

УДК 621.73

ЭНЕРГЕТИКА ВЫДАВЛИВАНИЯ НА КРИВОШИПНОМ ГОРЯЧЕШТАМПОВОЧНОМ ПРЕССЕ**Р. И. Рей, Е. А. Наумова**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: vldrag@kdu.edu.ua**М. А. Абдулганиев**Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля
просп. Советский, 59 а, г. Северодонецк, 93400. E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

Предложен метод аналитического расчета затрат энергии на рабочий ход и технологический цикл при выдавливании на кривошипном горячештамповочном прессе. Баланс работ рабочего хода пресса представлен в виде суммы работы пластической деформации, потерь энергии на трение при прямом ходе ползуна и упругой разгрузке пресса. Разработаны аналитические зависимости для расчета всех составляющих баланса работ рабочего хода пресса для технологических операций выдавливания. Приведены результаты расчета энергетических затрат на рабочий ход и технологический цикл. Показано, что замена консистентной смазки на жидкостную циркуляционную, позволяет на 52 % увеличить коэффициент полезного действия рабочего хода пресса, на 42 % повысить коэффициент полезного действия технологического цикла и на 30 % снизить мощность электродвигателя пресса; дальнейшее улучшение смазки с обеспечением гидродинамических условий трения можно дополнительно на 55 % и 34 % увеличить коэффициент полезного действия и на 28 % снизить мощность электродвигателя привода пресса.

Ключевые слова: пресс, выдавливание, энергия, деформация, трение.**ЕНЕРГЕТИКА ВИДАВЛЮВАННЯ НА КРИВОШИПНОМУ ГАРЯЧЕШТАМПУВАЛЬНОМУ ПРЕСІ****Р. І. Рей, О. О. Наумова**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600. E-mail: vldrag@kdu.edu.ua**М. А. Абдулганієв**Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
просп. Радянський, 59 а, м. Северодонецьк, 93400. E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

Запропоновано метод аналітичного розрахунку витрат енергії на робочий хід і технологічний цикл при видавлюванні на кривошипному горячештампувальному пресі. Баланс робіт робочого ходу преса представлено у вигляді суми роботи пластичної деформації, втрат енергії на тертя при прямому ході повзуна й пружному розвантаженні преса. Розроблено аналітичні залежності для розрахунку всіх складових балансу робіт робочого ходу преса для технологічних операцій видавлювання. Наведено результати розрахунку енергетичних витрат на робочий хід і технологічний цикл. Показано, що заміна консистентного змащування на рідинне циркуляційне, дозволяє на 52 % збільшити коефіцієнт корисної дії робочого ходу преса, на 42 % підвищити коефіцієнт корисної дії технологічного циклу і на 30 % знизити потужність електродвигуна преса; подальше поліпшення змащування з забезпеченням гідродинамічних умов тертя можна додатково на 55 % і 34 % збільшити коефіцієнт корисної дії і на 28 % знизити потужність електродвигуна приводу преса.

Ключові слова: прес, видавлювання, енергія, деформація, тертя.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Энергетические параметры технологического цикла кривошипного горячештамповочного пресса (КГШП) используются при проектировании привода пресса, определении допустимого времени цикла робототехнологических и автоматизированных линий, построенных на базе КГШП. В настоящее время в технической литературе [1, 2] по кузнечно-штамповочному оборудованию изложены методы графоаналитического определения затрат энергии на рабочий ход, которые громоздки и содержат погрешности, связанные с графическими построениями.

В работах [1, 2] и в более ранних работах, посвященных объемной штамповке затраты энергии на рабочий ход учитывают только прямой ход ползуна с учетом потерь на энергию упругой деформации пресса. В работах [3–6] предлагается определять затраты энергии на рабочий ход кривошипного пресса методом численного интегрирования для операции листовой штамповки.

В работе [7, 8, 10] указано, что при нагрузке-разгрузке стали рассеивание энергии за цикл со-

ставляет незначительную величину, делается вывод, что затраты энергии на упругую деформацию пресса при возникновении максимума усилия в крайнем нижнем положении ползуна учитывать не следует, а необходимо учитывать потери энергии на трение как при нагрузке, так и при разгрузке пресса.

Цель работы – разработка метода аналитического расчета энергетических параметров кривошипного горячештамповочного пресса, работающего на операциях выдавливания.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Наибольшее распространение получили процессы прямого выдавливания, поковки типа автомобильных клапанов, и обратного выдавливания, поковки типа стаканов.

Основой для расчета аналитических параметров является график усилий пластического деформирования заготовки, который представлен на рис. 1 фигурой обозначенный буквами а, b, с, d, е, который превращают в нагрузочный график пресса, представленный на рис. 1 и обозначенный буквами а, b, с, f, g.

Учитывая малые значения угла поворота главного вала в пределах упругой деформации прессы по закрытой высоте перемещение ползуна в функции угла поворота главного вала согласно [5] можно определять по зависимости

$$S_{\alpha} = R(1 + \lambda) \cdot \alpha^2 / 2, \quad (12)$$

а в зависимости (7) для определения приведенного плеча трения по рекомендациям [3–4] принять $\cos \alpha = 1$; зависимость для определения потерь энергии на трение при упругой разгрузке прессы представить в виде

$$A_{fy} = m_f \cdot P_{\max} \int_0^{\alpha_y} \left(1 - \frac{R(1 + \lambda)}{\alpha \Delta l} \cdot \alpha^2 \right) d\alpha, \quad (13)$$

и после интегрирования получим

$$A_{fy} = m_f \cdot P_{\max} \left(\alpha_y - \frac{R(1 + \lambda)}{6\Delta l} \cdot \alpha_y^3 \right), \quad (14)$$

где Δl – величина упругой деформации прессы по закрытой высоте, $\Delta l = P_{\max} / c$, здесь c – коэффициент жесткости прессы; α_y – угол поворота главного вала соответствующий упругой деформации, при подстановке в (12) вместо S_{α} , Δl найдем

$$\alpha_y = \sqrt{\frac{2\Delta l}{R(1 + \lambda)}}. \quad (15)$$

Коэффициент полезного действия (КПД) рабочего хода прессы определяется соотношением

$$\eta_{p.x} = A_o / A_{p.x}. \quad (16)$$

Затраты энергии за время технологического цикла определяются следующей суммой

$$A_u = (A_{p.x} + A_g) / \eta_{np} + A_{xx}, \quad (17)$$

где A_g – потери энергии при включении муфты, согласно [5, 6] $A_g = 0,01 P_n S_n$; η_{np} – КПД привода, $\eta_{np} = \eta_3 \cdot \eta_n$, здесь КПД зубчатой передачи $\eta_3 = 0,97$; η_n – КПД клиноременной передачи, $\eta_n = 0,96$; A_{xx} – затраты энергии на холостой ход прессы, согласно [5, 6] $A_{xx} = 0,02 P_n S_n$.

Цикловой КПД прессы определяется по соотношению

$$\eta_u = A_o / A_{p.x}. \quad (18)$$

Мощность электродвигателя привода прессы определяется по зависимости

$$N = \frac{k(A_{p.x} + A_g) / \eta_{np} + A_{xx}}{T_u}, \quad (19)$$

где k – коэффициент запаса, $k = 1,2$; T_u – время технологического цикла, $T_u = t_{oe} / p_u$; $t_{oe.x}$ – время двойного хода ползуна; $t_{oe.x} = 60 / n$, n – число ходов ползуна в минуту; p_u – коэффициент использования числа ходов; для КГШП $p_u = 0,1 \dots 0,2$; [3, 4].

Пример применения изложенного метода реализован для определения энергетических параметров рабочего хода и технологического цикла при прямом выдавливании на кривошипном горячештамповочном прессе с номинальным усилием $P_n = 125$ Мн, при следующих начальных условиях: номинальный ход ползуна прессы $S_n = 0,52$ м; число ходов ползуна в минуту $n = 32$; коэффициент кратности шатуна $\lambda = 0,18$; коэффициент жесткости прессы $c = 14 \cdot 10^9$ Н/м; радиусы кривошипной шейки вала $r_A = 0,95$ м, опорных шеек вала $r_0 = 0,55$ м, соединения шатуна с ползуном $r_B = 0,50$ м; величина рабочего хода $S_p = 0,087$ м; угол рабочего хода $\alpha_p = 46^\circ (0,4$ рад); перемещение ползуна на участке повышения усилия $S_k = 0,025$ м; угол поворота главного вала на участке повышения усилия $\alpha_k = 23^\circ (0,4$ рад); величина упругой деформации прессы по закрытой высоте прессы $\Delta l = 0,0089$ м; угол упругой деформации $\alpha_y = 14^\circ (0,242$ рад); КПД привода $\eta_{np} = 0,93$; коэффициент использования рабочих ходов $p_u = 0,1$.

Расчет энергетических параметров прессы выполнен при следующих значениях приведенного коэффициента трения в шарнирах главного исполнительного механизма прессы: константная смазка, $\mu = 0,06$; жидкая циркуляционная, $\mu = 0,03$; близкая к гидродинамической, $\mu = 0,01$.

Энергетические параметры, которые не зависят от коэффициента трения, имеют следующие значения: работа пластической деформации $A_o = 3900$ КДж; работа включения муфты $A_g = 650$ КДж; работа холостого хода $A_{xx} = 1300$ КДж; работа упругой деформации $A_y = 558$ КДж.

Результаты расчета энергетических параметров рабочего хода и технологического цикла прессы, работающего на операции прямого выдавливания, представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Энергетические параметры кривошипного горячештамповочного прессы с $P_n = 125$ Мн на операции прямого выдавливания

μ	A_f , КДж	$A_{p.x}$, КДж	A_u , КДж	$\eta_{p.x}$	η_u	$\frac{\dot{A}_{fy}}{A_y}$	N , кВт
0,06	8656	12556	14506	0,31	0,27	3,6	763
0,03	4328	8228	10178	0,47	0,38	1,8	536
0,01	1443	5345	7293	0,73	0,53	0,6	384

Примечание. В табл. 1 $A_f = A_{fi} + A_{fj}$

Анализ результатов расчета энергетических показателей рабочего хода и технологического цикла кривошипного горячештамповочного прессы с номинальным усилием 125 Мн (12,5 тыс. тс.) показывает существенное влияние на КПД и мощность электродвигателя прессы условий трения в главном исполнительном механизме.

Так замена консистентной смазки ($\mu=0,06$) на циркуляционную жидкостную ($\mu=0,03$) позволяет увеличить КПД рабочего хода на 52 %, КПД технологического цикла на 42 %, снизить мощность электродвигателя на 30 %. Обеспечение условий трения близких к гидродинамическому позволит снизить коэффициент трения до 0,01 с дальнейшим повышением КПД рабочего хода на 56 %, КПД цикла на 38 % и на 28 % снизить мощность электродвигателя привода пресса.

Обратное выдавливание, чаще холодное, согласно [2, 9] характерно постоянством усилия на всем прямом ходе ползуна. При силовых и энергетических расчетах величина усилия принимается равным номинальному усилию пресса, т.е. $P_{max} = P_n$. Величины абсолютной пластической деформации h ; рабочего хода S_p ; угол рабочего хода α_p ; упругой деформации пресса по закрытой высоте ℓ ; угол упругой деформации α_y ; коэффициент использования рабочих ходов p_u ; работа включения муфты A_a ; работа холостого хода A_{xx} ; работа упругой деформации A_y соответствуют значениям прямого выдавливания.

Основой для энергетического расчета является график усилий пластической деформации при обратном выдавливании, который представлен на рис. 2 и обозначен буквами a, b, c, d, который преобразуется в нагрузочный график пресса, учитывающий упругую деформации пресса по закрытой высоте, который представлен на рис. 2 и обозначен буквами a, c, f, g.

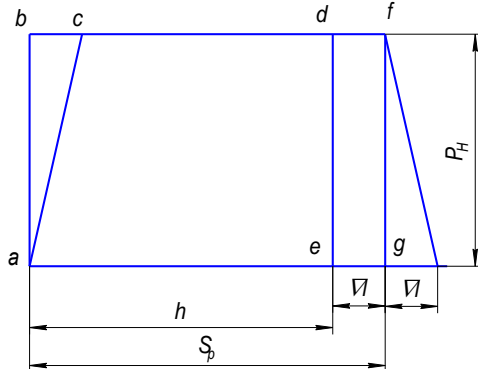


Рисунок 2 – Графики усилий пластической деформации a, b, d, e и нагрузочный график пресса a, c, f, g

Затраты энергии на рабочий ход при обратном выдавливании определяются по зависимости

$$A_{p.x} = A_d + A_f + A_{yf}, \quad (20)$$

где A_d – работа пластической деформации

$$A_d = P_n \cdot h, \quad (21)$$

A_f – потери энергии на трение при прямом ходе ползуна.

$$A_f = \mu P_n [\lambda(r_a + r_b) \sin \alpha_p + (r_a + r_o) \alpha_p], \quad (22)$$

A_{fy} – потери энергии на трение при упругой разгрузке пресса определяется по зависимости (14).

Затраты энергии за время технологического цикла определялись по (17); КПД рабочего хода по (16), технологического цикла по (18); мощность электродвигателя привода пресса по (19).

Работа пластической деформации для обратного выдавливания (20) составила 9750 КДж. Энергетические параметры КГШП с номинальным усилием $P_n = 125$ Мн, рассчитанные по изложенному методу, приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Энергетические параметры кривошипного горячештамповочного пресса с $P_n = 125$ Мн на операции обратного выдавливания

μ	A_f , КДж	$A_{p.x}$, КДж	A_u , КДж	η_u	$\eta_{p.x}$	N , кВт	A_{fy} , КДж	$\frac{\dot{A}_{fy}}{A_y}$
0,06	7313	17063	18963	0,51	0,57	998	2028	3,6
0,03	3657	13407	15307	0,64	0,73	805	1024	1,8
0,01	1219	10969	12869	0,76	0,89	677	378	0,6

Сравнивая энергетические параметры процессов прямого и обратного выдавливания, следует отметить значительно большее значение работы пластической деформации при обратном выдавливании – 9750 КДж, против 3900 КДж при прямом выдавливании при одинаковых значениях величин абсолютных деформаций. Учитывая более благоприятную форму графика усилий пластической деформации – постоянное и максимальное значения усилий деформации на всем протяжении хода ползуна и текущие значения кинематических КПД исполнительного механизма, которые в зависимости от угла поворота кривошипного вала определяются по зависимости

$$\eta_k = m_u / (m_u + m_f), \quad (23)$$

где m_u – приведенное плечо идеального механизма (без учета трения) определяется на основе закона сохранения энергии представленного для кривошипно-шатунного механизма в виде равенства мгновения мощностей на главном валу и ползуне пресса в виде

$$M_k \cdot \omega = P_o \cdot v, \quad (24)$$

где M_k – момент крутящий на главном валу; ω – угловая скорость главного вала; P_o – усилие на ползуне; v – линейная скорость ползуна, $v = \omega R \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right)$.

Уравнения (24) представим в виде

$$M_k = P_o \cdot \omega R \left(\sin \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right) / \omega; \quad (25)$$

и из (25) находим выражение для определения приведенного плеча силы полезных сопротивлений для идеального кривошипно-шатунного механизма в виде

$$m_u = R \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right). \quad (26)$$

Если в (23) подставить значение $m_{и}$ из (2), а приведенное плечо сил трения m_f из (7), получим следующее выражение для определения кинематических КПД кривошипно-шатунного механизма

$$\eta_k = \frac{R \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right)}{R \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right) + \mu [\lambda(r_a + r_o) \cos \alpha + r_a + r_o]} \quad (27)$$

Рассчитанные по (27) значения кинематических КПД главного исполнительного механизма кривошипного пресса с $P_f = 125$ МН при коэффициенте трения в подшипниках равном $\mu = 0,03$ приведены в табл. 3.

Таблица 3 – К определению кинематических КПД КГШП с $P_n = 125$ МН

α , град	45	35	25	15	10	5	0
$m_{и}$, м	0,207	0,171	0,127	0,079	0,031	0,027	0
m_f , м	0,101	0,102	0,104	0,105	0,105	0,106	0,11
m , м	0,308	0,272	0,231	0,184	0,136	0,133	0,11
η_k	0,67	0,62	0,55	0,43	0,23	0,20	0

Анализ данных табл. 3 показывает, что начало процессов прямого и обратного выдавливания соответствуют углу поворота главного вала равному 46° , т.е. при кинематическом КПД пресса равном 0,67. При обратном выдавливании угле повороте главного вала равном 23° заканчивается процесс выдавливания при усилии $0,25 P_n$ при кинематическом КПД равном 0,55, затем начинается процесс выдавливания, который происходит при увеличении усилия от $0,25 P_n$ до P_n в крайнем нижнем положении ползуна, кинематический КПД при этом монотонно уменьшается от 0,55 до нуля. Обратное выдавливание происходит при постоянном усилии на ползуне пресса равном номинальному на всем протяжении хода ползуна в пределах угла рабочего хода $\alpha_p = 46^\circ$, что и объясняет большие значения КПД рабочего хода и технологического цикла операции обратного выдавливания по сравнению с прямым. Остальные закономерности изменения энергетических параметров при обратном выдавливании такие же как и прямом. Учитывая большую энергоёмкость процесса обратного выдавливания – большие расчетные значения потребной мощности электродвигателя привода, в реальных условиях режим работы привода корректируется коэффициентом использования рабочих ходов. При переходе от операции прямого выдавливания на обратное выдавливание коэффициент использования рабочих ходов должен быть уменьшен в 1,2...1,6 раза.

При разработке робототехнологического комплекса (РТК) или автоматизированной технологической линии (АТЛ) на базе КГШП, необходимо по (16) определить время технологического цикла $T_{ц}$ при известной мощности электродвигателя КГШП, которое и будет являться минимально допустимым временем технологического цикла РТК или АТЛ.

ВЫВОДЫ. 1. Предложенный метод аналитического расчета затрат энергии на рабочий ход пресса при прямом выдавливании позволяет существенно снизить трудоемкость расчетов и погрешность их результатов по сравнению с графоаналитическими методами.

2. Анализ полученных результатов при опробовании метода показал, что существенное повышение энергетических показателей пресса можно достичь путем обеспечения условий трения в шарнирах главного исполнительного механизма близких к гидродинамическим.

3. Показано, что потери энергии на трение при упругой разгрузке пресса соразмерны с работой упругой деформации пресса, предложено эти потери учитывать в затратах энергии на рабочий ход пресса.

4. Предложенный метод может быть использован при проектировании или модернизации привода КГШП или при определении минимально допустимого времени технологических циклов робототехнологических комплексов или автоматизированных технологических линий на базе кривошипных горячештамповочных прессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочаров Ю.А. Кузнечно-штамповочное оборудование – М.: Изд. центр «Академия», 2008.– 480 с.
2. Проектування та розрахунок кривошипних пресів / О.В. Явтушенко, А.В. Глебенко, Т.О. Васильченко – Запоріжжя: вид-во ЗНТУ, 2012. – 448 с.
3. Аль-Сарайрах Ф.М. Энергетика рабочего хода кривошипного пресса на разделительных операциях // Донбасский горнометаллургический институт. Сб. науч. труд. – Алчевск, 2001. – Вып. 14. – С. 67–71.
4. Аль-Сарайрах Ф.М. Энергетика рабочего хода кривошипного пресса на операциях гибки // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: 36. наук. пр. – Луганськ: Східноукраїнський національний університет імені В. Даля. – 2002. – С. 181–185.
5. Abdulganiev M., Ray M. The energy of sheet bending on a crank-type press // ТЕКА Kom. i. Energ. Roln. OI PAN, 2012. – Vol. 12. – №4. – P. 3–7.
6. Рей М.Р. Метод аналитического расчета затрат энергии на рабочий ход обрезающего пресса // Вісник ДДМА. – Краматорськ, 2006. – № 1Е(6). – С. 140–144.
7. Рей М.Р. Влияние жесткости кривошипного горячештамповочного пресса на потери энергии за рабочий ход // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – Луганськ, 2006. – №6 (100). – ч. 1. – С. 40–54.
8. Рей М.Р., Сушкова Т.С. Потери энергии на трение при упругой разгрузке кривошипного горячештамповочного пресса // Ресурсозберігаючі тех-

нології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Луганськ: Вид-во СЛУ, 2009. – С. 182–188.

9. Рей Р.І., Монатьовський С.С. Ковальсько-штампувальне обладнання. Преси кривошипні // Луганськ: вид-во СЛУ. – 2000. – 216 с.

10. Затраты энергии на рабочий ход кривошипного горяшtamповочного пресса / М.Р. Рей, Ю.И. Гутько, Т.С. Сушкова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – Луганськ, 2009. – № 11 (141). – ч. 2. – С. 19–24.

ENERGY DIRECT EXTRUSION ON THE CRANK-TYPE HOT-PRESS

R. Ray, E. Naumova

Kremenchuk Mykhailo Ostohradskyi National University
vul. Pervomayskay, 20, Kremenchug, 39600, Ukraine. E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

M. Abdulganiev

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University
prosp. Sovetsky, 59a, Severodonetsk, 93400. E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

Purpose. The aim of this work is to develop a method for analytical calculation of the energy parameters of the stroke crank hot stamping presses, working on direct and reverse extrusion and mathematical relationships for calculating the values of the components of energy expenses. **Methodology.** The method is based on analytical calculation put some integral functions provided by the multiplication of the efforts on the slide of the press depending on the angle of rotation of the main shaft on the resulted shoulder of friction within the angles of rotation for the appropriate press. **Results.** Mathematical dependences are as a result offered for the analytical calculation of power expenses on a working stroke and technological cycle crank-type hot-press for the operations of the direct and reverse extrusion. It is shown that to significantly improve efficiencies it is necessary to ensure the conditions of friction in the main actuator close to the hydrodynamic. **Originality.** The analysis of the making energy expenses of the working stroke of a press showed that losses of energy on friction at resilient unloading the press at coefficients of friction are equal 0,06...0,01 made 3,6...0,6 from work of resilient deformation of the press; the losses of energy are offered on friction at the resilient unloading press to input in the energy consumption for a working stroke of the press. **Practical value.** Offered method of power calculation crank-type hot-stamp the press can be used for development or modernization of press drive and for determination minimum of possible time of technological cycle at development of robotic technological complexes or automated technological lines with the use of crank-type hot-press. References 6, tables 2, figures 2.

Key words: press, extrusion, energy, deformation, friction.

REFERENCES

1. Bocharov, Ju.A. (2008), *Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie* [Blacksmith-stamping equipment], centr «Akademija», Moscow, Russia.
2. Javtushenko, O.V., Glebenko, A.V. and Vasil'chenko, T.O. (2012), *Proektuvannya ta rozrahunok krivoshipnih presiv* [Planning and calculation of crank-type presses], vid-vo ZNTU, Zaporizhzhja, Ukraine.
3. Al'-Sarajrah, F.M. (2001), "Energy of working stroke crank-type the press on dividing operations", *Donbasskij gornometallurgicheskij institut*, vol. 14, pp. 67–71.
4. Al'-Sarajrah, F.M. (2002), "Energy of working stroke crank-type the press on operations flexible", *Resursozberigajuchi tehnologii virobniictva ta obrobki tiskom materialiv u mashinobuduvanni*, pp. 181–185.
5. Abdulganiev, M., Ray, M. (2012), "The energy of sheet bending on a crank-type press", *TEKA Kom. i. Energ. Roln. Ol PAN*, vol. 12, no.4, pp. 3–7.
6. Rej, M. R. (2016), "Method of analytical calculation of expenses of energy on the working stroke of

edge the press", *Transactions of Donbas state machine-building academy*, no. 1E(6), pp. 140–144.

7. Rej, M.R. (2006), "Influence of inflexibility crank-type hot-stamp the press on the losses of energy for a working stroke", *Transactions of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, no.6 (100), pp. 40–54.

8. Rej, M.R., Sushkova, T.S. (2009), "Losses of energy on a friction at the resilient unloading of crank-type hot-stamp the press", *Resursozberigajuchi tehnologii virobniictva ta obrobki tiskom materialiv u mashinobuduvanni*, pp. 182–188.

9. Rej, R.I., Monjatovs'kij, S.S. (2000), *Kovalsko-shtampuvalne obladnannya. Presi krivoshipni* [Blacksmith-punching equipment. Crank-type presses], publishing house of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Lugans'k, Ukraine.

10. Rej, M.R., Gutko, Ju., Sushkova, T.S. (2009), "Expenses of energy on the working stroke of crank-type the hot-stamp press", *Transactions of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, no.11 (141), part. 2, pp. 19–24.

Стаття надійшла 20.01.2016.