

## **ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ГИДРОУДАРНЫХ УСТРОЙСТВ КОВША АКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРИ ПРЯМОМ ПОДКЛЮЧЕНИИ К ГИДРОСИСТЕМЕ ЭКСКАВАТОРА II РАЗМЕРНОЙ ГРУППЫ**

*Леонид Владимирович Городилов*

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, доктор технических наук, заведующий лабораторией, тел. (383)205-30-30, доб. 118, e-mail: gor@misd.ru

*Николай Александрович Маслов*

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, кандидат технических наук, научный сотрудник, тел. (383)205-30-30, доб. 240, e-mail: namaslov@mail.ru

*Александр Николаевич Коровин*

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, инженер, тел. (383)205-30-30 доб. 154, e-mail: alexh523vt@mail.ru

Определена ударная мощность системы гидроударных устройств активного ковша емкостью 0.25 м<sup>3</sup> экскаватора ЭО-2628 (Беларус), необходимая для эффективной разработки горных пород с пределом прочности на сжатие 60-80 МПа и мерзлых грунтов V–VIII категории. Приводится схема прямого подключения системы гидроударных устройств к гидросистеме экскаватора. С применением программы HPS выбраны параметры и характеристики ударных устройств.

**Ключевые слова:** экскаватор, система гидроударных устройств, активный ковш, ударная мощность.

## **EVALUATION OF PARAMETERS OF HYDRAULIC IMPACT DEVICES OF ACTIVE BUCKET WITH DIRECT CONNECTION TO THE HYDRAULIC SYSTEM OF II GRADE EXCAVATOR**

*Leonid V. Gorodilov*

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, D. Sc., Head of Laboratory, phone: (383)205-30-30, extension 118, e-mail: gor@misd.ru

*Nikolai A. Maslov*

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Ph. D., Researcher, phone: (383)205-30-30, extension 240, e-mail: namaslov@mail.ru

*Alexander N. Korovin*

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Engineer, phone: (383)205-30-30, extension 154, e-mail: alexh523vt@mail.ru

The impact power of hydraulic percussion system of active bucket of Belarus EO-2628 excavator with a capacity of 0.25 м<sup>3</sup> required for the effective mining of rocks with ultimate compressive strength of 60-80 МПа and frozen soils of V–VIII category is determined. The diagram of di-

rect connection of hydraulic impact devices to excavator hydraulic system is presented. Using the HPS software, the parameters and characteristics of impact devices are selected.

**Key words:** excavator, system of hydraulic impact devices, active bucket, impact power.

### ***Введение***

Процесс отбойки или отделения от массива горных пород или других твердых материалов, сопровождаемый ее разрушением, является одним из наиболее сложных и энергозатратных процессов при добыче твердых полезных ископаемых. В настоящее время основным способом разрушения прочных горных пород является взрывной. Альтернативой ему при определенных условиях может служить использование технологии разработки с использованием активных исполнительных органов горных машин, которые позволяют совмещать процессы отбойки и погрузки горных пород.

В ИГД СО РАН в 80-90-е годы прошлого века были созданы активные ковши (КАД) для строительных (ЭО-4121) [1] и карьерных (ЭКГ-5В) [2] экскаваторов, которые позволяли без предварительного разупрочнения разрабатывать мерзлые грунты V–VIII категории, а также трещиноватые горные породы крепостью до 80 МПа [3]. При этом удельная энергия удара на единицу длины кромки клиновидного зуба составляла  $\sim 100$  Дж/см. Одним из наиболее значимых преимуществ предложенной технологии являлся ее ресурсосберегающий и безопасный (по сравнению с взрывной) характер.

В настоящее время этот опыт остался в прошлом, что в определенной степени обусловлено недостаточной мощностью и технологичностью применявшейся в ковше ударной системы, оснащенной пневмомолотами. Применение гидроударных устройств (ГУ) (КПД – до 70-80%) [4, 5] позволяет обеспечить требуемую энергонасыщенность КАД. Кроме того, на гидравлических экскаваторах есть возможность использовать уже имеющуюся маслостанцию для привода гидроударников активных ковшей. Поэтому создание систем гидроударных устройств (СГУ) для ковшей карьерных и строительных экскаваторов, позволяющих разрабатывать прочные горные породы, представляется перспективным направлением развития открытых горных технологий.

В работе на примере экскаватора 2-й размерной группы ЭО-2628 (Беларус) с ковшом емкостью  $0.25 \text{ м}^3$  рассмотрена процедура выбора параметров СГУ, обеспечивающих эффективную разработку прочных горных пород и мерзлых грунтов. Также на основе применения разработанной в лаборатории моделирования импульсных систем ИГД СО РАН программы HPS, производится выбор параметров ГУ.

### ***Оценка мощности гидропривода, необходимой для работы СГУ, и характеристик ГУ***

Будем считать, что эффективность работы активного ковша определяется суммарной ударной мощностью установленных на нем ударных устройств, об-

шее количество которых примем равным трем. По практическим соображениям при разработке систем гидроударных устройств КАД гидравлических экскаваторов целесообразным представляется конфигурация, когда ударные устройства соединены параллельно и питаются от одного источника расхода, в качестве которого желательно использование маслостанции экскаватора. Для привода навесного оборудования на экскаваторе ЭО-2628 используется насос НШ100А с номинальными подачей и давлением соответственно  $q_0=173$  л/мин и  $p_n=16$  МПа, коэффициентом подачи  $\eta_0=0.95$ .

Возможно подключение СГУ к резервной секции распределителя гидросистемы (если таковая имеется), однако более целесообразным представляется схема подключения параллельно цилиндрам стрелы, рукояти и ковша. Схема подключения СГУ представлена на рис. 1. Оценку необходимой ударной мощности КАД произведем исходя из следующих соображений.

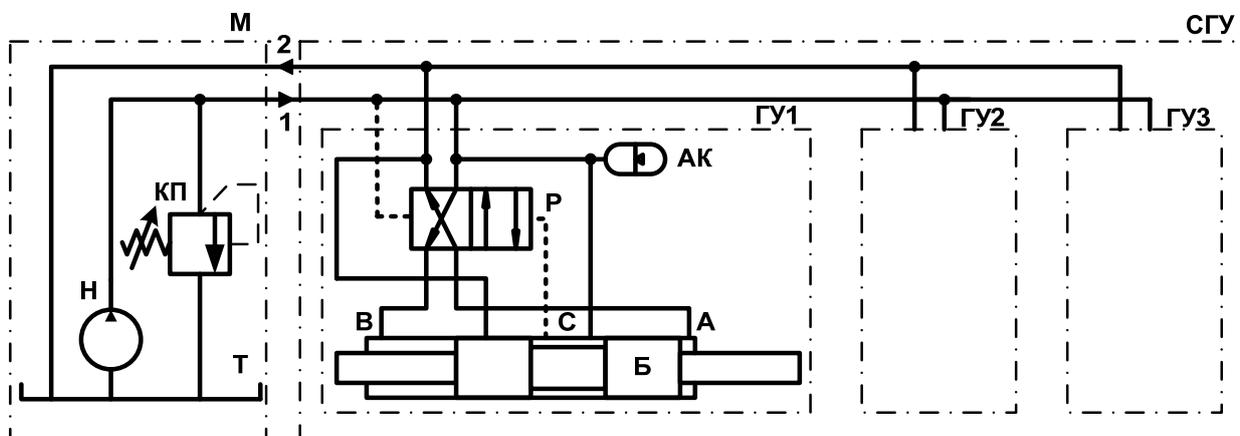


Рис. 1. Принципиальная схема подключения СГУ к гидросистеме экскаватора:

М – маслостанция базовой машины (Н – насос; КП – предохранительный клапан, Т – бак), 1 и 2 – напорная и сливная магистрали; СГУ – система гидроударных устройств (ГУ1...ГУ3 – гидроударные устройства); АК – пневмогидроаккумулятор; Р – распределитель; Б – боек; А, В – камеры обратного и прямого хода; С – линия управления распределителем.

По условию достижения достаточной производительности (подачи ковша) в породах с пределом прочности на сжатие 60-80 МПа, энергия удара на 1 см длины кромки зуба ковша должна быть равной 100 Дж (при частоте ударов  $f=8-10$  Гц) [2][5]. Массу бойка ГУ из геометрических ограничений, обусловленных размерами ковша, выбираем равной ~5 кг. При длине кромки лезвия зуба 4 см суммарная ударная мощность 3-х активных зубьев ковша экскаватора ЭО-2628 должна составлять не менее

$$N_{\Sigma} = 3 \cdot 4 \text{ см} \cdot 100 \frac{\text{Дж}}{\text{см}} \cdot 10 \text{ Гц} = 12 \text{ кВт}. \quad (1)$$

В случае одновременной работы трех устройств, мощность каждого должна быть не менее 4 кВт, энергия удара бойка массой 5 кг при предупредной скорости 8 м/с будет

$$E_I = \frac{5 \text{ кг} \cdot (8 \text{ м/с})^2}{2} = 160 \text{ Дж}.$$

Для достижения установленной ударной мощности 4 кВт частота такого ударного должна составлять

$$f = \frac{4000 \text{ Вт}}{160 \text{ Дж}} = 25 \text{ Гц}.$$

Примем потери мощности в механических элементах и ветвях гидравлической системы, в распределителях ГУ равными 25% от  $N_{\Sigma}$ , тогда суммарная мощность, отбираемая СГУ при одновременной работе трех устройств

$$N'_{\Sigma} = 1.25 \cdot N_{\Sigma}^* = 15 \text{ кВт}, \quad (2)$$

что составляет

$$\frac{N'_{\Sigma}}{p_n \cdot q_0 \cdot \eta_0} \cdot 100\% = \frac{15}{16 \cdot 10^6 \cdot 2.9 \cdot 10^{-3} \cdot 0.95} \cdot 100\% \approx 34\%$$

общей мощности привода навесного оборудования. С учетом коэффициента одновременности работы ударных устройств [1], представленная цифра позволяет рассчитывать на удовлетворительную скорость продвижения рабочего оборудования экскаватора в условиях работы СГУ.

### ***Выбор параметров ГУ***

При выборе параметров ГУ использовали разработанную нами программу HPS [6], фрагмент главного окна которой в случае ее применения к гидроударной системе двухстороннего действия представлен на рис. 2. В программе по ограниченному количеству параметров и ограничениям на остальные параметры и на характеристики ГУ, можно определить все параметры системы.

Окно задания параметров и характеристик с выбранными параметрами и ограничениями показано на рис. 3. В левую колонку текстовых окон вносятся задаваемые параметры (показатель адиабаты  $\gamma$  установлен по умолчанию и равен 1.4), в среднюю и правую – ограничения на остальные параметры и характеристики. В рамке «Насос» задаются параметры источника: идеальная подача  $q_0$ , номинальное давление  $p_n$  и объемный КПД  $\eta_0$ . В рамке «Боек» параметры и ограничения определены геометрией ковша экскаватора и возможностью размещения в его передней стенке заданного количества ударных устройств. В рамке «Аккумулятор» задан объем газожидкостного аккумулятора, суще-

ственно превышающий возможный объем рабочих камер устройства  $x_1 \cdot (S_a + S_b)$  ( $x_1$  – длина фазы обратного хода бойка,  $S_a$  и  $S_b$  – соответственно площади бойка со сторон рабочих камер обратного и прямого хода), чтобы сгладить колебания давления в гидравлических камерах ГУ в течение рабочих циклов. Ограничения на характеристики бойка определены прочностью металла (предударная скорость  $v_l$ ) и его геометрией (максимальный размах колебаний  $X_{max}$ ). Ограничения на характеристики аккумулятора определены допустимыми колебаниями давления в системе.

На рис. 4 представлена таблица полученных в результате расчета параметров и характеристик ГУ. В ее столбцах, кроме уже описанных параметров ( $q_0$ ,  $x_1$ ,  $S_b$ ,  $V_i$ ,  $X_{max}$ ), выводятся:  $p_0$  и  $V_0$  – начальное давление и объем аккумулятора;  $P_{min}$  и  $P_{max}$  – минимальное и максимальное давление в аккумуляторе в течение рабочего цикла,  $f$ ,  $N$  и  $\eta$  – частота ударов, ударная мощность и КПД ГУ.

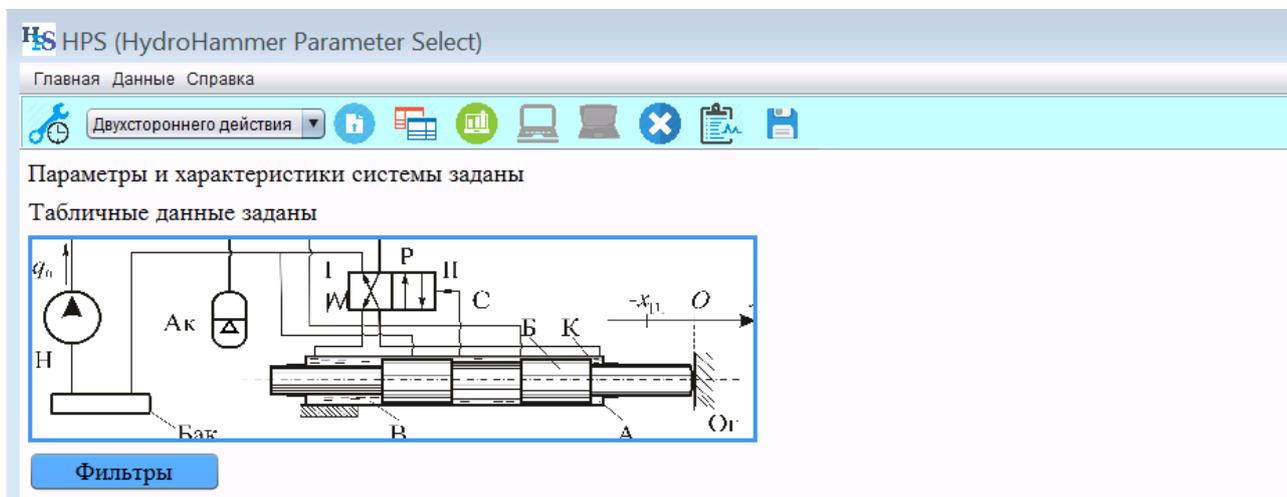


Рис. 2. Главное окно программы HPS

Как видим, ударная мощность 3-х устройств, полученная в расчетах  $3 \cdot (5.2 \div 5.8) = 15.6 \div 17.4$  кВт, превышает ту, что была получена при оценке требуемой общей мощности СГУ (1),(2) даже при учете заложенных при этом потерь.

Очевидно, что полученные результаты носят оценочный характер, во-первых, в связи с идеализацией модели гидроударной системы, используемой в программе HPS, и во-вторых, с тем, что при рассматриваемой схеме подключения гидроударных устройств к гидросистеме экскаватора знания о динамике гидроударных систем, включающих одно устройство, требует уточнения, так как в течение работы они могут оказывать взаимное влияние друг на друга. Также требуется анализ влияния работы СГУ на функционирование гидроцилиндров ковша, рукояти и стрелы экскаватора. При изменяющемся внешнем воздействии, приводящем к изменению количества одновременно работающих устройств, изменяется расход и давление жидкости на входе каждого из них,

что также приводит к изменению их характеристик. Неясно и влияние небольших отклонений в параметрах элементов устройств системы на их выходные характеристики: энергию и частоту ударов бойков. Эти и другие вопросы требует дополнительного исследования, которое может быть выполнено с использованием имитационного моделирования.

Параметры: необходимо задать ровно 6 параметров, включая  $\gamma$  Сохранить и продолжить

Насос (Н)				Min значение	Max значение
Идеальная подача	$q_0$	л/мин	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="30"/>
Номинальное давление	$p_n$	МПа	<input type="text" value="16.0"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Объемный КПД	$\eta_v$		<input type="text" value="0.95"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Боек (Б)				Min значение	Max значение
Масса	$m$	кг	<input type="text" value="5.0"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Длина фазы обратного хода	$x_1$	мм	<input type="text"/>	<input type="text" value="20.0"/>	<input type="text" value="40.0"/>
Площадь со стороны камеры А	$S_a$	см <sup>2</sup>	<input type="text" value="1.3"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Площадь со стороны камеры В	$S_b$	см <sup>2</sup>	<input type="text"/>	<input type="text" value="2.0"/>	<input type="text" value="4.0"/>

Аккумулятор (А)				Min значение	Max значение
Объем газа при давлении $p_n$	$V_n$	см <sup>3</sup>	<input type="text" value="60.0"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Показатель адиабаты	$\gamma$		<input type="text" value="1.4"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Распределитель (Р)				Min значение	Max значение
Давление задержки	$p_3$	МПа	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="1.0"/>

**Характеристики**

Боек (Б)				Min значение	Max значение
Предударная скорость	$V_i^*$	м/с	<input type="text"/>	<input type="text" value="8.0"/>	<input type="text" value="9.0"/>
Максимальный размах колебаний	$X_{max}^*$	мм	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="70.0"/>
Частота ударов	$f^*$	Гц	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Аккумулятор (А)				Min значение	Max значение
Объем газа при давлении $p_0$ ( $p_0 = 0.8 \cdot p_{min}$ )	$V_0$	см <sup>3</sup>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Давление в течении цикла	$p$	МПа	<input type="text"/>	<input type="text" value="14"/>	<input type="text" value="18"/>

Рис. 3. Окно задания параметров программы HPS

Фильтры

$q_0$ л/с	$x_1$ мм	$S_b$ см <sup>2</sup>	$V_i$ м/с	$X_{max}$ мм	$p_0$ МПа	$V_0$ см <sup>3</sup>	$P_{min}$ МПа	$P_{max}$ МПа	$f$ Гц	$N$ кВт	$\eta$ %
20.4	29.9	2.1	8.0	48.0	12.0	73.8	15.0	17.4	32.0	5.2	95.0
22.9	37.7	2.1	9.0	60.1	11.7	75.1	14.6	17.7	28.6	5.8	95.0

Рис. 4. Таблица выбранных параметров и характеристик

## *Заключение*

1. Предварительная оценка показала, что маслостанция экскаватора ЭО-2628 имеет достаточно ресурсов для обеспечения ударной мощности системы гидроударных устройств ковша активного действия, необходимой для эффективной разработки без предварительного разупрочнения трещиноватых горных пород с пределом прочности на сжатие до 80 МПа и мерзлых грунтов V–VIII категории.

2. Расчет в программе HPS показал возможность создания гидроударных устройств с параметрами и характеристиками, обеспечивающими заданную ударную мощность ковша активного действия, согласованными с характеристиками гидросистемы экскаватора ЭО-2628.

3. Проектирование системы гидроударных устройств ковша активного действия требует детального анализа ее функционирования с учетом их совместной работы со стандартным оборудованием гидравлического экскаватора. Также требуется расчет параметров гидроударных устройств с учетом геометрических ограничений, гидравлических и механических потерь. Для решения этих задач необходима разработка имитационной модели системы гидроударных устройств, исследование с ее помощью функционирования системы, оптимизация параметров.

*Работа выполнена в рамках проекта ФНИ № гос. регистрации АААА-А17-117122090003-2.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шишаев С.В., Федулов А.И., Маттис А.Р. Расчет и создание ковша активного действия. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1989. 115 с.
2. Маттис А.Р. и др. Экскаваторы с ковшом активного действия: опыт создания, перспективы применения. Новосибирск: Наука, Сиб. издат. фирма РАН, 1996. 174 с.
3. Маттис А.Р. и др. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых: моногр. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 335 с.
4. Галдин Н.С., Бедрина Е.А. Ковши активного действия для экскаваторов: Учеб. пособие. Омск: Изд-во СибАДИ, 2003. 53 с.
5. Городилов Л.В., Лабутин В.Н. Ковш активного действия к строительным экскаваторам // Машиноведение. 2016. № 2(4). С. 45–53.
6. Городилов Л.В., Вагин Д., Распутина Т.Б. Методика, алгоритм и программа выбора параметров гидроударных систем // ФТПРПИ. 2017. № 5. С. 64–70.

© Л. В. Городилов, Н. А. Маслов, А. Н. Коровин, 2020