

П.А. Побегайло

КРИТЕРИЙ «ДОСТИЖИМОСТЬ» ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ОДНОКОВШОВОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА

Введено понятие, позволяющее оценивать рабочее оборудование одноковшовых гидравлических экскаваторов на базе геометрического критерия «достижимость», заимствованного из робототехники. Для удобства его применения предложены два локальных критерия эффективности рабочего оборудования, для вычисления которых приведен алгоритм. Для иллюстрации применения этого понятия представлен рисунок с выделенными положениями ковша у мощного одноковшового гидравлического экскаватора ЭГ-12А. В заключении работы указаны возможные направления для дальнейших исследований.

Ключевые слова: одноковшовые гидравлические экскаваторы, рабочее оборудование, понятие «достижимость», локальные критерии эффективности.

Введение

В работе [1] был предложен показатель для фронтальных погрузчиков, характеризующий крутизну траектории черпания — относительную величину перемещения ковша, определяемую как отношение горизонтального перемещения ковша к глубине его первоначального внедрения в забой.

Похожий показатель предлагал для подземных экскаваторов с механическим приводом автор работы [2]. При этом он вел речь только о прямолинейной траектории на уровне стоянки машины.

Для одноковшовых гидравлических экскаваторов (ОГЭ) подобных работ нам не известно.

На наш взгляд, идеи высказанные в работах [1, 2] суть частные случаи понятия «достижимость», известного из робототехники [3 и др.].

Это геометрическое свойство [3 и др.] «...характеризует возможность требуемого расположения захвата манипуляционной системы, которое определяется элементарной операцией позиционирования: совместить характеристическую точку захвата манипуляционной системы с фиксированной точкой $x = (x_1, x_2, x_3)$. Совокупность допустимых значений параметра x описывает некоторую область D_0 , которую называют рабочим пространством манипуляционной системы. Величина $V(D_0)$ объема (или площади для плоских манипуляционных систем) рабочего пространства представляет собой количественную оценку свойства достижимости».

Представляется полезным и важным перенести понятие достижимости на «рельсы» экскаваторостроения.

Теория вопроса

Выше приведенное каноническое описание геометрического критерия достижимости, введенное для роботов-манипуляторов, в переложении к задаче оценивания свойств рабочего оборудования (РО) ОГЭ необходимо переписать в более удобном для нас виде. Итак.

Для ОГЭ – когда его РО мы рассматриваем как плоский трехзвенный манипулятор – геометрическое свойство «достижимость» это площадь части рабочей зоны, где возможно расположение ковша в каком-то заданном (требуемом) положении (виде). Соответственно, его численной оценкой будет значение площади такого выделенного фрагмента рабочей зоны (эта оценка сама по себе не очень удобна и мы рекомендуем вместо нее пользоваться приведенными ниже локальными критериями эффективности РО).

Общий алгоритм оценки достижимости РО ОГЭ основан на наших прежних работах [4, 5 и др.] и состоит из следующих основных шагов:

- построить осевой профиль рабочей зоны рассматриваемого ОГЭ;
- найти площадь этой фигуры или ее фрагмента;
- разбить осевой профиль рабочей зоны, например, квадратной сеткой с каким-то определенным шагом;
- найти в каждой из точек указанной сетки все допустимые положения ковша на основе решения обратной позиционной задачи;
- для требуемых исследователю положений ковша (по всей рабочей зоне или ее фрагменту; или по какой-то выделенной

траектории) проверить их наличие в полученных диапазонах существования ковша (важна также и визуальная оценка расположения этих положений по отношению к их функциональному назначению);

- вычислить (при необходимости) значения двух локальных критериев эффективности РО ОГЭ.

Первый локальный коэффициент эффективности РО удобен при работе с траекториями движения зубьев ковша и имеет вид:

$$K_1 = \frac{L_{реал}}{L_{\Pi}} \in [0...1], \quad (1)$$

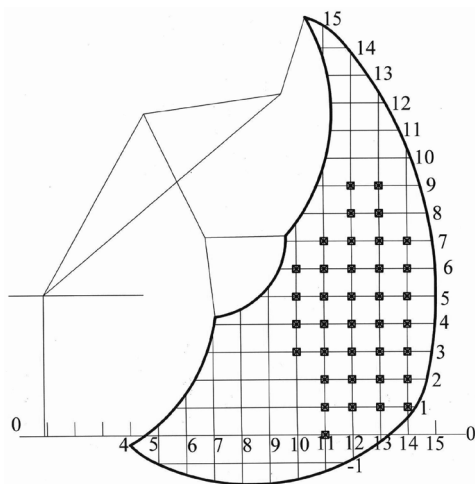
где L_{Π} – полная длина требуемой траектории движения зубьев ковша; $L_{реал}$ – длина требуемой траектории движения зубьев ковша, на которой возможны желаемые положения ковша (может быть и суммой отдельных отрезков).

Второй локальный коэффициент эффективности РО имеет вид:

$$K_2 = \frac{\Pi_{реал}}{\Pi_T} \in [0...1], \quad (2)$$

где Π_T – теоретическая площадь осевого профиля рабочей зоны; $\Pi_{реал}$ – площадь части рабочей зоны, где существуют потребные исследователю положения ковша.

Очевидно, что для отдельных задач эти критерии могут быть записаны «персонально» (в работе [4] это сделано для двух «модельных» примеров).



Иллюстрация, поясняющая смысл понятия «достижимость» для ЭГ-12А

В качестве иллюстрации применения критерия «достижимость» представим рисунок, на котором для мощного ОГЭ прямого копания ЭГ-12А, приведен осевой профиль его рабочей зоны. Квадратиками с крестиками там выделены те точки, в которых существует выделенное нами положение ковша — когда его т.н. «кинематическая длина» параллельна уровню стоянки машины (это может быть важным при подборе транспортного сосуда для выгрузки породы и т.д.).

В этом примере несложно вычислить как площадь полученного фрагмента рабочей зоны, так и коэффициенты указанные выше. Сейчас этого делать не будем.

Заключение

Одним из важных факторов, обеспечивающих эффективную работу ОГЭ, является возможность поддержания на траектории движения зубьев ковша наиболее рационального его пространственного положения.

Опираясь на все выше изложенное в настоящей работе, мы имеем возможность для любой требуемой траектории и любого желаемого положения ковша ответить на вопрос о том, реализуема ли эта траектория при требуемых положениях ковша; и на сколько полно она может быть реализована. То же самое мы можем сделать и не рассматривая конкретные траектории, в случаях когда нас интересует вся рабочая зона или ее фрагмент (см. формулу (2)).

Все это стало возможным за счет применения понятия «достижимость».

Кроме этого, на базе выше описанного подхода, в дальнейшем можно рассматривать следующие задачи:

- автоматизацию рабочих движений элементов РО (в рамках построения системы управления);
- реализацию эффективных траекторий движения зубьев ковша (тут полезно учитывать работы В.И. Матюхина [6–8 и др.] и его учителя Е.С. Пятницкого [9 и др.]);
- создание 3D моделей ОГЭ и тренажеров на их базе. В качестве примера тут можно указать на работы [10–12];
- подбор рационального ковша и его параметров при варьировании характеристиками последнего и т.п. и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ситников Д. С.* Условия эффективного применения фронтальных колесных погрузчиков в качестве дополнительного технологическо-

го оборудования экскаваторно-автомобильных комплексов: Дисс. ... канд. техн. наук. — М.: ИПКОН АН СССР, 1991. — 115 с.

2. *Музгин С. С.* Экскавация крупнокусковой горной массы. — Алма-Ата, Наука, 1973. — 124 с.

3. *Кобринский А. А., Кобринский А. Е.* Манипуляционные системы роботов: основы устройства, элементы теории. — М.: Наука, 1985. — 344 с.

4. *Побегайло П. А.* Мощные одноковшовые гидравлические экскаваторы: выбор основных геометрических параметров рабочего оборудования на ранних стадиях проектирования. — М.: Ленанд, 2014. — 296 с.

5. *Побегайло П. А.* Некоторые геометрические свойства рабочего оборудования одноковшовых гидравлических экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 1. — 28 с.

6. *Матюхин В. И.* Управление механическими системами. — М.: Физматлит, 2009. — 320 с.


7. *Матюхин В. И.* Управление движением манипулятора. Препринт. — М.: ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, 2010. — 96 с.

8. *Матюхин В. И.* Стабилизация движений манипулятора вдоль заданной поверхности // Автоматика и телемеханика. — 2011. — № 4. — С. 71–85.

9. *Пятницкий Е. С.* Избранные труды: в 3 т. Т. 3. Теоретическая биомеханика. Концепция управления движением в условиях неопределенности. — М.: Физматлит, 2006. — 448 с.

10. *Минеев А. В.* Методология, проектирование и построение полномасштабного тренажера для роторных комплексов: Дисс. ... докт. техн. наук. — Красноярск: КГАЦМиЗ, 2002. — 262 с.

11. *Минеев А. В., Москвичев В. В., Плотов Ю. А.* Разработка тренажеров для роторных экскаваторов. — М.: МАКС Пресс, 2002. — 192 с.

12. *Park B.* Development of a virtual reality excavator simulator: a mathematical model of excavator digging and a calculation methodology. PhD Diss. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blackburg, Virginia, USA, 2002, 223 p. 

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Побегайло П. А. — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: petr214@yandex.ru, Институт машиноведения им. Благонравова А. А. РАН.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 9, pp. 99–104.

UDC 621.879.3

P.A. Pobegaylo

CRITERION «APPROACHIBILITY» FOR ESTIMATION EFFICIENCY OF THE WORKING EQUIPMENT HYDRAULIC EXCAVATOR

In article the concept allowing to estimate the working equipment of hydraulic excavators based on the geometrical criterion «approachibility» borrowed from robotics is entered. For convenience of its application two local criteria of efficiency of the working equipment for

which calculation the algorithm is given are offered. For an illustration of application of this concept drawing with the allocated ladle provisions at the hydraulic EG-12A excavator is provided. In the conclusion of work the possible directions for further researches are specified.

Key words: hydraulic excavators, working equipment, concept «approachability»; local criteria of efficiency.

AUTHOR

Pobegaylo P.A., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, A.A. Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of RAS, 101990, Moscow, Russia, e-mail: petr214@yandex.ru.

REFERENCES

1. Sitnikov D. S. *Usloviya effektivnogo primeneniya frontal'nykh kolesnykh pogruzchikov v kachestve dopolnitel'nogo tekhnologicheskogo oborudovaniya ekskavatorno-avtomobil'nykh kompleksov* (Efficient application conditions for front-face wheel loader as auxiliary equipment in the dump truck-shovel system), Candidate's thesis, Moscow, IPKON AN SSSR, 1991, 115 p.
2. Muzgin S. S. *Ekskavatsiya krupnokuskovoy gornoy massy* (Coarse rock excavation), Alma-Ata, Nauka, 1973, 124 p.
3. Kobrinskiy A. A., Kobrinskiy A. E. *Manipulyatsionnye sistemy robotov: osnovy ustroystva, elementy teorii* (Manipulator systems of robots: Basic design, elements of theory), Moscow, Nauka, 1985, 344 p.
4. Pobegaylo P. A. *Moshchnye odnokovshovye gidravlicheskie ekskavatory: vybor osnovnykh geometricheskikh parametrov rabochego oborudovaniya na rannikh stadiyakh proektirovaniya* (High-duty bucket hydraulic shovels: selection of key geometrics of implements at early mine planning stage), Moscow, Lenand, 2014, 296 p.
5. Pobegaylo P. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 1, 28 p.
6. Matyukhin V. I. *Upravlenie mekhanicheskimi sistemami* (Mechanical system control), Moscow, Fizmatlit, 2009, 320 p.
7. Matyukhin V. I. *Upravlenie dvizheniem manipulyatora*. Preprint (Control of manipulator motion. Preprint), Moscow, IPU im. V.A. Trapeznikova RAN, 2010, 96 p.
8. Matyukhin V. I. *Avtomatika i telemekhanika*. 2011, no 4, pp. 71–85.
9. Pyatnitskiy E. S. *Izbrannye trudy: v 3 t. T. 3. Teoreticheskaya biomekhanika. Kontseptsiya upravleniya dvizheniem v usloviyakh neopredelennosti* (Selectals, vol. 3. Theoretical biomechanics. Concept of motion control under uncertainty), Moscow, Fizmatlit, 2006, 448 p.
10. Mineev A. V. *Metodologiya, proektirovanie i postroenie polnomasshtabnogo trenazhera dlya rotornykh kompleksov* (Methodology, design and manufacture of full-scale simulators of rotary equipment), Doctor's thesis, Krasnoyarsk, KGATsMiZ, 2002, 262 p.
11. Mineev A. V., Moskvichev V. V., Plyutov Yu. A. *Razrabotka trenazherov dlya rotornykh ekskavatorov* (Design of simulators of bucket wheel excavators), Moscow, MAKS Press, 2002, 192 p.
12. Park B. *Development of a virtual reality excavator simulator: a mathematical model of excavator digging and a calculation methodology*. PhD Diss. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, USA, 2002, 223 p.

