

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕДКОУДАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ ЭКСКАВАТОРОВ И ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ****Роганов Л. Л., Роганов М. Л., Абрамова Л. Н.**

На основе конструктивных схем гидромолотов известных зарубежных фирм, устанавливаемых на экскаваторы, предложена более совершенная конструктивная схема гидромолота, работающего на принципе использования энергии упругости сжатой жидкости, которая позволяет повысить энергию единичного удара в несколько раз за счет снижения частоты ударов, не меняя мощности гидропривода экскаватора. Приведена методика расчета энергии единичного удара с исследованием на моделях для выполненной конструктивной схемы навесного молота. Разработана также схема молота с пневматическим аккумулятором на базе силового баллона с давлением 15 МПа, объемом 150 литров со сжатым газом (азотом), который позволяет снизить массу рабочего цилиндра молота.

На основі конструктивних схем гідромолотів відомих закордонних фірм, які встановлюють на екскаватори, запропонована більш удосконалена конструктивна схема гідромолоту, що працює на принципі використання енергії пружності стислої рідини, що дозволяє підвищити енергію одиничного удару в кілька разів за рахунок зниження частоти ударів, не міняючи потужності гідроприводу екскаватора. Приведено методику розрахунку енергії одиничного удару з дослідженням на моделях для виконаної конструктивної схеми навесного молоту. Розроблена також схема молоту з пневматичним акумулятором на базі силового балону з тиском 15 МПа, об'ємом 150 літрів зі стиснутим газом (азотом), який дозволяє знизити масу робочого циліндру молота.

On the basis of constructive schemes of breakers of known foreign companies established in excavators, a more advanced schematic diagram of breaker is offered operating on the principle of the elastic energy of compressed fluid, which increases the energy of a single hit several times by reducing the stroke rate without changing the power of hydraulic excavators. A method for calculating the energy of a single blow to the study on models for the design concept hinged hammer is carried out. A pneumatic circuit breaker battery-based power cylinder pressure of 15 MPa with a volume of 150 liters of compressed gas (nitrogen), which reduces the mass of the working cylinder of the hammer is designed.

Роганов Л. Л.

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой МТО ДГМА  
lev.roganov@dgma.donetsk.ua

Роганов М. Л.

канд. техн. наук, доц., директор ИПКПК

Абрамова Л. Н.

канд. техн. наук, доц. кафедры ОПМ ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

ИПКПК – Институт повышения квалификации и переподготовки кадров, г. Краматорск

УДК 622.274.4

Роганов Л. Л., Роганов М. Л., Абрамова Л. Н

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕДКОУДАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ ЭКСКАВАТОРОВ И ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В современном оборудовании и технологических процессах для добычи, переработки полезных ископаемых часто возникает необходимость ударного воздействия на перерабатываемый материал. Среди наиболее часто встречающихся ударных операций можно выделить следующие: разрыхление мерзлого и слежавшегося грунта, разрушение негабаритов, пробивка крупногабаритных отверстий в породе и тому подобное. В таких случаях широко применяют дополнительные навесные орудия на горнорудное оборудование, например, на козловые краны – перегружатели, экскаваторы, снабженные гидроприводом [1].

Гидромолоты в Украине не изготавливаются. Потребность в них обеспечивается поставкой зарубежных фирм. В настоящее время в мире наибольшее распространение получили две принципиальные схемы гидромолотов, условно назовем их по маркам, получившим наибольшее распространение и известность: схемы диафрагменного и поршневого типа. Схема диафрагменного типа, разработанная фирмой Montabert (Ingersoll Rand) Франция. По этой схеме работают такие фирмы, как Rammer (Финляндия), Innan Makina (Турция), Indeco (Италия), Italdem (Италия) и т. д. Схема поршневого типа фирмы Atlas Copco (Швеция), ранее известная как Kgirr (Германия). По этой схеме также работают такие фирмы как Furukawa (Япония), NPK (Япония), и гидромолоты DELTA (Южная Корея) [2].

Принципиальная гидравлическая схема этих моделей имеет много общего. Однако есть и существенные отличия в организации рабочего цикла и формировании энергии удара [2].

Целью данной статьи является описание принципиально новой конструкции гидромолота, разработанной в Донбасской государственной машиностроительной академии (ДГМА), который можно навешивать на экскаваторы (рис. 1) и другое горное оборудование. В гидромолоте ДГМА уменьшены или исключены недостатки существующих зарубежных гидромолотов.

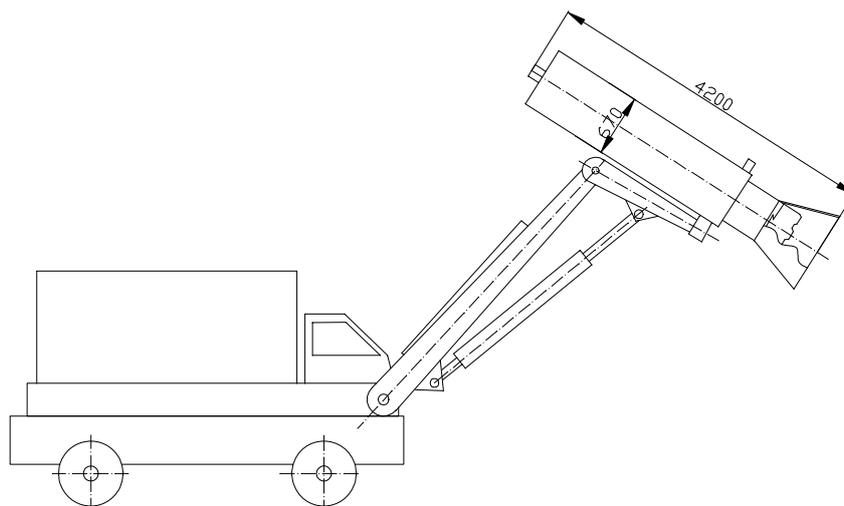


Рис. 1. Схема установки гидромолота на экскаваторе

К ним можно отнести также: сложность конструкции и повышенная трудоемкость изготовления; наличие двух энергоносителей (сжатый газ и жидкость); необходимость подзарядки сжатого газа; малая энергия единичного удара; нагрев привода за счет повышенной частоты ударов и др.

Разработана методика расчета, исследована на моделях и выполнена конструктивная схема навесного на экскаваторы молота со значительно большей энергией единичного удара. Принцип действия такого устройства основан на использовании энергии упругой деформации сжатой жидкости. В качестве аккумулятора, накапливающего энергию единичного удара, используется объем жидкости, размещенный в гидроцилиндре-аккумуляторе. Величина энергии единичного удара  $W_y$  определяется по формуле (1), [3]:

$$W_y = \frac{P_p^2 \cdot Q_{жс}}{2 \cdot E_{нр}} = \frac{m_1 \cdot V_1^2}{2}, \quad (1)$$

где  $p_p$  – давление жидкости;  $Q_{жс}$  – объем жидкости в цилиндре-аккумуляторе;  $E_{нр}$  – приведенный модуль упругости металлических стенок цилиндра-аккумулятора и жидкости;  $m_1$  – масса цилиндра-аккумулятора с бойком;  $V_1$  – скорость подвижных частей аккумулятора.

Частота ударов такого молота зависит от производительности насосной станции экскаватора –  $Q_n$  и определяется по формуле (2), [3]:

$$n = \frac{Q_n \cdot E_{нр}}{P_p \cdot Q_{жс}}. \quad (2)$$

Реальная частота ударов будет меньше примерно на 10 % с учетом работы насоса на возвратный ход подвижных частей молота.

Конструктивная схема гидромолота, разработанного в ДГМА, представлена на (рис. 2).

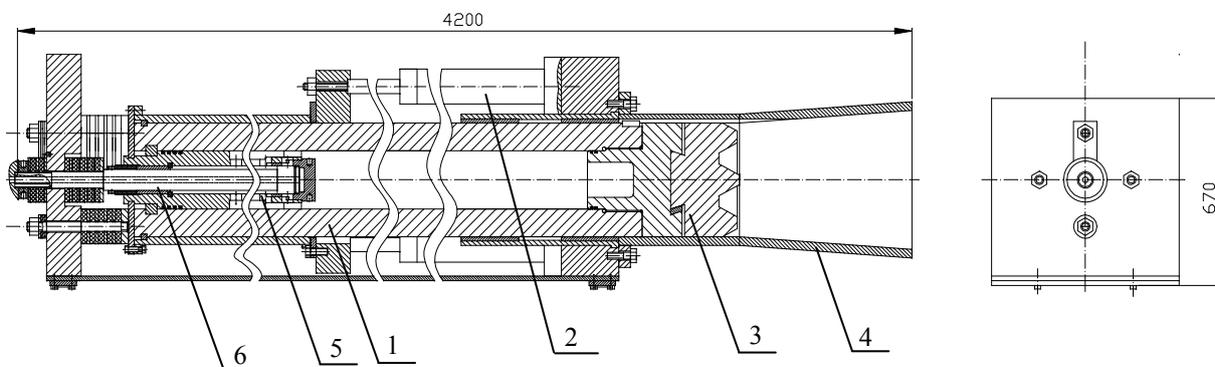


Рис. 2. Гидромолот

Молот предназначен для дробления негабаритов и представлен в виде двух толсто-стенных фланцев, соединенных боковыми листами, образующими коробчатую конструкцию. Внутри между листами расположен подвижный цилиндр-аккумулятор. В полости цилиндра-аккумулятора 1 расположен неподвижный ступенчатый шток 6, закрепленный в верхнем фланце. На внутреннем утолщении штока выполнен клапан 5, притертый с седлом, которым является заглушка направляющих, соединенных с корпусом цилиндра. Полость под клапаном ступенчатого штока соединена двумя отверстиями в штоке 6 с системой управления молота и с системой питания полости цилиндра-аккумулятора, на верхнем фланце установлены резинометаллические амортизаторы, в которые упирается корпус цилиндра-аккумулятора при его возвратном ходе от возвратных цилиндров 2, установленных на нижнем фланце молота. На этом фланце установлена также дополнительная цилиндрическая направляющая

корпуса цилиндра-аккумулятора. На конце корпуса цилиндра-аккумулятора установлена заглушка, в которой при помощи ласточкина хвоста закрепляется рабочий инструмент 3 молота, например, в виде бойка, пики, ударников различной формы и т. п.

Расчет гидроупругого привода приведен в специализированной литературе [3].

Если задана энергия единичного удара, которая определяется на основании испытаний при ударном разрушении твердых тел (скальные остатки при взрывных работах, смерзшийся грунт, бетон при разрушении и т. п.), то расчет молота, приведенного на рис. 1, 2, начинают с определения параметров установки из формулы (1), задаваясь  $P_p$ , давлением жидкости в гидросистеме машины, приведенным модулем упругости  $E_{np}$ , определяют объем жидкости в полости цилиндра-аккумулятора 1 (рис. 2). Для упрощения расчета рекомендуется принимать  $E_{np}$  равным  $E_{жс}$ , который приводится в справочной литературе [1], так  $E_{жс} \approx 1500$  МПа для минерального масла (индустриальное 50) – наиболее распространенная жидкость в гидросистемах горных машин [4]. Тогда объем жидкости определится из (1):

$$Q_{жс} = \frac{2 \cdot W_y \cdot E_{жс}}{P_p^2} \quad (3)$$

Масса подвижных частей, которые обеспечивают переход потенциальной энергии упругости сжатой жидкости в кинетическую энергию подвижных частей, определится из (1):

$$m = \frac{2 \cdot W_y}{V^2} \quad (4)$$

Здесь величиной скорости подвижных частей следует задаваться в диапазоне 10...15 м/с, исходя из опытных данных. Значение массы подвижных частей по формуле (4) уточняется при конструктивной проработке схемы молота (рис. 2), его установки на экскаваторе (рис. 1), с учетом воздействия при движении цилиндра-аккумулятора реактивной силы на стрелу экскаватора и ее гидроцилиндры (рис. 2) и экскаватор в целом.

Ход движения цилиндра-аккумулятора на основании экспериментальных данных рекомендуется выбирать по эмпирической зависимости:

$$h_y = 120 \cdot (0,4 + 2 \cdot \lg W_y), \quad (5)$$

где  $h_y$  – величина хода цилиндра-аккумулятора в мм;  $W_y$  – величина заданной энергии удара в КДж (КНм).

Величина  $\Delta Q_{жс}$  приращения объема жидкости  $Q_{жс}$ , при повышении его давления от 0 до  $P_p$  определится [4]:

$$\Delta Q_{жс} = P_p \cdot \frac{Q_{жс}}{E_{жс}} \quad (6)$$

Тогда площадь  $A_{штк}$  штока 6 (рис. 2) определится делением (6) на (5):

$$A_{штк} = \frac{\Delta Q_{жс}}{h_y} \quad (7)$$

Конструктивно выбирается диаметр штока 6 в соответствии с наличием уплотнений на выходе штока 6 из цилиндра-аккумулятора 1 (шевронных резинотканевых, полиамидных и других уплотнений).

Площадь гидрокамеры  $A_n$ , заполненная штоком 6 с его направляющими определится:

$$A_n = \kappa_1 \cdot A_n, \quad (8)$$

где  $\kappa_1$  – коэффициент, который учитывает конструкцию направляющих, рекомендуется принимать  $\kappa_1 = 1,5 \dots 2$ .

Тогда длина гидравлической камеры  $l_k$  цилиндра-аккумулятора определится с учетом (3) и (7):

$$l_k = \frac{Q_{жс}}{(\pi \cdot r_1^2 - \kappa_n \cdot A_{штм})}, \quad (9)$$

где  $r_1$  – внутренний диаметр внутренней гидравлической камеры цилиндра-аккумулятора.

Внешний радиус  $r_2$  цилиндра-аккумулятора определяется по зависимостям Ляме:

$$r_2 = r_1 \cdot \frac{\sqrt{\sigma_q}}{\sqrt{\sigma_q - \sqrt{3} \cdot P_p}}, \quad (10)$$

где  $\sigma_g$  – напряжения, которые допускаются в стенке цилиндра-аккумулятора, зависят от выбранного материала для цилиндра-аккумулятора и приводятся в справочной литературе [4].

Скорость подвижных частей определится с учетом (9):

$$V = \sqrt{P_p^2 \cdot \frac{Q_{жс}}{2 \cdot E_{жс} \cdot m}}, \quad (11)$$

где  $P_p$  – рабочее давление в Па ( $\text{Н/м}^2$ );  $Q_{жс}$  – объем рабочей жидкости в полости цилиндра-аккумулятора в  $\text{м}^3$ ;  $E_{жс}$  – модуль упругости жидкости в Па ( $\text{Н/м}^2$ );  $m$  – масса подвижных частей цилиндра-аккумулятора с инструментом в кг.

Время движения цилиндра-аккумулятора с ускорением определится:

$$t_{\max} = \frac{\pi}{1,7 \cdot \sqrt{\frac{A_{штм}^2 \cdot E_{жс}}{Q_{жс} \cdot m}}}. \quad (12)$$

Основные энергетические зависимости приведены в формулах (1) и (2). Из них видно, что изменение энергии удара возможно выбором параметров конструкции и насосного привода экскаватора.

Работа молота. В исходном положении цилиндр-аккумулятор поднят возвратными цилиндрами 2 до упора в притертый клапан 5 штока 6. Полость под клапаном соединена со сливом, по другому отверстию в штоке 6 в полость цилиндра 1 подается жидкость под давлением от системы питания молота. При достижении в полости цилиндра 1 давления, достаточного для удержания цилиндра-аккумулятора в исходном положении жидкость подается в возвратные цилиндры 2 и возвращает их вниз до упора. При этом цилиндр-аккумулятор 1 удерживается в крайнем положении. При достижении в цилиндре 1 нужного уровня рабочего давления  $P_p$  система управления молота отсоединяет полость под клапаном 5 от слива и соединяет ее с давлением. Клапан 5 разуплотняется, и жидкость, сжатая в полости цилиндра-аккумулятора, начинает разжиматься и разгоняет корпус цилиндра-аккумулятора с рабочим

инструментом 3 до удара его по материалу, на который опирается направляющая цилиндра 4. Потенциальная энергия сжатой жидкости переходит в кинетическую энергию бойка 3 и совершает полезную работу в соответствии с выражением (1). Включаются возвратные цилиндры 2, поднимают цилиндр-аккумулятор с бойком 3 вверх до упора в клапан 5 штока 6. При этом полость под клапаном соединена со сливом и цикл работы молота повторяется.

В соответствии с формулой (1) важно повысить давление рабочей жидкости в системе питания молота. Это возможно двумя способами:

- установкой мультипликатора давления, который управляется от существующей гидросистемы экскаватора;
- устанавливать отдельный насос с большим давлением жидкости и сравнительно небольшой производительности, для питания ударной системы молота.

Отдельный насос для редкоударного молота может устанавливаться на давлении до 50 МПа, производительностью  $Q_n = 16$  л/мин., мощностью до 15 кВт и обеспечивает энергию единичного удара до 40 кДж с частотой около 10 ударов в минуту. В ДГМА имеется методика расчета таких молотов и выполнен технический проект навесного ударного устройства на экскаваторы и другое горнорудное оборудование. Аналогичные ударные устройства могут быть использованы на дробильных агрегатах для разбивания негабаритов для исключения их попадания в рабочий орган дробилки, при прокладке туннелей, шахт в скальном грунте и других разнообразных горных работах.

Одним из направлений совершенствования редкоударного молота можно принять установку в приводе газового аккумулятора. Это позволит снизить максимальное давление в приводе молота без снижения энергии единичного удара, уменьшить установочную мощность насосов за счет использования пауз между сериями ударов для накопления энергии в пневматическом аккумуляторе. В ДГМА разработан проект редкоударного молота с дополнительным газовым аккумулятором с объемом газа (азота) 150 литров, на максимальное давление 15 МПа. Баллон устанавливается под кожухом вдоль главного цилиндра молота и с помощью трубопроводов соединен с системой управления молота. Система управления предусматривает сохранение давления газа в аккумуляторе, колебания давления от максимального до минимального составляет примерно 10–20 %. Введение пневмоаккумулятора на молоте обеспечивает снижение его массы на 10–15 %, повышение гибкости в работе. Однако появляется необходимость подзарядки аккумулятора сжатым газом, после определенного цикла работы молота.

## ВЫВОДЫ

Разработаны новые конструктивные схемы редкоударных молотов, которые могут устанавливаться на экскаваторы и различное горное оборудование. От известных конструкций зарубежных фирм новые конструктивные схемы молотов отличаются увеличенной энергией единичного удара и уменьшенной частотой ударов, что позволяет повысить производительность дробления негабаритов при возможных работах по разрушению горных пород, скального грунта, бетона и т. п.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оборудование для открытых горных работ фирмы Krupp Industrie UND Stahlbau / В. И. Жданов. – Москва : ЦНИИТЭтяжмаш, 1980. – С. 50.
2. ЭКСКАВАТОР РУ. Откуда берется сила [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://exkavator.ru>.
3. Роганов Л. Л. Гідропружній і кліношарнірний механізми в машинобудуванні: навчальний посібник для студентів спеціальностей 7.090404 / Л. Л. Роганов, М. Л. Роганов. – Краматорськ : ДДМА, 2008. – Ч. 1. – 132 с.
4. Ковальский В. Ф. Справочник по гидроприводам горных машин / В. Ф. Ковальский, Н. Т. Железняков, Ю. Е. Бейлин. – Недра, 1973. – 504 с.