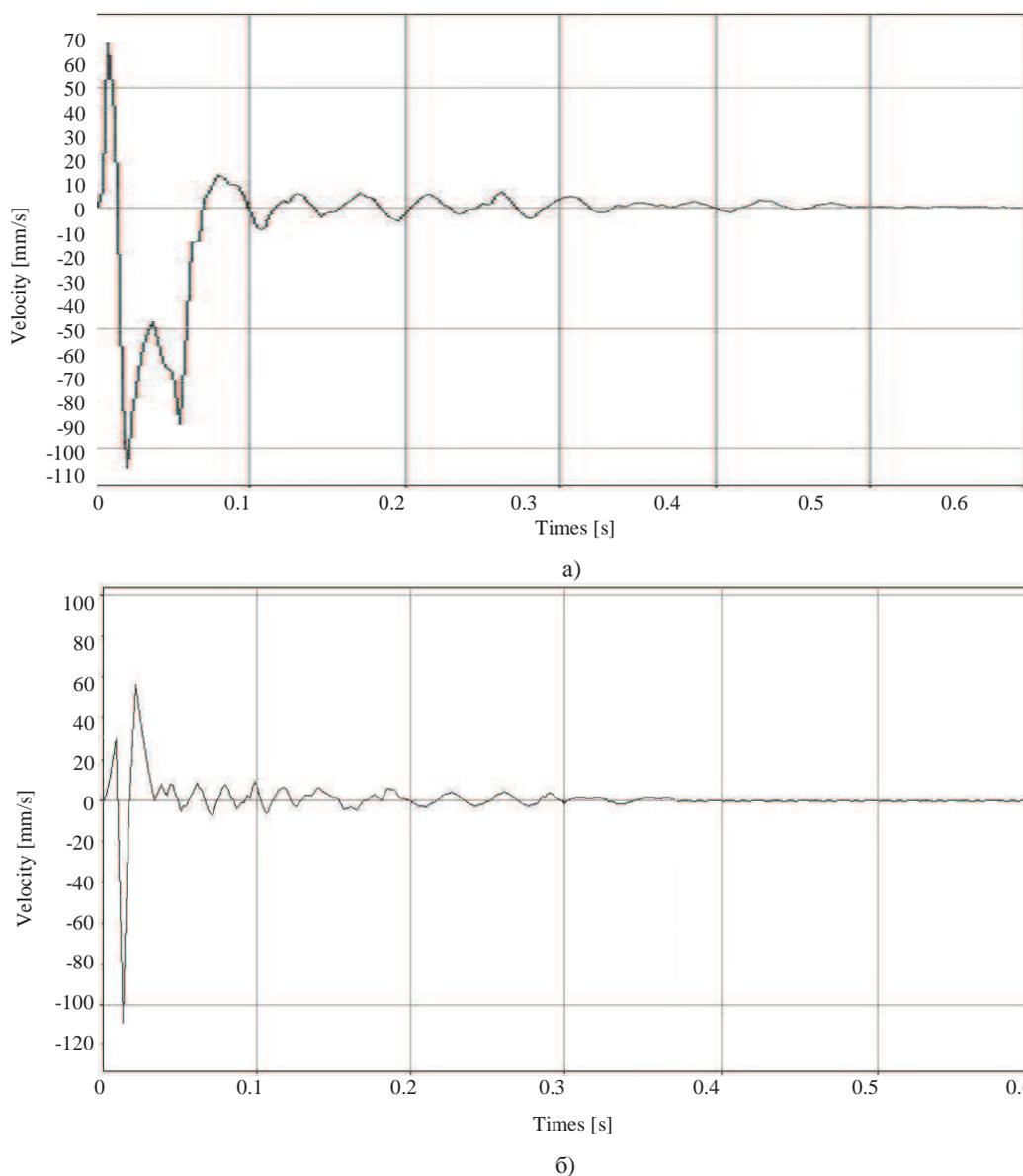
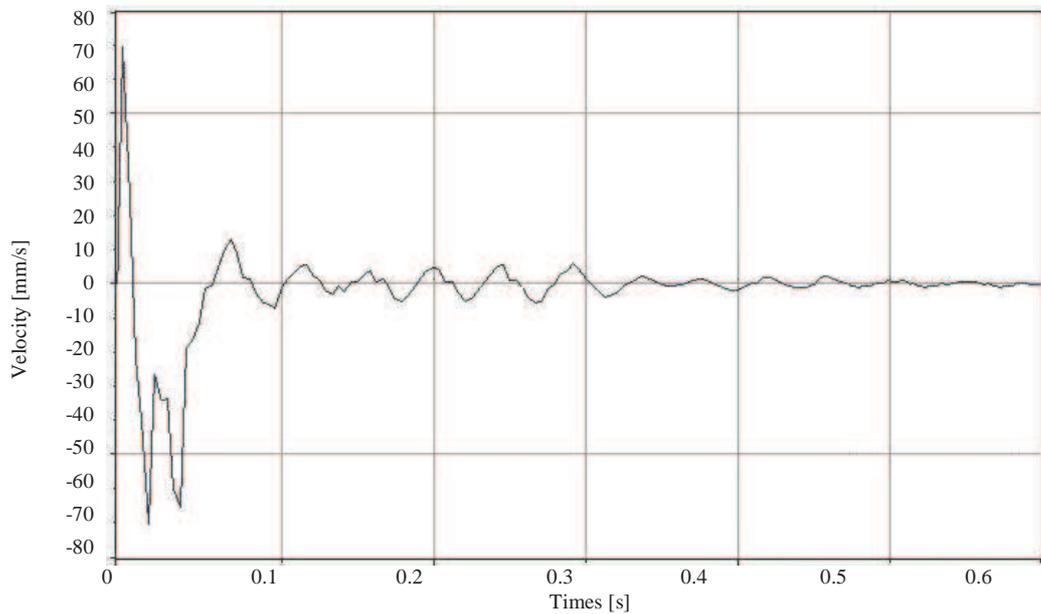


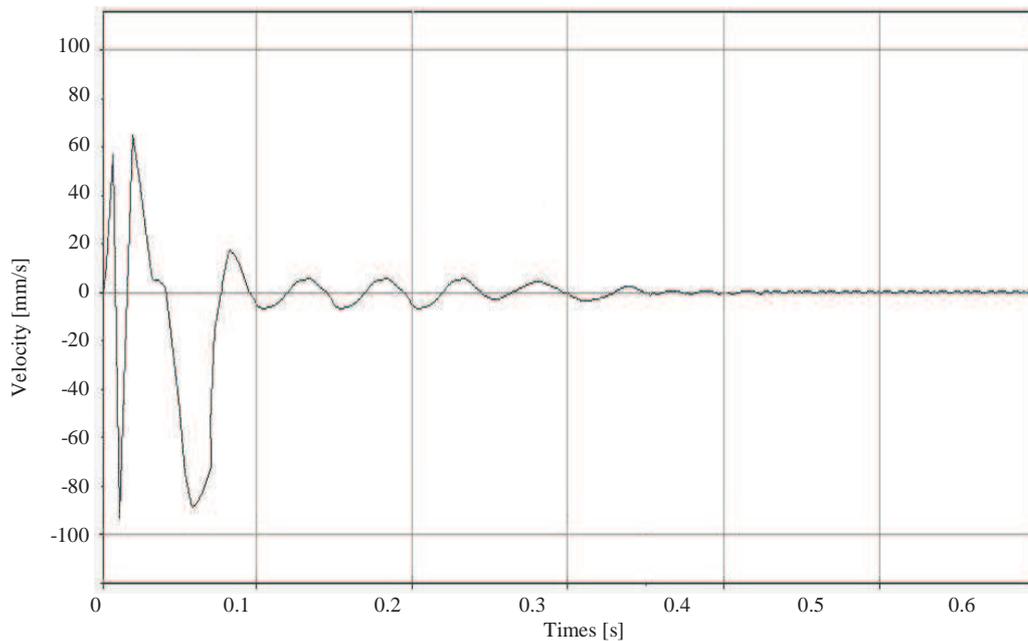
Рис. 2. Скорости колебаний схвата робота без груза при V_{min}

Установка груза массой $M_2 = 0,0128$ кг при той же скорости движения привела, согласно рис. 3 к снижению размахов скоростей колебаний в момент удара

руки об упор со штатным демпфером до 140 мм/с, а с ОДУ — до 150 мм/с. При этом продолжительность колебаний составила соответственно $0,46$ и $0,35$ с.



a)

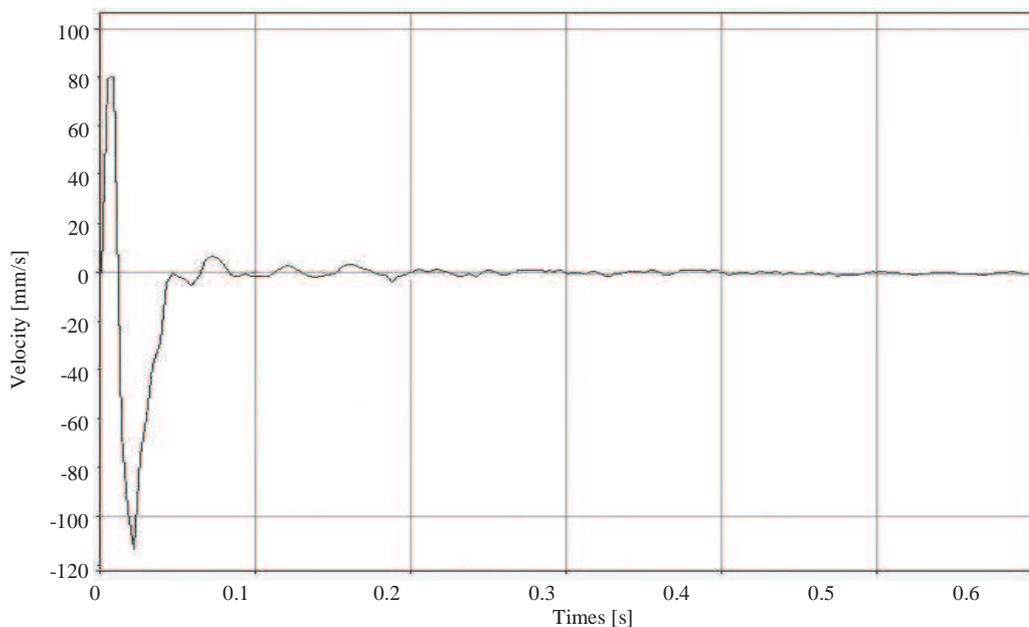


б)

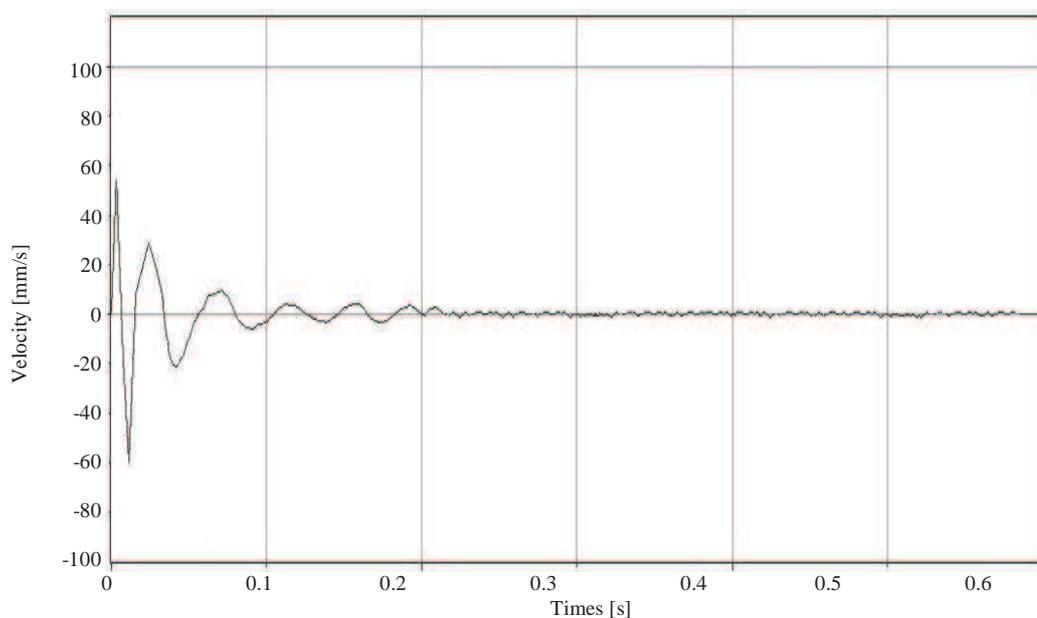
Рис. 3. Скорости колебаний схвата робота с грузом M_2 при V_{min}

Увеличение массы переносимого груза до значения $M_{max} = 0,0426$ кг, как видно из рис. 4, а, привело к увеличению размаха скорости колебаний руки робота со штатным демпфером до 190 мм/с и снижению

времени затухания до $0,27$ с. В то же время размах виброскорости в момент удара об упор руки с ОДУ уменьшился до 120 мм/с, а продолжительность колебаний — до $0,22$ с (см. рис. 4, б).



а)

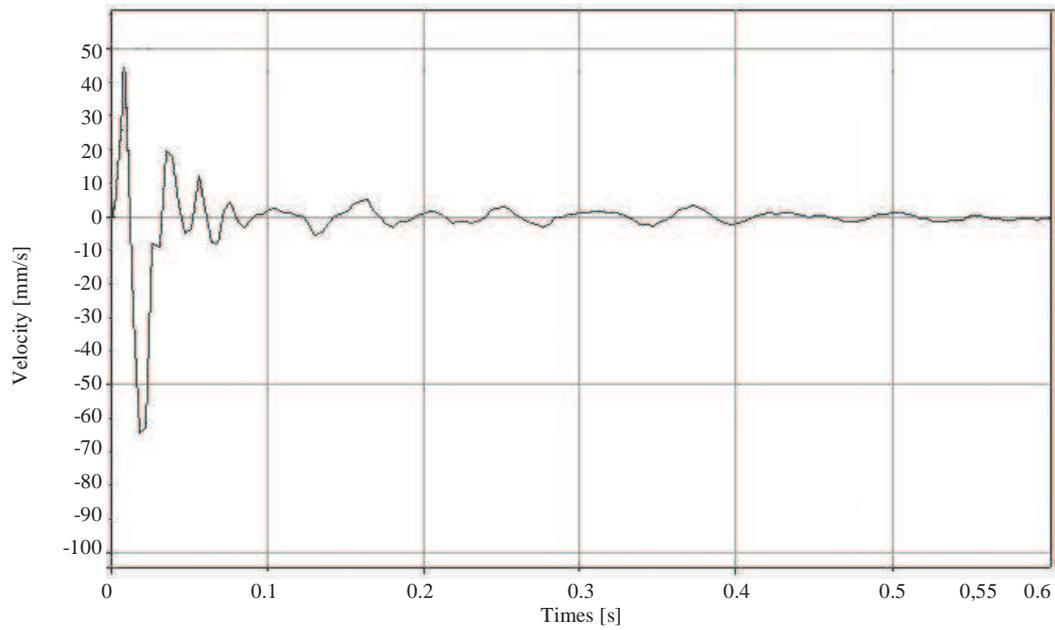


б)

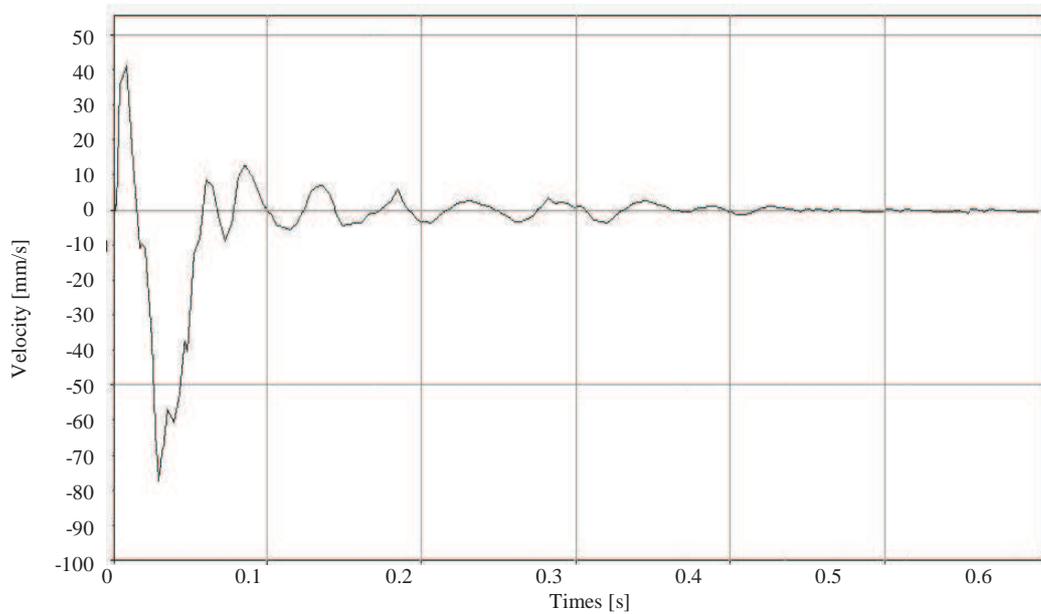
Рис. 4. Скорости колебаний схвата робота с грузом M_{max} при V_{min}

Эффективность ОДУ сохранилась и при увеличении скорости движения руки до $V_{max} = 0,3 \text{ м/с}$. Как следует из графика, приведенного на рис. 5,а, увеличение скорости движения хотя и привело к некоторому уменьшению размаха виброскорости в момент удара об упор до 110 мм/с , однако продолжительность коле-

баний при этом увеличилась до $0,55 \text{ с}$. В то же время использование ОДУ (см. рис. 5, б) позволило практически сохранить на прежнем уровне размах виброскорости в момент удара (115 мм/с) и обеспечить меньшую, чем у штатного демпфера, продолжительность колебаний (соответственно $0,55 \text{ с}$ и $0,44 \text{ с}$).



а)

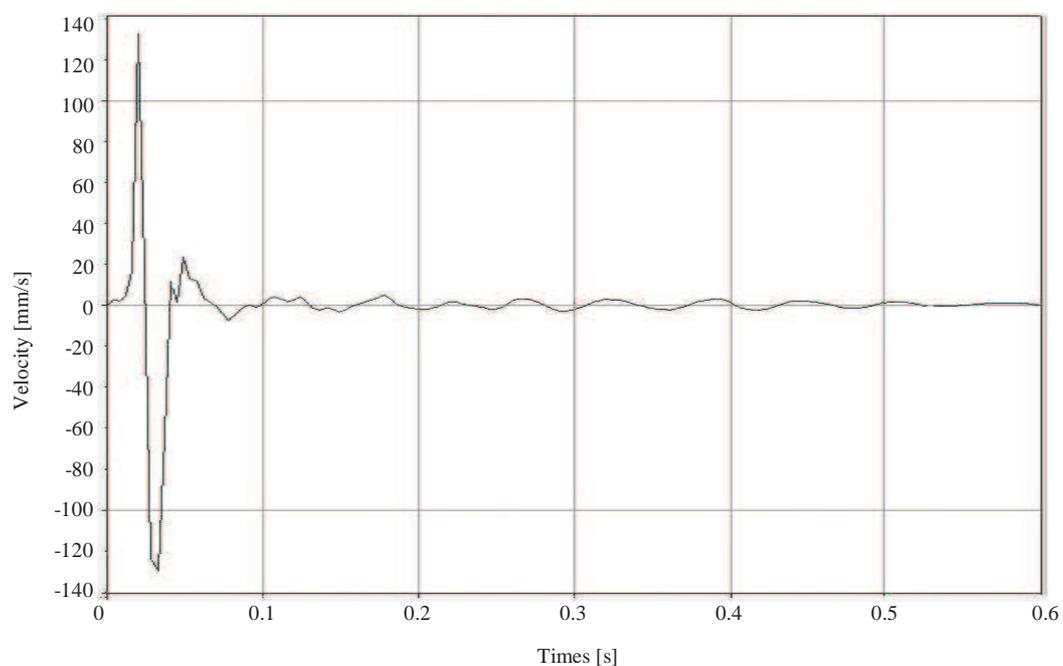


б)

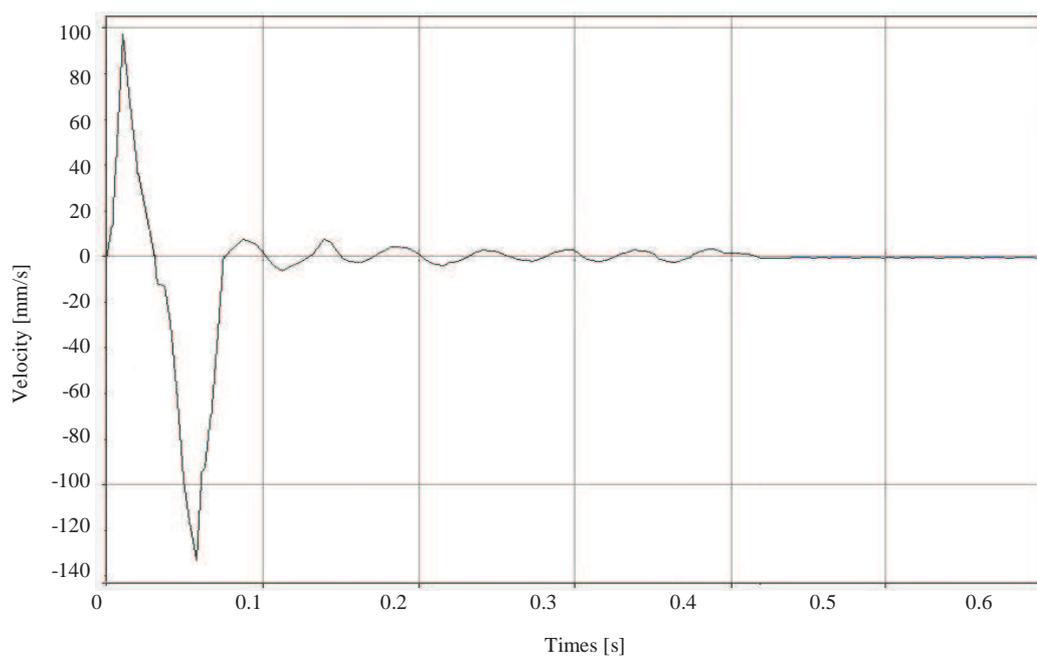
Рис. 5. Скорости колебаний схвата робота без груза при V_{\max}

Установка груза массой $M_2 = 0,0128 \text{ кг}$ при той же скорости движения привела, согласно рис. 6, к увеличению размахов виброскоростей в момент удара руки об упор соответственно до 260 мм/с со штатным

демпфером и 230 мм/с – с ОДУ. Однако время полного затухания колебаний руки с ОДУ практически не изменилось и составило около $0,42 \text{ с}$.



а)

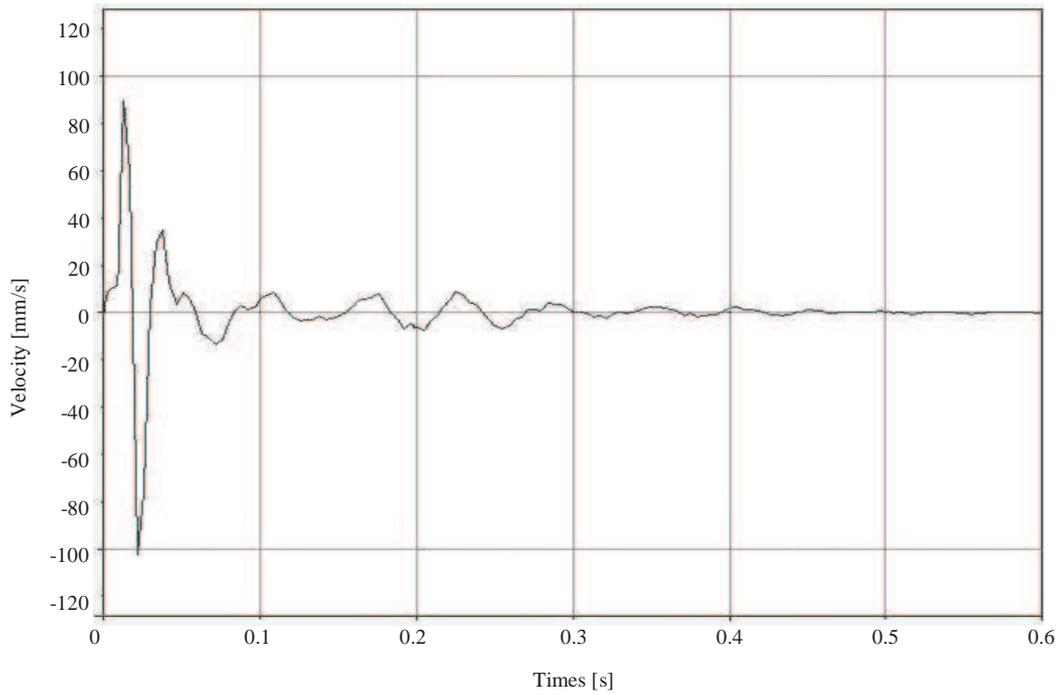


б)

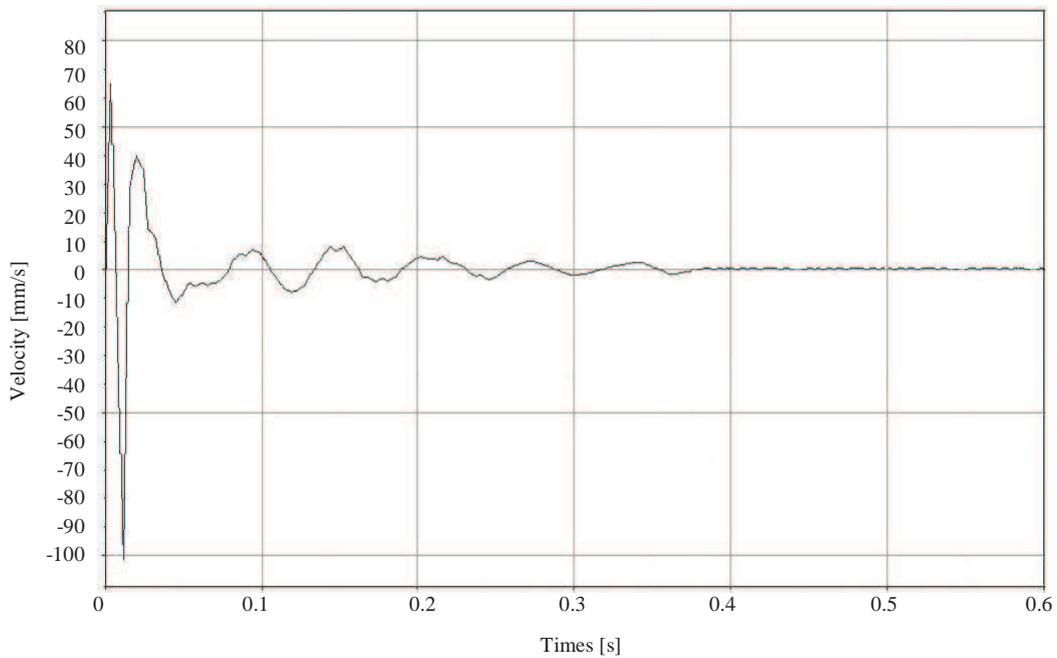
Рис. 6. Скорости колебаний схвата робота с грузом M_2 при V_{\max}

Дальнейшее увеличение массы груза до значения $M_{\max} = 0,0426 \text{ кг}$, как видно из рис. 7, позволило сохранить на прежнем уровне эффективность демпфирования колебаний ОДУ. Размах виброскорости в момент удара руки об упор и время полного затухания

колебаний робота со штатным демпфером и ОДУ соответственно составили: 190 мм/с и $0,44 \text{ с}$; 165 мм/с и $0,375 \text{ с}$.



а)



б)

Рис. 7. Скорости колебаний схвата робота с грузом M_{max} при V_{max}

Вывод

Таким образом, экспериментальные исследования, в целом, подтвердили результаты теоретических расчетов и показали работоспособность и высокую эффективность использования предложенного демпфирующего устройства для обеспечения позиционирования исполнительных механизмов мехатронных систем с цикловыми системами управления, в условиях изменения нагрузок и скоростей движения. Применение самонастраивающихся гидравлических демпфирующих устройств позволит повысить динамическую точность, быстродействие и надежность работы этих мехатронных систем.

Литература

1. Кузнецов Н.К. Динамика управляемых машин с дополнительными связями: моногр. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. 288 с.
2. Кузнецов Н.К., Нгуен М.Д. Гидравлическое демпфирующее устройство двухстороннего действия: пат. 2467224 Рос. Федерация. № 2011123571/11; заявл. 09.06.11; опубл. 20.11.12, Бюл. 6.
3. Кузнецов Н.К., Нгуен М.Д. Моделирование самонастраивающегося гидравлического демпфирующего устройства // Вестн. ИрГТУ. 2011. № 9. С. 35 – 40.
4. Кузнецов Н.К., Нгуен М.Д. Определение конструктивных параметров гидравлического демпфирующего устройства // Вестн. ВСГТУ. 2012. № 1. С. 17–22.

5. Нгуен М.Д. Разработка трехмерной модели самонастраивающегося гидравлического демфирующего устройства // Вопросы образования и наука: теоретический и методический аспекты: материалы междунар. заоч. науч. – практ. конф., 30 апр. 2012. Тамбов: ТРОО «Бизнес - Наука - Общество», 2012. Ч. 1. С. 128 - 130.

References

1. Kuznetsov N.K. Dynamics of the controlled machines with additional constraints: monograph. Irkutsk: Izd-vo IRGTU, 2009. 288 s.

2. Kuznetsov N.K., Nguyen Manh Duc. The double action hydraulic damping device: pat. 2467224 Ros.Federatsiya. № 2011123571/11; zayavl. 09.06.2011, opubl. 20.11.2012, Byul. 6.

3. Kuznetsov N.K., Nguyen Manh Duc. Modeling of a self-adjusting hydraulic damping device // Vestnik ISTU. 2011. № 9. S. 35 - 40.

4. Kuznetsov N.K., Nguyen Manh Duc. The determination of the hydraulic damping device design parameters // Vestnik ESSTU. 2012. № 1. S. 17–22.

5. Nguyen Manh Duc. The development of a three-dimensional model of a self-adjusting hydraulic damping device // Voprosy obrazovaniya i nauka: teoretichesky i metodichesky aspekty: materialy mezhdunar. zaoch. nauch.-prakt. konf., Tambov, 2012, Ch. 1. S. 128 - 130.

УДК 621.891

Влияние распределения радиусов неровностей шероховатой поверхности на контактные характеристики

П.М. Огар^a, Д.Б. Горохов^b

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^aogar@brstu.ru, ^bdenis_gorohov@mail.ru

Статья поступила 4.05.2013, принята 14.08.2013

Рассмотрены подходы при разработке дискретной модели шероховатой поверхности с описанием опорной кривой профиля параболы и отношением неполной бета-функции. Шероховатая поверхность представлена в виде набора сферических сегментов с постоянными или переменными радиусами. Расположение отдельной неровности определяется уровнем вершины u и уровнем впадины v . Распределение вершин и впадин неровностей описывается двухмерной функцией $\varphi_n(u,v)$. Функции и плотности распределения неровностей по высоте определены из уравнения опорной кривой профиля. Проведен их сравнительный анализ. Приведены системы уравнений для определения относительной площади при упругом контакте шероховатых поверхностей. Для оценки нагруженности контакта использован безразмерный силовой упруго-геометрический параметр $F_q = q_c \Theta / R_{\max}$, где q_c – контурное контактное давление; $\Theta = (1-\mu^2)/E$ – упругая постоянная; a_c, R_{\max} – параметры микрогеометрии. Указано на необходимость учета взаимного влияния неровностей для $F_q > 0,1$ при использовании низко модульных материалов. Показано влияние распределения радиусов неровностей на результаты расчетов относительной площади контакта. Для точных расчетов контактных характеристик рекомендуется использовать дискретную модель шероховатой поверхности, учитывающую распределение высот неровностей, что имеет место с реальными шероховатыми поверхностями.

Ключевые слова: шероховатая поверхность, параметры шероховатости, опорная кривая профиля, параметры опорной кривой, бета-функция, распределение вершин неровностей, распределение высот неровностей, контактные характеристики, относительная площадь контакта.

The radius distribution influence of the rough surfaces asperities on contact characteristics

P.M. Ogar^a, D.B. Gorokhov^b

Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russia

^aogar@brstu.ru, ^bdenis_gorohov@mail.ru

Received 4.05.2013, accepted 14.08.2013

The approaches in developing a rough surface discrete model describing the bearing profile curve by a parabola or by the ratio of incomplete beta function are considered. The rough surface is represented as a set of spherical segments with constant or variable radii. The location of a separate asperity is determined by the apexes level u and the bays level v . The distribution of asperities apexes and bays is described by a two-dimensional function $\varphi_n(u,v)$. The functions and density distribution of the asperities with height are determined from the equation for the bearing profile curve. The comparative analysis of these functions has been carried out. A system of equations to determine the relative area under the elastic contact with rough surfaces are given. To estimate the contact loading, a force non-dimensional elastic-geometric parameter $F_q = q_c \Theta / R_{\max}$ has been used, where q_c is a contour contact pressure, $\Theta = (1-\mu^2)/E$ is an elastic constant, a_c, R_{\max} are the microgeometry parameters. The necessity to take into consideration the mutual influence of asperities for $F_q > 0,1$ in case of using low-modulus materials has been stated. The influence of the radius asperities distribution on the calcula