Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им.Г.В.Плеханова, т.LXIX, вып. 1, 1975 г.

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ГРЕБКОВО-РОТОРНОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА

В.И.МОРОЗОВ, И.П.ИВАНОВ

Гребково-роторный исполнительный орган погрузочной машины с закрепленными на роторе гребками при заданной траектории зуба гребка можно рассматривать как дезаксиальный балансирно-ползунный плоский механизм [3] . Причем эта траектория принимается за неподвижную направляющую, по которой скользит ползун, имитирующий зуб гребка. На основном участке работы зуба гребка – от начального контакта со штабелем до выхода из погружаемого материала на приемной плите $П$ – кинематическая схема механизма (рис. 1) может быть представлена стойкой с шарниром O , балансиром OA , шатуном AB , ползуном B и направляющей $B_1 B_2 \dots B_{10}$. Упор У

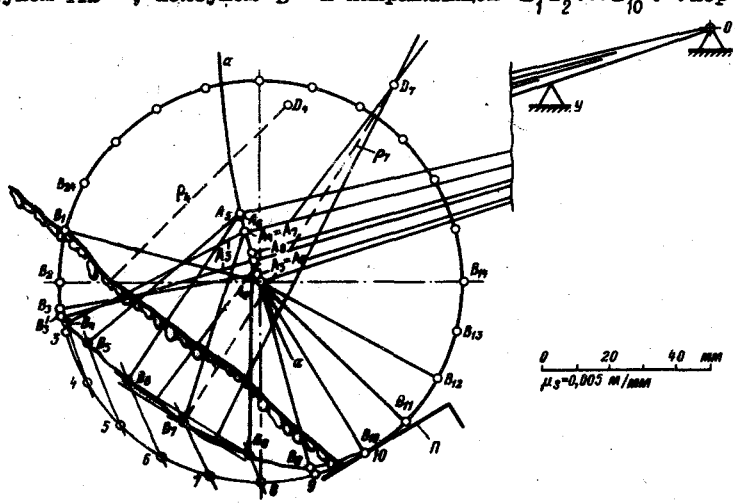


Рис. 1. План положений механизма гребково-роторного исполнительного органа

ограничивает поворот балансира вниз. Для упрощения анализа ротор рассматривается с одним рядом гребков.

В рассматриваемом механизме ведущим звеном, определяющим кинематические параметры остальных звеньев, является шатун – звено, не связанное со стойкой; угловая скорость его относительно балансира задана постоянной. Исследования таких механизмов требуют особых методов [1,2], которые еще недостаточно разработаны.

На рис. 1 показана наиболее типичная траектория зуба гребка в штабеле погружаемого материала, записанная на экспериментальном стенде методом светового луча [4]. Для анализа кинематики механизма гребково-роторного исполнительного органа строится план его положений в процессе нагребания. За начальное положение ползуна принимаем точку B_1 контакта зуба гребка со штабелем. Из начального положения оси ротора A_0 проводим окружность радиусом AB в соответствующем линейном масштабе, которую от точки B_1 в направлении вращения шатуна разделим на 24 равные части. Методом засечек находим положения ползуна на направляющей через каждые 15^0 поворота шатуна и соответствующие им положения точек A оси ротора, поднимающегося в процессе нагребания.

В качестве примера рассмотрим характер построения для 5-го положения механизма. Из центра шарнира 0 радиусом 05 на направляющей ползуна засекаем точку B_5 положения зуба гребка. При вращении ротора зубья гребка, опираясь на направляющую, приподнимают ось ротора A по дуге $a-a$ окружности с радиусом, равным длине балансира $0A$. Поэтому из точки B_5 радиусом, равным длине шатуна AB, засекаем на этой дуге точку A_5 положения оси ротора. Указанным приемом находим первые девять положений точек B и A и всего механизма. Точка 10 на окружности является местом схода ползуна с направляющей, далее точка B движется по окружности; с этого момента звено $0A$ находится на опоре $У$ и ротор вращается вокруг неподвижной оси A_0.

Скорости точек B и A механизма связаны векторным уравнением

$$\bar{v}_B = \bar{v}_A + \bar{v}_{BA}, \qquad (1)$$

где v_B – скорость точки B, направленная в сторону движения по касательной к траектории в рассматриваемой точке; по величине неизвестна; v_A – скорость точки A, известная лишь по линии действия (касательна к дуге окружности $a-a$); v_{BA} – скорость точки B по отношению к точке A, направленная в сторону относительного вращения, $v_{BA} \perp AB$,

$$v_{BA} = \omega_{BA} l_{AB}, \qquad (2)$$

ω_{BA} – угловая скорость; l_{AB} – длина звена AB.

Скорости v_B и v_A для каждого фиксированного положения механизма находим из планов скоростей (рис. 2) в масштабе

$$\mu_v = \frac{v_{BA}}{ab}, \qquad (3)$$

где ab – графическое изображение скорости v_{BA}.

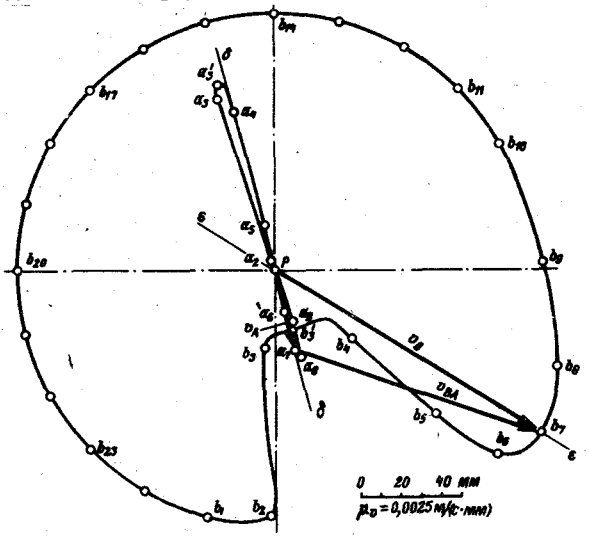


Рис. 2. Построение планов и годографов скоростей

Для построения планов скоростей рассматриваемого механизма с учетом векторного уравнения скоростей предлагается метод векторных вставок. По построенным планам скоростей векторы скоростей

$$v_B = pb \cdot \mu_v, \qquad (4)$$
$$v_A = pa \cdot \mu_v,$$

где pb и pa – изображения соответствующих скоростей на плане.

Рассмотрим построение плана скоростей методом вставок на примере механизма, для которого на экспериментальном стенде с помощью светового луча записана траектория зуба гребка. Длины звеньев: $l_{AB} = 0{,}305$м, $l_{0A} = 1{,}25$ м; частота вращения n шатуна AB относительно оси A равна 10 об/мин. Угловая скорость шатуна

$$\omega_{BA} = \frac{\pi n}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 10}{30} = 1{,}045 \text{ рад/с};$$

относительная скорость точки B

$$v_{BA} = \omega_{BA} l_{AB} = 1{,}045 \cdot 0{,}305 = 0{,}32 \text{ м/с}.$$

При масштабе $\mu_v = 0{,}0025$ м/(с·мм)

$$ab = \frac{v_{BA}}{\mu_v} = \frac{0{,}32}{0{,}0025} = 128 \text{ мм}.$$

Известно, что скорость v_B направлена по касательной к траектории движения ползуна B в рассматриваемой точке. Нахождение касательной к траектории зуба гребка представляет некоторые трудности, так как радиус кривизны траектории и направление на центр кривизны переменны на рабочем участке зуба гребка. С некото-

рым допущением за касательную рассматриваемой точки траектории можно принять линию, параллельную прямой, проходящей через предыдущую и последующую соседние точки деления траектории. Так, в 7-м положении механизма на плане его линия, проведенная через точку B_7 параллельно прямой B_6B_8 принимается за касательную к траектории в точке B_7 .

Через полюс плана скоростей p (см. рис.2) проводим прямую $\varepsilon - \varepsilon$, параллельную касательной к траектории в точке B_7 , – линию действия скорости v_B ; направлена эта скорость в сторону движения ползуна. Линия действия скорости $v_A \perp OA_7$(см. рис.1); направление этой скорости пока неизвестно. Через полюс p проводим линию $\delta - \delta \perp OA_7$. Относительная скорость $v_{BA} \perp B_7A_7$. При известном направлении скорости v_{BA} в соответствии с векторным уравнением (1) начало a_7 ее изображения a_7b_7 должно находиться на линии $\delta - \delta$, а конец b_7 – на линии $\varepsilon - \varepsilon$. Положение этого вектора относительно полюса определится методом вставок. Для этого перемещаем на рис. 2 изображение a_7b_7 так, чтобы при скольжении его начала a_7 по линии $\delta - \delta$ конец b_7 совместился с линией $\varepsilon - \varepsilon$. Положением начала и конца вектора v_{BA} определяются и векторы v_A и v_B , значения которых находим по формуле (4).

Аналогичными построениями во всех положениях механизма и плавным последовательным соединением концов векторов соответствующих скоростей получим годографы скоростей точек B и A , представленные на рис. 2. Из результатов построений видно, что относительная скорость v_{BA} в положениях механизма 1–9 существенно отличается по направлению от скорости точки B при ее движении по окружности, а скорости точек B и A на этом участке изменяются как по величине, так и по направлению.

Ускорения точек B и A механизма при криволинейной направляющей ползуна связаны векторным уравнением

$$\bar{a}_B = \bar{a}_B^n + \bar{a}_B^t = \bar{a}_A^n + \bar{a}_A^t + \bar{a}_{BA}^n \ , \qquad (5)$$

где $a_B^n = \frac{v_B^2}{\rho}$ – нормальное ускорение точки B , направленное к центру кривизны траектории; вычисляется по ранее найденной скорости ползуна и по известному радиусу ρ кривизны траектории; a_B^t – тангенциальное ускорение точки B с линией действия, касательной к траектории; по величине и направлению неизвестно; $a_A^n = \frac{v_A^2}{l_{OA}}$ – нормальное ускорение точки A , направленное по звену AO к центру вращения O ; a_A^t – тангенциальное ускорение точки A с линией действия по касательной к дуге $a - a$; по величине и направлению неизвестно; $a_{BA}^n = \frac{v_{BA}^2}{l_{BA}}$ – относительное ускорение точки B ; известно по величине и направлено от B к A .

Для построения планов ускорений в соответствии с векторным уравнением (5) также предлагается метод векторных вставок. Чтобы определить радиусы кривизны траектории зуба гребка, аппроксимируем

участки траектории между рассматриваемой точкой и двумя соседними точками деления дугой окружности. Центр кривизны траектории данной точки находится на пересечении перпендикуляров, восстановленных из середин прямолинейных отрезков, соединяющих попарно данную точку с соседними. Так, для 7-го положения механизма (см. рис. 1) соединяем точку B_7 с точками B_6 и B_8 прямыми. Из середин этих отрезков восстановим перпендикуляры, на пересечении которых находится точка D_7, являющаяся центром кривизны траектории зуба гребка в данном положении. Радиус кривизны

$$\rho_7 = \mu_s B_7 D_7 ,$$

где μ_s – масштаб длин на плане положений.

План ускорений, например, для 4-го положения механизма, строим в следующем порядке (рис. 3). Из полюса π в масштабе ускорений μ_a = 0,005 м/(с^2·мм) параллельно A_4O изображаем направленное к центру O нормальное ускорение точки A_4 отрезком

$$\pi a_4' = \frac{a_A^n}{\mu_a} . \qquad (6)$$

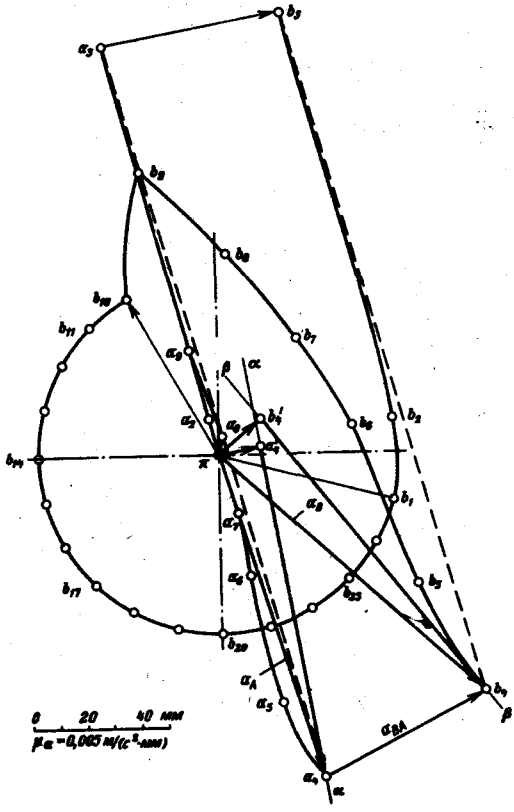


Рис. 3. Построение планов и годографов ускорений

Из конца этого вектора проводим линию α-$\alpha \perp OA_4$, на которой найдется впоследствии точка a_4 концов векторов тангенциального и полного ускорений точки A_4. Из полюса π в том же масштабе μ_a отрезком $\pi b_4' \parallel B_4D_4$ изображаем направленное к центру кривизны D_4 нормальное ускорение точки B_4. Из конца этого вектора проводим прямую β-$\beta \perp B_4D_4$, на которой должна находиться точка b_4 концов векторов тангенциального и полного ускорений точки B. При этом

$$\pi b_4' = \frac{a_B^n}{\mu_a} = \frac{v_B^2}{\mu_a \rho_4} . \qquad (7)$$

Зная величину и направление относительного ускорения $a_{BA}^n \parallel BA$, методом вставок разместим его изображение

$$a_4 b_4 = \frac{a_{BA}^n}{\mu_a} , \qquad (8)$$

параллельное B_4A_4, так, что-

бы в соответствии с векторным уравнением (5) начало a_4 вектора находилось на линии $\alpha - \alpha$, а конец b_4 на линии $\beta - \beta$. Тогда из плана ускорений по рис. 3 в масштабе μ_a получаем: $\pi a_4'$ – нормальное, $a_4' a_4$ – касательное, πa_4 – полное ускорения точки A_4 ; $\pi b_4'$ – нормальное, $b_4' b_4$ – касательное, πb_4 – полное ускорения точки B_4 .

Построив планы ускорений для всех положений механизма и соединив последовательно концы векторов полных ускорений точек A и B , получим соответствующие годографы ускорений оси ротора и зуба гребка.

Таким образом, представив гребково-роторный исполнительный орган в виде балансирно-ползунного механизма с известной траекторией зуба гребка в штабеле погружаемого материала, можно предложенным графоаналитическим методом получить полную картину скоростей и ускорений зуба гребка и оси ротора. Это позволяет не только рассмотреть кинематические особенности механизма, но и исследовать динамику процесса взаимодействия исполнительного органа со штабелем погружаемого материала.

Литература

1. Кожевников С.Н. Теория механизмов и машин. М., "Машиностроение", 1969.

2. Кожевников С.Н., Цехнович Л.И. Механизмы с заданным относительным движением подвижных звеньев. – Тр. Ин-та машиноведения АН СССР, 1955, т.14, вып. 56.

3. Морозов В.И., Иванов И.П. Кинематика исполнительного органа гребково-роторной погрузочной машины. – Зап. ЛГИ, 1970, т. 60, вып. 1.

4. Морозов В.И. Оценка эффективности работы гребково-роторных погрузочных органов. – Зап. ЛГИ, 1970, т. 60, вып. 1.