

П.А. Побегайло

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОПОРЦИЙ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ОДНОКОВШОВЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ

Введен критерий, позволяющий оценивать рабочее оборудование одноковшовых гидравлических экскаваторов. Критерий заимствован из биомеханики, что позволяет сравнивать рабочее оборудование одноковшового гидравлического экскаватора с различными трехчленными биологическими системами (как человека, так и млекопитающих). На основе данного критерия получены оценки рабочего оборудования реальных одноковшовых гидравлических экскаваторов и отмечен ряд интересных направлений для будущих исследований.

Ключевые слова: гидравлические экскаваторы, рабочее оборудование, конформные симметрии в кинематических схемах тела человека и млекопитающего.

Введение

Напомним, что обычное, наиболее часто встречающееся рабочее оборудование (РО) одноковшового гидравлического экскаватора (ОГЭ) состоит из трех последовательно соединенных между собой вращательными шарнирами [1 и др.] (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 (эти три угла будем называть далее шарнирными углами, следуя в этом работам в области робототехники и теории машин и механизмов [2 и др.]). Рассматриваемое нами РО имеет три степени свободы. При этом, в рамках данной работы, нас не интересует как установлены гидроцилиндры, осуществляющие перемещение 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 и для длины ковша – острием зубьев, соответственно (четкое определение этим понятиям можно найти, например, в работе [3]).

В работе [4] был рассмотрен вопрос о некоторых аффинных пропорциях РО ОГЭ и выполнено сравнение полученных результатов с рукой человека в предположении, что человек есть некий идеальный объект. Настоящая работа является продолжением указанного труда. При этом, в основу настоящего исследования положим некоторые результаты биомеханических исследований, представленных в монографиях [5, 6].

Теория вопроса

В указанных работах [5, 6] представлены некоторые итоги исследования строения кинематической схемы человеческого тела с позиций принципа построения биологических тел из конформно-симметричных блоков. Для этого автор изучал совокупные пропорции длин трех звеньев в так называемых трехчленных кинематических блоках тела (человека).

Основным «техническим» инструментом в ходе исследования в книгах [5, 6] является понятие вурфа (термин появился в рамках развития проективной геометрии в конце XIX в. в Германии), как числовой характеристики конформных преобразований трехчленных блоков (тела человека). Согласно автору указанного труда, вурф представляет собой обобщение простого аффинного отношения и играет роль критерия конформной (и проективной) симметрии между блоками из трех последовательных отрезков прямых, причем «расстояния или простые отношения расстояний между расчленяющими точками могут быть у данных блоков совершенно различны и только величины вурфов обязаны быть равными» [5, 6].

По аналогии с «золотым вурфом» С.В. Петухова предлагается определить значение вурфа РО ОГЭ (как числовую характеристику) по следующей формуле (РО ОГЭ рассматривается распрямленным, как бы со снятыми ограничениями на величины шарнирных углов):

$$\text{Вурф}\Phi = \frac{(a + b) \cdot (b + c)}{b \cdot (a + b + c)}.$$

Таблица 1

Значения критерия (вурфа)

№	Марка экскаватора	Значение вурфа	Разница с эталоном	Процент разницы с эталоном, %
1	2	3	4	5
Зарубежные экскаваторы				
1	R994	1,723	0,413	31,527
2	R992	1,321	0,011	0,840
3	H241	1,355	0,045	3,435
4	RH300	1,294	-0,016	1,221
5	H285	1,603	0,293	22,366
6	H185	1,346	0,036	2,748
7	H485	1,317	0,007	0,534
8	1000СК	1,344	0,034	2,595
9	H121	1,297	-0,013	0,992
10	EX1000	1,251	-0,059	4,504
11	UH801	1,293	-0,017	1,298
12	3560	1,355	0,045	3,435
13	PC-7000	1,455	0,145	11,069
14	P&N1550	1,292	-0,018	1,374
Отечественные экскаваторы и их проекты				
15	ЭГ-12А	1,282	-0,028	2,137
16	ЭГ-20	1,257	-0,053	4,046
17	ЭГ-6	1,342	0,032	2,443
18	ЭГ-12	1,253	-0,057	4,351
19	ЭГ-6М	1,353	0,043	3,282
20	ЭГ-10	1,319	0,009	0,687
21	ЭГ-15	1,339	0,029	2,214
22	ЭГ-6	1,305	-0,005	0,382
23	ЭГ-8	1,328	0,018	1,374
24	ДГЭ-1200 (п.л.)	1,277	0,033	2,519
25	ЭГО-4	1,306	-0,004	0,305
26	ЭГО-8	1,274	-0,036	2,748
27	300МН	1,421	0,111	8,473
28	ДГЭ-1200 (о.л.)	1,378	0,068	5,191
29	ЭГО-150	1,330	0,020	1,527

Советские строительные экскаваторы				
30	ЭО-3221*	1,325	0,015	1,145
31		1,183	-0,127	9,695
32	ЭО-3323	1,399	0,089	6,794
33		1,232	-0,078	5,594
34		1,187	-0,123	9,389
35	ЭО-3122	1,404	0,094	7,176
36		1,225	-0,085	6,488
37	ЭО-4322	1,343	0,033	2,519
38	ЭО-4321А	1,501	0,191	14,580
39	ЭО-4126	1,386	0,076	5,801
40	ЭО-4121В	1,421	0,111	8,473
41	ЭО-4125	1,438	0,128	9,771
42	ЭО-4422	1,440	0,130	9,924
43	ЭО-4421	1,563	0,253	19,313
44	ЭО-4121	1,457	0,147	11,221
45	ЭО-5122А	1,437	0,127	9,695
46	ЭО-5124	1,448	0,138	10,534
47	ЭО-5126	1,366	0,056	4,275
48	ЭО-4322**	1,251	-0,059	4,504
49	ЭО-5122А**	1,260	-0,050	3,817
Значения вурфа у человека				
50	Рука	1,33±1,5%		
51	Нога	1,29±2,0%		
52	Тело человека	1,32±2,0%		
53	Большой палец	1,34±1,5%		
54	Указательный палец	1,37±0,7%		
55	Безымянный палец	1,33±0,7%		
56	Мизинец	1,43±0,7%		
57	Средний палец	1,31 – эталон		
* объединение ячеек указывает на рассмотрение у одной машины нескольких видов РО;				
** это две строительные прямые лопаты.				

Согласно этой формуле получены значения вурфа для более чем сорока ОГЭ с разными видами РО (таблица). Для сравнения полученных результатов, в таблице представлены, заимствованные из монографий [5, 6], результаты вычисления вур-

фа для человека (данные для высокоорганизованных животных мы приводить не стали, их можно найти в книге [5]).

Отметим следующие полезные результаты, представленные в книгах [5, 6], которые могут быть применены и для технических объектов (здесь, для РО ОГЭ):

- особенности кинематической схемы тела определяются параллельным существованием в ней относительно неизменных вурфовых пропорций, величина которых определяется филлотаксисными законами морфогенеза, и нефиллотаксисных аффинных пропорций, через изменение которых организм приспособляется к специальному образу жизни и действия;

- величины вурфов всех трехчленных кинематических блоков в каждый момент онтогенеза группируются вокруг величины 1,3, т.е. все эти блоки в распрямленном состоянии по своим пропорциям почти конформно подобны и конформно неизменны в онтогенезе;

- естественно средний палец руки считать эталонным трехчленным кинематическим блоком, а онтогенетически неизменную величину 1,31 его вурфа рассматривать в качестве той эталонной величины, вокруг которой группируются значения других блоков;

- отклонения средних значений вурфов у рассмотренных биологических систем от этой эталонной не превышает 10%;

- выявлен феномен конформной унификации: опорно-двигательный аппарат как набор трехчленных кинематических блоков отличается конформной унифицированностью этих блоков (она заключается в том, что величины вурфов всех блоков группируются вокруг значения 1,3);

- значение 1,31 у рассмотренных биологических систем обусловлено филлотаксисными законами морфогенеза, связанными с симметриями биологических тел и рядом чисел Фибоначчи;

- предложено, подобно тому, как предел аффинной последовательности из чисел Фибоначчи называют золотым сечением [7 и др.], значение 1,31 называть золотым вурфом;

- применение более сложного вурфа из комплексных координат позволяет понять, что рост и моторика (в диапазоне манипуляционных движений) трехфаланговых пальцев представляют собой явления конформной симметрии;

- биологические тела имеют каноническую телесную форму (она выступает в роли исходной системы отсчета для построения движения).

Анализ выше изложенного, а также данных, представленных в таблице, позволяют сделать следующие основные выводы:

- не существует ОГЭ со значением вурфа в 1,31 (хотя шесть машин очень близки к этому значению – причем три из них отечественные). Все полученные значения вурфа для ОГЭ имеют отклонения в ту или иную сторону;

- незначительные изменения кинематических длин элементов РО (при использовании удлиненного или укороченного РО; модернизациях ковшей) приводит к существенным изменениям в значениях вурфа (и, по видимому, к существенному изменению всех свойств РО и экскаватора);

- на лицо достаточно существенные резервы для улучшения РО ОГЭ;

- задача поиска и использования симметрий в такой сложной технической системе как ОГЭ есть задача первостепенная и самая важная;

- по видимому, создание рационального РО ОГЭ возможно при опоре на постоянные значения вурфа (золотой вурф), и при варьировании при этом значениями отдельных аффинных пропорций [4];

- возможно перспективным для ОГЭ РО является использование трехчленения в соотношении или любого другого трехчленения, вурфовая пропорция которого также равна золотому вурфу (подчеркнем тут, что т.н. модуль Ле Корбюзье (известный архитектор) это частный случай вурфа [5, 6]);

- представляет интерес идея создания ОГЭ и его РО на базе конформно-симметричных блоков;

- применение более сложного вурфа открывает интересные перспективы в исследовании РО ОГЭ как в части синтеза новых кинематических схем, так и в изучении движения РО ОГЭ, что может быть полезным для совершенствования систем управления. Например, в задаче построения диссимметрирующего управления (на базе следующей постановки вопроса: исследовать и использовать связь между моторным движением и нарушением определенной симметричной формы);

- поиск некой исходной канонической телесной формы РО ОГЭ также представляет определенный интерес для дальнейших исследований.

Заключение

В завершении настоящей работы заметим, что есть диаметрально противоположные мнения на счет того, считать ли человека (и/или высших животных (а возможно и некоторые другие биологические системы)) некоторым идеалом и копиро-

вать ли его (их) при разработке технических систем [5, 6, 8–10 и многие др.]. По мнению автора, во-первых, ответ на указанный вопрос зависит от требований, предъявляемых к конкретной технической системе, поэтому однозначный и безусловный ответ в общем случае вряд ли возможен; во-вторых, исследования биологических систем и сравнение с ними технических систем важно само по себе, поскольку «все в этом мире строится по принципу аналогии» (см. труды Гермеса). Хорошо известен принцип эмерджентности (появление у системы свойств, не присущих составляющим ее элементам), в соответствии с которым естественно потребовать соблюдение системного принципа при проведении сравнений технического объекта с человеком как сложным объектом (по Л.А. Растригину [11 и многие др.]), т.е. объектом, оптимизация деятельности которого безусловно многокритериальна (при этом отдельные его элементы могут не соответствовать заданному критерию оптимальности).

В заключение подчеркнем, что для технических систем и ОГЭ в частности локальная оптимизация отдельных подсистем бессмысленна и часто вредна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зенкевич С. Л., Ющенко А. С.* Основы управления манипуляционными роботами. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 480 с.
2. *Смольников Б. А.* Проблемы механики и оптимизации роботов. – М.: Наука, 1991. – 232 с.
3. *Крикун В. Я., Манасян В. Г.* Расчет основных параметров гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием обратная лопата. – М.: АСВ, 2001. – 104 с.
4. *Побегайло П. А.* О пропорциях рабочего оборудования одноковшовых гидравлических экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 2. – С. 143–147.
5. *Петухов С. В.* Биомеханика, бионика и симметрия. – М.: Наука, 1981. – 241 с.
6. *Урманцев Ю. А. и др.* Система. Симметрия. Гармония. – М.: Мысль, 1988. – 315 с.
7. *Балакишин О. Б.* Коды да Винчи – новая роль в естествознании? Дуализм альтернатив гармонии, познания и саморазвития систем. – М.: Изд-во ЛКИ, 2011. – 248 с.
8. *Кобринский А. А., Кобринский А. Е.* О пропорциях руки человека (применение концепций робототехники к биомеханике) // ДАН СССР. – 1984. – Том 276. – № 6. – С. 1352–1355.
9. *Кобринский А. А., Кобринский А. Е.* Манипуляционные системы роботов: основы устройства, элементы теории. – М.: Наука, 1985. – 344 с.
10. *Kim D. & etc.* Excavator tele-operation system using a human arm // Automation in Construction. – 2009. – № 18. – pp. 173–182.
11. *Растригин Л. А.* Современные принципы управления сложными объектами. – М.: Советское радио, 1980. – 232 с. **ТИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРТЕ

Побегайло Петр Алексеевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: petrp214@yandex.ru, Институт машиноведения им. А.А. Благодрава РАН.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 5, pp. 107–114.

UDC
621.879.37

Pobegailo P.A.

RESEARCH OF PROPORTIONS OF THE WORKING EQUIPMENT OF HYDRAULIC EXCAVATORS

The paper introduced a criterion to evaluate the working equipment hydraulic excavators. Criterion is borrowed from biomechanics that lets you compare working equipment hydraulic excavator with a variety of three-term biological systems (both human and mammals). On the basis of this criterion we obtain estimates of the working equipment of real hydraulic excavators, and highlighted a number of interesting directions for future research.

Key words: hydraulic excavators, the working equipment, conformal symmetry in kinematic schemes of a body of the person and a mammal.

AUTHOR

Pobegailo P.A., Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Institute for Machine Science named after A.A. Blagonravov of Russian Academy of Sciences, 101990, Moscow, Russia, e-mail: petrp214@yandex.ru.

REFERENCES

1. 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.
2. Smol'nikov B. A. *Problemy mekhaniki i optimizatsii robotov* (Problems of mechanics and optimization of robots), Moscow, Nauka, 1991, 232 p.
3. Krikun V. Ya., Manasyan V. G. *Raschet osnovnykh parametrov gidravlicheskiy ekskavatorov s rabochim oborudovaniem obratnaya lopata* (Calculation of basic parameters of hydraulic backhoes), Moscow, ASV, 2001, 104 p.
4. Pobegaylo P.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 2, pp. 143–147.
5. Petukhov S. V. *Biomekhanika, bionika i simmetriya* (Biomechanics, bionics and symmetry), Moscow, Nauka, 1981, 241 p.
6. Urmantsev Yu. A. *Sistema. Simmetriya. Garmoniya* (Sistema. Simmetriya. Garmoniya), Moscow, Mysl', 1988, 315 p.
7. Balakshin O. B. *Kody da Vinchi – novaya rol' v estestvoznanii? Dualizm al'ternativ garmonii, poznaniya i samorazvitiya sistem* (Codes da Vinci – a new role in science? The dualism of alternatives harmony, knowledge and self-development systems), Moscow, Izd-vo LKI, 2011, 248 p.
8. Kobrinskiy A. A., Kobrinskiy A. E. *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1984, vol. 276, no 6, pp. 1352–1355.
9. Kobrinskiy A. A., Kobrinskiy A. E. *Manipulyatsionnye sistemy robotov: osnovy ustroystva, elementy teorii* (Manipulating systems: principles of setup, elements of theory), Moscow, Nauka, 1985, 344 p.
10. Kim D. & etc. Excavator tele-operation system using a human arm. *Automation in Construction*. 2009, no 18, pp. 173–182.
11. Rastrigin L. A. *Sovremennyye printsipy upravleniya slozhnymi ob'ektami* (Modern principles of management of complex objects), Moscow, Sovetskoe radio, 1980, 232 p.