

Л.Т. Дворников, А.В. Макаров, Д.С. Комилов

Сибирский государственный индустриальный университет

КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ С ДВУМЯ ПОДВИЖНЫМИ ЩЕКАМИ

В 1999 году Роспатентом был выдан патент на изобретение «Щековая дробилка» [1], в которой подвижная щека, два шатуна подвижной щеки и ведущее коромысло образуют замкнутый четырехзвенный изменяемый контур. В настоящей работе предлагается внести в дробилку существенное изменение: обеспечить дробление двумя щеками. Схема такой дробилки показана на рис. 1. Дробилка состоит из приводного кривошипа 1 (AO₁), приводного шатуна 2 (AB), ведущего коромысла 3 (BCDO₂), верхнего шатуна 4 (CE), нижнего шатуна 5 (DH), двух подвижных щек 6 (EG) и 7 (GO₃). Особенностью является наличие двух подвижных щек с простым и сложным движением, которые образуют с двумя шатунами и коромыслом пятизвенный изменяемый контур.

Работает щековая дробильная машина следующим образом: при включении в работу кривошипа 1 движение передается на коромысло 3 и далее через шатуны 4 и 5 на подвижные щеки 6 и 7.

Подвижность дробилки можно проверить по формуле П.Л. Чебышева [2]

$$W = 3n - 2p_5,$$

где W – подвижность механизма; n – количество подвижных звеньев; p_5 – количество одноподвижных вращательных пар-шарниров.

В рассматриваемой конструкции при $n = 7$ (звенья 1 – 7) и $p_5 = 10$ (O₁, A, B, C, D, O₂, E, G, H, O₃) подвижность механизма составляет 1.

Движение звеньев механизма при $W = 1$ однозначно задается законом движения кривошипа 1.

Кинематическое исследование дробильной машины проведено графоаналитическим методом.

При заданной угловой скорости кривошипа ω_2 скорость точки A определяется формулой

$$V_A = \omega_1 l_{AO_1},$$

где l_{AO_1} – длина кривошипа.

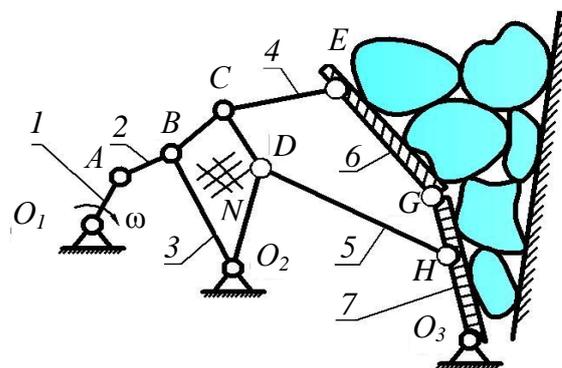


Рис. 1. Щековая дробилка с двумя подвижными щеками

По известной скорости V_A точки A легко определить скорость V_B точки B из системы уравнений

$$\begin{cases} \overline{V_B} = \overline{V_A} + \overline{V_{BA}}; & \overline{V_{BA}} \perp BA; \\ \overline{V_B} = \overline{V_{BO_2}}; & \overline{V_{BO_2}} \perp BO_2 \end{cases}$$

и угловые скорости звеньев 2 и 3

$$\omega_2 = \frac{\overline{V_{AB}}}{l_{AB}}; \quad \omega_3 = \frac{\overline{V_B}}{l_{BO_2}}.$$

При известных угловых скоростях ω_2 и ω_3 могут быть найдены линейные скорости точек C и D по формулам

$$\begin{cases} \overline{V_C} = \overline{V_B} + \overline{V_{CB}}; & \overline{V_{CB}} \perp CB; \\ \overline{V_C} = \overline{V_{CO_2}}; & \overline{V_{CO_2}} \perp CO_2; \\ \overline{V_D} = \overline{V_C} + \overline{V_{DC}}; & \overline{V_{DC}} \perp DC; \\ \overline{V_D} = \overline{V_{DO_2}}; & \overline{V_{DO_2}} \perp DO_2. \end{cases}$$

По известным скоростям $\overline{V_C}$ и $\overline{V_D}$ могут быть найдены скорости шарниров E и H из систем уравнений

$$\begin{cases} \overline{V_H} = \overline{V_D} + \overline{V_{HD}}; & \overline{V_{HD}} \perp HD; \\ \overline{V_H} = \overline{V_{HO_3}}; & \overline{V_{HO_3}} \perp HO_3; \\ \overline{V_E} = \overline{V_C} + \overline{V_{EC}}; & \overline{V_{EC}} \perp EC; \\ \overline{V_E} = \overline{V_G} + \overline{V_{EG}}; & \overline{V_{EG}} \perp EG \end{cases}$$

и угловые скорости звеньев 4 – 7

$$\omega_4 = \frac{\overline{V_{EC}}}{l_{EC}}; \quad \omega_5 = \frac{V_{HD}}{l_{HD}}; \quad \omega_6 = \frac{\overline{V_{EG}}}{l_{EG}}; \quad \omega_7 = \frac{V_H}{l_{HO_3}}.$$

По приведенным зависимостям построен общий план скоростей дробильной машины (рис. 2). Масштаб построения плана можно определить из зависимости

$$\mu_V = \frac{V_A}{pa},$$

где V_A – истинная скорость точки A ; pa – отрезок, отображающий скорость V_A на плане скоростей.

По известным скоростям звеньев могут быть найдены их ускорения.

Ускорение точки A при постоянной угловой скорости звена 1 находится из уравнения

$$\overline{a_A} = \overline{a_A}^n = \omega_1^2 l_{OA}; \quad \overline{a_A}^n \parallel AO_1.$$

Ускорение точки B можно найти из системы уравнений

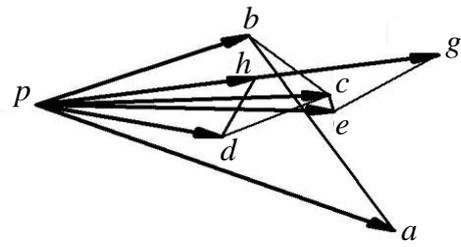


Рис. 2. План скоростей дробилки

$$\begin{cases} \overline{a_B} = \overline{a_A} + \overline{a_{BA}^n} + \overline{a_{BA}^\tau}; & \overline{a_{BA}^n} \parallel BA; \quad \overline{a_{BA}^\tau} \perp BA; \\ \overline{a_B} = \overline{a_{O_2}} + \overline{a_{BO_2}^n} + \overline{a_{BO_2}^\tau}; & \overline{a_{BO_2}^n} \parallel BO_2; \quad \overline{a_{BO_2}^\tau} \perp BO_2, \end{cases}$$

где a^n и a^τ – нормальное и касательное ускорения.

По известным ускорениям $\overline{a_{BA}^\tau}$ и $\overline{a_{BO_2}^\tau}$ легко можно найти угловые ускорения звеньев 2 и 3:

$$\varepsilon_2 = \frac{\overline{a_{BA}^\tau}}{l_{BA}}; \quad \varepsilon_3 = \frac{\overline{a_{BO_2}^\tau}}{l_{BO_2}}.$$

При известных ускорениях точки A ускорения точек C и D определяются системами уравнений

$$\begin{cases} \overline{a_C} = \overline{a_B} + \overline{a_{CB}^n} + \overline{a_{CB}^\tau}; & \overline{a_{CB}^n} \parallel CB; \quad \overline{a_{CB}^\tau} \perp CB; \\ \overline{a_C} = \overline{a_{O_2}} + \overline{a_{CO_2}^n} + \overline{a_{CO_2}^\tau}; & \overline{a_{CO_2}^n} \parallel CO_2; \quad \overline{a_{CO_2}^\tau} \perp CO_2; \end{cases}$$

$$\begin{cases} \overline{a_D} = \overline{a_C} + \overline{a_{DC}^n} + \overline{a_{DC}^\tau}; & \overline{a_{DC}^n} \parallel DC; \quad \overline{a_{DC}^\tau} \perp DC; \\ \overline{a_D} = \overline{a_{O_2}} + \overline{a_{DO_2}^n} + \overline{a_{DO_2}^\tau}; & \overline{a_{DO_2}^n} \parallel DO_2; \quad \overline{a_{DO_2}^\tau} \perp DO_2. \end{cases}$$

По приведенным зависимостям можно построить план ускорений звеньев 1 – 3 (рис. 3).

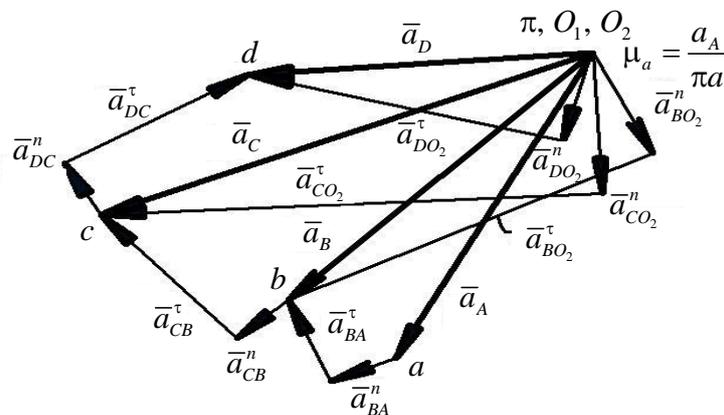


Рис. 3. План ускорений звеньев 1 – 3 дробилки

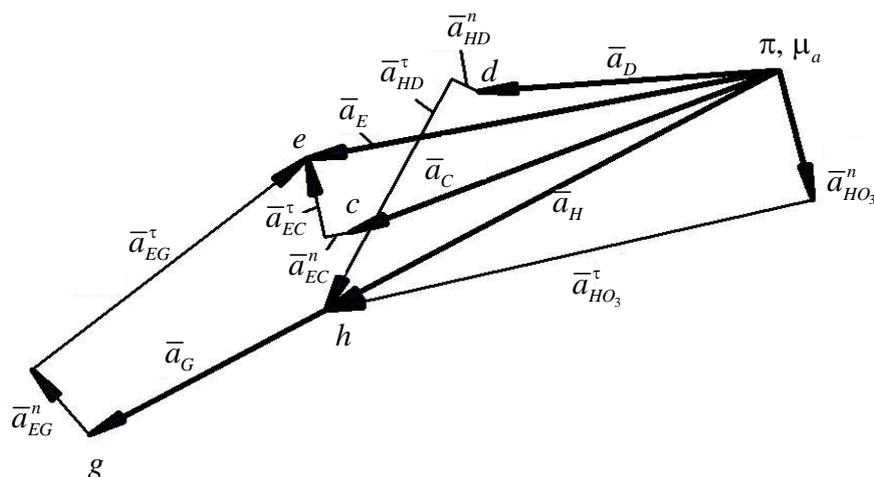


Рис. 4. План ускорений звеньев 4 – 7 дробилки

Масштаб построения ускорений определяется зависимостью

$$\mu_a = \frac{a_A}{\pi a}$$

Построение плана ускорений оставшихся звеньев 4 – 7 показано на рис. 4.

Ускорение точки H и угловые ускорения звеньев 5 и 7 определяются при решении уравнений

$$\begin{cases} \overline{a_H} = \overline{a_D} + \overline{a_{HD}^n} + \overline{a_{HD}^\tau}; & \overline{a_{HD}^n} \parallel HD; & \overline{a_{HD}^\tau} \perp HD; \\ \overline{a_H} = \overline{a_{O_3}} + \overline{a_{HO_3}^n} + \overline{a_{HO_3}^\tau}; & \overline{a_{HO_3}^n} \parallel HO_3; & \overline{a_{HO_3}^\tau} \perp HO_3; \end{cases}$$

$$\varepsilon_5 = \frac{a_{HD}^\tau}{l_{HD}}; \quad \varepsilon_7 = \frac{a_H^\tau}{l_{HO_3}}$$

Вектор ускорения точки G совпадает с направлением вектора ускорения точки H , а его модуль находится из соотношения

$$\frac{a_G}{a_H} = \frac{l_{GO_3}}{l_{HO_3}}$$

Ускорение точки E и угловые ускорения звеньев 4 и 6 можно определить при решении уравнений

$$\begin{cases} \overline{a_E} = \overline{a_C} + \overline{a_{EC}^n} + \overline{a_{EC}^\tau}; & \overline{a_{EC}^n} \parallel EC; & \overline{a_{EC}^\tau} \perp EC; \\ \overline{a_E} = \overline{a_G} + \overline{a_{EG}^n} + \overline{a_{EG}^\tau}; & \overline{a_{EG}^n} \parallel EG; & \overline{a_{EG}^\tau} \perp EG; \end{cases}$$

$$\varepsilon_4 = \frac{a_{EC}^\tau}{l_{EC}}; \quad \varepsilon_6 = \frac{a_{EG}^\tau}{l_{EG}}$$

Результат графического нахождения ускорений точек H , G и E представлен на рис. 4.

Построенные фрагменты плана ускорений дробилки позволяют по найденным векторам и при заданном масштабе построения определить в любом положении механизма ускорения всех точек и звеньев механизма.

Таким образом, дробильная машина с двумя подвижными щеками, образующими с другими подвижными звеньями замкнутый пятиугольный изменяемый контур, имеет полное кинематическое решение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2142850 Российская Федерация, МПК В02С 1/04. Щековая дробилка / Дворников Л.Т., Макаров А.В.; заявитель СибГИУ № 98110302; заявл. 01.06.1998; опубл. 20.12.1999.
2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1988. – 639 с.

© 2019 г. Л.Т. Дворников, А.В. Макаров, Д.С. Комилов

Поступила 16 мая 2019 г.