

**О.С. Решетникова****ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК  
ДВИЖЕНИЯ БОЙКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МОЛОТА**

Рассмотрена проблема машинного определения энергетических характеристик гидравлического молота на завершающей стадии проектирования. Получены выходные характеристики, связывающие давление питания и давление зарядки аккумулятора, позволяющие выработать решение о целесообразности изменения энергии удара посредством изменения давления зарядки и хода бойка.

*Ключевые слова:* гидромолот, ударный гидродвигатель, энергия удара, дробление, математическая модель.

**Х**арактеристики движения бойка каждого конкретного гидромолота обладают как объективными признаками, присущими общему принципу организации рабочего цикла, так и субъективными – обусловленными особенностями конструкции. Предлагаемые исследования ориентированы на гидромолот К-14, схема и конструкция которого отвечают требованиям горного применения: отбойка, дробление и другие операции. Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели: ожидаемая масса гидромолота  $m = 500$  кг, энергия удара  $A = 3$  кДж, частота ударов  $n$  до 2 Гц. Достоинства нового гидромолота по сравнению с существующими аналогами – более высокий КПД за счет свободного рабочего хода бойка и клапанной системы распределения жидкости, разрабатываемой заводом КЛМЗ ТОО «Корпорация Казахмыс», обеспечение конструкцией бойка возможности ударов непосредственно по негабариту без промежуточного инструмента, обеспечение унификации конструкции УГД для расширенного применения: рыхление, отбойка, забивка свай и др., за счет обеспечения регулируемости энергии удара.

При выполнении основных этапов проектирования гидромолота особое внимание уделяется проведению ма-

шинных экспериментов с использованием комплекта компьютерных программ «Research», «САД УГД», «УГЦ (ударный гидроцилиндр)», включающие в себя исследовательские фазы и осуществляемые в два этапа. На первом этапе решается задача в проектной постановке, когда определяются параметры структуры, обеспечивающие заданные параметры движения поршня-бойка, а затем – в эксплуатационной, когда для УГД с известной структурой исследуются его выходные характеристики в зависимости от параметров питания.

Для решения эксплуатационной задачи использовалась математическая модель, построенная на основе энергетического и динамического балансов [1]. Динамическая модель используется для нахождения энергетической характеристики привода посредством решения прямой задачи, где параметры движения ведомого звена УГД определяются действующими на него силами, формируемыми для известной структуры заданными параметрами энергии источника. Сложность таких уравнений зависит от количества учитываемых возмущающих воздействий и их формы.

В наиболее простом варианте с учетом конструктивных особенностей разрабатываемого гидромолота такая

задача может быть сведена до решения динамической модели ударного гидроцилиндра с учетом влияния характеристик распределителя и аккумулятора и представляющей собой уравнение управляющих и возмущающих воздействий на ведомое звено УГД:

$$-a\ddot{x} - b\dot{x}^2 - F_{тр} + F = 0, \quad (1)$$

где  $a\ddot{x}$  – инерционная реакция бойка;  $b\dot{x}^2$  – гидравлические сопротивления элементов гидроблока;  $F_{тр}$  – сила механического трения;  $F$  – управляющее воздействие на боек.

Уравнение (1) решается для каждой из четырех кинематических фаз рабочего цикла, формируемых воздействиями на боек  $F_b$  и  $F_p$  в двух динамических фазах, сменяемых в релейном или импульсном режимах [2].

Кинематические фазы:

- 1 фаза: действие силы  $F_b$ , ускоренное движение бойка на «возврат»;
- 2 фаза: действие силы  $F_p$ , торможение бойка до остановки;
- 3 фаза: действие силы  $F_p$ , ускоренное движение бойка на «рабочий ход» до удара;
- 4 фаза: взаимодействие бойка с инструментом.

Уравнения для каждой из фаз цикла могут быть приведены к одному виду, однако решения их для каждой фазы и типа системы автоматического управления (САУ) конкретизируются начальными и конечными условиями, т.е. необходимо учитывать, что кинематическая величина хода  $h$  зависит от способа управления движением бойка.

Расчет характеристик гидромолота производится спомощью программы «УГЦ» с целью определения энергетических параметров, связывающих давление питания  $P$ , варьируемое во внешнем цикле в диапазоне от 7,5 до 17,5 МПа и давление зарядки аккумулятора  $P_a$ , варьируемое во внутреннем

цикле в диапазоне от 2 до 5,5 МПа, что характеризует настроечную операцию.

Результаты решения дифференциального уравнения движения бойка представлены в табл. 1 и 2. Анализ полученных энергетических параметров позволяет сделать следующие выводы:

- повышение давления зарядки аккумулятора  $P_a$  требует увеличения давления питания  $P$ , при этом ограничение давления питания величиной 10 МПа не позволяет поднять давление зарядки  $P_a$  выше 5 МПа, что ограничивает энергию ударов величиной 4,3 кДж в низкочастотном режиме и 1,57 кДж – в высокочастотном;

- увеличение давления питания ведет к увеличению инерционного выбега бойка в конце фазы возврата  $h''$ . Этими двумя причинами и обусловлено увеличение энергии удара. Так, при давлении зарядки  $P_a = 2$  МПа изменение давления  $P$  от 7,5 до 16,5 МПа приводит к увеличению хода бойка от 200 до 360 мм;

- принятая схема гидромолота К-14 не позволяет изменять ход  $h_p$  выше, чем на 2–3%, что обуславливает целесообразность регулирования энергии удара только посредством изменения давления зарядки  $P_a$ ;

- ограничение величины инерционного выбега бойка  $h''$  обуславливает необходимость ограничения скорости бойка во время возврата, следовательно, и частоты ударов, и расхода питания. В противном случае режимы чреватые обратными ударами бойка в конце фазы возврата;

- исследования энергетических характеристик гидромолота позволили выработать решение о целесообразности изменения энергии удара посредством настройки УГД, то есть изменения давления зарядки  $P_a$  и изменения хода бойка до 200 мм, для чего необходимо перейти к телескопической конструкции сливных плунжеров [3].

Таблица 1

**Результаты решения дифференциального уравнения движения бойка**

$P_a = 2 \text{ МПа}$												
$h', \text{ м}$	$h'', \text{ м}$	$h_p, \text{ м}$	$t', \text{ с}$	$t'', \text{ с}$	$t_p, \text{ с}$	$t_n, \text{ с}$	$v_v, \text{ м/с}$	$v_p, \text{ м/с}$	$A, \text{ Дж}$	$n, \text{ Гц}$	$P, \text{ МПа}$	
0,145	0,053	0,199	0,064	0,031	0,059	0,047	3,442	6,635	189	4,92	7,5	
0,145	0,078	0,225	0,052	0,037	0,063	0,051	4,185	7,046	2132,7	4,87	9	
0,145	0,209	0,356	0,032	0,061	0,080	0,064	6,772	8,811	3334,8	4,19	16,5	
$P_a = 3 \text{ МПа}$												
$h', \text{ м}$	$h'', \text{ м}$	$h_p, \text{ м}$	$t', \text{ с}$	$t'', \text{ с}$	$t_p, \text{ с}$	$t_n, \text{ с}$	$v_v, \text{ м/с}$	$v_p, \text{ м/с}$	$A, \text{ Дж}$	$n, \text{ Гц}$	$P, \text{ МПа}$	
0,145	0,013	0,160	0,101	0,013	0,043	0,035	2,167	7,323	2303,3	5,16	7,5	
0,145	0,031	0,177	0,068	0,019	0,045	0,036	3,218	7,685	2536,6	5,86	9	
0,145	0,023	0,194	0,055	0,047	0,048	0,038	4,003	8,046	2579,2	6,03	10,5	
0,145	0,115	0,263	0,035	0,037	0,056	0,044	6,221	9,334	3742,1	5,75	16,5	
$P_a = 4 \text{ МПа}$												
$h', \text{ м}$	$h'', \text{ м}$	$h_p, \text{ м}$	$t', \text{ с}$	$t'', \text{ с}$	$t_p, \text{ с}$	$t_n, \text{ с}$	$v_v, \text{ м/с}$	$v_p, \text{ м/с}$	$A, \text{ Дж}$	$n, \text{ Гц}$	$P, \text{ МПа}$	
0,145	0,007	0,153	0,123	0,008	0,036	0,029	1,790	8,274	2940,6	5,05	9	
0,145	0,057	0,205	0,043	0,022	0,042	0,034	5,086	9,549	3916,4	7,04	15	
0,145	0,070	0,217	0,039	0,025	0,044	0,035	5,615	9,833	4153	6,95	16,5	

Таблица 2

**Результаты исследований энергетических характеристик**

$P, \text{ МПа}$	$P_a, \text{ МПа}$															
	2,0		2,5		3,0		3,5		4,0		4,5		5,0		5,5	
	$A, \text{ кДж}$	$n, \text{ Гц}$	$A, \text{ кДж}$	$n, \text{ Гц}$	$A, \text{ кДж}$	$n, \text{ Гц}$	$A, \text{ кДж}$	$n, \text{ Гц}$	$A, \text{ кДж}$	$n, \text{ Гц}$	$A, \text{ кДж}$	$n, \text{ Гц}$	$A, \text{ кДж}$	$n, \text{ Гц}$	$A, \text{ кДж}$	$n, \text{ Гц}$
7,5	1,89	4,93	2,09	5,32	2,3	5,17	2,49	5,52	–	–	–	–				
9,0	2,13	4,87	2,33	5,51	2,54	5,87	2,74	5,83	2,94	5,05	–	–	–			
10,5	3,39	4,75	2,58	5,49	2,58	6,03	2,78	6,36	3,39	6,38	3,39	5,93	3,6	4,31	–	
12,0	2,61	4,61	2,82	5,39	3,02	6,04	3,22	6,51	3,43	6,81	3,64	6,86	3,84	6,59	4,05	5,68
13,5	2,84	4,52	3,05	5,34	3,25	6,03	3,45	6,6	3,65	7,03	3,86	7,29	4,07	7,37	4,29	7,19
15,0	3,09	4,37	3,29	5,2	3,49	5,93	3,71	6,54	3,92	7,05	4,13	7,43	4,33	7,68	4,52	7,78
16,5	3,33	4,19	3,54	5,02	3,74	5,76	3,96	6,4	4,15	6,96	4,36	7,41	4,57	7,77	4,76	8,02

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Митусов А.А. Автоматизированное проектирование гидродвигателей ударного действия: учебное пособие. – Караганда: КарГТУ, 2002. – 109 с.

2. Митусов А.А., Решетникова О.С. Компьютерная программа определения выходных характеристик ударного гидроцилин-

дра // Труды университета. – 2008. – № 2. – С. 11–13.

3. Разработка гидромолота для дробления горных пород: отчет о НИР/КарГТУ: рук. работы А.А. Митусов. – Караганда, 2013. – 103 с. – № ГР 0112РК02312. – Инв. № 0213РК01342. **ИДБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

---

Решетникова Ольга Станиславовна – старший преподаватель,  
e-mail olga.reshetnikova.80@mail.ru,  
Карагандинский государственный технический университет, Казахстан.

---

UDC [532.5+621.225] (075.8)

## RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF MOVEMENT OF THE HYDRAULIC HAMMER'S PEEN

Reshetnikova O.S., Senior Lecturer, e-mail olga.reshetnikova.80@mail.ru,  
Karaganda State Technical University, 100027, Karaganda, Kazakhstan.

*The article deals with the machine determining of the energy characteristics of the hydraulic hammer at the final design stage. The result of calculation is output characteristics of impact hydraulic engine that connect the supply pressure and charging pressure of accumulator, allowing to make a decision about changing impact energy by changing the charging pressure and the stroke of the peen.*

*Key words: hammer, hammer hydraulic engine, the energy of impact, crushing, mathematical model.*

### REFERENCES

1. Mitusov A.A. *Avtomatizirovannoe proektirovanie gidrodvigateley udarnogo deystviya: uchebnoe posobie* (Computer-aided design engineering of hydraulic impact actuator: Educational aid), Karaganda, KarGTU, 2002, 109 p.
2. Mitusov A.A., Reshetnikova O.S. *Trudy universiteta*. 2008, no 2, pp. 11–13.
3. Mitusov A.A. *Razrabotka gidromolota dlya drobleniya gornykh porod: otchet o NIR* (Hydraulic hammer for rock breaking: R&D report), Karaganda, KarGTU, 2013, 103 p.



## РИСУЕТ НАТАЛЬЯ МОЙСЕЕВА

---



Мы тут с друзьями собрали машину. Но в ней оказалось много лишних деталей