КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД КИНЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ IV КЛАССА С РЕГУЛИРУЕМОЙ ЦИКЛОГРАММОЙ И ВЫСТОЕМ ВЫХОДНОГО ЗВЕНА

Сахабутдинова Г.Ф.

Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, Кемерово,
e-mail: cristallo.de.neige@yandex.ru

Исследование нагрузочных способностей, качественных характеристик проектируемого рычажного механизма VI класса с регулируемой циклограммой выходного звена, представленного на рис. 1, неразрывно связано с определением аналогов скоростей и ускорений, а также направлений векторов скоростей в характерных точках механизма.

Нами предложен комбинированный метод кинематического анализа, заключающегося в том, что положения звеньев механизма и координаты кинематических пар определяются численным методом, а скорости и ускорения аналитически на основе уравнений связи. При таком подходе повышается точность расчетов, поскольку использование только численного метода обеспечивает накопленную погрешность не только положений, но скоростей и ускорений.

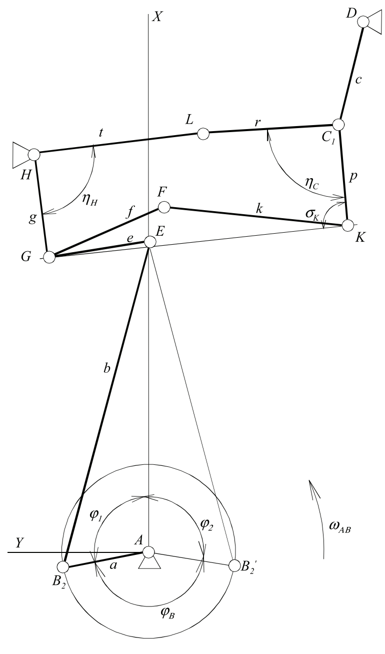

Рис. 1

Уравнения связи для аналогов скоростей имеют вид:

$$x_{EB}x'_E + y_{EB}y'_E = x_{EB}x'_B + y_{EB}y'_B;$$
$$x_{EG}x'_E + y_{EG}y'_E = x_{EG}x'_G + y_{EG}y'_G;$$

$$x_{GH}x'_G + y_{GH}y'_G = 0;\ x_{GF}x'_G + y_{GF}y'_G = x_{GF}x'_F + y_{GF}y'_F;\ x_{FK}x'_F + y_{FK}y'_F = x_{FK}x'_K + y_{FK}y'_K;$$
$$x_{KC}x'_K + y_{KC}y'_K = x_{KC}x'_C + y_{KC}y'_C;\ x_{LC}x'_L + y_{LC}y'_L = x_{LC}x'_C + y_{LC}y'_C;$$

Механизм IV класса

$$x_{CD}x'_C + y_{CD}y'_C = 0; \quad x_{FE}x'_F + y_{FE}y'_F = x_{FE}x'_E + y_{FE}y'_E; \tag{1}$$
$$x_{LG}x'_L + y_{LG}y'_L = x_{LG}x'_G + y_{LG}y'_G;\ x_{LK}x'_L + y_{LK}y'_L = x_{LK}x'_K + y_{LK}y'_K.$$

Для аналогов ускорений:

$$(x'_E - x'_B)^2 + (y'_E - y'_B)^2 + x_{EB}x''_E + y_{EB}y''_E = x_{EB}x''_B + y_{EB}y''_B;$$
$$(x'_E - x'_G)^2 + (y'_E - y'_G)^2 + x_{EG}x''_E + y_{EG}y''_E = x_{EG}x''_G + y_{EG}y''_G;\ x'^2_G + x_{GH}x''_G + y'^2_G + y_{GH}y''_G = 0;$$

$$(x'_G - x'_F)^2 + (y'_G - y'_F)^2 + x_{GF}x''_G + y_{GF}y''_G = x_{GF}x''_F + y_{GF}y''_F;\ x'^2_C + x_{CD}x''_C + y'^2_C + y_{CD}y''_C = 0;$$
$$(x'_F - x'_K)^2 + (y'_F - y'_K)^2 + x_{FK}x''_F + y_{FK}y''_F = x_{FK}x''_K + y_{FK}y''_K;(x'_K - x'_C)^2 + (y'_K - y'_C)^2 +$$
$$+x_{KC}x''_K + y_{KC}y''_K = x_{KC}x''_C + y_{KC}y''_C;\ (x'_L - x'_C)^2 + (y'_L - y'_C)^2 + x_{LC}x''_L + y_{LC}y''_L = x_{LC}x''_C + y_{LC}y''_C;$$
$$(x'_F - x'_E)^2 + (y'_F - y'_E)^2 + x_{FE}x''_F + y_{FE}y''_F = x_{FE}x''_E + y_{FE}y''_E;(x'_L - x'_G)^2 + (y'_L - y'_G)^2 + \tag{2}$$
$$+x_{LG}x''_L + y_{LG}y''_L = x_{LG}x''_G + y_{LG}y''_G;(x'_L - x'_K)^2 + (y'_L - y'_K)^2 + x_{LK}x''_L + y_{LK}y''_L = x_{LK}x''_K + y_{LK}y''_K.$$

Здесь

$$x_{EB}=x_E-x_B;\ y_{EB}=y_E-y_B;\ x_{EG}=x_E-x_G;\ y_{EG}=y_E-y_G;\ x_{GH}=x_G-x_H;$$
$$y_{GH}=y_G-y_H;\ x_{GF}=x_G-x_F;\ y_{GF}=y_G-y_F;$$
$$x_{CD}=x_C-x_D; y_{CD}=y_C-y_D;\ x_{FK}=x_F-x_K; y_{FK}=y_F-y_K;\ x_{KC}=x_K-x_C; y_{KC}=y_K-y_C;\ x_{LC}=x_L-x_C; y_{LC}=y_L-y_C;$$
$$x_{FE}=x_F-x_E;\ y_{FE}=y_F-y_E;\ x_{LG}=x_L-x_G;\ y_{LG}=y_L-y_G;\ x_{LK}=x_L-x_K;\ y_{LK}=y_L-y_K.$$

В целях сокращения числа неизвестных выразим x'_L, y'_L через x'_G, y'_G, используя соотношения

$$x'_L = x'_G \cdot f_{Lx} - y'_G \cdot f_{Ly},\ y'_L = x'_G \cdot f_{Ly} + y'_G \cdot f_{Lx},$$

где

$$f_{Lx} = \frac{t}{g}\cos\eta_H \,,\, f_{Ly} = \frac{t}{g}\sin\eta_H \,. \qquad (3)$$

Выразим $x_F^{'}, y_F^{'}$ через $x_G^{'}, y_G^{'}$ и $x_E^{'}, y_E^{'}$ как

$$x_F^{'} = x_G^{'} + (x_E^{'} - x_G^{'}) \cdot f_{Fx} - (y_E^{'} - y_G^{'}) \cdot f_{Fy}$$

и $y_F^{'} = y_G^{'} + (x_E^{'} - x_G^{'}) \cdot f_{Fy} + (y_E^{'} - y_G^{'}) \cdot f_{Fx}$,

где $$f_{Fx} = \frac{f}{e}\cos\eta_G \,,\; f_{Fy} = \frac{f}{e}\sin\eta_G \,. \qquad (4)$$

Выразим $x_K^{'}, y_K^{'}$ через $x_C^{'}, y_C^{'}$ и $x_L^{'}, y_L^{'}$ как

$$x_K^{'} = x_C^{'} + (x_L^{'} - x_C^{'}) \cdot f_{Kx} - (y_L^{'} - y_C^{'}) \cdot f_{Ky}$$

и $y_K^{'} = y_C^{'} + (x_L^{'} - x_C^{'}) \cdot f_{Ky} + (y_L^{'} - y_C^{'}) \cdot f_{Kx}$,

где $$f_{Kx} = \frac{p}{r}\cos\eta_C \,,\; f_{Ky} = \frac{p}{r}\sin\eta_C \,. \qquad (5)$$

При нахождении аналогов скоростей и ускорений учтем, что $x_B^{'} = -y_B$, $y_B^{'} = x_B$, $x_B^{''} = -x_B$, $y_B^{''} = -y_B$, тогда правые части первых уравнений систем (1) и (2) можно соответственно представить в виде

$$c_1 = y_{EB} \times x_B - x_{EB} \cdot y_B, \; c_2 = -(y_{EB} \times y_B + x_{EB} \cdot x_B). \qquad (6)$$

Опуская промежуточные выкладки и учитывая (3-6), получим:

$$\det(x_G^{'}, y_G^{'}) = b_1 \cdot b_2 - b_3 \cdot b_4 \,;\; \det(x_G^{'}) = b_5 \cdot b_2 \,;$$

$$\det(y_G^{'}) = -b_3 \cdot b_5 \,,$$

где $b_1 = x_{FK}(c_3 - c_4) + y_{FK}(c_5 - c_6)$;

$$b_2 = y_{GH} + x_{LH} \cdot f_{Ly} - y_{LH} \cdot f_{Lx} \,;\; b_3 = x_{GH} + x_{LH} \cdot f_{Lx} - y_{LH} \cdot f_{Ly} \,;$$

$$b_4 = x_{FK}(c_7 - c_8) + y_{FK}(c_9 - c_{10}) \,;$$

$$b_5 = -c_{11} \cdot x_{FK} - c_{12} \cdot y_{FK} \,;\; c_3 = 1 - f_{Fx} - \frac{y_{EB} \cdot x_{EG} \cdot f_{Fx}}{x_{EB} \cdot (y_{EG} - x_{EG} \cdot y_{EB} \cdot x_{EB}^{-1}};$$

$$c_4 = \frac{f_{Ky} \cdot (x_{LC} \cdot f_{Lx} + y_{LC} \cdot f_{Ly})}{y_{LC} - y_{CD} \cdot x_{LC} \cdot x_{CD}^{-1}} - \frac{y_{CD} \cdot (x_{LC} \cdot f_{Lx} + y_{LC} \cdot f_{Ly}) \cdot (1 - f_{Kx})}{x_{CD}(y_{LC} - y_{CD} \cdot x_{LC} \cdot x_{CD}^{-1})} + f_{Lx} \cdot f_{Kx} - f_{Ly} \cdot f_{Ky};$$

$$c_5 = \frac{x_{EG} \cdot f_{Fx}}{y_{EG} - x_{EG} \cdot y_{EB} \cdot x_{EB}^{-1}} + f_{Fy} \cdot \left(1 + \frac{y_{EB} \cdot x_{EG}}{x_{EB} \cdot (y_{EG} - x_{EG} \cdot y_{EB} \cdot x_{EB}^{-1}}\right); \; c_6 = \frac{x_{LC} \cdot f_{Lx} + y_{LC} \cdot f_{Ly}}{y_{LC} - y_{CD} \cdot x_{LC} \cdot x_{CD}^{-1}} \cdot ((1 - f_{Kx}) +$$

$$+ \frac{y_{CD} \cdot f_{Ky}}{x_{CD}}) - f_{Ly} \cdot f_{Ky} + f_{Lx} \cdot f_{Kx} \,;\; c_7 = -f_{Fy} - \frac{y_{EG} \cdot (f_{Fx} \cdot y_{EB} \cdot x_{EB}^{-1} - f_{Fy})}{y_{EG} - x_{EG} \cdot y_{EB} \cdot x_{EB}^{-1}}; c_8 = -(f_{Lx} \cdot f_{Ky} + f_{Ly} \cdot f_{Kx}) +$$

$$+ \frac{f_{Ky} \cdot (y_{LC} \cdot f_{Lx} - x_{LC} \cdot f_{Ly})}{y_{LC} - y_{CD} \cdot x_{LC} \cdot x_{CD}^{-1}} - \frac{y_{CD} \cdot (1 - f_{Kx}) \cdot (y_{LC} \cdot f_{Lx} - x_{LC} \cdot f_{Ly})}{x_{CD} \cdot (y_{LC} - y_{CD} \cdot x_{LC} \cdot x_{CD}^{-1})} \,;\; c_9 = 1 - f_{Fx} + \frac{y_{EG} \cdot (f_{Fx} + f_{Fy} \cdot y_{EB} \cdot x_{EB}^{-1})}{y_{EG} - x_{EG} \cdot y_{EB} \cdot x_{EB}^{-1}} \,;$$

$$c_{10} = \frac{(y_{LC} \cdot f_{Lx} - x_{LC} \cdot f_{Ly}) \cdot ((1 - f_{Kx}) + y_{CD} \cdot f_{Ky} \cdot x_{CD}^{-1})}{y_{LC} - y_{CD} \cdot x_{CD}^{-1}} -$$

$$- f_{Ly} \cdot f_{Ky} + f_{Lx} \cdot f_{Kx} \,;\; c_{11} = f_{Fx} \cdot c_1 \cdot \left(\frac{1}{x_{EB}} + \frac{y_{EB} \cdot x_{EG}}{x_{EB} \cdot (y_{EG} \cdot x_{EB} - x_{EG} \cdot y_{EB})}\right) - \frac{f_{Fy} \cdot c_1 \cdot x_{EG}}{x_{EB} \cdot (y_{EG} - x_{EG} \cdot y_{EB} \cdot x_{EB}^{-1})};$$

$$c_{12} = -f_{Fy} \cdot c_1 \cdot \left(\frac{1}{x_{EB}} + \frac{y_{EB} \cdot x_{EG}}{x_{EB} \cdot (y_{EG} \cdot x_{EB} - x_{EG} \cdot y_{EB})}\right) - \frac{f_{Fx} \cdot c_1 \cdot x_{EG}}{x_{EB} \cdot (y_{EG} - x_{EG} \cdot y_{EB} \cdot x_{EB}^{-1})}.$$

Определим проекции векторов аналогов скоростей в кинематических парах:

$$x_G^{'} = \det(x_G^{'}, y_G^{'}) / \det(x_G^{'}) \,;$$

$$y_G^{'} = \det(x_G^{'}, y_G^{'}) / \det(y_G^{'}) \,;$$

$$x_K^{'} = c_4 \cdot x_G^{'} + c_8 \cdot y_G^{'} \,;\; y_K^{'} = c_6 \cdot x_G^{'} + c_{10} \cdot y_G^{'} \,;$$

$$x_F^{'} = c_3 \cdot x_G^{'} + c_7 \cdot y_G^{'} + c_{11} \,;$$

$$y_F^{'} = c_5 \cdot x_G^{'} + c_9 \cdot y_G^{'} + c_{12};$$

$$y_E^{'} = c_{14} \cdot x_G^{'} + c_{15} \cdot y_G^{'} - c_{16} \,;$$

$$x_E^{'} = c_{17} - c_{18} \cdot y_E^{'} \,;$$

$$y_C^{'} = c_{19} \cdot x_G^{'} + c_{20} \cdot y_G^{'} \,;\; x_C^{'} = -c_{21} \cdot y_C^{'} \,;$$

$$x_L^{'} = f_{Lx} \cdot x_G^{'} - f_{Ly} \cdot y_G^{'} \,;\; y_L^{'} = f_{Ly} \cdot x_G^{'} + f_{Lx} \cdot y_G^{'} \,,$$

где $c_{14} = x_{EG} / (y_{EG} - x_{EG} \cdot y_{EB} \cdot x_{EB}^{-1})$;

$c_{15} = y_{EG} / (y_{EG} - x_{EG} \cdot y_{EB} \cdot x_{EB}^{-1})$;

$$c_{16} = c_1 \cdot x_{EG} / (y_{EG} \cdot x_{EB} - x_{EG} \cdot y_{EB});$$

$$c_{17} = c_1 / x_{EB} \,;\; c_{18} = y_{EB} / x_{EB} \,;$$

$$c_{19} = (x_{LC} \cdot f_{Lx} + y_{LC} \cdot f_{Ly}) / (y_{LC} -$$

$$- y_{CD} \cdot x_{LC} \cdot x_{CD}^{-1}) \,;$$

$$c_{20} = (y_{LC} \cdot f_{Lx} - x_{LC} \cdot f_{Ly}) / (y_{LC} - y_{CD} \cdot x_{LC} \cdot x_{CD}^{-1});$$

$$c_{21} = y_{CD} / x_{CD}.$$

Аналог угловой скорости звена с найдем по формуле $\psi' = (x_{CD} \cdot y'_C - y_{CD} \cdot x'_C) / c^2$.

Для определения аналогов ускорений предварительно вычислим переменные коэффициенты:

$$d_1 = (x'_E + y_B) \cdot x'_E + (y'_E - x_B) \cdot y'_E - (x'_E + y_B) \cdot (-y_B) - (y'_E - x_B) \cdot x_B; \; d_2 = (x'_E - x'_G) \cdot x'_E +$$

$$+(y'_E - y'_G) \cdot y'_E + (y'_E - x'_G) \cdot y'_G - (y'_E - y'_G) \cdot y'_G; \; d_3 = x'^2_G + y'^2_G; \; d_4 = x'^2_L + y'^2_L;$$

$$d_5 = (x'_L - x'_C) \cdot x'_E + (y'_L - y'_C) \cdot y'_L - (x'_L - x'_C) \cdot y'_C - (y'_L - y'_C) \cdot y'_C; \; d_6 = x'^2_C + y'^2_C; \; d_7 = d_6 / x_{CD};$$

$$d_8 = x_{LC} \cdot d_7 + d_5; \; d_9 = d_8 / (y_{LC} - y_{CD} \cdot x_{LC} \cdot x_{CD}^{-1}); \; d_{10} = (c_2 - d_1) / x_{EB};$$

$$d_{11} = (d_2 + x_{EG} \cdot d_{10}) / (y_{EG} - x_{EG} \cdot y_{EB} \cdot x_{EB}^{-1}); \; d_{12} = f_{Kx} \cdot (d_9 \cdot y_{CD} \cdot x_{CD}^{-1} + d_7) + d_9 \cdot (f_{Ky} - y_{CD} \cdot x_{CD}^{-1}) - d_7;$$

$$d_{14} = d_9 \cdot (1 - f_{Kx}) + f_{Ke} \cdot (d_9 \cdot y_{CD} \cdot x_{CD}^{-1} + d_7); \; d_{15} = (x'_F - x'_K) \cdot x'_F + (y'_F - y'_K) \cdot y'_F - (x'_F - x'_K) \cdot y'_F -$$

$$-(y'_F - y'_K) \cdot y'_F; \; d_{16} = f_{Fx} \cdot (d_{10} + d_{11} \cdot y_{EB} \cdot x_{EB}^{-1}) + d_{11} \cdot f_{Fy}; \; d_{17} = f_{Fy} \cdot (d_{10} + d_{11} \cdot y_{EB} \cdot x_{EB}^{-1}) + d_{11} \cdot f_{Fx};$$

$$d_{18} = x_{FK} \cdot (d_{16} - d_{12}) + y_{FK} \cdot (d_{17} - d_{14}) + x_{LG} \cdot (f_{Lx} - 1) + y_{LG} \cdot f_{Ly}.$$

Аналоги ускорений определятся из выражений:

$$\det(x''_G, y''_G) = b_3 \cdot b_4 - b_1 \cdot b_2; \det(x''_G) = (d_4 - d_3) \cdot b_4 - d_{18} \cdot b_2; \; \det(y''_G) = -b_3 \cdot d_{18} - b_1 \cdot (d_4 - d_3);$$

$$x''_G = \det(x''_G, y''_G) / \det(x''_G); \; y''_G = \det(x''_G, y''_G) / \det(y''_G); \; x''_K = c_4 \cdot x''_G + c_8 \cdot y''_G + d_{12}; \; y''_K = c_6 \cdot x''_G +$$

$$+c_{10} \cdot y''_G + d_{14}; \; x''_F = c_3 \cdot x''_G + c_7 \cdot y''_G + d_{16}; \; y''_F = c_5 \cdot x''_G + c_9 \cdot y''_G + d_{17}; \; y''_E = c_{14} \cdot x''_G + c_{15} \cdot y''_G - d_{11};$$

$$x''_E = d_{10} - c_{18} \cdot y''_E; \; y''_C = c_{19} \cdot x''_G + c_{20} \cdot y''_G + d_9; \; x''_C = -c_{21} \cdot y''_C - d_7; x''_L = f_{Lx} \cdot x''_G - f_{Ly} \cdot y''_G;$$

$$y''_L = f_{Ly} \cdot x''_G + f_{Lx} \cdot y''_G.$$

Тогда формула для вычисления аналога углового ускорения будет иметь вид:

$$\psi'' = (x_{CD} \cdot y''_C - y_{CD} \cdot x''_C) / c^2.$$

Поставленная задача получению аналитических зависимостей аналогов скоростей и ускорений рычажного механизма IV класса выполнена полностью.

Построенные по результатам расчета диаграммы, представленные на рис. 2, полностью отражают характер изменения кинематических параметров рычажного механизма IV класса с выстоем выходного звена.

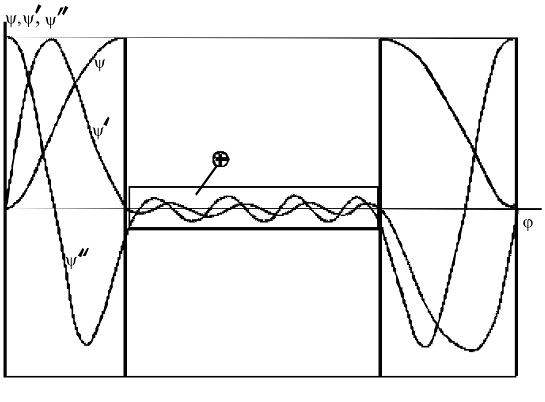

Рис.2. График перемещения, аналог скорости и ускорения выходного звена с увеличенным фрагментом скоростей и ускорений на участке выстоя

Список литературы

1. Численный метод кинематического анализа рычажных механизмов с выстоем выходного звена на основе уравнений связи / В.Г. Хомченко, Е.С. Гебель, Е.В. Солонин, А.А. Бурлаков // Динамика систем, механизмов и машин: Материалы VI междунар. науч.-техн. конф. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. – Rн. 1. – С. 92-97.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МЕМБРАННОГО АППАРАТА НОВОГО ТИПА С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Шушпанников А.С.

ФБГОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности», Кемерово, e-mail: antt_sh@mail.ru

В современном мире остро стоит проблема полного использования пищевого сырья и, в частности, проблема разделения компонентов пищевого сырья для последующего синтеза на их основе разнообразных пищевых продуктов. В связи с этим в последние десятилетия особое внимание на себя обратили мембранные технологии, которые по сравнению с традиционными методами разделения обладают рядом преимуществ (энергоэффективность, отсутствие воздействия высоких температур и т. д.). Однако есть у них и недостатки. Наиболее существенным является образование на мембране слоя с повышенной концентрацией задерживаемых веществ (явление концентрационной поляризации), что в дальнейшем приводит к образованию слоя геля на её поверхности. Именно в нём сосредоточено основное сопротивление массопереносу.