

П.А. Побегайло**О ПРОПОРЦИЯХ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ
ОДНОКОВШОВЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ***

Показано, что в деле совершенствования рабочего оборудования одноковшового гидравлического экскаватора есть существенные резервы. Это осуществлено за счет сравнения рабочего оборудования с рукой человека по известным в робототехнике критериям. Попутно сделано еще несколько важных выводов.

Ключевые слова: гидравлические экскаваторы, рабочее оборудование, рука человека.

В работах нашего учителя, профессора А.П. Комиссарова [1 и др.], говорится о том, что возможность нахождения новых конструктивных схем рабочего оборудования (РО) одноковшовых гидравлических экскаваторов (ОГЭ) практически исчерпана (с точки зрения роста их эффективности). Однако, так ли это на самом деле? На наш взгляд, это излишне резкий вывод, который является не совсем точным.

Не претендуя на окончательное решение этого вопроса (т.е. в этой работе мы не представим новых конструктивных решений готовых к применению в практике экскаваторостроения и т.п.) ниже мы попытаемся показать, что в деле совершенствования РО ОГЭ есть еще существенные резервы.

Напомним, что обычное, наиболее часто встречающееся РО ОГЭ состоит из трех последовательно соединенных между собой вращательными шарнирами [2] (пары V класса) звеньев (стрела, рукоять, ковш). При этом стрела прикреплена к поворотной платформе также через вращательный шарнир. Эти три звена могут поворачиваться относительно друг друга и экскаватора, причем все перемещения звеньев

РО осуществляются в одной плоскости. Углы поворота стрелы относительно ее пяты и рукояти относительно стрелы всегда меньше π . Угол поворота ковша относительно рукояти всегда меньше 2π . Рассматриваемое нами РО имеет три степени свободы. При этом, в рамках данной работы, нас не интересует как установлены гидроцилиндры, осуществляющие перемещения элементов РО.

Иными словами, РО ОГЭ может быть рассмотрено как типичный плоский трехзвенный манипулятор.

В рамках такого представления РО можно ввести понятие «кинематические длины» стрелы, рукояти и ковша – a , b , c . Это расстояние между осями их концевых шарниров (четкое определение этим понятиям можно найти в работе [3]).

В ряде работ [1, 4 и др.] введено отношение вида $W = \frac{a}{b}$, которое в определенной мере характеризует некоторые важные свойства РО. А.П. Комиссаров [1 и др.] предполагает, что лучшим вариантам РО соответствует попадание указанного отношения в интервал вида $W = \frac{a}{b} = [1, 2 \dots 1, 5]$. Этот вывод, на наш взгляд, не оконча-

* Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований ОЭММПУ РАН № 1 «Научные основы робототехники и мехатроники».

тельный и работы в этом направлении следует продолжать.

Исходя из поставленного в начале работы вопроса и для начала указанных работ, представляется целесообразным сравнить РО ОГЭ и руку человека. Ведь «все «манипуляционные системы живой природы» и наиболее совершенная из них – рука человека – являются продуктом длительного эволюционного развития. Если предположить, что эволюция человека в основных своих чертах завершилась, то естественно считать, что размеры отделов руки человека являются в каком-то смысле оптимальными, обеспечивая наилучшее соотношение величин некоторых критериев, характеризующих функциональные возможности руки» [5, 6 и др.].

В рамках рассматриваемого вопроса рука человека также может быть представлена как трехзвенный манипулятор. При этом нам не важны никакие его свойства, кроме нескольких, предложенных в работах [5, 6].

При условии, что длины плеча, предплечья и отрезка между запясть-

ем и центром ладони обозначены также как и кинематические длины РО – a , b , c , а их сумма обозначена как $a + b + c = L$, могут быть введены три характеристики геометрических свойств руки человека:

- отношение $W = \frac{a}{b} = (1,08...1,2)$
(оптимальным считается значение 1,14);

- отношение $W_1 = \frac{a}{L} = (0,4...0,5)$
(оптимальным тут может считаться значение 0,45);

- отношение $W_2 = \frac{c}{L} = (0,138...0,144)$
(оптимальным считается значение 0,142).

Численные значения приведенные выше взяты нами из указанных работ. Там же объясняется почему именно эти критерии представляют интерес для робототехники и биомеханики. Нас же сейчас интересует сравнение по указанным критериям руки человека и РО ОГЭ. Для этого ниже представлена Таблица, к анализу которой мы и перейдем.

Значения критериев

№	Марка экскаватора*	W	W ₁	W ₂
Зарубежные экскаваторы				
1	R994	1,57	0,476	0,220
2	R992	1,51	0,475	0,212
3	H241	1,74	0,506	0,204
4	RH300	1,51	0,484	0,195
5	H285	1,55	0,481	0,209
6	H185	1,50	0,462	0,231
7	H485	1,44	0,459	0,221
8	1000СК	1,375	0,433	0,252
9	H121	1,285	0,432	0,231
10	EX1000	1,28	0,451	0,196
11	UH801	1,36	0,451	0,216
12	3560	1,56	0,470	0,228

Отечественные экскаваторы и их проекты				
13	ЭГ-12А	1,50	0,487	0,188
14	ЭГ-20	1,46	0,489	0,176
15	ЭО-5126	2,14	0,598	0,153
16	ЭГ-10	1,63	0,498	0,196
17	ЭГО-4	2,25	0,598	0,136
18	ЭГ-6М	1,52	0,463	0,232
19	ЭГ-15	1,6	0,485	0,212
20	ЭГО-8	2,08	0,587	0,131
* – выбор экскаваторов обусловлен только знанием их размеров, необходимых для выполнения настоящей работы				

Итак, анализ таблицы позволяет сделать следующие основные выводы:

- по критерию W РО ОГЭ лежит далеко от руки человека. Для обратных лопат это особенно существенно. Прямые лопаты имеют значения этого критерия более близкие к параметрам руки человека – у пяти «ближайших» экскаваторов разница лежит на уровне 0,1–0,2 по отношению к верхней границе для руки человека (у отечественных машин эта разница выше чем у зарубежных);

- по критерию W_1 РО ОГЭ во многом похоже на руку человека. Хотя у отдельных экскаваторов, в первую очередь обратных лопат, значение критерия W_1 выходит за границы соответствующие руке человека;

- по критерию W_2 РО ОГЭ полностью не похоже на руку человека. При этом есть экскаваторы которые имеют значения этого критерия ниже чем у руки, а есть и те, у которых это значение больше (таких большинство). Прямые лопаты наиболее далеки от параметров руки человека (отечественные экскаваторы в советское время были ближе к руке человека, а в новом тысячелетии стали дальше за счет бездумного копирования зарубежных образцов).

На наш взгляд, несовпадение РО ОГЭ и руки человека по двум из трех

указанных критериев показывает, что А.П. Комиссаров был излишне категоричен в своей оценке приведенной нами в начале этой работы. Очевидно, что в сближении руки человека и РО ОГЭ заложены огромные резервы совершенствования РО. Это подтверждают и работы корейских ученых посвященных созданию РО мини-экскаваторов [7 и др.], в которых они берут руку человека за образец.

Кроме этого, с учетом наших работ [8, 9 и др.], становится очевидным, что есть практический смысл в поиске кинематических схем РО с лучшей чем традиционные расстановкой гидроцилиндров (начинать можно с анализа идей из работ [10, 11]). Также очевидно, на наш взгляд, что локальная однокритериальная оптимизация отдельных подсистем РО ОГЭ бессмысленна и не может дать ничего практически полезного конструктору. Будущее тут за многокритериальной оптимизацией всего РО (как минимум), на базе идей работ [12, 13 и пр.].

Кроме того, необходимо подчеркнуть, что принципиальную роль для эффективности РО играет длина ковша. На это, к сожалению, обращается мало внимания как при проектировании всего ОГЭ, так и при поиске лучших конструкций самих ковшей. В будущем, по видимому, следует

стремиться к применению у прямых и обратных лопат ковшей с одинаковой кинематической длиной, по возможности минимальной.

Также требует пересмотра технология проектирования ОГЭ как в части

применяемых математических моделей, так и в части методологии – необходима концентрация основного внимания на стадии предпроектного анализа – этапе разработки технического задания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комиссаров А.П. Моделирование рычажно-гидравлических механизмов и обоснование перспективных конструкций карьерных гидравлических экскаваторов: Дисс. ... докт. техн. наук. – Екатеринбург, 2004. – 214 с.
2. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 480 с.
3. Крикун В.Я., Манасян В.Г. Расчет основных параметров гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием обратная лопата: учебное пособие. – М.: АСВ, 2001. – 104 с.
4. Акинфиев А.А. Современные конструкции зарубежных пневмоколесных экскаваторов. Обзор. – М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1990. – 57 с.
5. Кобринский А.А., Кобринский А.Е. О пропорциях руки человека (применение концепций робототехники к биомеханике) // ДАН СССР. – 1984. – Том 276, № 6. – С. 1352–1355.
6. Кобринский А.А., Кобринский А.Е. Манипуляционные системы роботов: основы устройства, элементы теории. – М.: Наука, 1985. – 344 с.
7. Kim D. & etc. Excavator tele-operation system using a human arm // Automation in Construction. – 2009. – № 18. – pp. 173–182.
8. Побегайло П.А. Мощные одноковшовые гидравлические экскаваторы: выбор основных геометрических параметров рабочего оборудования на ранних стадиях проектирования. – М.: ЛЕНАНД, 2014. – 296 с.
9. Побегайло П.А. Некоторые геометрические свойства рабочего оборудования одноковшовых гидравлических экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 1. Отдельные статьи (специальный выпуск). – 28 с.
10. Елизарова В.Б. Сравнительные исследования нагруженности рабочего оборудования гидравлических экскаваторов / Совершенствование конструкции и улучшение показателей одноковшовых гидравлических экскаваторов: Научные труды № 97. – М.: ВНИИСДМ. – 1983. – С. 17–21.
11. Павловский В.Е. и др. Манипуляторы для мобильных роботов. Концепции и принципы проектирования // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2012. – № 44. – 24 с.
12. Статников Р.Б. Выбор параметров проектируемых машин. Дисс. ... докт. техн. наук. – М., 1975. – 206 с.
13. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Дрофа, 2006. – 175 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Побегайло Петр Алексеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: petrp214@yandex.ru, ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН.

UDC 621.879.32

ABOUT PROPORTIONS OF THE WORKING EQUIPMENT OF HYDRAULIC EXCAVATORS

Pobegailo P.A., Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, e-mail: petrp214@yandex.ru, Institute for Machine Science named after A.A. Blagonravov of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

In article it is shown that in improvement of the working equipment of the hydraulic excavator there are essential reserves. It is carried out due to comparison of the working equipment with a hand of the person by criteria, known in a robotics. Some more important conclusions are in passing drawn.

Key words: hydraulic excavators, the working equipment, hand of the person.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was carried out within the framework of OEMMPU RAN fundamental research program 1 «Robotic and Mechatronics Science».

REFERENCES

1. Komissarov A.P. *Modelirovanie rychazhno-gidravlicheskih mekhanizmov i obosnovanie perspektivnykh konstruksii kar'ernykh gidravlicheskih ekskavatorov* (Modeling lever-hydraulic mechanisms and validation of promising designs of open pit hydraulic excavators), Doctor's thesis, Ekaterinburg, 2004, 214 p.
2. Zenkevich S.L., Yushchenko A.S. *Osnovy upravleniya manipulyatsionnymi robotami* (Principles of manipulation robot guidance), Moscow, Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2004, 480 p.
3. Krikun V.Ya., Manasyan V.G. *Raschet osnovnykh parametrov gidravlicheskih ekskavatorov s rabochim oborudovaniem obratnaya lopata: uchebnoe posobie* (Calculation of basic design parameters for hydraulic excavators with backhoe), Moscow, ASV, 2001, 104 p.
4. Akinfiev A.A. *Sovremennye konstruksii zarubezhnykh pnevmokolesnykh ekskavatorov. Obzor* (Current designs of pneumatic-tyre excavators of foreign manufacture. Review), Moscow, TsNIIEStroimash, 1990, 57 p.
5. Kobrinskii A.A., Kobrinskii A.E. *Doklady Akademii nauk*. 1984, vol. 276, no 6, pp. 1352–1355.
6. Kobrinskii A.A., Kobrinskii A.E. *Manipulyatsionnye sistemy robotov: osnovy ustroystva, elementy teorii* (Manipulation robot systems: elements of design and theory), Moscow, Nauka, 1985, 344 p.
7. Kim D. & etc. Excavator tele-operation system using a human arm. *Automation in Construction*, 2009, no 18, pp. 173–182.
8. Pobegailo P.A. *Moshchnye odnokovshovye gidravlicheskie ekskavatory: vybor osnovnykh geometricheskikh parametrov rabochego oborudovaniya na rannikh stadiyakh proektirovaniya* (High-performance single-bucket hydraulic excavators: selecting main geometry parameters of implement at early design stage), Moscow, LENAND, 2014, 296 p.
9. Pobegailo P.A. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2014, no 1, special issue, 28 p.
10. Elizarova V.B. *Sovershenstvovanie konstruksii i uluchshenie pokazatelei odnokovshovykh gidravlicheskih ekskavatorov: Nauchnye trudy no 97* (Improving design and performance of single-bucket hydraulic excavators. Transactions no 97), Moscow, VNIISDM, 1983, pp. 17–21.
11. Pavlovskii V.E. *Preprint IPM im. M.V. Keldysha*. 2012, no 44, 24 p.
12. Statnikov R.B. *Vybor parametrov proektiruemykh mashin* (Selecting parameters of designed machines), Doctor's thesis, Moscow, 1975, 206 p.
13. Sobol' I.M., Statnikov R.B. *Vybor optimal'nykh parametrov v zadachakh so mnogimi kriteriyami* (Selection of optimal parameters in multi-criteria problems), Moscow, Drofa, 2006, 175 p.



О Т Р Е Д А К Ц И И

В Горном информационно-аналитическом бюллетене (научно-техническом журнале), отдельный выпуск № 5, 2014 г., «Организация и управление горным предприятием» в статье авторов Г.Н. Шаповаленко, С.Н. Радионова, О.В. Воробьевой, А.В. Галкина «О системе управления промышленной безопасностью и надежности персонала горных предприятий» на с. 151 в разделе «Коротко об авторах» допущена техническая ошибка:

Напечатано	Следует читать
Галкин Алексей Валерьевич Galkin Alexey Valerievich	Галкин Алексей Владимирович Galkin Alexey Vladimirovich

Редакция приносит свои извинения автору.