

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ОДНОКОВШОВЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ

Побегайло П.А. (ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН)

E-mail: petrp214@yandex.ru

Abstract: *In the real work the results of three years' work in the field of research of geometrical and power properties of the working equipment of hydraulic excavators are summed up. The main outcome of work is introductions of the concept "complex analysis..." which is based methodically on the theory of functional systems. From almost useful results first of all new approach to classification of kinematic schemes of the working equipment and points of a working zone can be specified.*

Keywords: *hydraulic excavators; working equipment; assessment of geometrical and power properties of hydraulic excavators.*

В ходе работ по изучению геометрических и силовых свойств рабочего оборудования (РО) одноковшовых гидравлических экскаваторов (ОГЭ) была предложена структура проектирования этих машин на стадии формирования технического задания, которая по нашему мнению является наиболее важной в современных экономических и социальных условиях. При этом в качестве методической (философской) основы нами использована теория функциональных систем, что позволило сформулировать цель проектирования и сформировать основные требования к такого рода структуре. Об этом говорится в наших работах [1, 2 и др.].

Так как в практике отечественного проектирования ОГЭ нет нормативных документов, определяющих качество, точность, число и порядок следования расчетов в ходе проектирования предложенная структура должна закрыть эту проблему. При этом она должна лечь в основу системы автоматизированного проектирования ОГЭ. Использование западных программ при этом представляется неразумным.

На базе предложенной структуры проектирования ОГЭ представляется полезным ввести понятие "комплексного анализа геометрических и силовых свойств РО". В это понятие мы включаем следующие основные процедуры (приводим укрупнено):

- построение рабочей зоны;
- сопоставление пропорций РО проектируемой машины с уже известными, а также с рукой человека, которая может быть в некотором смысле эталоном [3];
- изучение манипулятивности РО, в ходе которого строятся три скалярных поля. Поле сервиса № 1 - описывающее распределение численных значений коэффициента сервиса по рабочей зоне; поле сервиса № 2 - иллюстрирующее распределение коэффициента сервиса по рабочей зоне с указанием его пространственного положения; поле ограничений - указывающее распределение по рабочей зоне ограничивающих факторов на формирование допустимого угла установки ковша (ограничения накладываются схемой установки гидроцилиндров) [4 и др.]. Каждой кинематической схеме РО соответствует характерная полевая структура;
- изучение "идеального РО" (оно получается при снятии ограничений на значения шарнирных углов) путем сопоставления с ним проектируемого РО, и оценка потери манипулятивности проектируемой конструкции. При этом строится еще одно скалярное поле - иллюстрирующее потерю манипулятивности [5];
- в случае применения удлиненного РО или нестандартного ковша необходимо выполнить изучение влияния этого на геометрические свойства РО;
- оценка проектируемого РО согласно технологическим требованиям;
- расчёт нагруженности ОГЭ (определение максимального реализуемого усилия на зубьях ковша в различных точках рабочей зоны). Проводиться в общем случае для

не менее чем пяти положений поворотной платформы. При этом исследуется нагруженность при раздельном копании каждым из исполнительных механизмов и в целом. Обычно рассматривается не менее двух - трех тысяч положений ковша. В результате анализируемая кинематическая схема РО описывается не менее чем полусотней векторных полей нагруженности. Каждой кинематической схеме соответствует характерная полевая структура, в рабочей зоне ОГЭ четко видны силовые потоки. В результате, кроме всего прочего, могут быть даны рекомендации о том, каким исполнительным механизмом предпочтительно работать в той или иной части рабочей зоны [6 и др.];

- определение максимального усилия на штоках гидроцилиндров (с построением соответствующих пространственных структур в границах рабочей зоны; это касается и следующих трех процедур);

- оценка давлений в полостях гидроцилиндров;

- оценка статической и динамической устойчивости экскаватора (с возможностью уточнения веса контр-груза);

- вычисление реакций в шарнирах РО;

- инженерный (проверочный) расчёт гидроцилиндров;

- оценка проектируемого РО с позиций реализации требуемых усилий на зубьях ковша в свете требований технологии производства работ;

- вычисление скоростей и ускорений РО при различной подаче насосов и различных сочетаниях движущихся элементов РО. По результатам строятся векторные поля скоростей и ускорений;

- определение напряжений в различных сечениях РО (методами сопротивления материалов) и подготовка данных для расчётом несущих металлоконструкций методом конечных элементов.

Предлагаемый нами "комплексный анализ" был обкатан на трех различных кинематических схемах РО (для девяти ОГЭ). Кроме этого, были изучены девять нестандартных кинематических схем РО, в том числе две с четырехзвенным РО. Выполнение этой работы позволило предложить новую классификацию кинематических схем РО и, попутно, точек рабочей зоны. Расскажем об этом подробнее.

Первая рассмотренная нами кинематическая схема РО – схема РО ОГЭ прямого копания с индивидуальным независимым приводом поворота стрелы, рукояти и ковша. Вторая кинематическая схема РО - схема РО ОГЭ прямого копания с зависимым приводом ковша. Третья кинематическая схема РО - схема РО ОГЭ обратного копания с моноблочной стрелой. Выбор этих кинематических схем обусловлен их широкой распространенностью.

На основании критерия манипулятивности нами впервые в мире предложена новая классификация РО ОГЭ:

- первая кинематическая схема имеет максимальное значение сервиса 0,16-0,19 (среднее значение 0,11–0,12);

- вторая кинематическая схема имеет максимальное значение сервиса 0,19 – 0,26 (среднее значение 0,12 – 0,14);

- третья кинематическая схема имеет максимальное значение 0,4 – 0,52 (среднее значение 0,21).

Классификация точек рабочей зоны ведется на том основании, что при вычислении коэффициентов сервиса для точек рабочей зоны мы получаем интервал допустимой установки ковша для каждой из точек. Для РО ОГЭ точки рабочей зоны по данному признаку могут быть классифицированы на три типа:

- обычные точки (один интервал). Их большинство;

- граничные точки (точки границы рабочей зоны, манипулятивность равна, условно, нулю);

- особые точки (два интервала). Таких точек мало. Для рассматриваемых экскаваторов их частота появления равна, приблизительно $1/90$. Положения РО соответствующие таким точкам могут быть названы особыми.

Предложенные классификации могут быть дополнены подобными исходя из анализа нагруженности и пр.

Из наиболее важных выводов сделанных нами сейчас укажем лишь четыре: ОГЭ это манипуляционная система (в смысле монографии [7]), а его РО при решении многих задач допустимо рассматривать как плоский манипулятор; свойства РО ОГЭ достаточно полно описываются ансамблем полевых структур, минимальный набор которых формируется при исследовании геометрических и силовых свойств РО; структуры полей для каждой из кинематических схем РО четки, однозначны и индивидуальны. При этом они инвариантны относительно типоразмера экскаватора; знание полного ансамбля полевых структур для экскаваторов основного в России типоразмерного ряда позволяют ставить и решать задачу идентификации, т.е. определять параметры подобного экскаватора, лежащего между машинами указанными в типоразмерном ряду.

Кроме этого, представляется очень важным рассмотреть возможность создания РО ОГЭ на базе λ -механизма Чебышева.

Часть выполненных нами исследований вошла в монографию [8]. Ведется работа над следующей книгой. Полученные нами результаты могут быть полезны и для других манипуляционных систем.

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

Список литературы: 1. Побегайло П.А. Основные принципы разработки системы автоматизированного проектирования рабочего оборудования мощных одноковшовых гидравлических экскаваторов // Проблемы механики современных машин: материалы V международной конференции. В 3 томах. Т. 1. Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2012. с. 235 – 239. 2. Побегайло П.А., Павлов В.П. Автоматизированное проектирование манипуляционного рабочего оборудования одноковшового гидравлического экскаватора // Сб. трудов Международной научно-практической конференции «Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении». М.: ИМАШ РАН, 2012. с. 120 - 122. 3. Побегайло П.А. О пропорциях рабочего оборудования одноковшовых гидравлических экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2015, № 2, с. 143 - 147. 4. Побегайло П.А. Рабочее оборудование одноковшовых гидравлических экскаваторов: исследование геометрических свойств // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2015, № 5 (в печати). 5. Побегайло П.А., Митрев Р. Идеальное и реальное рабочее оборудование одноковшовых гидравлических экскаваторов: сравнение геометрических свойств // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2015, № 4 (в печати). 6. Побегайло П.А., Крикун А.В., Побегайло А.П. Расчёт нагруженности мощного одноковшового гидравлического экскаватора ЭГ-12А // «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности»: XI Международная научно-техническая конференция. Чтения памяти В.Р. Кубачека. / УГГУ. Екатеринбург. 2013. с. 113 – 117. 7. Кобринский А.А., Кобринский А.Е. Манипуляционные системы роботов: основы устройства, элементы теории. М.: Наука, 1985. 344 с. 8. Побегайло П.А. Мощные одноковшовые гидравлические экскаваторы: выбор основных геометрических параметров рабочего оборудования на ранних стадиях проектирования. М.: ЛЕНАНД, 2014. 296 с.