



Теоретическое исследование обеспечения сопряжения колонн с поперечной гидравлического пресса

А.А. Анцифиров

к.т.н., доцент кафедры «Технологии обработки давлением» МГТУ им. Н.Э. Баумана; Москва

aaleksei@inbox.ru

В.А. Кривошеин

доцент кафедры «Технологии обработки давлением» МГТУ им. Н.Э. Баумана; Москва

Аннотация. Произведено моделирование и исследование условий обеспечения сопряжения между контактными поверхностями верхней поперечины и колонн четырехколонного гидравлического пресса номинальной силой 5МН с учетом схемы нагружения модели пресса программном пакете Ansys. Произведено моделирование процесса термической затяжки колонн на основе разработанной твердотельной модели пресса.

Приведено оптимальное значение температуры нагрева для термической затяжки, при которой обеспечивается полный контакт между колоннами и верхней поперечиной с учетом нагружения пресса до номинальной силы 5МН. Представлено сравнение результатов моделирования с аналитическими расчетами силы затяжки колонн.

Ключевые слова: гидравлический пресс, исследование, колонна пресса, затяжка.

Введение

Колонны гидравлических прессов во время совершения технологических операций деформирования подвергаются интенсивным нагрузкам, как на растяжение, так и на изгиб. В связи с этим актуальной представляется задача определения требуемой величины термической затяжки колонн, неисправность которых в процессе эксплуатации приводит к их разрушению, что впоследствии вызывает простой технологического оборудования и, как следствие, экономические потери в процессе производства штампуемых изделий и полуфабрикатов. Кроме замены неисправной колонны гидравлических прессов, крайне актуально устранять причины, которые приводят к возникновению самой неисправности. Одной из таких причин может стать неверно подобранная сила затяжки колонн.

Конструкция колонн при различных конструктивных исполнениях гидравлических прессов в целом не претерпевает принципиальных изменений. Оптимальная величина силы термической затяжки колонн позволяет обеспечить повышение их эксплуатационных свойств, а также необходимую жесткость гидравлического пресса, что впоследствии благоприятно сказывается на соблюдении требуемого уровня технологического процесса штамповки. Требуемая жесткость обеспечивается надежным сопряжением колонн и поперечин гидравлических прессов.

1. Основная часть

Для качественного и безотказного обеспечения процесса штамповки на двух- или четырехколонных гидравлических прессах на практике важно соблюдать такой параметр, как расчетную величину затяжки колонн [1–3].

На гидравлических прессах различного исполнения колонны конструктивно выполняются примерно одинаковыми по форме, поэтому здесь рассматривается исполнение колонн, представленное на рис. 1. Согласно рисунку, в процессе совершения технологической операции деформирования важно сохранять контакт на стыке конической части колонн 4 с втулкой 3 корпуса 5 главного гидроцилиндра (рис. 2), в противном случае сила и величина затяжки колонн будут недостаточными для обеспечения требуемых параметров жесткости и условий эксплуатации гидравлического пресса [1, 4].

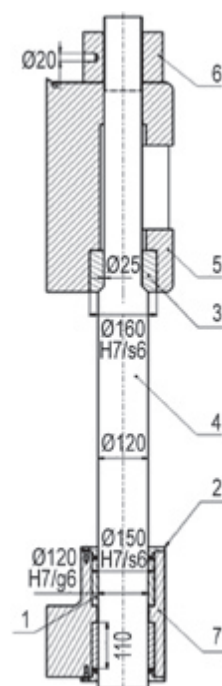


Рис. 1. Разрез колонны гидравлического пресса

1 – втулка подвижной поперечины, 2 – крышка, 3 – втулка корпуса гидроцилиндра, 4 – колонна пресса, 5 – корпус гидроцилиндра, 6 – гайка, 7 – подвижная поперечина

Для исследования термической затяжки колонн рассмотрим приведенную на *рис. 2* схему нагружения гидравлического пресса номинальной силой 5 МН. Согласно этой схеме, на подвижную поперечину и колонны пресса воздействуют осевые и эксцентриковые нагрузки, которые возникают в результате смещения силы деформирования от плоскости симметрии пресса [4–6].

Для обеспечения минимальной необходимой силы затяжки T необходимо обратиться к теории резьбовых соединений [7]:

$$T = k(1 - \chi) \cdot P,$$

где: k – коэффициент запаса по затяжке, χ – коэффициент внешней нагрузки (для прессовых резьбовых соединений колеблется в пределах $\chi = (0,2 \dots 0,3)$; P – величина силы деформирования на колонну.

Коэффициент внешней нагрузки χ определяется следующим выражением [6]:

$$\chi = \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_k},$$

где λ_d – податливость деталей колонна-корпус гидроцилиндра, λ_k – податливость затягиваемой части колонны.

В свою очередь податливость деталей колонна-корпус гидроцилиндра рассчитывается по зависимости:

$$\lambda_d = \frac{l_t}{E_t \cdot A_t} + \frac{l_{kp}}{E_k \cdot A_{kp}} = 4,377 \cdot 10^{-10} \text{ мм/Н},$$

где $l_t = 670$ мм – высота ушка корпуса; $E_t = 2,12 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости 1-го рода корпуса; $E_k = 2,06 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости 1-го рода колонны; $A_t = (\pi(190^2 - 90^2))/4 = 22\,000$ мм² – площадь действия нагрузки на корпусе; $l_{kp} = 1370/2 = 685$ мм – длина широкой части колонны, участвующая в за-

тяжке; $A_{kp} = \frac{\pi(120^2)}{4} = 11\,000$ мм² – площадь широкой части колонны.

Податливость λ_k затягиваемой части колонны рассчитывается по следующей зависимости [7]:

$$\lambda_k = \frac{l_k}{E_k \cdot A_k} = 5,112 \cdot 10^{-10} \text{ мм/Н},$$

где $l_k = 670$ мм – длина затягиваемой части колонны; $E_k = 2,12 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости 1-го рода корпуса; $A_k = \frac{\pi(90^2)}{4} = 6\,362$ мм² – площадь узкой части колонны.

С помощью приведенных выше расчетов можно определить, что величина коэффициента внешней нагрузки составляет $\chi = 0,461$.

В итоге полная сила затяжки, действующая на колонну, равна [1]:

$$F = (1 - \chi) \cdot P + \chi \cdot P = (1 - 0,461)1250000 + 0,461 \cdot 1250000 = 1\,250\,000 \text{ Н}.$$

Поскольку коэффициент запаса по затяжке k выбирается из диапазона значений (1,2...1,5), то для дальнейших расчетов он принят равным 1,3. Исходя из этого, определяем величину силы затяжки для одной колонны пресса:

$$T = k(1 - \chi)P = 1,3 \cdot (1 - 0,461)1250000 = 875875 \text{ Н}.$$

Моделирование термической затяжки колонн гидравлического пресса производилось в программном пакете ANSYS [8]. Температура нагрева перед затяжкой принята равной 145 °С и является минимальной для выполнения условия нераскрытия стыка конической части колонн с втулкой корпуса главного гидроцилиндра. Нагреву подвергаются верхние участки колонн [9], после происходит остывание до температуры 22 °С (*рис. 3*). Обеспечить нагрев можно при помощи среднечастотной низковольтной индукционной установки и катушек, которые изготавливаются из индукционных трубок [10]. Кроме того, на рисунке для определения силы, необходимой для раскрытия стыка, приведена упрощенная схема нагружения колонн.

В представленной на *рис. 3* схеме напряжения на участке «С» равно 44,34 МПа, оно вызвано равномерным распределением силы деформирования по площади кольцевого контакта гайки 6 и корпуса гидроцилиндра 5 (*рис. 1*). Моделирование изгибающего момента [4] осуществляется силой 5 МН, приложенной к эксцентриситету в точке с координатой $x = 30$ мм, $y = 30$ мм от оси симметрии гидрав-

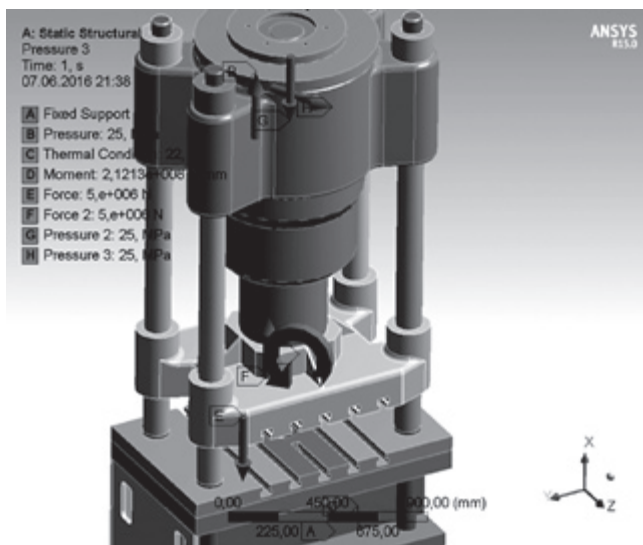


Рис. 2. Схема нагружения гидравлического пресса



лического пресса. При таком эксцентриситете приложения силы деформирования наступает момент раскрытия стыка, поэтому изгибающий момент определяется как:

$$M = \sqrt{(5000000 \cdot 30)^2 + (5000000 \cdot 30)^2} = 212130000 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Полученные по результатам моделирования величины перемещений участков колонн на месте стыка представлены на рис. 4.

Интересующий участок стыка представлен на рис. 5, а на рис. 6 приведено его увеличенное отображение.

На рассматриваемых рисунках желтым цветом определена зона раскрытия стыка, она составляет 50% контакта, такое значение является предельно допустимым для гидравлических прессов.

Для осуществления термической затяжки колонн пресса моделированием произведен нагрев одной колонны пресса и определены ее максимальные перемещения $X_1=1,13 \text{ мм}$ (рис. 7), которые вы-

званы термическими деформациями и требуют компенсации путем подкручивания гайки 6 (рис. 1). Далее колоннам пресса необходимо остыть до температуры 22 °С.

Для случая отсутствия нагрева сила, действующая на одну колонну, определенная моделированием, с учетом эксцентриситета приложения номинальной нагрузки составляет 1500000 Н. Максимальное упругое перемещение колонны при действии такой силы на одну колонну равно $X_2=1,1085 \text{ мм}$.

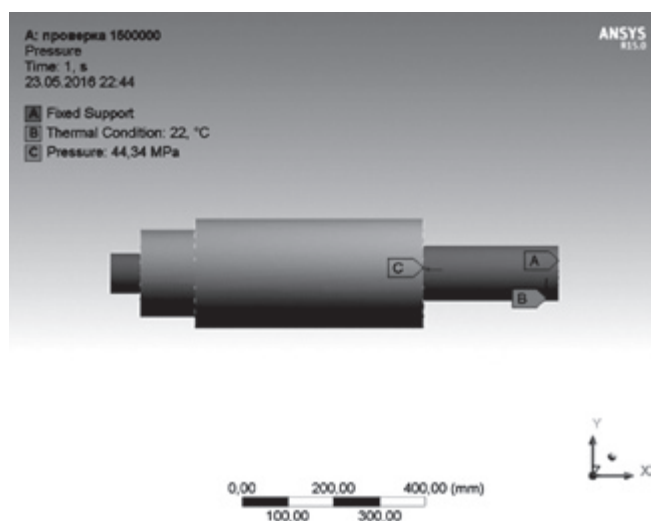


Рис. 3. Упрощенная схема нагружения колонн

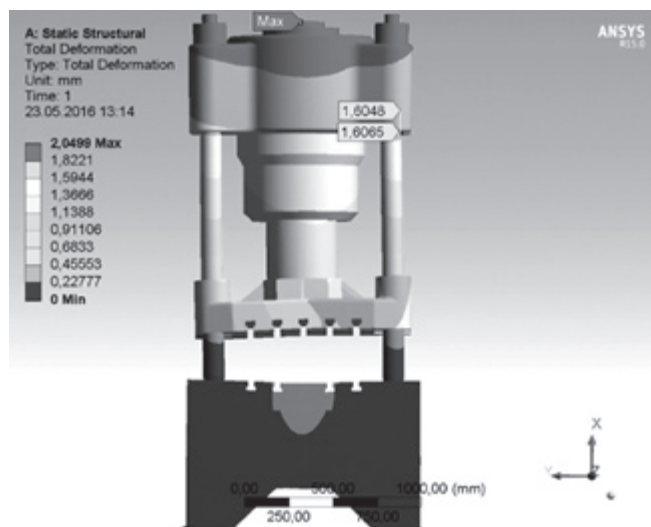


Рис. 4. Общая деформация гидравлического пресса

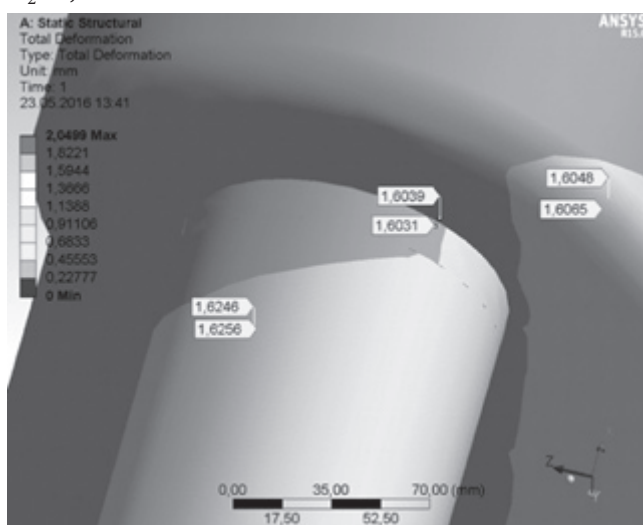


Рис. 5. Раскрытие стыка нагруженной колонны

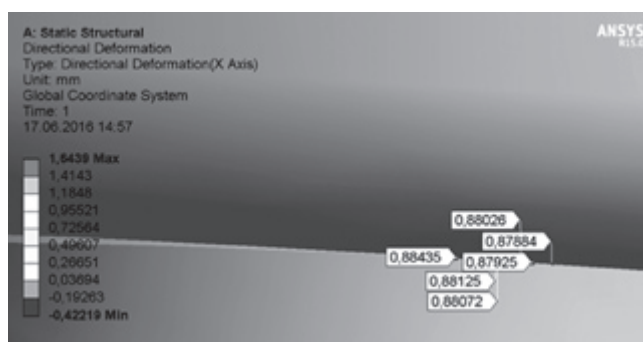


Рис. 6. Увеличенное раскрытие стыка

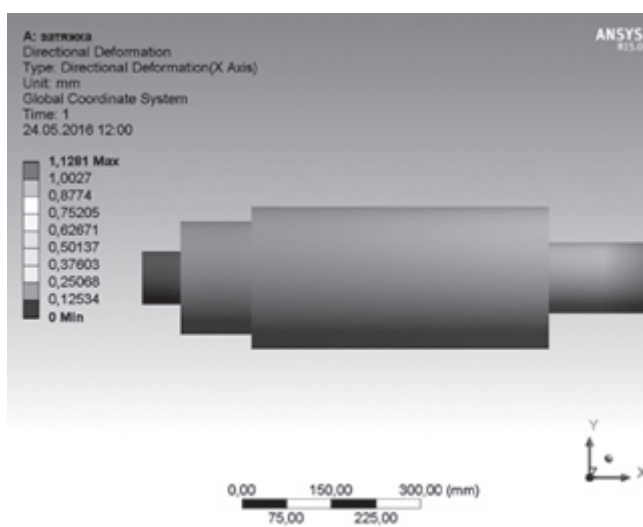


Рис. 7. Перемещения при остывании колонны

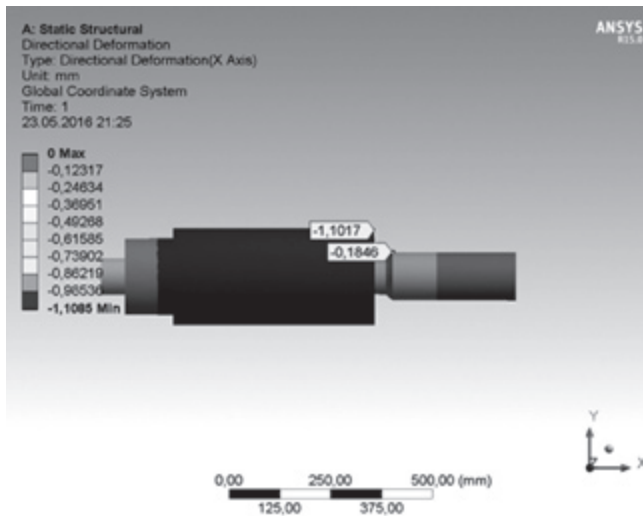


Рис. 8. Удлинение колонны под нагрузкой

Из проведенных исследований можно сделать вывод о том, что раскрытие стыка колонн прессы не происходит при значениях перемещений колонн от термических деформаций, превышающих перемещение от деформаций упругих, то есть выполняется условие $X_1 > X_2$ ($1,1281 \text{ мм} > 1,1085 \text{ мм}$).

Запас по раскрытию стыка можно рассчитать отношением полученного значения со значением четверти номинальной силы, действующей на одну колонну:

$$k = P/F = 1500000 \text{ Н} / 1250000 \text{ Н} = 1,2.$$

Для сравнения теоретического расчета с моделированием (рис. 9) определено напряжение, возникающее в колонне на участке затяжки $\sigma = 128 \text{ МПа}$.

Тогда сила затяжки определяется следующим выражением, результат которого коррелирует с теоретическим расчетом:

$$T_M = 128 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 128 \cdot \frac{\pi \cdot 90^2}{4} = 8,143 \cdot 10^5 \text{ Н}.$$

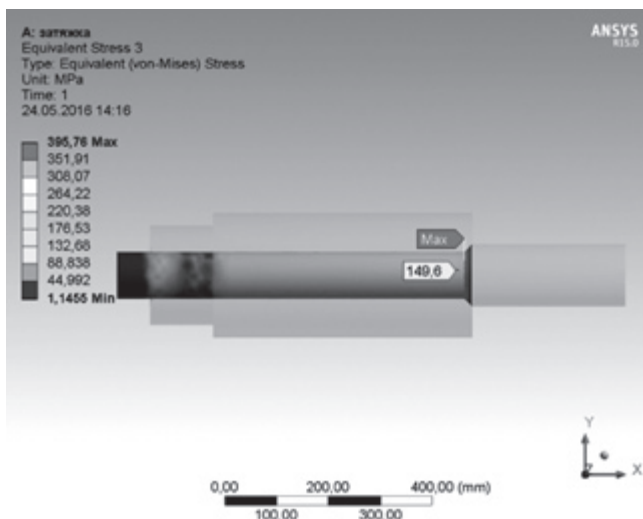


Рис. 9. Напряженное состояние колонны

Минимальная теоретическая сила затяжки определяется при коэффициенте запаса $k=1$ и составляет:

$$T = (1 - \gamma)P = 6,734 \cdot 10^5 \text{ Н}.$$

В таком случае коэффициент затяжки равен:

$$k = \frac{T_M}{T} = \frac{8,143 \cdot 10^5}{6,734 \cdot 10^5} = 1,2$$

На практике нагрев колонны до оптимальной температуры осуществить крайне сложно, поэтому контроль температуры нагрева целесообразно проводить через линейные перемещения, вызванные температурными деформациями. Примером может служить рис. 3, где моделируемая часть колонны составляет 980 мм. Длина узкой части колонны ($\varnothing 90 \text{ мм}$) равна $L=680 \text{ мм}$, остальная длина использовалась только для фиксации при проведении расчета. При нагреве от $T_0=22 \text{ }^\circ\text{C}$ до $T=145 \text{ }^\circ\text{C}$ удлинение колонны для стали 45 ХН ГОСТ 2590-2006 составит:

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot (T - T_0) = 670 \cdot 13 \cdot 10^{-6} (145 - 22) = 1,07133 \text{ мм}.$$

Величину температурных деформаций для коэффициента линейного расширения стали 45ХН $\alpha=13 \text{ мкК}^{-1}$ [10] можно принять равной $\Delta L=1,07 \dots 1,08 \text{ мм}$.

Вывод

На практике обеспечить точный температурный интервал нагрева затягиваемого участка колонн не представляется возможным. Термическую затяжку следует обеспечивать путем контроля температурного удлинения колонны при нагреве до оптимальной температуры затяжки, что впоследствии обеспечит оптимальную силу затяжки, необходимую для безотказной работы прессы.

Перед термической затяжкой предварительно следует провести затягивание колонн в ненагретом состоянии, нагрузив пресс до номинальной силы, под действием которой в зоне гайки произойдет устранение люфта в резьбе и обмятие контактных поверхностей с деформацией витков резьбы. Также произойдет обмятие поверхностей контакта поперечины и гайки. После снятия нагрузки необходимо компенсировать образовавшиеся люфты подкручиванием гайки колонн прессы и далее следует осуществлять термическую затяжку, при этом целесообразно произвести предварительное моделирование этого процесса.

Затяжка колонн дает меньшие напряжения в колонне, чем при отсутствии затяжки, что обе-



спечивает долговременную работу прессы, следовательно, основным фактором износа колонн остается износ резьбовой части колонн.

Литература

1. Сурков И.А. Исследование условий эксплуатации, определение причин разрушений и обеспечение безотказной работы колонн мощных гидравлических прессов: дисс. ...канд. техн. наук. М., 2007. 120 с.
2. Бочаров Ю.А. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для студ. высш. учеб. заведений. Москва, Издательский центр «Академия», 2008. 480 с.
3. Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование: Учебник для вузов / Под ред. Л.И. Живова. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 560 с: ил.
4. Коркин Н.П., Сурков И.А., Тимохин И.В. Влияние эксцентриситета нагружения на напряженное состояние колонн мощного гидравлического прессы // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. М., 2008. № 5.
5. Коркин Н.П., Сурков И.А., Тимохин И.В. Влияние эксцентриситета нагружения гидравлического прессы на напряженное состояние подвижной поперечины // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. М., 2008. № 4.
6. Коркин Н.П. Исследование условий эксплуатации и разработка системы управления прочностными и технологическими параметрами гидравлических прессов. Дис. ...к.т.н. М., 2009. 120 с.
7. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х томах. Том 1, 2. - 8-е изд., перераб. и доп. / Под ред. И.Н. Жестковой. М.: Машиностроение, 2001.
8. Басов К.А. ANSYS для конструкторов. Москва, Изд-во ДМК Пресс, 2009. 238 с.
9. Гусев А.Н., Линц В.П. Устройство и наладка холодноштамповочного оборудования. М.: Высшая школа, 1983. 263 с.
10. <http://mosinductor.ru/info/articles/sovremennye-induktsionnye-nagrevateli/> (дата обращения 08.03.2017).

Theoretical Research of Ensuring Conjugation of Columns with a Cross-piece of a Hydraulic Press

A.A. Antsifirov, candidate of technical sciences, associate professor of department «Technologies of processing by pressure» of MSTU of N.E. Bauman; Moscow

e-mail: aaleksei@inbox.ru

V.A. Krivoshein, associate professor of department «Technologies of processing by pressure» of MSTU of N.E. Bauman; Moscow

Summary. Modeling and research of conditions of ensuring interface between contact surfaces of the top cross-piece and columns of a four-columned hydraulic press by the nominal force of 5MH taking into account the scheme of loading of model of a press in a software package of Ansys is made. Modeling of process of a thermal inhaling of columns on the basis of the developed solid-state model of a press is made.

Optimum value of temperature of heating for a thermal inhaling at which the full contact between columns and the top cross-piece taking into account loading of a press to the nominal force of 5MH is given. Comparison of results of modeling with analytical calculations of force of an inhaling of columns is presented.

Keywords: hydraulic press, research, press column, inhaling.

References:

1. Surkov I.A. Research of service conditions, definition of the reasons of destructions and ensuring no-failure operation of columns of powerful hydraulic press. *Thesis. Candidate of technical sciences.* 2007. Moscow, 120 p.
2. Bocharov Yu.A. Forge and forming equipment. The textbook for students of higher educational institutions. *Publishing center «Academy».* 2008. Moscow, 480 p.
3. Zhivov L.I., Ovchinnikov A.G., Skladchikov E.N. Forge and forming equipment. The textbook for higher education institutions. Edited by L.I. Zhivov. *Publishing house of Bauman Moscow State Technical University.* 2006. Moscow, 560 p.
4. Korokin N.P., Surkov I.A., Timokhin I.V. Influence of eccentricity of loading on tension of columns of a powerful hydraulic press. *Forge and forming production – processing of materials pressure.* No. 5. 2008. Moscow
5. Korokin N.P., Surkov I.A., Timokhin I.V. Influence of eccentricity of loading of a hydraulic press on tension of a mobile cross-piece. *Forge and forming production – processing of materials pressure.* No. 4. 2008. Moscow
6. Korokin N.P. Research of service conditions and development of the system of management of strength and technological parameters of hydraulic press. *Thesis. Candidate of technical sciences.* 2009. Moscow, 120.
7. Anuriev V.I. Reference book of the designer-mechanic. Volume 1, 2. *Mechanical engineering.* 2001. Moscow
8. Basov K.A. ANSYS for designers. *Press DMK publishing house.* 2009. Moscow, 238 p.
9. Gusev A.N., Lints V. P. Device and adjustment of the cold forming equipment. *The higher school.* 1983. Moscow, 263 p.
10. Available at: <http://mosinductor.ru/info/articles/sovremennye-induktsionnye-nagrevateli/>.