

УДК 621.879

А.К. Муравский

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОВША АКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Приведен статический расчет экскаваторного ковша активного типа с режущими зубьями, использующими в качестве привода гидроцилиндры.

Ключевые слова: экскаватор, ковш, активный зуб, грунт.

Одной из самых распространенных машин для разработки грунта является одноковшовый экскаватор. Среди путей повышения его эффективности и расширения технологических возможностей является использование в качестве навесного оборудования ковша активного действия.

Ковш активного действия, установленный на экскаватор, позволяет производить разработку грунтов и пород повышенной прочности без использования дополнительного технологического цикла по подготовке грунта к экскавации. Это приводит к возрастанию производительности работ и снижению их стоимости.

В Пермском государственном техническом университете ведутся исследования в области создания экскаваторных ковшей, а также других рабочих органов с активными режущими зубьями, использующими в качестве привода гидроцилиндры и управляемыми специальным устройством на основании сигналов, полученных с помощью датчиков давления и перемещения [1,2]. Гидроцилиндры способны создать на режущих кромках зубьев высокие удельные давления, что ведет к существенным локальным напряжениям в массиве грунта с дальнейшим его разрушением. Появляется возможность разработки грунта более высокой категории [3].

В предлагаемом ковше активного действия (рис. 1) зубья закреплены на штоках гидроцилиндров. Данная конструкция позволяет активным зубьям совершать возвратно-поступательные движения. Каждый гидроцилиндр управляется отдельным гидрораспределителем, что позволяет совершать независимые друг от друга движения активных зубьев. Амплитуда возвратно-поступательных движений активного зуба зависит от конструкции гидроцилиндра. Скорость перемещения активных зубьев зависит, в первую очередь, от производительности насосной установки по расходу, а усилия на активных зубьях — от давления рабочей жидкости в гидросистеме. Поворот всего ковша осуществляется гидроцилиндром привода ковша с усилием $P_{гц}$.

Описываемая конструкция позволяет, при наличии соответствующего аппарата управления, обеспечить широкий диапазон движений и силовых характеристик активных зубьев. В частности, это могут быть движения зубьев с определенной амплитудой и частотой, что характерно для ковшей активного типа вибрационного действия.

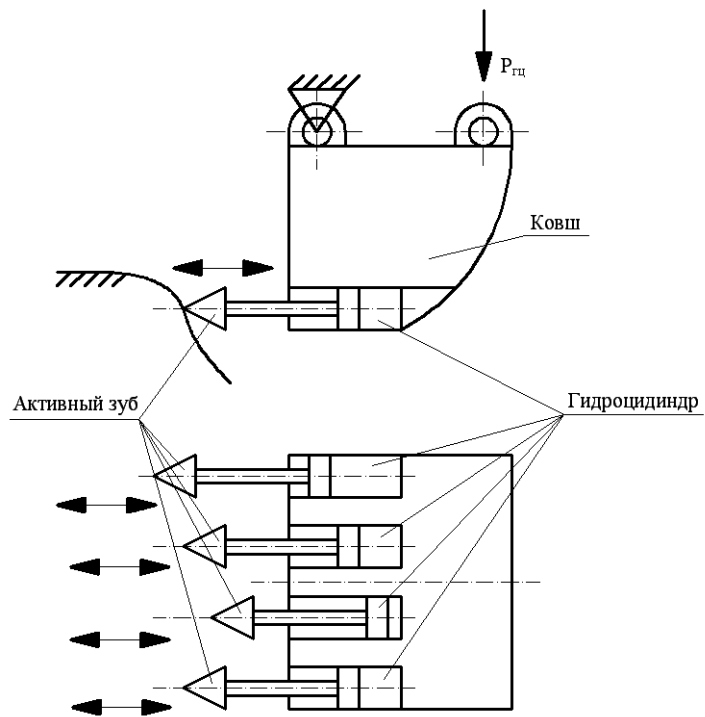


Рис. 1. Схема ковша активного действия

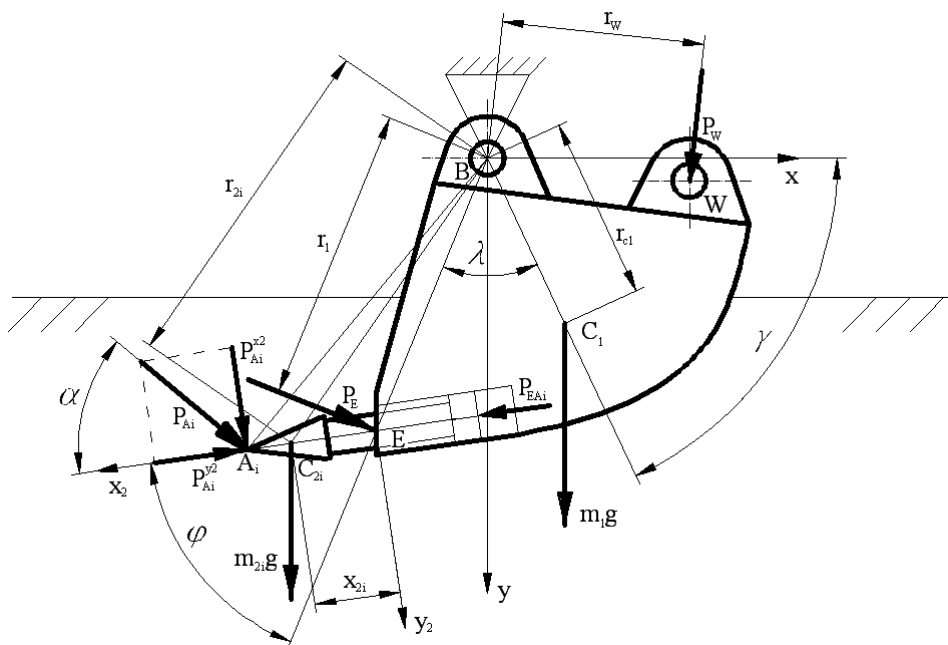


Рис. 2. Схема распределения сил при копании ковшем активного действия

Комплексная система управления всех звеньев навесного оборудования (стрела, рукоять, ковш, активные зубья) позволяет еще более расширить возможности ковша активного действия.

Перспектива значительного хода активных зубьев и больших возможностей управления позволяет разработать ковш активного действия с широким спектром воздействия на грунт. Появляется возможность разработки прочных грунтов с высокой производительностью и низкой энергоемкостью.

Математическая модель ковша активного действия позволяет решить широкий перечень задач, возникающих при проектировании конструкции ковша (4). Математическая модель ковша активного действия основана на дифференциальных уравнениях. Для дальнейшей работы и получения уравнений движения механической системы в обобщенных координатах, требуется их интегрирование и определение по начальным условиям постоянных интегрирования.

Частный случай, при котором отсутствует движение ковша и активных зубьев, приводит к значительному упрощению уравнений движения механической системы в обобщенных координатах. В этом случае левые части уравнений Лагранжа, содержащие кинетические энергии, обращаются в нуль. В правых частях уравнений Лагранжа остаются обобщенные силы, что в результате ведет к уравнениям статики.

Статический расчет позволяет определить взаимодействия сил, действующих на конструкцию при встрече с непреодолимым препятствием.

Как отмечалось ранее, работа ковша активного действия характеризуется выдвиганием и втягиванием активных зубьев. Мы предполагаем, что при работе ковша активного действия каждый из зубьев работает поочередно. Это значит, что каждый следующий зуб начинает внедряться в грунт, когда предыдущий зуб совершил свою работу.

При статическом расчете можно выделить три случая:

Происходит упор активного зуба в непреодолимое препятствие в результате движения ковша, активный зуб неподвижен.

Происходит упор активного зуба в непреодолимое препятствие в результате его выдвигания, корпус ковша неподвижен.

Происходит упор активного зуба в непреодолимое препятствие в результате совместного движения ковша и активного зуба.

Для случая I можно записать (рис. 2)

$$\left(\begin{array}{l} m_1 \cdot g \cdot r_{c1} \cdot \cos \gamma + m_{2i} \cdot g \cdot (r_1 \cdot \cos(\gamma + \lambda) + x_{2i} \cdot \cos(\gamma + \lambda + \varphi)) + P_W \cdot r_W - \\ -P_E \cdot r_1 - P_{Ai} \cdot \sqrt{(-r_1 \cdot \sin(\gamma + \lambda) - (x_{2i} + C_{2i}A_i) \cdot \sin(\gamma + \lambda + \varphi))^2 +} \\ + (-r_1 \cdot \cos(\gamma + \lambda) - (x_{2i} + C_{2i}A_i) \cdot \cos(\gamma + \lambda + \varphi))^2} \end{array} \right) = 0, \quad (1)$$

где m_1 — масса ковша с грунтом; m_{2i} — масса одиночного i -ого активного зуба; g — ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; P_W — сила, создаваемая штоком гидроцилиндра привода ковша; P_E — сила сопротивления грунта, которая воздействует на режущую кромку ковша; P_{Ai} — сила сопротивления грунта, которая действует на режущую кромку единичного зуба в точке A_i .

Следовательно

$$P_{Ai} = \left(\frac{\left(m_1 \cdot g \cdot r_{C_1} \cdot \cos \gamma + m_{2i} \cdot g \cdot (r_1 \cdot \cos(\gamma + \lambda) + x_{2i} \cdot \cos(\gamma + \lambda + \varphi)) + \right. \right.}{\left. \left. + P_W \cdot r_W - P_E \cdot r_1 \right)} \right) \cdot \left(\frac{\sqrt{\left(-r_1 \cdot \sin(\gamma + \lambda) - (x_{2i} + C_{2i}A) \cdot \sin(\gamma + \lambda + \varphi) \right)^2 + \right.}{\sqrt{\left(-r_1 \cdot \cos(\gamma + \lambda) - (x_{2i} + C_{2i}A) \cdot \cos(\gamma + \lambda + \varphi) \right)^2}} \right). \quad (2)$$

Для некоторых расчетов, например, по определению изгибающих усилий, действующих на шток гидроцилиндра, необходимо знать осевые и радиальные силы. Определим проекции силы P_{Ai} на оси x_2, y_2 , т.е. соответственно осевую силу $P_{Ai}^{x_2}$ и радиальную силу $P_{Ai}^{y_2}$. Для этого необходимо найти угол α .

Поскольку угол между направлением действия силы P_{Ai} и отрезком A_iB составляет 90° , то можно заметить, что

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \varphi + \angle A_iBE. \quad (3)$$

В свою очередь, по теореме синусов

$$\frac{\sin(\angle A_iBE)}{\sin(\angle A_iEB)} = \frac{A_iE}{A_iB}. \quad (4)$$

или

$$\angle A_iBE = \arcsin \left(\frac{A_iE}{A_iB} \cdot \sin(\angle A_iEB) \right). \quad (5)$$

По теореме косинусов

$$A_iB = \sqrt{A_iE^2 + EB^2 - \cos(\angle A_iEB)}. \quad (6)$$

Видно, что

$$\angle A_iEB = \pi - \varphi. \quad (7)$$

Подставляя (7), (6), (5) в (3) мы можем определить угол α

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \varphi + \arcsin \left(\frac{A_iE}{\sqrt{A_iE^2 + EB^2 - \cos(\angle A_iEB)}} \times \sin(\pi - \varphi) \right). \quad (8)$$

Соответственно, для случая I

$$P_{Ai}^{x_2} = \left(\frac{\left(m_1 \cdot g \cdot r_{C_1} \cdot \cos \gamma + m_{2i} \cdot g \cdot (r_1 \cdot \cos(\gamma + \lambda) + x_{2i} \cdot \cos(\gamma + \lambda + \varphi)) + \right. \right.}{\left. \left. + P_W \cdot r_W - P_E \cdot r_1 \right)} \cdot \cos \alpha \right) \cdot \left(\frac{\sqrt{\left(-r_1 \cdot \sin(\gamma + \lambda) - (x_{2i} + C_{2i}A) \cdot \sin(\gamma + \lambda + \varphi) \right)^2 + \right.}{\sqrt{\left(-r_1 \cdot \cos(\gamma + \lambda) - (x_{2i} + C_{2i}A) \cdot \cos(\gamma + \lambda + \varphi) \right)^2}} \right), \quad (9)$$

$$P_{Ai}^{ly2} = \left(\frac{\left(m_1 \cdot g \cdot r_{C_1} \cdot \cos \gamma + m_{2i} \cdot g \cdot (r_1 \cdot \cos(\gamma + \lambda) + x_{2i} \cdot \cos(\gamma + \lambda + \varphi)) + \right) \cdot \sin \alpha}{\sqrt{\left(-r_1 \cdot \sin(\gamma + \lambda) - (x_{2i} + C_{2i}A) \cdot \sin(\gamma + \lambda + \varphi) \right)^2 + \left(-r_1 \cdot \cos(\gamma + \lambda) - (x_{2i} + C_{2i}A) \cdot \cos(\gamma + \lambda + \varphi) \right)^2}} + P_W \cdot r_W - P_E \cdot r_1 \right) \cdot \sin \alpha \quad (10)$$

Для случая II можно записать уравнение

$$m_{2i} \cdot g \cdot \sin(\gamma + \lambda + \varphi) - P_{Ai} + P_{EAi} = 0, \quad (11)$$

где P_{EAi} — сила, создаваемая штоком гидроцилиндра привода i — ого активного зуба.

Проекции силы P_{Ai} на оси x_2, y_2 , для случая II запишем

$$P_{Ai}^{lx2} = m_{2i} \cdot g \cdot \sin(\gamma + \lambda + \varphi) - P_{EAi}, \quad (12)$$

$$P_{Ai}^{ly2} = 0. \quad (13)$$

Случай III является общим для двух предыдущих случаев. Легко можно заметить, что в этом случае результат определяется суммой проекций (9), (12) и (10), (13)

$$P_{Ai}^{llx2} = \left[\frac{\left(\frac{\left(m_1 \cdot g \cdot r_{C_1} \cdot \cos \gamma + m_{2i} \cdot g \cdot (r_1 \cdot \cos(\gamma + \lambda) + x_{2i} \cdot \cos(\gamma + \lambda + \varphi)) + \right) \cdot \cos \alpha}{\sqrt{\left(-r_1 \cdot \sin(\gamma + \lambda) - (x_{2i} + C_{2i}A) \cdot \sin(\gamma + \lambda + \varphi) \right)^2 + \left(-r_1 \cdot \cos(\gamma + \lambda) - (x_{2i} + C_{2i}A) \cdot \cos(\gamma + \lambda + \varphi) \right)^2}} + P_W \cdot r_W - P_E \cdot r_1 \right) \cdot \cos \alpha}{+ m_{2i} \cdot g \cdot \sin(\gamma + \lambda + \varphi) - P_{EAi}} \right] + \quad (14)$$

$$P_{Ai}^{lly2} = \left(\frac{\left(m_1 \cdot g \cdot r_{C_1} \cdot \cos \gamma + m_{2i} \cdot g \cdot (r_1 \cdot \cos(\gamma + \lambda) + x_{2i} \cdot \cos(\gamma + \lambda + \varphi)) + \right) \cdot \sin \alpha}{\sqrt{\left(-r_1 \cdot \sin(\gamma + \lambda) - (x_{2i} + C_{2i}A) \cdot \sin(\gamma + \lambda + \varphi) \right)^2 + \left(-r_1 \cdot \cos(\gamma + \lambda) - (x_{2i} + C_{2i}A) \cdot \cos(\gamma + \lambda + \varphi) \right)^2}} + P_W \cdot r_W - P_E \cdot r_1 \right) \cdot \sin \alpha \quad (15)$$

В результате проведения статического расчета появляется возможность определить взаимосвязь между свойствами среды (породы, грунта) и требуемыми характеристиками ковша активного действия. Тем самым возможен расчет конструктивных элементов ковша в зависимости от свойств среды, для работы в которой планируется его использование. В частности, расчет осевой и радиальной составляющей силы сопротивления грунта, которая действует на режущую кромку зуба, позволяет использовать данные для разработки конструкции гидроцилиндра привода активного зуба.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент №60948 РФ, МПК E 02 F 3/40. Ковш экскаватора / А.К. Муравский, Л.Б. Белоногов, Г.Д. Трифанов (РФ). — №2006135470/22; Заявлено 06.10.06; Опубликовано 10.02.07. Бюл. №4.
2. Патент 69096 РФ, МПК E 02 F 3/40. Ковш экскаватора / А.К. Муравский, Л.Б. Белоногов, Г.Д. Трифанов (РФ). — №2007129471/22; Заявлено 31.07.07; Опубликовано 10.12.07. Бюл. №34.
3. Трифанов Г.Д., Муравский А.К. Разработка экскаваторной техники с активными режущими зубьями // Горное оборудование и электромеханика. 2006. №10. — С.17.
4. Муравский А.К. Разработка математической модели рабочего процесса экскаватора, оборудованного ковшом активного действия // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов VI международной научно-технической конференции. Чтения памяти В.Р. Кубачека. — Екатеринбург; Уральский государственный горный университет, 2008. — 377 с. — С. 44—49 **ПАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Муравский А.К. — младший научный сотрудник, Пермский государственный технический университет, e-mail: mak2000mak@yandex.ru



РУКОПИСИ, ДЕПониРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

УТОЧНЕНИЕ ПРОГРАММЫ «МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ, ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ И УСТРОЙСТВА СОПРЯЖЕНИЯ»

(863/02-12 от 19.12.11, 3 с.)

Волошиновский Кирилл Иванович, кандидат технических наук, ассистент,
e-mail: volkir@nm.ru, Московский государственный горный университет.

Предлагаемая программа по курсу физических основ электроники, микропроцессорных систем посвящена созданию микропроцессорных систем и электронных схем, а также разработке используемых в них устройств сопряжения, на базе книги «Токи», однако охватывает прикладные аспекты и физические основы важные для разработки устройств сопряжения более широко. Частично предлагаемая программа используется в процессе преподавания в Московском государственном горном университете, где её автор работает ассистентом кафедры. Программа освещает композиционный подход к разработке электронных схем и устройств сопряжения, с учетом предлагаемых в программе методов разработки и усовершенствований на базе фильтрообразующих звеньев, использования полосовых процессов, прямых и обратных токов, с учетом группы освещаемых принципов, позволяющих сократить объем пайки и отказаться от поиска эквивалентных схем.

ACCURATE DEFINITION FOR ELECTRONIC TEACHING & STUDING «MICROCHIP SYSTEMS, PHYSICAL ELECTRICAL BASIS & SCHEMES FOR CONJUGATED DEVICES»

Voloshinovskiy K.I.

Presented programm for physical electronic basis course ordered to developing microchip systems, electrical schemes, and so to develop schemes for joining matching devices, based on book "Currents", where important for electronic devices developing applied aspects and physical electronic basis quite more narrow illustrated. The offered programm (definition) is partially used in training process in Moscow State Mining University at AT sub-faculty. The offered program allows to minimize welding and make sure in refuse to lumped schemes searching.