

УДК 621.879.064.2-585.12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ И УСКОРЕНИЙ ТОЧЕК ЗВЕНЬЕВ МЕХАНИЗМА ГИДРОУПРАВЛЯЕМОЙ ЧЕЛЮСТИ КОВША ЭКСКАВАТОРА

Р.А. Кабашев, Б.М. Кульгильдинов

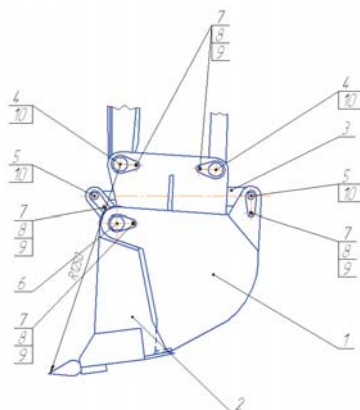
КазАДИ, г. Алматы

Кинематиялық талдауды ұсынған әдістеме ірі қойтас болатын тасқын шығаруларды өңдеу үшін геометриялық және бір шөмішті экскаваторды жұмыс жабдығының жағының ұсынуын тетіктің кинематиялық параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді.

The offered technique of the kinematic analysis allows to define geometrical and kinematic parameters of the mechanism of extension of a hydrojaw of working equipment of an excavator to develop a mudflow.

В результате селевых потоков у искусственных защитных сооружений, воздвигаемых на путях прохождения селевых потоков происходит накопления селевой грунтовой среды (СГС), которую необходимо убирать в основном землеройными машинами (ЗМ). Наиболее труднорабатываемыми в створах плотин, селеуловителей являются крупнообломочные грунты, которые требуют создания специальных рабочих органов (РО) с целью повышения эффективности традиционных ЗМ, широко применяемых в чрезвычайных ситуациях.

На основе анализа патентной информации по созданию новых РО ЗМ адаптированных к разработке СГС и завалов, было предложено новое техническое решение специального оборудования (рисунок 1).



1– Ковш; 2– челюсть; 3– Гидроцилиндр; 4– Палец; 5– Палец;
6–Палец; 7– Болт; 8–Гайка; 9– Шайба; 10- Масленка.

Рисунок 1 – Конструкция специального ковша с раскрывающейся частью для разработки селевых выносов содержащих крупные валуны.

Навесное рабочее оборудование гидравлического экскаватора для разработки селевых выносов, содержащих крупные валуны размером до 1 м, представляет многофункциональный ковш с раскрывающейся гидроуправляемой челюстью

Специальный ковш состоит из основной части 1, к которой шарнирно на подшипниках скольжения прикреплена раскрывающаяся часть ковша 2. К основному ковшу с помощью кронштейнов крепится гидроцилиндр 3, шток которого соединен с помощью рычагов с раскрывающейся частью ковша 2.

При встрече с крупными валунами, машинист экскаватора раскрывает поворотную часть ковша 2, загружает крупный валун до 1 м в диаметре, обратным ходом штока гидроцилиндра приподнимает крупный камень раскрывающейся частью 2 к основному ковшу 1. Далее машинист подъемом ковша выгружает крупный камень в отвал или в транспортное средство. Применение ковша данной конструкции по сравнению с ковшами существующей конструкции обеспечит удовлетворительную разработку селевой грунтовой среды, включающей каменистый материал больших размеров.

Общая постановка задачи о положениях звеньев плоского рычажного механизма ставится следующим образом: необходимо найти функции положений выходных (ведомых) звеньев от обобщенных координат входных (ведущих) звеньев при заданных параметрах и положений внешних шарниров на основе метода векторных замкнутых контуров. Если

в механизме имеется несколько структурных групп, то кинематический анализ выполняется в последовательности присоединения этих групп. В этом случае, кроме систем координат, связанных с отдельными звеньями механизма, для каждой структурной группы должна быть определена система координат, относительно которой звенья группы образует ферму, т.е. имеет число степеней свободы, равное нулю [1].

Для решения задачи о положениях выходных (ведомых) звеньев должны быть заданы кинематическая схема механизма и положение входного (ведущего) звена с одной степенью свободы, или положения входных (ведущих) звеньев для механизма с несколькими степенями свободы.

Выполним анализ гидроуправляемой челюсти ковша нового рабочего оборудования одноковшового экскаватора, кинематическая схема которого представлена на рисунке 2.

С ковшом жестко свяжем систему координат OXY . Пусть относительно системы координат OXY , заданы координаты жестко связанных с ковшом шарниров: $O(x_O, y_O)$; $N(x_N, y_N)$; $A(x_A, y_A)$; и точки ковша $F(x_F, y_F)$ (рисунок 2).

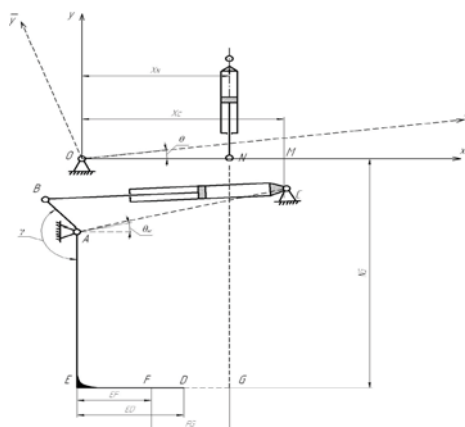


Рисунок 2 – Кинематическая схема ковша с раскрывающейся частью для разработки селевых выносов содержащих крупные валуны

Пусть также известны линейные размеры механизма выдвигающего челюсть: АВ, ВС (длина ВС зависит от хода штока гидроцилиндра, ход штока гидроцилиндра меняется в пределах: $BC_{max} BC_{min}$), АЕ и ЕF. Определим относительно системы координат OXY положения всех звеньев, а также координаты нас интересующих точек звеньев.

Для определения скоростей и ускорений точек механизма, необходимо определить аналоги угловых скоростей и ускорений звеньев, а также

аналоги линейных скоростей и ускорений точек звеньев механизма. Аналоги угловых скоростей и ускорений звеньев механизма находятся соответственно однократным и двукратным дифференцированием уравнений замкнутости независимых замкнутых контуров по обобщенной координате. При этом, независимо от класса механизма, получаем систему линейных уравнений относительно аналогов угловых скоростей или ускорений в зависимости от количества дифференцирования по обобщенной координате, уравнение замкнутости независимых контуров.

Запишем уравнение замкнутости контура для рассматриваемого механизма в векторной форме:

$$\overline{AC} + \overline{CB} - \overline{AB} = 0. \quad (1)$$

Проектируя эти вектора на оси OX и OY системы координат получим следующую систему уравнений в скалярной форме:

$$\begin{cases} AC \cos(\theta_{AC}) + CB \cos(\theta_{CB}) - AB \cos(\theta_{AB}) = 0; \\ AC \sin(\theta_{AC}) + CB \sin(\theta_{CB}) - AB \sin(\theta_{AB}) = 0; \end{cases} \quad (2)$$

где $\theta_{CB} = \arctan\left(\frac{y_B - y_C}{x_B - x_C}\right)$;

Для определения аналогов угловых скоростей углов θ_{AC} , θ_{CB} и θ_{AB} дифференцируем уравнения (2) по обобщенной координате CB и получим:

$$\begin{cases} -AC \sin(\theta_{AC}) \frac{d\theta_{AC}}{dCB} + \cos(\theta_{CB}) - CB \sin(\theta_{CB}) \frac{d\theta_{CB}}{dCB} + AB \sin(\theta_{AB}) \frac{d\theta_{AB}}{dCB} = 0; \\ AC \cos(\theta_{AC}) \frac{d\theta_{AC}}{dCB} + \sin(\theta_{CB}) + CB \cos(\theta_{CB}) \frac{d\theta_{CB}}{dCB} - AB \sin(\theta_{AB}) \frac{d\theta_{AB}}{dCB} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Запишем эти уравнения в матричной форме

$$\begin{bmatrix} -CB \sin(\theta_{CB}) & AB \sin(\theta_{AB}) \\ CB \cos(\theta_{CB}) & -AB \cos(\theta_{AB}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{d\theta_{CB}}{dCB} \\ \frac{d\theta_{AB}}{dCB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos(\theta_{CB}) \\ -\sin(\theta_{CB}) \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Для определения аналогов угловых скоростей углов θ_{AC} , θ_{CB} и θ_{AB} дифференцируем уравнения (3) по обобщенной координате CB получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} -\sin(\theta_{CB}) \frac{d\theta_{CB}}{dCB} - \sin(\theta_{CB}) \frac{d\theta_{CB}}{dCB} - CB \cdot \cos(\theta_{CB}) \left[\frac{d\theta_{CB}}{dCB} \right]^2 - CB \sin(\theta_{CB}) \frac{d^2\theta_{CB}}{dCB^2} + \\ + AB \cos(\theta_{AB}) \left(\frac{d^2\theta_{AB}}{dCB} \right)^2 + AB \sin(\theta_{AB}) \frac{d^2\theta_{AB}}{dCB^2} = 0; \\ \cos(\theta_{CB}) \frac{d\theta_{CB}}{dCB} + \cos(\theta_{CB}) \frac{d\theta_{CB}}{dCB} - CB \cdot \sin(\theta_{CB}) \left[\frac{d\theta_{CB}}{dCB} \right]^2 + CB \cos(\theta_{CB}) \frac{d^2\theta_{CB}}{dCB^2} + \\ + AB \sin(\theta_{AB}) \left(\frac{d^2\theta_{AB}}{dCB} \right)^2 - AB \cos(\theta_{AB}) \frac{d^2\theta_{AB}}{dCB^2} = 0; \end{array} \right. \quad (5)$$

Запишем эти уравнения в матричной форме

$$\left[\begin{array}{cc} -CB \sin(\theta_{CB}) & AB \sin(\theta_{AB}) \\ CB \cos(\theta_{CB}) & -AB \cos(\theta_{AB}) \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \frac{d^2\theta_{CB}}{dCB^2} \\ \frac{d^2\theta_{AB}}{dAB^2} \end{array} \right] = \left\{ \begin{array}{l} 2 \sin(\theta_{CB}) \frac{d\theta_{CB}}{dCB} + CB \cos(\theta_{CB}) \left(\frac{d\theta_{CB}}{dCB} \right)^2 \\ - AB \cos(\theta_{AB}) \left(\frac{d\theta_{AB}}{dCB} \right)^2; \\ - 2 \cos(\theta_{CB}) \frac{d\theta_{CB}}{dCB} + CB \sin(\theta_{CB}) \left(\frac{d\theta_{CB}}{dCB} \right)^2 \\ - AB \sin(\theta_{AB}) \left(\frac{d\theta_{AB}}{dCB} \right)^2. \end{array} \right. \quad (6)$$

Дифференцируя θ_{AB} по времени как сложную функцию, определяем истинную угловую скорость звена АВ:

$$\omega_{AB} = \frac{d\theta_{AB}}{dt} = \frac{d\theta_{AB}}{dCB} \frac{dCB}{dt}. \quad (7)$$

Дифференцируя уравнение (7) по времени, как сложную функцию, определяем истинное угловое ускорение звена АВ:

$$\varepsilon_{AB} = \frac{d^2\theta_{AB}}{dCB^2} \left(\frac{dCB}{dt} \right)^2 + \frac{d\theta_{AB}}{dCB} \frac{d^2CB}{dt^2}. \quad (8)$$

Аналогично определяем истинные угловые скорости и ускорения для звена СВ:

$$\omega_{CB} = \frac{d\theta_{CB}}{dt} = \frac{d\theta_{CB}}{dCB} \frac{dCB}{dt}; \quad (9)$$

$$\varepsilon_{CB} = \frac{d^2\theta_{CB}}{dCB^2} \left(\frac{dCB}{dt} \right)^2 + \frac{d\theta_{CB}}{dCB} \frac{d^2CB}{dt^2}. \quad (10)$$

Дифференцируя уравнение (4) по времени, определяем линейные скорости точки B механизма по осям координат OXY :

$$\begin{cases} \frac{dx_B}{dt} = -AB \sin(\theta_{AB}) \frac{d\theta_{AB}}{dt} = -AB \sin(\theta_{AB}) \omega_{AB}; \\ \frac{dy_B}{dt} = AB \cos(\theta_{AB}) \frac{d\theta_{AB}}{dt} = AB \cos(\theta_{AB}) \omega_{AB}. \end{cases} \quad (11)$$

Дифференцируя уравнение (11) по времени, определяем линейные ускорения точки B механизма:

$$\begin{cases} \frac{d^2x_B}{dt^2} = -AB \cos(\theta_{AB}) \omega_{AB}^2 - ab \sin(\theta_{AB}) \varepsilon_{AB}; \\ \frac{d^2y_B}{dt^2} = -AB \sin(\theta_{AB}) \omega_{AB}^2 + ab \cos(\theta_{AB}) \varepsilon_{AB}. \end{cases} \quad (12)$$

Дифференцируя уравнение (5) по времени, определяем линейные скорости точки E механизма:

$$\begin{cases} \frac{dx_E}{dt} = -AE \sin(\theta_{AB} + \gamma) \frac{d\theta_{AB}}{dt} = -AE \sin(\theta_{AB} + \gamma) \omega_{AB}; \\ \frac{dy_E}{dt} = AE \cos(\theta_{AB} + \gamma) \frac{d\theta_{AB}}{dt} = AE \cos(\theta_{AB} + \gamma) \omega_{AB}. \end{cases} \quad (13)$$

Дифференцируя уравнение (13) по времени, определяем линейные ускорения точки E механизма:

$$\begin{cases} \frac{d^2x_E}{dt^2} = -AE \cos(\theta_{AB} + \gamma) \omega_{AB}^2 - AE \sin(\theta_{AB} + \gamma) \varepsilon_{AB}; \\ \frac{d^2y_E}{dt^2} = -AE \sin(\theta_{AB} + \gamma) \omega_{AB}^2 + AE \cos(\theta_{AB} + \gamma) \varepsilon_{AB}. \end{cases} \quad (14)$$

Аналогично определяем проекции линейных скоростей и ускорений точки D , дифференцируя уравнение (6) по времени один и два раза соответственно:

$$\begin{cases} \frac{dx_D}{dt} = \frac{dx_E}{dt} - ED \sin\left(\theta_{AB} + \gamma + \frac{\pi}{2}\right) \omega_{AB}; \\ \frac{dy_D}{dt} = \frac{dy_E}{dt} + ED \cos\left(\theta_{AB} + \gamma + \frac{\pi}{2}\right) \omega_{AB}; \end{cases} \quad (15)$$

$$\begin{cases} \frac{d^2x_D}{dt^2} = \frac{d^2x_E}{dt^2} - ED \cos\left(\theta_{AB} + \gamma + \frac{\pi}{2}\right) \omega_{AB}^2 - ED \sin\left(\theta_{AB} + \gamma + \frac{\pi}{2}\right) \varepsilon_{AB}; \\ \frac{d^2y_D}{dt^2} = \frac{d^2y_E}{dt^2} - ED \sin\left(\theta_{AB} + \gamma + \frac{\pi}{2}\right) \omega_{AB}^2 + ED \cos\left(\theta_{AB} + \gamma + \frac{\pi}{2}\right) \varepsilon_{AB}. \end{cases} \quad (16)$$

Теперь, свяжем жестко, с плоскостью движения ковша, неподвижную систему координат с началом в шарнире O ковша Ox^aY^a . Пусть ковш (система координат OXY) поворачивается относительно системы координат Ox^a на угол φ . Определим координаты точек N, C, A, B, D и F относительно систем координат Ox^aY^a . Для этого используем формулы преобразования систем координат. Тогда координаты этих точек будут определены соответственно по ниже приведенным формулам:

$$\begin{cases} x_N^a \\ y_N^a \end{cases} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi \\ \sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \begin{cases} x_N \\ 0 \end{cases} & \begin{cases} x_C^a \\ y_C^a \end{cases} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi \\ \sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \begin{cases} x_C \\ y_C \end{cases} \\
 \begin{cases} x_A^a \\ y_A^a \end{cases} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi \\ \sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \begin{cases} x_A \\ y_A \end{cases} & \begin{cases} x_B^a \\ y_B^a \end{cases} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi \\ \sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \begin{cases} x_B \\ y_B \end{cases} \\
 \begin{cases} x_D^a \\ y_D^a \end{cases} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi \\ \sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \begin{cases} x_D \\ y_D \end{cases} & \begin{cases} x_F^a \\ y_F^a \end{cases} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi \\ \sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \begin{cases} x_F \\ y_F \end{cases}
 \end{cases} \quad (17)$$

Для проведения кинематического анализа разработана программа расчета и получены численные значения геометрических и кинематических параметров механизма выдвигания гидрочелюсти рабочего оборудования одноковшового экскаватора для разработки селевых выносов, содержащих крупные валуны.

В таблице 1, в качестве примера, приведены численные значения угловых скоростей и ускорений звеньев АВ и СВ и угла поворота челюсти рассматриваемого механизма в зависимости от хода штока гидроцилиндра.

Таблица 1

Численные значения угловых скоростей и ускорений звеньев АВ и СВ и угла поворота челюсти в зависимости от хода штока гидроцилиндра

ход штока (мм)	ω_{AB} (1/сек)	ε_{AB} (1/сек ²)	ω_{CB} (1/сек)	ε_{CB} (1/сек ²)	Угол открытия челюсти (град)
0.00000	0.1570	-0.0633	-0.0436	0.0229	0.1570
14.00000	0.1184	-0.0238	-0.0290	0.0096	0.1184
28.00000	0.1009	-0.0128	-0.0216	0.0057	0.1009
42.00000	0.0907	-0.0080	-0.0168	0.0040	0.0907
56.00000	0.0841	-0.0054	-0.0133	0.0031	0.0841
70.00000	0.0795	-0.0038	-0.0105	0.0025	0.0795
84.00000	0.0762	-0.0028	-0.0082	0.0021	0.0762
98.00000	0.0738	-0.0020	-0.0063	0.0018	0.0738
112.00000	0.0722	-0.0014	-0.0046	0.0016	0.0722
126.00000	0.0710	-0.0009	-0.0031	0.0014	0.0710
140.00000	0.0703	-0.0005	-0.0017	0.0013	0.0703
154.00000	0.0700	-0.0001	-0.0004	0.0012	0.0700
168.00000	0.0701	0.0002	0.0008	0.0012	0.0701
182.00000	0.0705	0.0006	0.0019	0.0011	0.0705
196.00000	0.0712	0.0009	0.0031	0.0011	0.0712
210.00000	0.0722	0.0013	0.0042	0.0011	0.0722
224.00000	0.0737	0.0017	0.0053	0.0011	0.0737
238.00000	0.0756	0.0021	0.0065	0.0012	0.0756
252.00000	0.0780	0.0027	0.0077	0.0012	0.0780
266.00000	0.0810	0.0034	0.0089	0.0013	0.0810
280.00000	0.0848	0.0043	0.0104	0.0015	0.0848

На рисунке 3 представлена зависимость угловой скорости звена АВ от хода штока гидроцилиндра.

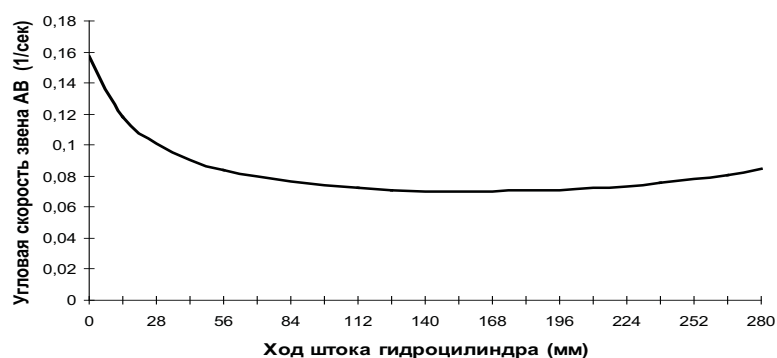


Рисунок 3 – Зависимость угловой скорости звена АВ от хода штока гидроцилиндра

ЛИТЕРАТУРА

1. Джолдасбеков У.А. Теория механизмов высоких классов. - Алматы: ЫЛЫМ, 2001. - 427 с.