

УДК 622.232

В.С. Шестаков, канд. техн. наук, проф.,
Н.В. Капанин, аспирант

Уральский государственный горный университет

ПРИМЕНЕНИЕ ЭВМ ПРИ ЭСКИЗНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Рассмотрен вопрос разработки программного обеспечения при расчете параметров карьерных экскаваторов. На примере гидравлического экскаватора представлены результаты кинематического и силового анализа.

карьерный экскаватор, рабочее оборудование, кинематический и силовой анализ

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В настоящее время имеются программные продукты, позволяющие проводить полностью конструирование экскаваторов на ЭВМ. Расчетные программы выполняют расчеты напряжений в металлоконструкциях, кинематический анализ, тепловые расчеты и многое другое. Конструкторские пакеты (*SolidWorks Catia, TFlex* и др.) позволяют создать полное объемное представление проектируемого объекта, состоящего из деталей и сборочных единиц. Все эти пакеты используются на стадии технического и рабочего проектирования. Стадия же эскизного проектирования, на которой определяются основные геометрические размеры, силовые параметры для карьерных экскаваторов еще нуждается в обеспечении специальными программными продуктами, а, как известно, эскизное проектирование является определяющим для создаваемого объекта.

Анализ исследований и публикаций. Разработке математического и программного обеспечения для проведения исследований при эскизном проектировании посвящено большое число исследований, проведенных Д.П. Волковым, В.Я. Крикуном, В.Г. Манасяном, Л.С. Скобелевым, П.А. Побегайо и др. [1, 2, 3]. В них, наряду с другими, приводятся методики расчета параметров рабочей зоны.

Постановка задачи. Данная статья является продолжением исследования по созданию математического и программного обеспечения для использования их при эскизном проектировании для расчета технологических и конструктивных параметров экскаваторов.

Программное обеспечение для эскизного проектирования экскаваторов должно обеспечивать определение:

основных параметров: вместимости ковша, размеров рабочего

оборудования, мощности приводов с учетом характеристики забоя, и транспортной системы;

выходных технологических параметров: рабочую зону, усилия копания, взаимодействие с транспортными средствами;

оптимальных значений параметров рабочего оборудования и основных механизмов по критерию достижения минимальной себестоимости экскавации.

Проблема, которая должна решаться в программном обеспечении для проведения оптимизации на стадии эскизного проектирования, является то, что при эскизном проектировании неизвестны значения масс и размеров элементов экскаватора, поэтому сложно определить будут ли реализованы требуемые усилия копания, какая будет длительность цикла. Выходом из такой ситуации может быть использование для расчетов требуемых параметров регрессионных зависимостей, коэффициенты которых определяются обработкой данных по выпускаемым моделям экскаваторов.

Изложение материалов и результаты. На кафедре горных машин и комплексов Уральского государственного горного университета с момента ее образования проводятся работы в области совершенствования экскаваторов. Разрабатываются как новые конструктивные решения, так и модели для расчета параметров и проведения исследований. Одним из направлений в этой области является разработка моделей для расчета параметров гидравлических и канатных одноковшовых экскаваторов, с помощью которых проводятся требуемые исследования и расчеты положения элементов рабочего оборудования в процессе рабочего цикла, нагрузок в элементах, загрузки приводов, длительность рабочих движений. Модели строятся по блочному принципу. Каждый блок включает набор математических выражений и алгоритм для их решения. Блоки имитируют: работу главных приводов, движение элементов рабочего оборудования, взаимодействие ковша с забоем.

К настоящему времени созданы модели для прямой лопаты канатного карьерного, прямой и обратной лопаты гидравлических экскаваторов. Поясним идеи, реализованные в блоках расчета усилий в элементах рабочего оборудования при копании и транспортировании ковша на примере гидравлического экскаватора с рабочим оборудованием обратная лопата.

Механизм рабочего оборудования гидравлического экскаватора представляет собой совокупность трех механизмов I класса, последо-

вательно соединенных и образующих незамкнутую кинематическую цепь (рис. 1). Соответственно число степеней свободы механизма $s=3$. Данный механизм относится к манипулятору, подвижные звенья которого (стрела, рукоять и ковш) снабжены приводами в виде гидроцилиндров. Механизм рабочего оборудования обеспечивает перемещение ковша в любые точки в пределах рабочей зоны при соответствующей ориентации.

Кинематический анализ манипуляторов при $s=3$ в общем виде сводится к решению задач аналитической геометрии.

Кинематический и силовой анализ выполняется в процессе проектирования новых моделей гидравлических экскаваторов, при решении следующих задач:

определение рабочей зоны экскаватора при заданных геометрических параметрах рабочего оборудования и длинах цилиндров;

определение усилий на штоках цилиндров при заданных геометрических параметрах рабочего оборудования, положениях ковша и усилия копания;

определение возможных усилий копания при заданных значениях давлений в гидроцилиндрах в пределах рабочей зоны;

определение усилий, действующих на штоки цилиндров, при транспортировании ковша;

определение реакций в шарнирах рабочего оборудования.

Исходными данными для решения указанных задач являются геометрические параметры рабочего оборудования, размеры гидроцилиндров, производительности насосов и давления в гидроцилиндрах. Без применения ЭВМ эти задачи решались, в основном, графоаналитическим методом, что отнимало значительное время у конструкторов и не обеспечивало высокую точность. В процессе эскизного проектирования, при проработке вариантов исполнения рабочего оборудования, указанные параметры меняются в достаточно широких пределах, при каждом изменении необходимо повторять практически все расчеты и построения. Так как каждый вариант отнимает значительное время, то проработка большого числа вариантов при поиске оптимального исполнения рабочего оборудования была практически невозможна [4].

Модели составляются для конкретной схемы рабочего оборудования, один из вариантов схемы показан на рис. 1.

Модель, используемая для расчета кинематических параметров, представляет собой систему выражений, обеспечивающих определе-

ние координат всех точек рабочего оборудования при перемещении штоков гидроцилиндров стрелы, рукояти и ковша.

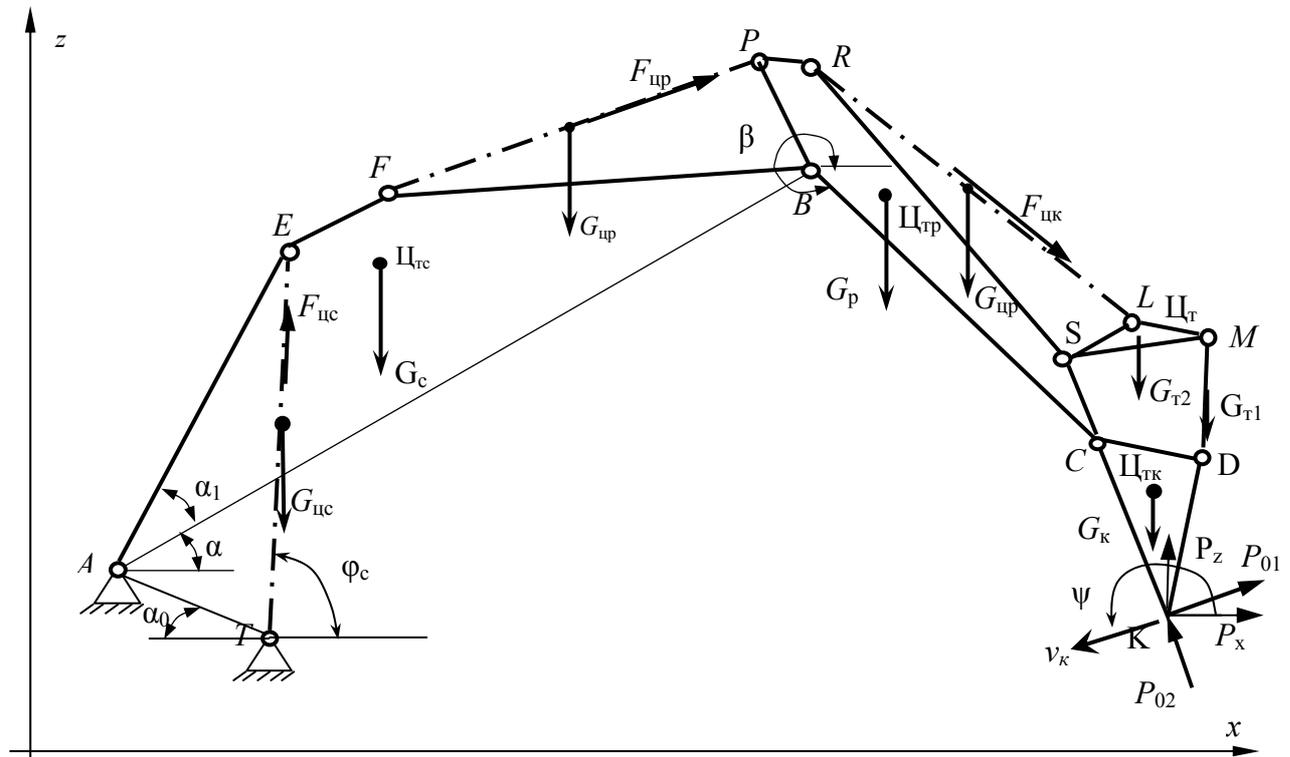


Рисунок 1. Схема к определению параметров:

$G_c, G_p, G_k, G_{цс}, G_{цр}, G_{цк}, G_{т1}, G_{т2}$ – силы тяжести стрелы, рукояти, ковша, цилиндров стрелы, рукояти, ковша, рамы ковша и тяги ковша;

$\text{Ц}_{тс}, \text{Ц}_{тр}, \text{Ц}_{тк}, \text{Ц}_{т}$ – центры тяжести стрелы, рукояти, ковша, рамы ковша;

$F_{цс}, F_{цр}, F_{цк}$ – расчетные усилия на штоках цилиндров стрелы, рукояти и ковша;

P_{01}, P_{02} – нормальная и касательная составляющие усилия копания;

P_x, P_z – проекции усилия копания на оси координат;

$\alpha, \alpha_1, \varphi_c, \beta, \psi$ – углы для расчета координат точек элементов рабочего оборудования;

v_k – скорость перемещения зубьев ковша;

$A, T, E, F, P, R, B, S, L, M, C, D$ – шарниры; K – вершина зуба ковша

Так для расчета координат шарнира В при изменении положения штока гидроцилиндра стрелы используются выражения:

$$\alpha = \arccos \frac{AE^2 + AT^2 - L_{цс}^2}{2AE \cdot AT} - \alpha_0 - \alpha_1;$$

$$x_B = x_A + AB \cos \alpha;$$

$$y_B = y_A + AB \sin \alpha,$$

где AE, AT, AB – длины элементов рабочего оборудования, $L_{цс}$ – расстояние между шарнирами гидроцилиндра стрелы; α_0, α_1 – углы между элементами расчетной схемы.

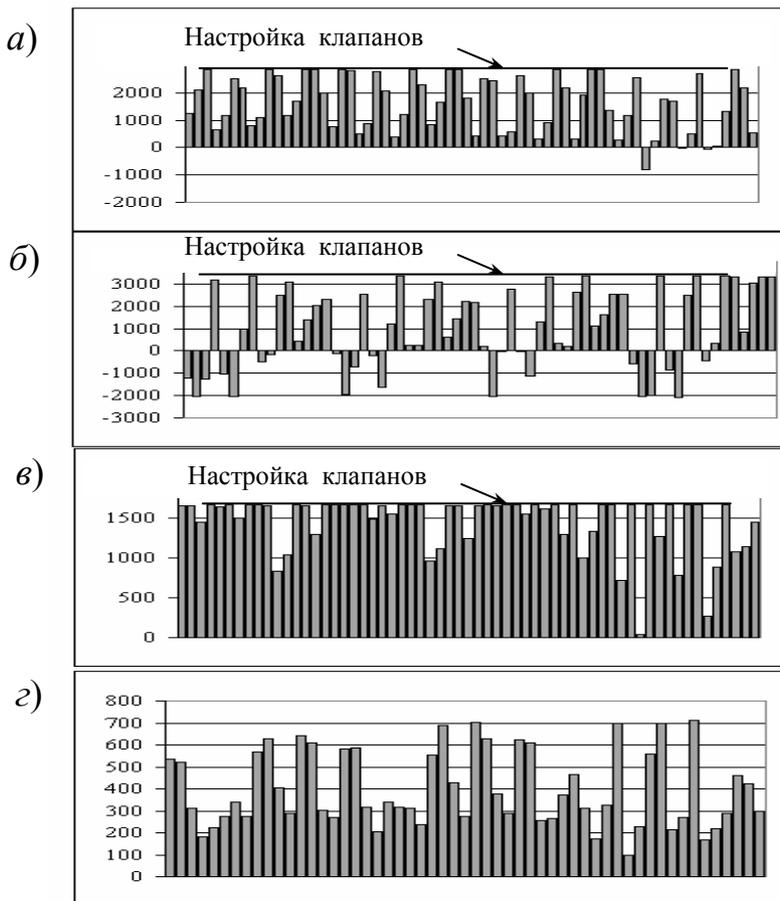


Рисунок 2. Изменение при копании усилий в цилиндрах рукояти (а), стрелы (б), ковша (в) и на зубьях ковша (г)

Модель для силового анализа включает в себя выражения, полученные из уравнений равновесий элементов рабочего оборудования. Модель применима для силового анализа при копании и при транспортировании ковша. Максимальное усилие копания, реализуемое на зубьях ковша, определяется при срабатывании предохранительных клапанов в одном из гидроцилиндров.

Разработанные модели реализованы в программе на *Visual Basic* для электронных таблиц *Microsoft Excel*

обеспечивает удобство работы пользователей по вводу и выводу данных, имеет функции анализа результатов и поэтому очень часто используется для выполнения инженерных расчетов. Результаты выводятся в таблицы, графиками (рис. 2) и имеется возможность вывода рисунков (рис. 3) Для задания варианта расчета (копание поворотом ковша или рукояти, транспортирование ковша, вывод графиков и т.п.) применена форма с элементами управления.

Для построения траекторий движения вершины зуба ковша (построения рабочей зоны) по приведенной методике выполнены расчеты при перемещении штоков цилиндров стрелы, рукояти и ковша от минимальных до максимальных значений с равным шагом.

Выводы и направления дальнейших исследований. Разработанная модель обеспечивает расчет рабочей зоны при заданных конструктивных параметрах, усилий копания в точках этой зоны и нагрузку на элементы рабочего оборудования. Она может быть применима для поиска оптимальных параметров по критерию массы с ог-

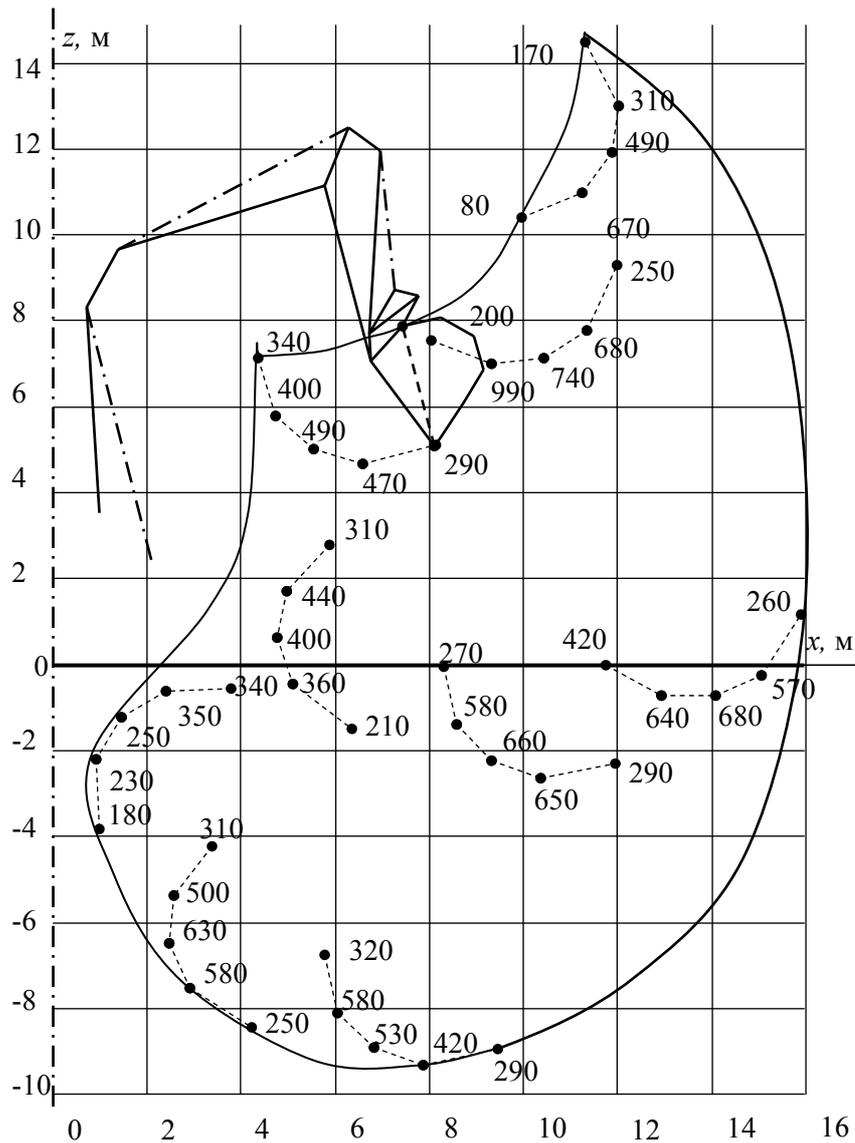


Рисунок 3. Возможные значения касательных составляющих усилий сопротивления копанию P_{01} , кН

раничением по реализации заданных функциональных режимов. В дальнейшем планируется завершить проводимые в настоящее время исследования по разработке полной модели рабочего процесса копания и транспортирования, что позволит определять точное значение продолжительности цикла с учетом характеристики горной породы и забоя, определять требуемые мощности приводов и решать другие задачи.

Список источников:

1. Расчет основных параметров гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием обратная лопата: учебное пособие / В.Я. Крикун, В.Г. Манасян. М.: АСВ, 2001. 104 с.
2. Побегайло П.А. Основы методики проектирования рабочего оборудования мощных гидравлических экскаваторов прямого копания // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. докладов IV Международной научно-технической конференции. Чтения памяти В.Р. Кубачека. Екатеринбург: УГГУ. 2006. с. 42 – 45.

3. Абрамов С.В., Перлов А.С., Смоляницкий Э.А., Тарасов В.Н. Аналитический метод расчета кинематических и силовых параметров механизмов рабочего оборудования гидравлических экскаваторов // Ст. в сб. «Строительные и дорожные машины». № 1. / ЦНИИТЭстроймаш. М., 1971. с. 3 – 8.
4. Шестаков В.С. Расчет на ЭВМ параметров горного оборудования: учебное пособие / В.С. Шестаков; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. – 258 с.

В.С.Шестаков, Н.В.Капанин. Застосування ЕОМ при ескізному проектуванні кар'єрних экскаваторів. Розглянуте питання розробки програмного забезпечення при розрахунку параметрів кар'єрних экскаваторів. На прикладі гідравлічного экскаватора представлені результати кінематичного й силового аналізу.

кар'єрний экскаватор, робоче устаткування, кінематичний і силовий аналіз

V.S. Shestakov, N.V. Kapinin. Computer application in schematic design of the mine shovel. The problem of software development in the calculation of mining excavators parameters. The results of kinematic and force analysis are shown on a hydraulic shovel example.

keywords: mine shovel, operating equipment, kinematic and force analysis

Стаття надійшла до редколегії 27.07.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.Г.Кожушко

© В.С.Шестаков, Н.В.Капанин, 2010