Наука и Образование
МГТУ им. Н.Э. Баумана
Сетевое научное издание
ISSN 1994-0408

Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2016. № 06. С. 83–96.

DOI: **10.7463/0616.0842166**

Представлена в редакцию: 09.05.2016
Исправлена: 23.05.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана

УДК

Установка для исследования механизма регулировки закрытой высоты механического пресса

Анцифиров А. А.[1,*], **Гладков Ю. А.**[1], **Кривошеин В. А.**[1]

[*]aaleksei@inbox.ru

[1]МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Статья посвящена разработке исследовательской механизма регулировки закрытой высоты на базе механического штамповочного пресса модели КД 2128 номинальной силой 630кН. Процесс регулировки осуществляется с использованием современных средств автоматизации, таких как синхронный двигатель номинальной мощностью 1.57 кВт и преобразователь частоты мощностью 7.5 кВт с функциями программируемого логического контроллера с реализацией законов широтно-импульсной модуляции.

Показано, что исследовательская установка конструктивно позволяет обеспечивать кинематику работы механизма регулировки закрытой высоты пресса, приведены основные диаграммы динамики и параметров работы механизма, полученные в ходе экспериментов.

Ключевые слова: автоматическое управление, механизм регулировки закрытой высоты КГШП, испытательный стенд, широтно-импульсная модуляция, ШИМ

Введение

Использование исследовательских установок позволяет наглядно и доступно продемонстрировать существующие возможности технологического оборудования в обработке металлов давлением (ОМД), а также продемонстрировать перспективы его модернизации. На подобном оборудовании удобно показывать способы решения задач мониторинга и диагностики, которые должны применяться в области заготовительного производства, в частности в обработке давлением для обеспечения высокого уровня решения производственных задач.

Изучение работы узлов и механизмов кузнечно-штамповочных машин (КШМ) [1, 2, 3] целесообразно проводить на отдельном исследовательском оборудовании, которое может служить натурной физической моделью рассматриваемых механизмов.

В статье рассматривается исследовательская установка механизма регулировки закрытой высоты [4, 5, 6], спроектированная для кривошипного пресса 630кН с целью про-

ведения практических работ на кузнечно-штамповочном оборудовании кафедры «Технологии обработки давлением» МГТУ им. Н. Э. Баумана.

1. Состав установки

Схема исследовательской установки механизма регулировки закрытой высоты пресса, приборы, ПК и датчики представлены на рис. 1.

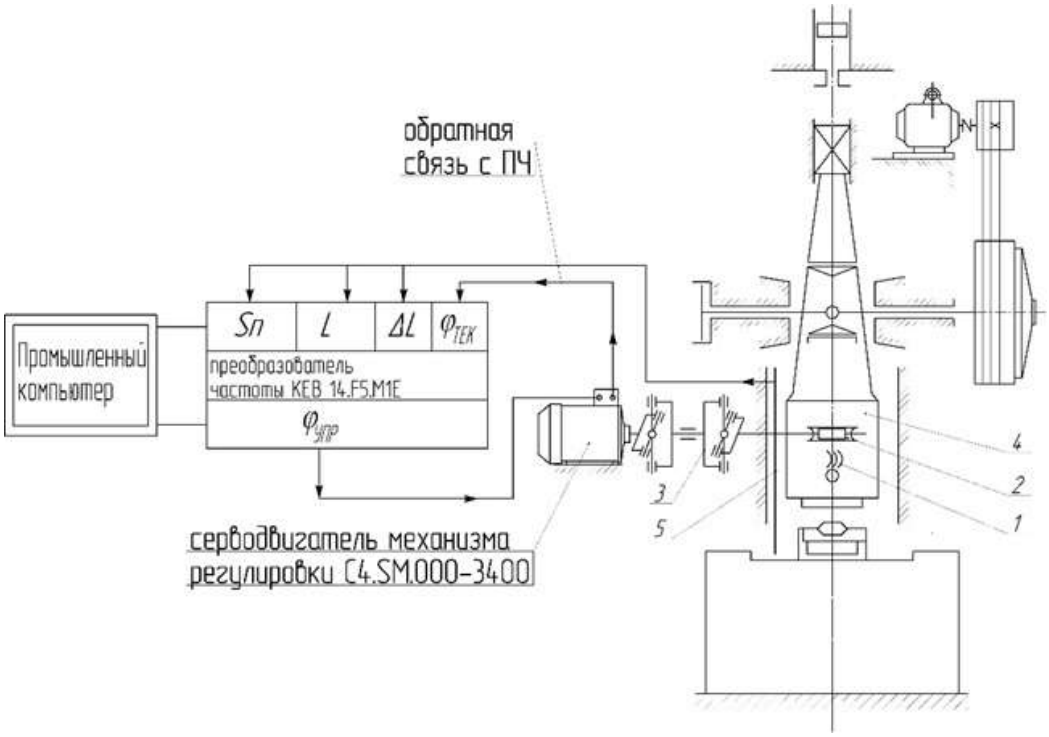


Рис. 1. Схема, приборы и датчики установки на базе КШП 630 кН

Здесь L – измеряемая закрытая высота пресса; ΔL – величина регулирования закрытой высоты КШП; $S_П$ – линейное перемещение ползуна; $\varphi_{ТЕК}$ – текущая координата вала двигателя регулировки закрытой высоты пресса; $\varphi_{УПР}$ – сигнал поворота на заданный угол вала серводвигателя механизма регулировки обеспечивающий, требуемое линейное перемещение ползуна пресса $S_П$.

Исследовательская установка механизма регулировки закрытой высоты пресса состоит из расположенного на винтовой передаче 1 червячного механизма 2. Вращение червячного вала осуществляется частотно–регулируемым приводом через телескопический карданный вал 3. Червячный вал приводит во вращение шестерню, через которую осуществляется вращение винтовой передачи 1, что в свою очередь вызывает линейное перемещение ползуна 4. Шаг винтовой передачи при повороте винта на угол 360° составляет 4мм. Отслеживание линейного перемещения ползуна $S_П$ происходит с помощью бесконтактного индуктивного датчика положения 5.

Рассматриваемую в статье физическую модель механизма регулировки закрытой высоты КГШП удобно представить в составе установки, включающей следующие приборы, датчики и приводы:

1) Преобразователь частоты номинальной мощностью 7,5кВт. Синхронный двигатель фирмы KEB модели C4.SM.000–3400, основные характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики синхронного двигателя C4.SM.000–3400

Номинальные значения	
Номинальное напряжение Uн (В)	400
Номинальный момент Мн (Нм)	5,0
Номинальный ток I (А)	3,7
Номинальная скорость вращения nн (об/мин)	3000
Номинальная мощность Рн (кВт)	1,57
Максимальные величины	
Максимальный момент (Нм)	27,0
Максимальный ток Imax (А)	21,0

2) Инкрементальный энкодер, установленный на валу в корпусе синхронного двигателя, точность измерения положения вала двигателя - 0,09°.
3) Червячный механизм с передаточным отношением i=55, числом витков червяка z=7, числом зубьев шестерни z=56.
4) ПК на базе процессоров Intel с программным обеспечением KEB COMBIVIS для задания параметров частотного преобразователя. В состав KEB COMBIVIS входит программа осциллографа для регистрации текущих значений параметров механизма регулировки закрытой высоты.
5) Адаптер для связи частотного преобразователя с ПК (ПЛК).
6) Кабель обратной связи синхронного двигателя с частотным преобразователем.

Детализация схемы исследовательской установки механизма регулировки закрытой высоты представлена на рис. 2.

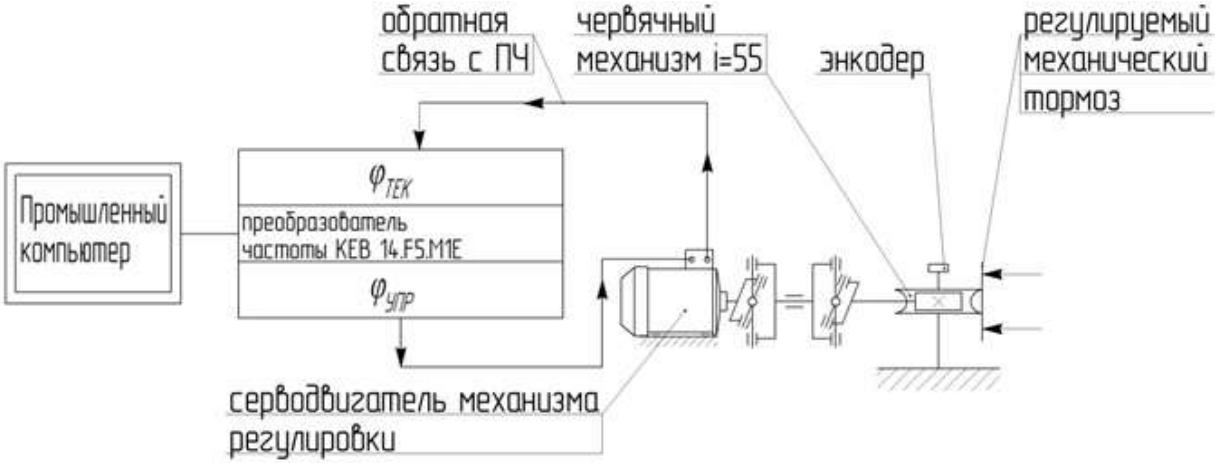


Рис. 2. Схема механизма регулировки закрытой высоты

Здесь $\varphi_{УПР}$–сигнал на поворот вала двигателя; $\varphi_{ТЕК}$ – текущее значение координаты вала двигателя. Точность углового позиционирования вала двигателя определяется энкодером. На шестерне червячного механизма, обеспечивающего линейное перемещение ползуна КШП, установлен энкодер обратной связи. Нагрузка от приводимых механизмом регулировки подвижных узлов пресса задается регулируемым механическим тормозом.

На исследовательской установке можно проводить следующие работы [6]:

1) Экспериментально устанавливать время отработки сигнала управления механизмом регулировки.
2) Проверять возможность регулировки закрытой высоты пресса на требуемую величину во время технологической паузы, требуемой для работы средств автоматизации и механизации: роботов манипуляторов, грейферных подач.
3) Проверять возможность работы привода механизма регулировки в условиях, превышающих номинальный режим работы двигателя. Выполнять регистрацию его основных рабочих характеристик (ток управления, момент на валу двигателя, скорость вращения вала, угловое перемещение) для случая функционировании привода в жестких производственных условиях.
4) Определять точность отработки механизмом регулировки сигнала управления на перемещение ползуна.
5) Проводить автоматическое управление [7, 8, 9, 10] работой механизма регулировки закрытой высоты с реализацией законов широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [11].
6) Решать задачи мониторинга и диагностики [12] износа элементов механизма регулировки закрытой высоты.

На рис. 3, представлена фотография исследовательской установки механизма регулировки закрытой высоты на базе КШП 630кН.

Сервоприводом установки механизма регулировки закрытой высоты пресса 630кН является частотный преобразователь и частотно-регулируемый синхронный двигатель с номинальными характеристиками мощности 1,57кВт, номинального момента 5Нм, пикового – до 25Нм.

С помощью исследовательской установки представляется возможность демонстрации автоматического управления как классической синусоидальной широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), так и при модуляции выходного напряжения по несинусоидальному закону для каждой фазы синхронного двигателя, что может позволить увеличить амплитуду выходного напряжения [11].

Такие задачи, как мониторинг и износ узлов механизма регулировки можно решать прибегнув к сравнению регистрируемой нагрузки на валу двигателя (рис. 5а) и сравнения этой нагрузки с той, которая соответствует нормальному или эталонному режиму работы механизма регулировки. В зависимости от величины износа в направлении его увеличения будет смещаться и характер изменения нагрузки по сравнению с эталонной. Для точного автоматического управления приводом величина износа должна компенсироваться соответствующим управляющим воздействием.

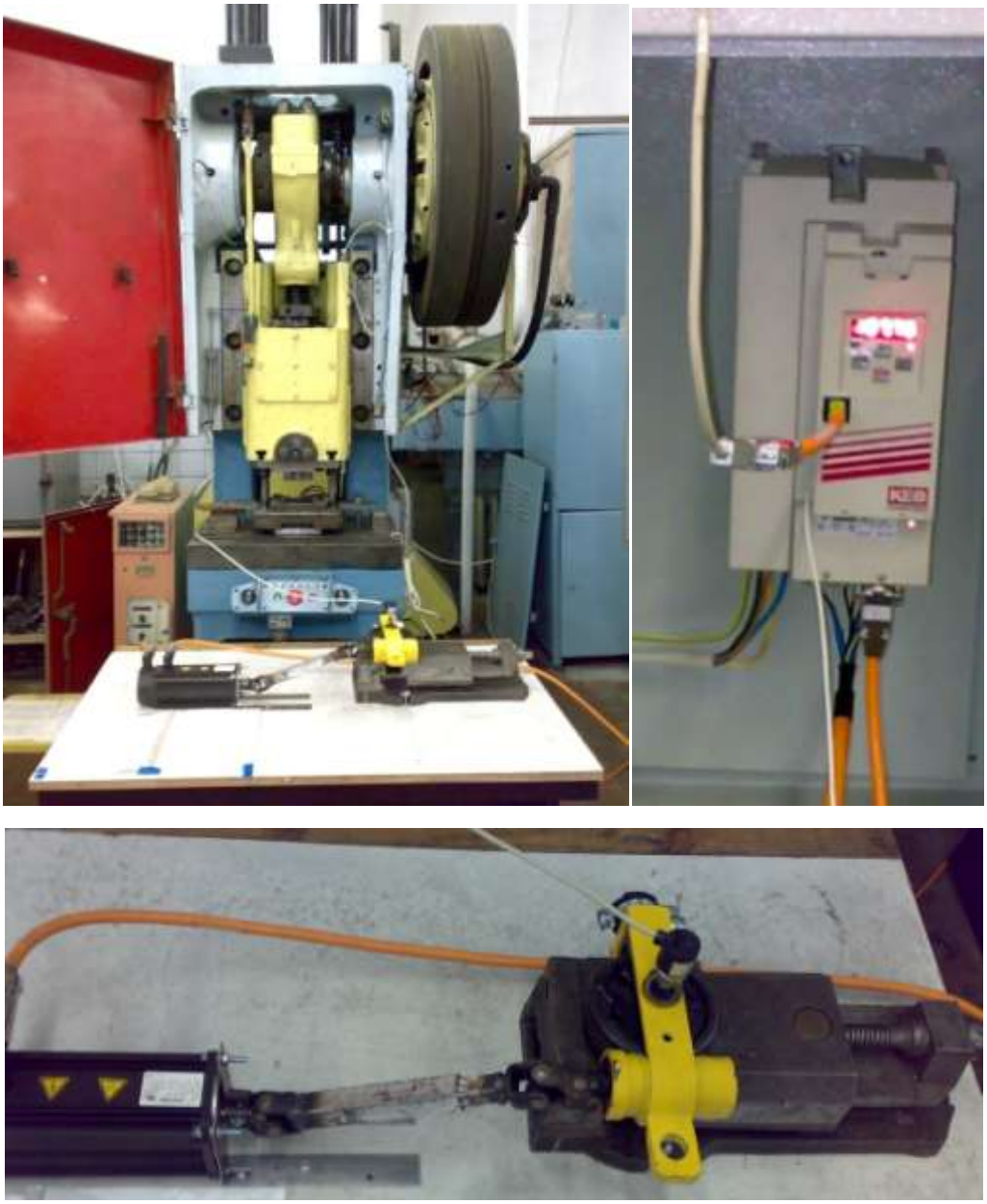


Рис.3. Фотография установки механизма регулировки закрытой высоты

Для оценки эффективности использования рассматриваемой установки механизма регулировки закрытой высоты в статье приведены результаты четырех испытаний поворота шестерни червячного механизма на угол 360, что соответствует линейному перемещению ползуна пресса на 4мм. Результаты испытаний приведены в таблице 2 [6].

Таблица 2. Величина регулировки от времени

Опыт 1		**Опыт 2**		**Опыт 3**		**Опыт4**	
время, с	ΔВ, мм	время, с	ΔВ, мм	время, с	ΔВ, мм	время, с	ΔВ, мм
2.49	4.00	2.48	4.00	2.40	4.00	2.48	4.00

Как видно из таблицы, регулировку закрытой высоты кривошипного пресса 630кН на один оборот шестерни можно осуществить за время, меньшее 2,5с. Ниже на рис.4 представлена диаграмма, иллюстрирующая зависимость величины регулировки от времени при оптимальной скорости вращения вала двигателя 1375 об/мин.

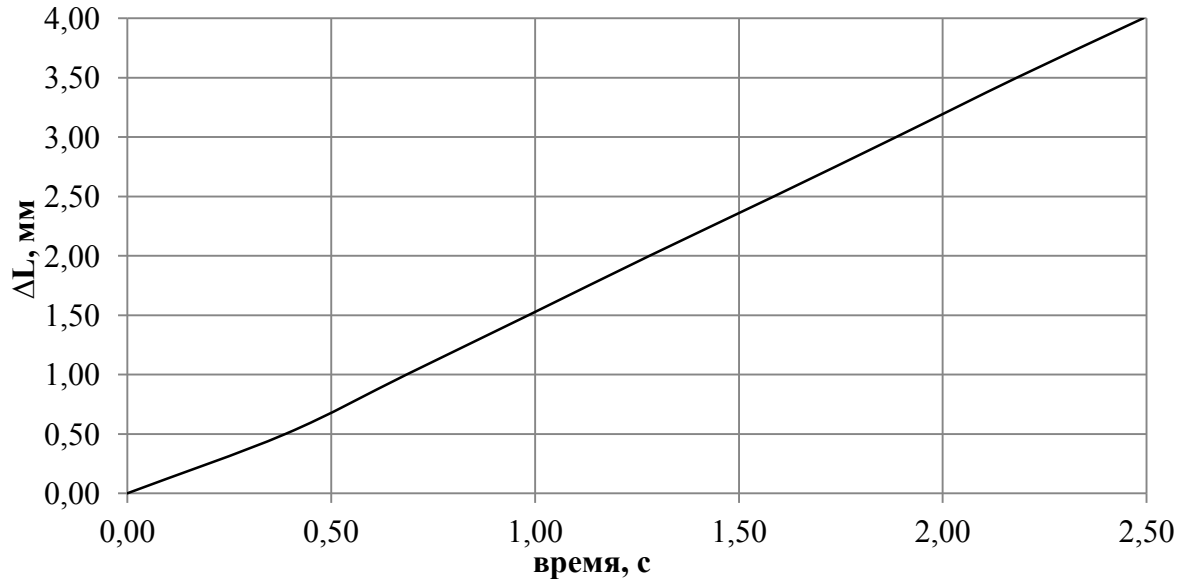
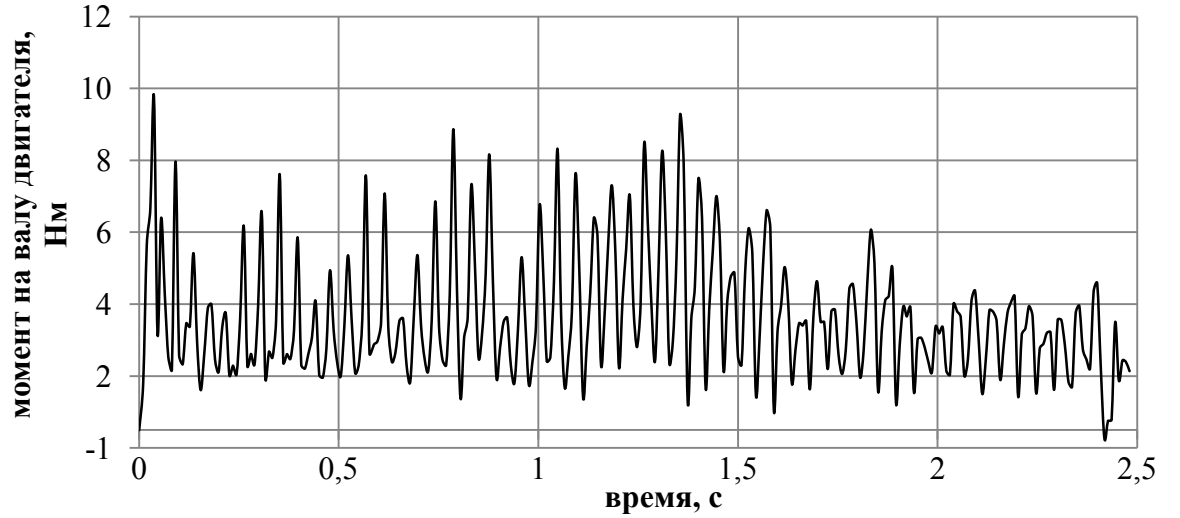


Рис.4. Зависимость величины регулировки от времени

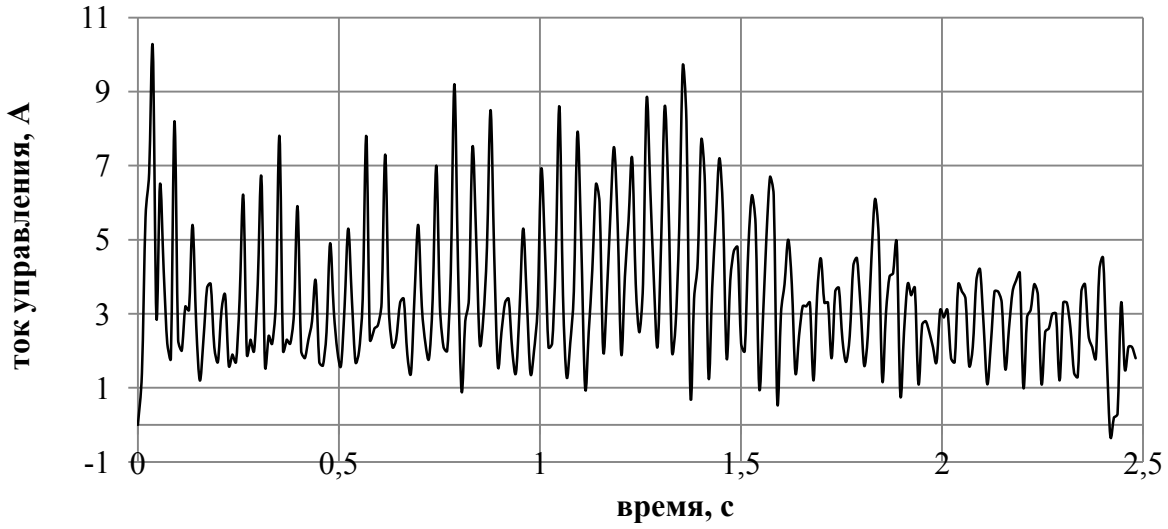
В звеньях механизма регулировки во время управления возникают вибрации, вызываемые трением, начальными зазорами, дальнейшим износом между звеньями механизма, способствующие ухудшению качества управления и приводящие к дополнительным нагрузкам на привод механизма регулировки. Система управления приводом механизма регулировки должна учитывать и компенсировать отмеченные факторы.

Максимальная нагрузка на сервопривод была зафиксирована во втором испытании 2, её величина составила 9,27Нм, что на 85,4% выше номинальной. Максимальный ток управления составил 10,2 А.

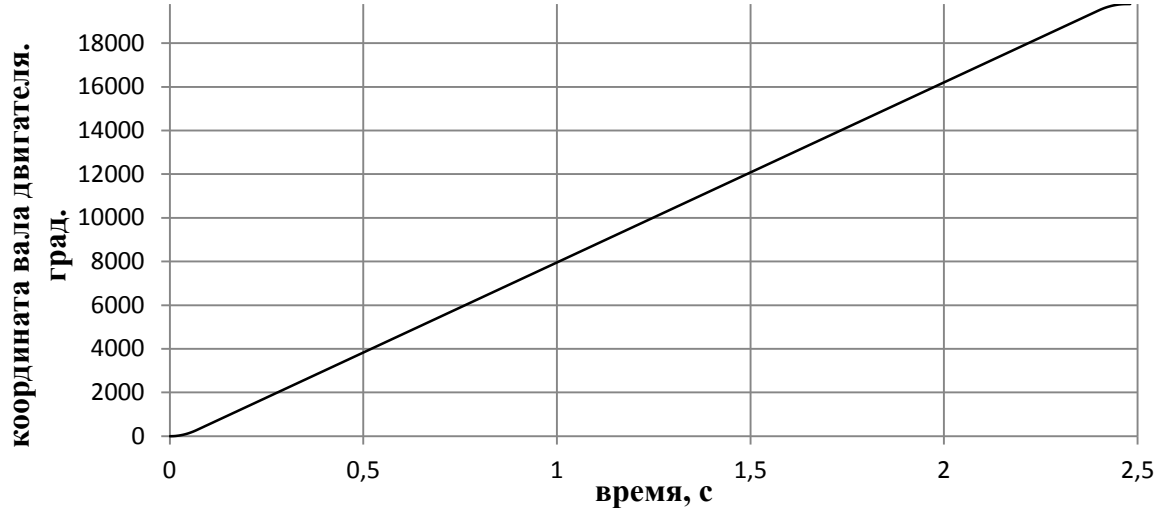
Ниже представлены полученные экспериментально графики работы устройства (рис. 5). Во всех опытах время разгона до заданной скорости и торможения вала двигателя механизмом регулировки не превышает 0,07с.



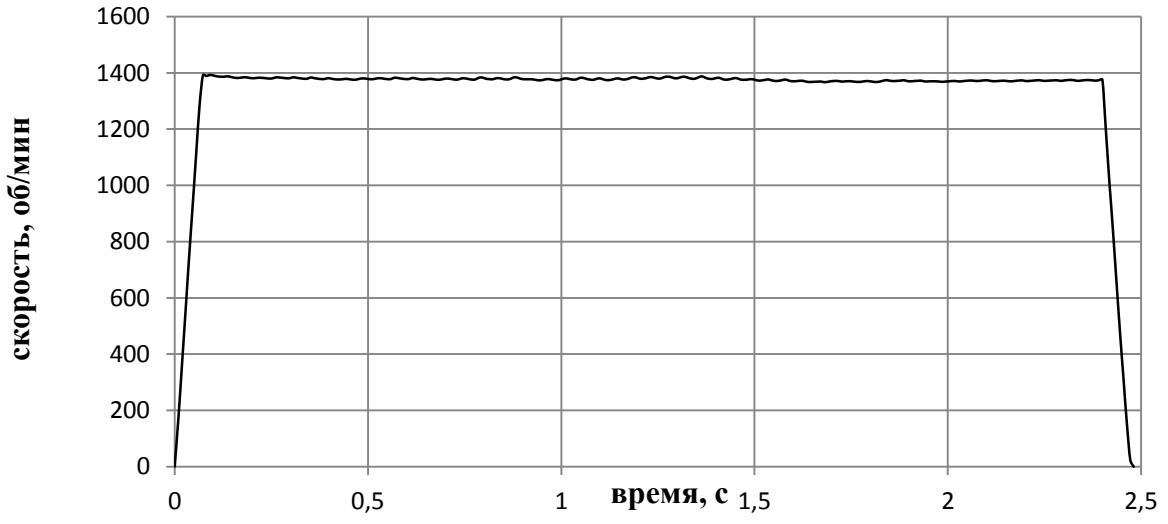
а)



б)



в)



г)

Рис.5. Графики регистрируемых параметров испытания 2 для ΔL=4мм: а) – ток управления синхронным двигателем; б) –момент на валу двигателя; в) – координата положения вала двигателя; г) –скорость

На рисунках видно, что во время управления линейным перемещением ползуна при перегрузках на валу серводвигателя по моменту и току управления обеспечивается монотонная скорость вращения вала двигателя. Это может служить показателем стабильности работы применения подобных сервоприводов [13] при разработке механизмов регулировки для КШП.

2. Определение точности позиционирования привода механизма оперативной регулировки закрытой высоты и линейного позиционирования ползуна **кривошипного пресса**

Точность углового положения червячного механизма оперативной регулировки закрытой высоты пресса определяется конечным линейным положением ползуна после осуществления регулировки. С целью определения точности отработки сигналов управления на заданное линейное перемещение ползуна $S_{PEГ}$ механизмом регулировки закрытой высоты проводились эксперименты [6], в результате которых определялось конечное угловое положение шестерни червячного механизма регулировки. После отработки сигнала управления, определялось отклонение конечного углового положения шестерни от требуемого, определяемого сигналом управления, на линейное перемещение ползуна $S_{П}$.

Для проверки точности отработки сигнала управления на линейное перемещение $S_{П}$ ползуна, на ось шестерни червячного механизма регулировки закрытой высоты устанавливался датчик скорости. При помощи сборщика данных Spider 8 и датчика скорости, от старта и до конца отработки сигнала управления на заданное линейное перемещение ползуна $S_{PEГ}$, осуществлялась запись осциллограммы текущей скорости вращения шестерни от времени ($n_{Ш}(t,)$ *об/мин*) отработки сигнала управления. Для определения угла поворота шестерни осуществлялось численное интегрирование записанной осциллограммы методом Симпсона. Результат интегрирования представляет количество оборотов, которое переводилось в градусы углового поворота шестерни. При осуществлении полной регулировки S_{PEI}=4мм закрытой высоты КШП 630кН наиболее вероятно максимальное отклонение от заданной позиции в виду действия инерции приводимых масс.

Проведено 8 опытов для оценки точности линейного позиционирования ползуна кривошипного пресса при полной регулировке S_{PEI}=4мм. В каждом опыте определялся угол φ поворота шестерни червячного механизма оперативной регулировки и величина линейного перемещения $S_{П}$ ползуна, также определялись отклонения $\Delta\varphi$ от заданного угла поворота $\varphi_{УПР}$=360° и $\Delta S_{П}$ от заданного линейного перемещения ползуна $S_{PEГ}$. Результаты опытов приведены в таблице 3.

Таблица 3. Точность полной регулировки S_{PEI}=4мм ($\varphi_{УПР}$=360°)

Номер опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
φ, град.	363	355	362	356	357	355	358	353
$\Delta\varphi$, град	+3	–5	+6	–4	–3	–5	–2	–7
$S_{П}$, мм	4,03	3,95	4,02	3,96	3,97	3,95	3,98	3,93
$\Delta S_{П}$, мм	+0,03	–0,05	+0,06	–0,04	–0,03	–0,05	–0,02	–0,07

Ниже на рис. 6 представлена диаграмма частоты вращения, интегрированием которой определялся угол поворота шестерни механизма регулировки от времени.

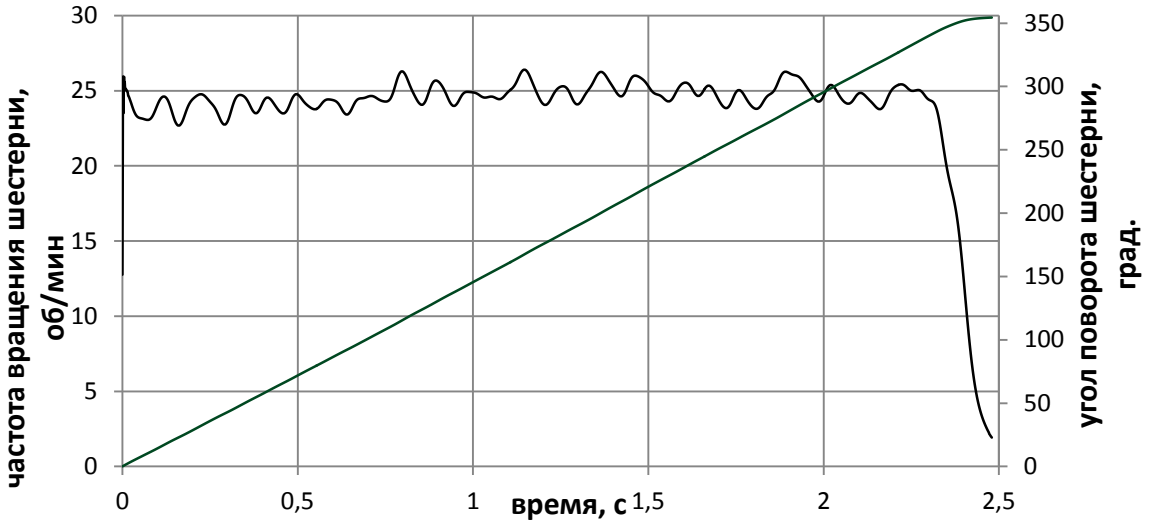


Рис.6. Зависимость частоты вращения шестерни от времени

Для оценки точности линейного позиционирования ползуна проводилась обработка результатов опытов с помощью статистического критерия Сьютента. Порядок обработки опытов следующий:

1. Среднее значение восьми опытов линейного перемещения $S_П$.

$$\overline{S}_П = \frac{\sum_i S_i}{n} \qquad 4.1$$

$\overline{S}_П = 3{,}974$мм

2. Погрешность отдельного измерения.

$$\Delta S_{Пi} = \overline{S}_П - S_{П_i} \qquad 4.2$$

Номер опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta S_{Пi}$**, мм.**	0,056	0.024	–0.046	0,014	0.004	0.024	–0.006	0.044

3. Квадрат погрешности каждого измерения.

Номер опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta S_{Пi}^{\ 2}$	0,00314	0,00058	0,00212	0,0002	0,00002	0.00058	0,00004	0,00194

4. Среднеквадратичная погрешность среднего арифметического.

$\overline{S}_П = 0{,}01238мм$.

5. Коэффициент Стьюдента для надежности P=0,95 и при восьми измерениях равен t=2,365.
6. Доверительный интервал измерений определяется как $\Delta S = t \cdot \overline{S}_П$ и равен $\Delta S_П$=0,029мм.

Таким образом, при линейном позиционировании ползуна кривошипного пресса при осуществлении полной регулировки на величину $S_П$=3,974, точность позиционирования составляет $\Delta S_П$=0,029мм.

Выводы

Исследовательская установка позволяет проводить практические занятия по определению основных параметров функционирования механизма регулирования закрытой высоты кривошипного пресса: точность отработки сигнала управления механизмом регулировки закрытой высоты, время регулирования, текущий момент на валу двигателя регулировки.

Поворотом шестерни механизма регулировки на угол от 0 до 360° обеспечивается полная регулировка закрытой высоты КШП 630кН на величину 3,974мм за время не более 2,5с. По критерию Стьюдента для надежности P=0,95 точность линейного позиционирования ползуна составляет $\Delta S_П$=0,029мм.

Применение современного частотно–регулируемого привода позволяет осуществлять регулировку закрытой высоты пресса при нагрузках, превышающих номинальные параметры привода до 85%. Это дает основание наглядно продемонстрировать эффективность применения системы управления КШП с механизмом регулировки закрытой высоты в автоматизированном технологическом процессе ГОШ для тяжелых производственных условий.

Список литературы

1. Бочаров Ю.А. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 480 с.
2. Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для вузов / Под ред. Л.И. Живова. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 560 с.
3. Свисутнов В. Е. Кузнечно-штамповочное оборудование. Кривошипные прессы: учебное пособие. М.: МГИУ, 2008. 697с.
4. Exzenter Schmiedepresse, Typ VEPES: информационный каталог фирмы SMS Hasenclever. 1984. 12с.
5. C2F-Forging press: Проспект фирмы Kurimoto. 1991. № MP13.12с.
6. Анцифиров А. А. Разработка методики проектирования механизма оперативной регулировки закрытой высоты КГШП по параметрам штамповки с целью повышения точности высотного размера поковок: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2010. 16 с.
7. Бочаров Ю.А. Числовое программное управление процессами и машинами обработки давлением // Кузнечно–штамповочное производство. 2000. №7. С. 39–46.

8. Машиностроение: энциклопедия. Т.IV-4: Машины и оборудование кузнечно-штамповочного и литейного производства. М.: Машиностроение, 2005. 926 с..
9. Гладков Ю.А. Разработка методики проектирования горячештамповочных комплексов на базе КГШП с адаптивным управлением для стабилизации силы деформирования: автореф. дисс. …канд. техн. наук. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2003. 16 с.
10. Крук А.Т., Новокщёнов Л.Т., Анцифиров А.А., Гладков Ю.А., Евсюков С.А. Устройство точного регулирования закрытой высотой механического пресса: Патент №149109 Российская Федерация., 2014. Бюл. №35.
11. Чаплыгин Е. Е.. Спектральное моделирование преобразователей с широтно-импульсной модуляцией: учебное пособие. М.: МЭИ, 2009. 56 с.
12. Гладков Ю.А., Скворцов Н.А. Об организации распределенной системы управления и диагностики горячештамповочных комплексов // Машиностроительные технологии: Всероссийская конфю: тезисы докл. М. 1998.–С.135–136.
13. KEB antriebstechnik Part.No.: 00.F5.MRA-K260: KEB COMBIVERT F5-M/S, 2002.

Science & Education of the Bauman MSTU
Electronic journal
ISSN 1994-0408

Science and Education of the Bauman MSTU, 2016, no. 06, pp. 83–96.

DOI: **10.7463/0616.0842166**

Received: 09.05.2016
Revised: 23.05.2016

© Bauman Moscow State Technical Unversity

Research Facility for Mechanical Press Closed Gap Adjuster

A.A. Ancifirov[1,*], Yu.A. Gladkov[1], V.A. Krivoshein[1]

*aaleksei@inbox.ru

[1]Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: automatic control, closed gap adjustment mechanism of forging press, the experimental stand, pulse width modulation, PWM

The article describes an example of the research facility for closed gap adjustment mechanism based on the KD2128 closed-die forging press. Its rated force with a servo drive used is 630kN. The servo drive consists of a motor with nominal power of 1.57kW and a frequency converter with power of 7.5kW, which has functions of the programmable logic controller. The article notes that such a facility is expedient and useful for practical classes on forging-and-stamping machines at the BMSTU Department of «Technology processing by pressure» to demonstrate the capabilities of existing technological facility, learn a design of forging-and-stamping machine units, solve the problems of automatic control, monitoring, and diagnostics in blank manufacturing.

The article presents a detailed facility diagram of the closed gap adjustment mechanism and its photograph, describes the mechanism and its basic parameters, gives characteristics of the synchronous motor to drive the mechanism, reviews practical works, which the research facility may provide.

Based on the four experiments the article estimates an efficiency of the research facility-use under consideration, especially when modeling a servo motor shaft under the maximum load. The relevant diagrams confirm experimental results, namely: control current, angle of motor shaft and its speed versus time. Thus, upon the diagram analysis it can be noted that the research facility design allows providing kinematics and dynamics of the press closed gap adjuster.

This article describes how to determine the closed gap adjusting accuracy of the press. Eight experiments have been conducted to evaluate a working out control signal to the linear movement of the press punch when using the research facility. It is noted that the linear positioning accuracy of the press punch reaches the hundredth parts of a millimeter of the adjustment value that is sufficient to achieve the required precision when performing operations such as forging. The relevant diagrams to show the experiment results are given.

References

1. Bocharov Yu. A. *Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie*. [Forging and stamping equipment]. Moscow, Izdatel'skii tsentr «Akademiya», 2008, 480 p. (in Russian).
2. Zhivov L. I., Ovchinnikov A. G., Skladchkov E. N. *Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie*. [Forging and stamping equipment]. Moscow, , Bauman MSTU Publ., 2006, 560 p. (in Russian).
3. SvistunovV. E. *Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie. Krivoshipnye pressy: uchebnoe posobie* [Forging and stamping equipment. Crank presses: tutorial]. Moscow, MGIU Publ., 2008, 697 p. (in Russian).
4. Exzenter Schmiedepresse, Typ VEPES: Informationskatalog SMS Hasenclever. 1984, 12 p.
5. C2F-Forging press: catalog Kurimoto № MP13. 1991, 12p.
6. Antsifirov A. A. *Razrabotka metodiki proektirovaniya mekhanizma operativnoi regulirovki zakrytoi vysoty KGShP po parametram shtampovki s tsel'yu povysheniya tochnosti vysotnogo razmera pokovok: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk.* [Development of methodology for the design of the mechanism for rapid adjustment of shut height KGSP in the parameters forming with the aim of improving the accuracy of high-rise size of forgings. Author's abstract of cand.diss.]. Moscow, Bauman MSTU, 2010. 16 p. (in Russian).
7. Bocharov Yu. A. CNC by processes and machines in metal forming. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo= Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2000, no. 7, pp 39-46. (in Russian).
8. *Mashinostroenie: entsiklipediya* [Mechanical engineering: encyclopedia]. *T.IV-4*: *Mashiny i oborudovanie kuznechno-shtampovochnogo i liteinogo proizvodstva.* [Vol. IV-4: Machinery and equipment forging and stamping and casting production]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2005, 926 p. (in Russian).
9. Gladkov U.A. *Razrabotka metodiki proektirovaniya goryachshtampovochnyh kompleksov na baze KGSHP s adaptivnym upravleniem dlya stabilizatsii sily deformirovaniya: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk.* [Development of the method of designing systems based on hot forging press with adaptive control for stabilization of the deformation force. Author's abstract of cand.diss.]. Moscow, Bauman MSTU, 2003. 16 p. (in Russian).
10. Kruk A.T., Novokshchenov L.T., Antsifirov A.A., Gladkov Yu.A., Evsyukov S.A. *Ustroistvo tochnogo regulirovaniya zakrytoi vysotoi mekhanicheskogo pressa* [Devise of precise adjustment by closed gap of mechanical press]. Patent RF, no.149109, 2014. (in Russian).
11. Chaplygin E. E. *Spektral'noe modelirovanie preobrazovatelei s shiritno-impul'snoi modulyatsiei* [Spectral modeling of converters with PWM]. Moscow, MEI Publ., 2009, 56 p.
12. Gladkov U.A., Ckvortsov N.A. *Ob organizatsii raspredelennoi sistemy upravleniya i diagnostiki goryacheshtampovochnykh kompleksov. Mashinostroitel'nye tekhnologii: Vserossiiskaya konfyu: tezisy dokl.* [About the organization of a distributed system of control

and diagnostics of hot-stamping complexes: Engineering technology: national conference: abstracts]. Moscow, 1998, pp. 135-136. (In Russian).
13. KEB antriebstechnik Part.No.: 00.F5.MRA-K260: KEB COMBIVERT F5-M/S, 2002.