

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРЕССОМ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ТОЛСТОЛИСТОВОГО И ПРОФИЛЬНОГО ПРОКАТА В ХОЛОДНОМ СОСТОЯНИИ

Н. А. Симанин¹, В. В. Коновалов¹, Ю. В. Родионов²

*Кафедра «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО
«Пензенский государственный технологический университет» (1), г. Пенза;
Кафедра «Техническая механика и детали машин», ФГБОУ ВО «ТГТУ» (2);
nsimanin@mail.ru*

Ключевые слова: адаптивное управление; гидравлический пресс; динамические нагрузки; разделение проката.

Аннотация: Рассмотрены гидравлические прессы для разделения (резки, вырубки, пробивки и т.п.) толстолистового и профильного проката в холодном состоянии и оснащение их системами управления, снижающими динамические нагрузки в процессе эксплуатации оборудования.

Для разделения (резки, вырубки, пробивки и т.п.) толстолистового и профильного проката на штучные заготовки заданных размеров в заготовительных цехах машиностроительных предприятий широко используют прессы, в том числе гидравлические.

Гидравлические прессы относят к машинам квазистатического (приблизительно статического) воздействия на разделяемый материал. Скорость деформирования (разделения) составляет для прессов с насосным приводом – 0,005...0,010 м/с, насосно-аккумуляторным – до 0,3 м/с. Для разделения проката используется потенциальная энергия давления рабочей жидкости (минеральных масел, синтетических жидкостей или водных эмульсий) сжатой до давления $p = 10...32$ МПа и более.

Энергия давления рабочей жидкости расходуется на совершение работы гидравлического привода прессы [1]:

с поршневым цилиндром

$$A_{\text{п}} = \frac{A_{\text{ж}}}{\eta_{\text{п}}} = \frac{S_1 \int_0^l p_1(l) dl - S_2 \int_0^l p_2(l) dl}{\eta_{\text{п}}} = \frac{A_{\text{д}}}{\eta_{\text{д}}} = \left(\eta_{\text{д}} \int_0^l F_{\text{д}}(l) dl \right)^{-1},$$

плунжерным цилиндром

$$A_{\text{п}} = \frac{A_{\text{ж}}}{\eta_{\text{п}}} = \frac{S \int_0^l p_1(l) dl}{\eta_{\text{п}}} = \frac{A_{\text{д}}}{\eta_{\text{д}}} = \left(\eta_{\text{д}} \int_0^l F_{\text{д}}(l) dl \right)^{-1},$$

где $A_{\text{п}}$ – работа гидравлического привода прессы; $A_{\text{ж}}$ – эффективная работа жидкости; $A_{\text{д}}$ – работа деформирования (разделения) материала; $\eta_{\text{п}}$ – КПД привода прессы; $\eta_{\text{д}}$ – КПД процесса деформирования; S_1, S_2 – площадь поршня в рабочей

и штоковой полостях цилиндра соответственно; S – площадь плунжера цилиндра; p_1, p_2 – давление жидкости в рабочей и штоковой полостях цилиндра соответственно; l – рабочий ход поршня или плунжера цилиндра; F_d – деформирующая сила.

При работе пресса усилие в процессе деформирования разделяемого материала плавно увеличивается до максимального значения, после достижения которого при работе с хрупкими материалами происходит резкое снижение усилия, а при разделении пластичных материалов сначала плавное снижение, а затем резкое падение усилия. Изменение усилия обусловлено сопротивлением деформированию разделяемого материала, а резкое снижение усилия соответствует моменту отделения штучной заготовки от проката.

Резкое снижение усилия деформирования происходит за очень короткий отрезок времени, а потенциальная энергия, запасенная в конструктивных элементах пресса в виде упругой деформации в период нарастания усилия, практически мгновенно расходуется на ускоренное перемещение ползуна пресса и встречное движение станины со столом. При этом возникают знакопеременные динамические нагрузки, воздействующие на все элементы конструкции пресса и его привода, и вызывающие вибрацию машины и шум. Вибрации отрицательно сказываются на работе элементов конструкции пресса и его привода, а также режущих кромок разделительных штампов и даже могут привести к их поломкам.

Для снижения динамических нагрузок в процессе эксплуатации оборудования конструкторы прибегают к различным решениям, одним из которых является оснащение прессов специальными автоматическими устройствами и системами управления.

Примером простого конструктивного решения является система управления гидравлическим прессом с компенсатором гидравлического удара. В этой системе номинальное усилие на ползуне определяется предварительной настройкой предохранительного клапана на заданное давление, а скорость перемещения ползуна – настройкой дросселя или регулируемого насоса на заданный расход жидкости, подводимой к цилиндру пресса или отводимой от него в бак. В процессе работы настройки регулирующих устройств не изменяются [2]. Имеющийся в системе управления компенсатор гидравлического удара не устраняет знакопеременные динамические нагрузки на узлы и детали пресса, а только несколько снижает их уровень.

На рисунке 1 показана система управления гидравлическим прессом, где для снижения уровня динамических нагрузок в процессе разделения материала используется специальный гидравлический аккумулятор 19, не входящий в состав насосной станции [3]. Применение пневмогидравлического аккумулятора не устраняет знакопеременные динамические нагрузки на узлы и детали пресса, а только несколько снижает их уровень и продлевает колебательный процесс во времени с постепенным его затуханием. Работа подобной системы не регулируется.

Более сложным и эффективным техническим решением является адаптивная система управления гидравлическим прессом, содержащая средства измерения параметров движения ползуна и двухкаскадный гидравлический усилитель, первый каскад которого образован постоянными дросселями и разнонаправленными соплами с расположенной между ними управляемой заслонкой, соединенными по мостовой схеме, а второй каскад выполнен в виде четырехлинейного дросселирующего распределителя золотникового типа, включенного в диагональ моста и регулирующего скорость ползуна, а также насосно-аккумуляторную станцию, обеспечивающую питание цилиндров пресса и гидравлического усилителя [4].

Использование большого числа разнотипных элементов системы управления вызывает необходимость передачи, усиления и неоднократного преобразования сигналов из одного вида энергии в другой, что приводит к неизбежным погрешностям и снижает достигаемый эффект управления.

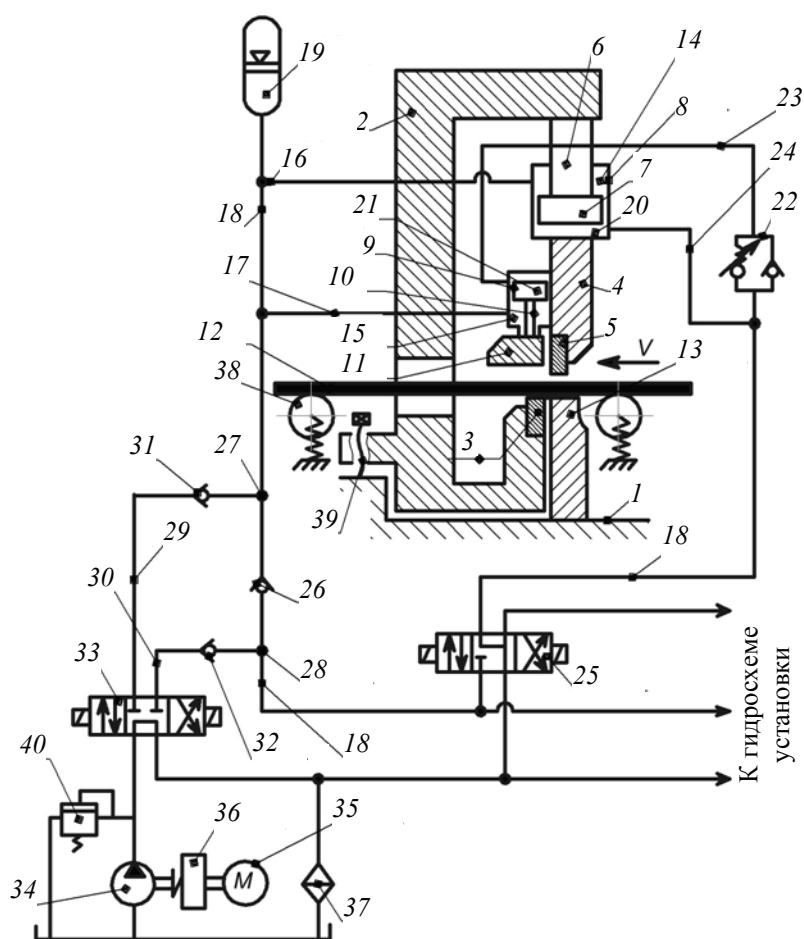


Рис. 1. Схема гидравлического привода прессы с аккумулятором:

1 – станина; 2, 4 – ползуны; 3, 5 – нижний и верхний ножи; 6, 10 – штоки; 7 – поршень; 8 – корпус; 9 – цилиндр; 11 – прижим; 12 – прокат; 13 – неподвижный упор; 14, 15 – штоковые полости цилиндров; 16, 17, 23, 24, 29, 30 – трубопроводы; 18 – магистраль; 19 – аккумулятор; 20, 21 – поршневые полости цилиндров; 22 – клапан давления; 25, 33 – распределители; 26, 31, 32 – обратные клапаны; 27, 28 – тройники; 34 – насос; 35 – электродвигатель; 36 – маховик; 37 – сливной фильтр; 38 – ролик рольганга; 39 – регулировочный винт; 40 – предохранительный клапан

На рисунке 2 показана принципиальная схема гидравлического прессы с адаптивной системой управления [5, 6]. Первый каскад 16 гидравлического усилителя 15 с элементами сопло-заслонка закреплен на ползуне 2 прессы так, чтобы его ось чувствительности располагалась вертикально, снабжен подпружиненной инерционной заслонкой и играет роль измерительного преобразователя линейного ускорения движения ползуна [6 – 9].

Использование энергии жидкости одновременно для работы системы управления и привода ползуна прессы позволяет отказаться от электромеханического управления заслонкой и существенно сократить число элементов, образующих систему управления. Это повышает ее быстродействие, надежность работы и упрощает конструкцию управляющей части прессы [10, 11].

Пресс 1 содержит ползун 2 и инструментальный блок 3. Гидравлический привод прессы включает в себя главный рабочий цилиндр 4, корпус которого связан с ползуном и инструментальным блоком, а поршень со штоком неподвижен;

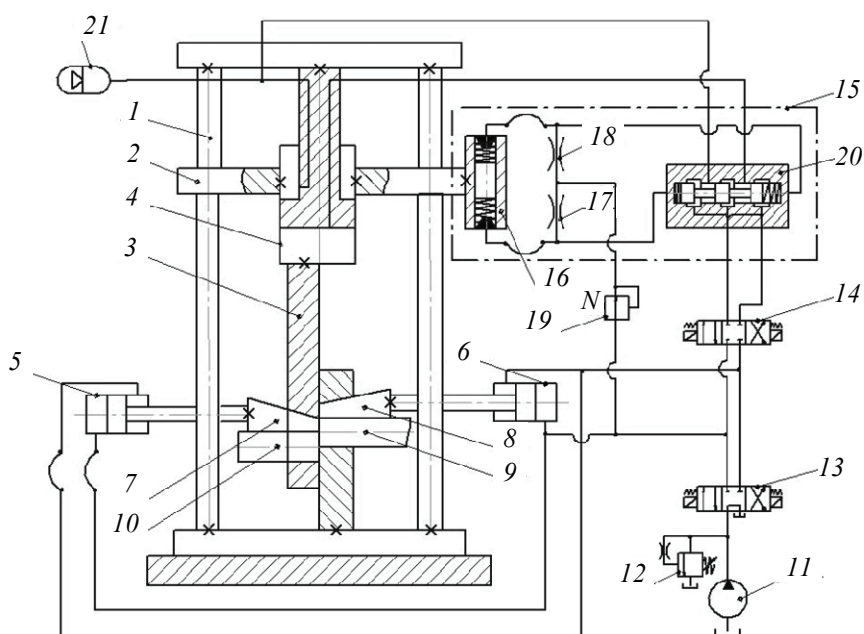


Рис. 2. Принципиальная схема гидравлического пресса с адаптивной системой управления:

1 – пресс; 2 – ползун; 3 – инструментальный блок; 4 – рабочий цилиндр; 5, 6 – зажимные цилиндры; 7, 8 – клинья; 9 – заготовка (прокат); 10 – отделяемая деталь; 11 – насос; 12 – предохранительный клапан; 13, 14 – распределители; 15 – гидравлический усилитель; 16 – сопло-заслонка; 17, 18 – постоянные дроссели; 19 – редукционный клапан; 20 – дросселирующий распределитель; 21 – пневмогидравлический аккумулятор

зажимные цилиндры 5 и 6, которые в процессе разделения материала посредством клиньев 7 и 8 удерживают заготовку 9 и отделяемую деталь 10 в инструментальном блоке. Питание цилиндров проводится от насосной станции с насосом 11, клапаном предохранительным 12, распределителями 13 и 14. Распределитель 13 обеспечивает исходное положение в цикле работы пресса и реверс зажимных цилиндров 5 и 6, а распределитель 14 – возвратно-поступательное движение ползуна 2.

Адаптивная система управления работой пресса содержит двухкаскадный гидравлический усилитель 15. Первый каскад усилителя составляют элементы сопло-заслонка 16 и постоянные дроссели 17 и 18, соединенные по мостовой схеме и питаемые от насосной станции через клапан редукционный 19. Устройство 16 с соплами и расположенной между ними подпружиненной инерционной заслонкой представляет собой измерительный преобразователь линейного ускорения и закрепляется на ползуне так, что ось чувствительности направлена по вертикали.

В качестве второго каскада усилителя использован четырехлинейный дросселирующий распределитель 20 золотникового типа, включенный в диагональ моста [10, 11]. В верхнюю полость цилиндра 4 ползуна включен пневмогидравлический аккумулятор 21.

Адаптивная система управления гидравлическим прессом работает следующим образом. В процессе отделения детали 10 от заготовки 9 скорость движения ползуна 2 пресса определяется настройкой деформации центрирующих пружин золотника дросселирующего распределителя 20. Ускоренное движение ползуна вызывает соответствующее смещение сопел относительно инерционной заслонки, изменение давлений в междроссельных камерах первого каскада усилителя (измерительного преобразователя линейного ускорения) и под торцами золотника

дросселирующего распределителя 20. Возникшее управляющее воздействие приводит к смещению золотника и изменению расхода жидкости, подводимого к цилиндру 4 и отводимого от него. В результате ускорение будет устранено и заданная скорость ползуна восстановится.

В момент разделения материала ползун 2 резко, с большим ускорением, опускается вниз и вместе с ним опускается корпус цилиндра 4 и сопло-заслонка 16. Давление жидкости в верхней полости цилиндра 4 скачкообразно возрастает, а в нижней полости падает. Инерционная заслонка отстает от движения корпуса измерительного преобразователя, что приводит к существенному изменению давлений в междроссельных камерах и под торцами золотника дросселирующего распределителя 20. Золотник смещается влево и одновременно увеличивает слив жидкости из верхней в нижнюю полость цилиндра 4, что приводит к быстрой стабилизации давления и снижению уровня динамических нагрузок на узлы и детали пресса. Одновременно с работой системы управления пики давления гасит пневмогидравлический аккумулятор 21, включенный в верхнюю полость цилиндра 4.

На рисунке 3, а показана конструктивная схема оригинального измерительного преобразователя линейного ускорения, на рис. 3, б – его детали.

Для опытной проверки работоспособности адаптивной системы управления гидравлическим прессом спроектирован и изготовлен четырехлинейный дросселирующий распределитель с нулевым перекрытием необходимого типоразмера,

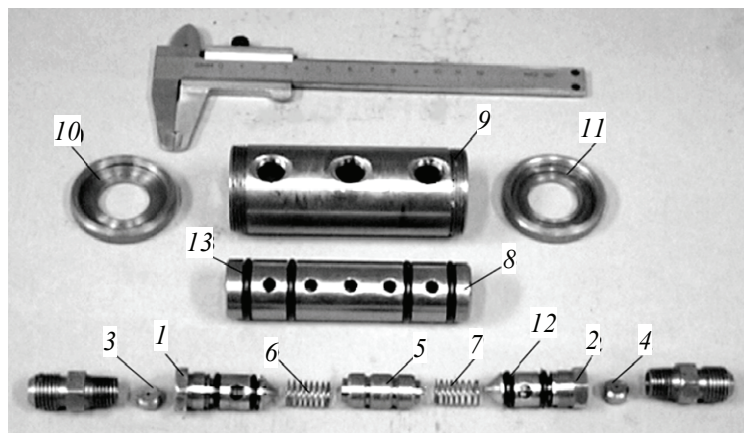
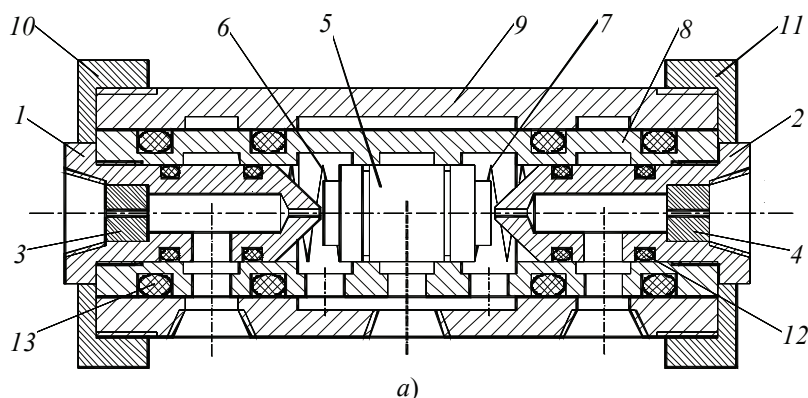


Рис. 3. Конструктивная схема (а) и детали (б) инерционного измерительного преобразователя линейного ускорения:

1, 2 – сопла; 3, 4 – постоянные дроссели; 5 – инерционная заслонка; 6, 7 – центрирующие пружины; 8 – гильза; 9 – корпус; 10, 11 – крышки; 12, 13 – уплотнительные кольца

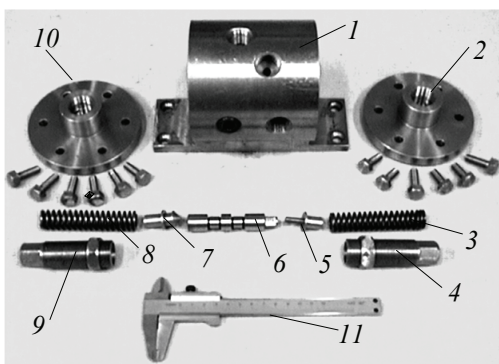


Рис. 4. Детали четырехщелевого дросселирующего золотникового распределителя с нулевым перекрытием:
 1 – корпус; 2, 10 – крышки; 3, 8 – центрирующие пружины; 4, 9 – винты для регулирования натяга пружин; 5, 7 – центрирующие проставки; 6 – золотник; 11 – винты для крепления крышек

состоянии приводит к снижению нагрузок на элементы пресса и его фундамент, повышению стойкости инструмента, упрощению конструкции и удешевлению фундамента, а также увеличению срока службы пресса и повышению надежности его работы, улучшению условий труда обслуживающего персонала.

Список литературы

1. Бочаров, Ю. А. Кузнечно-штамповочное оборудование : учеб. для вузов / Ю. А. Бочаров. – М. : Академия, 2008. – 480 с.
2. Живов, Л. И. Кузнечно-штамповочное оборудование : учеб. для вузов / Л. И. Живов, А. Г. Овчинников, Е. Н. Складчиков / под ред. Л. И. Живова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 216 с.
3. А. с. 778953 СССР, Кл. В23D 23/00. Ножницы для резки проката / Н. П. Игнатъев, Г. М. Воробьев, В. Д. Вайцеховский – № 2634501/25-27 ; заявл. 19.06.78 ; опубл. 15.11.80, Бюл. № 42. – 3 с.
4. Павлов, А. А. Использование сервогидравлического привода в прессе для резки толстолистового проката / А. А. Павлов, Ю. М. Титяков, И. И. Силантьев // Гидропривод новых кузнечно-прессовых машин / под ред. В. М. Новикова, И. В. Кононова. – Воронеж : ЭНИКмаш, 1983. – С. 25 – 38.
5. Симанин, Н. А. Совершенствование систем автоматического регулирования гидравлических приводов промышленного оборудования / Н. А. Симанин, И. А. Поляков // Итоги диссертационных исследований : материалы V Всеросс. конкурса молодых ученых. – М. : РАН, 2013. – Т. 4. – С. 122 – 132.
6. Пат. 145394 Российская Федерация, МПК В30В 15/16 (2006.01). Адаптивная система управления гидравлическим прессом / Н. А. Симанин, В. В. Голубовский, С. Г. Прохоров, ГОУ ВПО «Пенз. гос. университет». – № 2013146879/02 ; заявл. 21.10.2013 ; опубл. 20.09.2014, Бюл. № 26. – 4 с.
7. Симанин, Н. А. Измерительные преобразователи типа «сопло-заслонка» для гидравлических систем автоматического регулирования приводов промышленного оборудования / Н. А. Симанин, В. В. Голубовский, А. Н. Расстегаев // «XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс» : науч. период. издание. Сер. : Техн. науки. Пищевые пр-ва. – № 06(10), 2013. – Пенза, 2013. – С. 179 – 189.

детали которого показаны на рис. 4. Данный распределитель используется в качестве второго каскада гидравлического усилителя. Использование единой рабочей среды (жидкости) для работы системы управления и привода ползуна пресса позволяет отказаться от электромеханического управления заслонкой и сократить число элементов, образующих систему управления. Это повышает быстродействие, надежность работы и упрощает конструкцию управляющей части пресса.

Предварительные испытания гидравлического пресса, оснащенного адаптивной системой управления, показали, что снижение уровня динамических нагрузок в процессе разделения материала в холодном

8. Пат. 102265 Российская Федерация, МПК G01P 15/02 (2006.1). Измерительный преобразователь ускорений типа «сопло-заслонка» / Н. А. Симанин, В. В. Голубовский, ГОУ ВПО «Пенз. гос. университет» ; заявл. 20.10.2010 ; опубл. 20.02.2011, Бюл. № 5.

9. Пат. 140862 Российская Федерация, МПК G01P 15/00 (2006.1). Измерительный преобразователь линейных и угловых ускорений / Н. А. Симанин, В. В. Голубовский, С. Г. Прохоров, ГОУ ВПО «Пенз. гос. университет» ; заявл. 23.12.2013 ; опубл. 20.05.2014, Бюл. № 14.

10. Симанин, Н. А. Гидравлические системы автоматического управления технологическими операциями в машиностроении / Н. А. Симанин, В. В. Голубовский. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. технолог. университета, 2009. – 155 с.

11. Симанин, Н. А. Проектирование элементов и систем автоматического регулирования гидравлических приводов технологического оборудования / Н. А. Симанин, В. В. Голубовский. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. технолог. университета, 2014. – 205 с.

Adaptive Control of Hydraulic Press for Separation of Heavy Plate and Rolled Metal in Cold Condition

N. A. Simanin¹, V. V. Konovalov¹, Yu. V. Rodionov²

*Department of Mechanical Engineering, Penza State Technological University (1),
Penza; Department of Engineering Mechanics and Machine Parts, TSTU (2);
nsimanin@mail.ru*

Keywords: adaptive control; dynamic loads; hydraulic press; rolled metal separation.

Abstract: The article deals with hydraulic presses for separation (cutting, chipping, punching, etc.) of heavy plate and rolled metal in cold condition using control systems, to reduce dynamic loads during operation of the equipment.

References

1. Bocharov Yu.A. *Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie : ucheb. dlya vuzov* [Press-forging equipment: textbook. for schools], Moscow: Izdatel'skii dom "Akademiya", 2008, 480 p. (In Russ.)

2. Zhivov L.I., Ovchinnikov A.G., Skladchikov E.N. *Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie : ucheb. dlya vuzov* [Press-forging equipment: textbook. for schools], Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2006, 216 p. (In Russ.)

3. Ignat'ev N.P., Vorob'ev G.M., Vaitsekhovskii V.D. *Nozhnitsy dlya rezki prokata* [Shears rental], USSR, 1980, Certificate of authorship 778953. (In Russ.)

4. Pavlov A.A., Tityakov Yu.M., Silant'ev I.I. *Ispol'zovanie servogidravlicheskogo privoda v presse dlya rezki tolstolistovogo prokata* [Using servo hydraulic drive of the press for cutting rolled plates], *Gidroprivod novykh kuznechno-pressovykh mashin* Voronezh, 1983, pp. 25-38. (In Russ.)

5. Simanin N.A., Polyakov I.A. *Sovershenstvovanie sistem avtomaticheskogo regulirovaniya gidravlicheskikh privodov promyshlennogo oborudovaniya* [Improvement of automatic control systems of hydraulic drives of industrial equipment], Proceedings of the 5th All-Russian Competition for Young Scientists, Moscow: RAN, 2013, vol. 4, pp. 122-132. (In Russ.)

6. Simanin N.A., Golubovskii V.V., Prokhorov S.G. *Penza State University; Adaptivnaya sistema upravleniya gidravlicheskim pressom* [Adaptive hydraulic press control system], Russian Federation, 2013, Pat. 145394. (In Russ.)

7. Simanin N.A., Golubovskii V.V., Rasstegaev A.N. *Izmeritel'nye preobrazovateli tipa "soplo-zaslonka" dlya gidravlicheskih sistem avtomaticheskogo regulirovaniya privodov promyshlennogo oborudovaniya* [Transmitters of the "nozzle-flap" for hydraulic automatic control systems of industrial equipment drives], "XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus" : nauch. period. izdanie. Ser. : Tekhn. nauki. Pishchevye pr-va, no. 06(10), 2013, Penza, 2013, pp. 179-189. (In Russ.)

8. Simanin N.A., Golubovskii V.V. Penza State University; *Izmeritel'nyi preobrazovatel' uskorenii tipa "soplo-zaslonka"* [Transmitter acceleration of the "nozzle-flap"], Russian Federation, 2011, Pat. 102265. (In Russ.)

9. Simanin N.A., Golubovskii V.V., Prokhorov S.G. Penza State University; *Izmeritel'nyi preobrazovatel' lineinykh i uglovykh uskorenii* [The transmitter is linear and angular accelerations], Russian Federation, 2014, Pat. 140862. (In Russ.)

10. Simanin N.A., Golubovskii V.V. *Gidravlicheskie sistemy avtomaticheskogo upravleniya tekhnologicheskimi operatsiyami v mashinostroenii* [Hydraulic system of automatic control technological operations in engineering], Penza: Izd-vo Penz. gos. tekhnolog. universiteta, 2009, 155 p. (In Russ.)

11. Simanin N.A., Golubovskii V.V. *Proektirovanie elementov i sistem avtomaticheskogo regulirovaniya gidravlicheskih privodov tekhnologicheskogo oborudovaniya* [Design elements and systems of automatic control of hydraulic drives of technological equipment], Penza: Izd-vo Penz. gos. tekhnolog. universiteta, 2014, 205 p. (In Russ.)

Adaptive Steuerung von der hydraulischen Presse für die Teilung des Grobblech- und Profilwalzgutes im kalten Zustand

Zusammenfassung: Im Artikel werden die hydraulischen Pressen für die Teilung (das Schneiden, das Abholzen, das Durchstoßen u.ä.) des Grobblech- und Profilwalzgutes im kalten Zustand und ihre Ausstattung von den Steuersystemen, die die dynamischen Belastungen im Prozess der Ausrüstungsnutzung verringern, betrachtet.

Commande adaptative d'une presse hydraulique pour la séparation du laminage de tôle forte et celui profilé à l'état froid

Résumé: Dans l'article sont examinées des presses hydrauliques pour la séparation (coupe, découpage, poinçonnage, etc.) du laminage de tôle forte et celui profilé à l'état froid et leur équipement des systèmes de commande réduisent la charge dynamique lors de l'exploitation de l'équipement.

Авторы: *Симанин Николай Алексеевич* – кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения»; *Коновалов Владимир Викторович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза; *Родионов Юрий Викторович* – доктор технических наук, профессор, исполняющий обязанности заведующего кафедрой «Техническая механика и детали машин», ФГБОУ ВО «ТГТУ».

Рецензент: *Мищенко Сергей Владимирович* – доктор технических наук, профессор, научный руководитель кафедры «Мехатроника и технологические измерения», ФГБОУ ВО «ТГТУ».