

КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПОДАЧИ ПРОДУКТА

Заплетников И.Н. д-р техн. наук, профессор, Пильненко А.К. ст. преподаватель
Донецкий национальный университет экономики и торговли имени
Михаила Туган-Барановского, г. Донецк

В статье определены кинематические параметры работы механизма подачи продукта, который совершает качательное движение на рабочий орган дисковый нож.

In this article the kinematical parameters of the feeding mechanism of the product, which makes rocking motion of the working organ the disk blade.

Ключевые слова: процес срезания, кинематическое исследование, механизм подачи, дисковый нож.

Для процесса резания предъявляются следующие основные требования:

- измельчение продукта должно осуществляться на части заданных форм;
- обеспечивать рациональное и безотходное разделение;
- обеспечивать необходимое качество поверхности разделения;
- режущий инструмент должен обладать высокой режущей способностью, износостойкостью и нейтральными свойствами поверхности материала и инструмента к продукту;
- обеспечивать условия для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов производства.

Выполнение этих требований зависит от конструкции, качества изготовления и кинематики режущих рабочих органов. От кинематических и динамических характеристик системы машина-инструмент-материал зависит качество и свойства готовой продукции.

Применяют режущие инструменты разнообразных форм и конфигураций. Для резания пластичных пищевых материалов наибольшее распространение получили дисковые ножи. Скорость движения режущих инструментов находится в широких границах – от 1 до 100 м/с, а скорость подачи продукта составляет 0,1...0,001 скорости движения режущего инструмента. [1].

Приведенные в литературе результаты исследований процессов измельчения различных материалов [1,2,3] свидетельствуют о значительном влиянии способов подачи продукта на режущий механизм. Однако кинематическое исследование в литературе не проводилось. Целью работы является исследование кинематических и динамических характеристик процесса резания при качательном движении продукта.

Для осуществления процесса резания необходимо относительное перемещение рабочего инструмента и продукта. Известно четыре основных вида рабочих движений и соответственно четыре класса режущих машин: вращательное, возвратно-поступательное, колебательное и поступательное [4]. Дисковые ножи совершают равномерно-вращательное движение, которое может быть попутным или встречным по отношению к направлению подачи продукта.

Скользящее резание применяют для разрезания пластичных продуктов с невысокой механической прочностью. Применение скользящего резания определяется физико-механическими свойствами продукта, требованиями, предъявляемыми к качеству поверхности отрезаемых кусочков, а также энергетическими показателями. Характер резания гастрономии в машинах является скользящим, что обеспечивает хорошее качество поверхности среза. Для осуществления такого режима резания в машинах применяют ножи с круговым лезвием (дисковые ножи).

Дисковым ножом скользящее резание производится путем: вращения ножа и возвратно-поступательного движения продукта, вращения ножа и качательного (маятникового) движения продукта (рис. 1), вращения ножа и вращения продукта, планетарного движения ножа при неподвижном продукте.

При вращательном движении дискового ножа и качательном (маятниковом) или вращательном движении продукта (рис. 1) скорость резания V_p равна векторной сумме двух скоростей: скорости точки С, лежащей на режущей кромке ножа относительно оси вращения А, V_n и скорости точки С, принадлежащей продукту, относительно оси вращения В, взятой с обратным знаком $-V_{np}$.

Скорость V_n направлена перпендикулярно радиусу СА в сторону вращения дискового ножа. Скорость $-V_{np}$ направлена перпендикулярно радиусу СВ в сторону, обратную движению продукта. Складывая эти скорости (V_n и $-V_{np}$) по правилу параллелограмма, получим скорость резания V_p . Касательную V_{ni} нормальной V_n составляющие скорости резания V_p получим, спроектировав последнюю на соответствующую касательную и нормаль к режущей кромке ножа, проведенные через точку С.

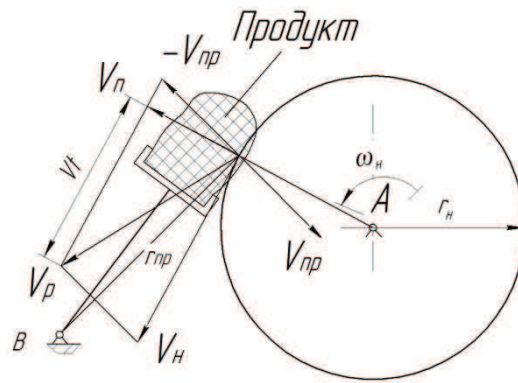


Рис. 1 – Схема скользящего резания при качательном движении продукта и вращательного движения дискового ножа

Подача продукта в процессе резания (рис.1) осуществляется возвратно-вращательным движением. Такое движение совершает четырехзвенный шарнирный механизм.

Графические методы кинематического анализа наглядны и универсальны, но не всегда обладают той точностью, которая бывает необходима в конкретных задачах анализа механизма.

Для кинематического анализа шарнирного четырехзвенника применяем аналитический метод, который позволит выявить взаимосвязь кинематических параметров механизма с его метрическими параметрами, т.е. размерами звеньев, с любой степенью точности. Полученная связь между основными кинематическими и структурными параметрами механизма вычисляется с помощью программного обеспечения MathCAD на ПК, при помощи которой можно получить все необходимые результаты.

Механизм подачи продукта представляет четырехшарнирный механизм представлен на рис. 2.

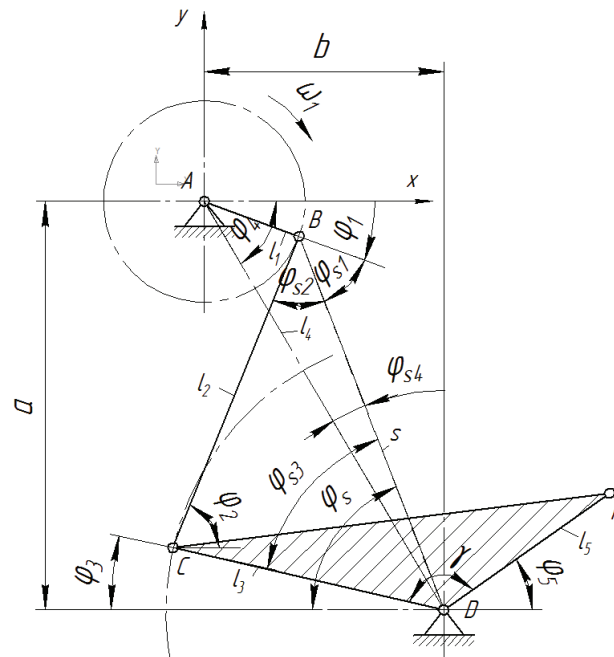


Рис. 2 – Четырехшарнирный механизм подачи продукта

Кинематическое исследование механизма, т.е. изучение движения звеньев механизма без учета сил, обуславливающих это движение, состоит в основном в решении трех следующих задач:

- определение перемещений звеньев и траекторий, описываемых точками звеньев;
- определение скоростей отдельных точек звеньев и угловых скоростей звеньев;
- определение ускорений отдельных точек звеньев и угловых скоростей ускорений звеньев.

Начальное звено $l_1(AB)$ вращается равномерно с постоянной угловой скоростью $\omega_1 = \text{const}$, т.е. угловое ускорение ϵ_{ω_1} равно нулю ($\epsilon_{\omega_1} = 0$). Закон движения начального звена $l_1(AB)$ задан в виде функции скорости $\omega_1(t) = 4,2 \text{ рад/с}$.

Функция перемещения начального звена l_1 (AB) определяется путем вычисления интеграла $\varphi_1(t) = \int \omega_1(t) dt$. Функция перемещения l_1 (AB)

$$\varphi_1(t) = 4,2t + \varphi_0, \text{ рад} \quad (1)$$

где φ_0 - начальный угол положения.

По условию сборки четырехзвенного механизма угловые скорости звеньев l_1 и l_3, l_5 имеют противоположные знаки.

Аналитическое исследование механизма выполняем методом векторных контуров, разработанным В.А. Зиновьевым. [5].

Определение положений звеньев l_2, l_3 и l_5 будут определяться углами соответственно $\varphi_2, \varphi_3, \varphi_5$ ($\varphi_2(t) = \varphi_2(\varphi_1(t)), \varphi_3(t) = \varphi_3(\varphi_1(t)), \varphi_5(t) = \varphi_5(\varphi_1(t))$).

$$\varphi_3(t) = \arctg\left(\frac{l_4 \sin \varphi_4 - l_1 \sin \varphi_1}{l_4 \cos \varphi_4 - l_1 \cos \varphi_1}\right) - \arccos\left(\frac{l_3^2 - l_2^2 + l_1^2 + l_4^2 - 2l_1 \cdot l_4 \cos(\varphi_4 - \varphi_1)}{2l_3 \sqrt{l_1^2 + l_4^2 - 2l_1 \cdot l_4 \cos(\varphi_4 - \varphi_1)}}\right) \quad (2)$$

$$\varphi_2(t) = \pi - \arctg\left(\frac{l_4 \sin \varphi_4 - l_1 \sin \varphi_1}{l_4 \cos \varphi_4 - l_1 \cos \varphi_1}\right) - \arccos\left(\frac{l_2^2 - l_3^2 + l_1^2 + l_4^2 - 2l_1 \cdot l_4 \cos(\varphi_4 - \varphi_1)}{2l_2 \sqrt{l_1^2 + l_4^2 - 2l_1 \cdot l_4 \cos(\varphi_4 - \varphi_1)}}\right) \quad (3)$$

Для определения скоростей и ускорений звеньев механизма составляем векторное уравнение замкнутости контура $ABCD$. $\overline{AB} + \overline{BD} + \overline{CD} = \overline{AD} \Rightarrow l_1 + l_2 + l_3 - l_4 = 0$.

Проектируем это уравнение на оси Ox и Oy , получаем

$$\begin{cases} l_1 \cos \varphi_1 - l_2 \cos \varphi_2 + l_3 \cos \varphi_3 - l_4 \cos \varphi_4 = 0 \\ -l_1 \sin \varphi_1 - l_2 \sin \varphi_2 - l_3 \sin \varphi_3 = -l_4 \sin \varphi_4 \end{cases}$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ - углы, образованные осями звеньев l_1, l_2, l_3, l_4 .

$$\begin{cases} l_1 \cos \varphi_1 - l_2 \cos \varphi_2 + l_3 \cos \varphi_3 = l_4 \cos \varphi_4 \\ l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 + l_3 \sin \varphi_3 = l_4 \sin \varphi_4 \end{cases} \quad (4)$$

Для определения угловых скоростей ω_2 и ω_3 звеньев l_2 и l_3 дифференцируем уравнения (4) по обобщенной координате φ_1 . Получаем

$$\begin{cases} -l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 \cdot \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} - l_3 \sin \varphi_3 \cdot \frac{d\varphi_3}{d\varphi_1} = 0 \\ l_1 \cos \varphi_1 - l_2 \cos \varphi_2 \cdot \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} + l_3 \cos \varphi_3 \cdot \frac{d\varphi_3}{d\varphi_1} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Имея в виду, что $\varphi_2/\varphi_1 = i_{21}$ есть аналог угловой скорости ω_2 звена l_2 , и $\varphi_3/\varphi_1 = i_{31}$ есть аналог угловой скорости ω_3 звена l_3 , получаем

$$\begin{cases} i_{21} \cdot l_2 \sin \varphi_2 - l_1 \sin \varphi_1 - i_{31} \cdot l_3 \sin \varphi_3 = 0 \\ l_1 \cos \varphi_1 + i_{21} \cdot l_2 \cos \varphi_2 + i_{31} \cdot l_3 \sin \varphi_3 = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Для уравнения (6) из углов, входящих в уравнение, вычитаем φ_3 :

$$i_{21} \cdot l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3) = l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_3) \Rightarrow i_{21} = \frac{l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_3)}{i_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3)} \quad (7)$$

Для уравнения (6) из углов, входящих в уравнение, вычитаем φ_2 :

$$-l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2) = i_{31} l_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_2) \Rightarrow i_{31} = -\frac{l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2)}{i_2 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)} \quad (8)$$

Для определения угловых скоростей ω_2 и ω_3 звеньев l_2 и l_3 дифференцируем уравнения (4) по обобщенной координате φ_1 .

В результате находим угловые скорости звеньев ω_2 и ω_3

$$\omega_2 = \omega_1 \cdot \frac{i_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_3)}{i_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3)} \quad (9)$$

$$\omega_3 = -\omega_1 \cdot \frac{i_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_3)}{i_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)} \quad (10)$$

Для определения угловых ускорение ε_2 и ε_3 звеньев l_2 и l_3 дифференцируем по обобщенной координате φ_1 уравнение (6).

$$\begin{cases} \frac{d^2\varphi_2}{d\varphi_1} l_2 \sin \varphi_2 + \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} l_2 \cos \varphi_2 - l_1 \cos \varphi_1 - \frac{d^2\varphi_3}{d\varphi_1^2} l_3 \sin \varphi_3 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_1} l_3 \cos \varphi_3 = 0 \\ -l_1 \sin \varphi_1 + \frac{d^2\varphi_2}{d\varphi_1^2} l_2 \cos \varphi_2 - \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} l_2 \sin \varphi_2 + \frac{d^2\varphi_3}{d\varphi_1^2} l_3 \cos \varphi_3 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_1} l_3 \sin \varphi_3 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} i'_{21} \cdot l_2 \cdot \sin \varphi_2 + i_{21}^2 \cdot l_2 \cdot \cos \varphi_2 - l_1 \cos \varphi_1 - i'_{31} \cdot l_3 \sin \varphi_3 - i_{31}^2 \cdot l_3 \cdot \cos \varphi_3 = 0 \\ -l_1 \sin \varphi_1 + i'_{21} \cdot l_2 \cos \varphi_2 - i_{21}^2 \cdot l_2 \sin \varphi_2 + i'_{31} \cdot l_3 \cos \varphi_3 - i_{31}^2 \cdot l_3 \cdot \sin \varphi_3 = 0 \end{cases} \quad (11)$$

где i_{21}, i_{31} - аналоги угловых скоростей, i'_{21}, i'_{31} - аналоги угловых ускорение.

Для определения i'_{21} в уравнении (11) из всех углов вычитаем φ_3 :

$$\begin{aligned} i'_{21} l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3) + i_{21}^2 l_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_3) - l_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_3) - i_{31}^2 \cdot l_3 = 0 \\ i'_{21} = \frac{-i_{21}^2 l_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_3) + l_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_3) + i_{31}^2 \cdot l_3}{l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3)} \end{aligned}$$

Для определения i'_{31} в уравнении (11) из всех углов вычитаем φ_2 :

$$\begin{aligned} i_{21}^2 l_2 - l_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) - i'_{31} l_1 \sin(\varphi_3 - \varphi_2) - i_{31}^2 \cdot l_3 \cos(\varphi_3 - \varphi_2) = 0 \\ i'_{31} = \frac{i_{21}^2 l_2 - l_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + i_{31}^2 \cdot l_3 \cos(\varphi_3 - \varphi_2)}{l_1 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)} \end{aligned}$$

Истинные ускорения ε_2 и ε_3 звеньев l_2 и l_3 , согласно формуле, равны

$$\varepsilon_2 = \omega_1^2 i_{21}^2 + \varepsilon_1 i_{21} \quad \varepsilon_3 = \omega_1^2 i_{31}^2 + \varepsilon_1 i_{31} \quad (12)$$

где ω_1 - заданная угловая скорость, ε_1 - угловое ускорение звена l_1 . ($\varepsilon_1 = 0$).

Определяем общее ускорение звена l_5 , $a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}$

где $a_n = \omega_3^2 l_5$ - нормальное ускорение, $a_t = \varepsilon_3 l_5$ - тангенциальное ускорение.

$$a = \sqrt{\omega_3^4 l_5^2 + \varepsilon_3^2 l_5^2} = l_5 \sqrt{\omega_3^4 + \varepsilon_3^2} \quad (15)$$

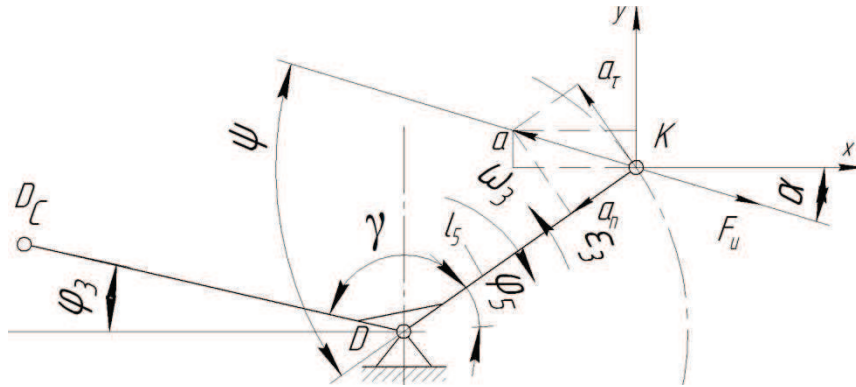


Рис. 3 – Схема определения направления общего ускорения рычага подачи l_5

Проекция общего ускорения на ось x и y :

$$a_x = a \cdot \cos \alpha \quad a_y = a \cdot \sin \alpha$$

Из заданный значений углов φ_3, γ и длины рычага l_5 по схеме рис. 3. Определяем угол поворота φ_5, ψ и α :

$$\varphi_5(t) = \pi - \varphi_3 - \gamma \quad (15)$$

$$\sin \psi = a_t / a = \frac{\varepsilon_3 l_5}{l_5 \sqrt{\omega_3^4 + \varepsilon_3^2}} = \frac{\varepsilon_3}{\sqrt{\omega_3^4 + \varepsilon_3^2}}$$

$$\psi(t) = \arcsin \frac{\varepsilon_3}{\sqrt{\omega_3^4 + \varepsilon_3^2}} \quad (16)$$

$$\alpha(t) = \varphi_5(t) - \psi(t) \quad (17)$$

Численне рішення виконано з допомогою програмного забезпечення MathCAD.
 Были приняты исходные данные значения длин механизма $l_1=0,05\text{м}$, $l_2=0,17\text{м}$, $l_3=0,09\text{м}$, $l_5=0,185\text{м}$ и угловой скорости $\omega_1=4,2\text{ рад/с}$. Для построения была использована формула (10), (15).

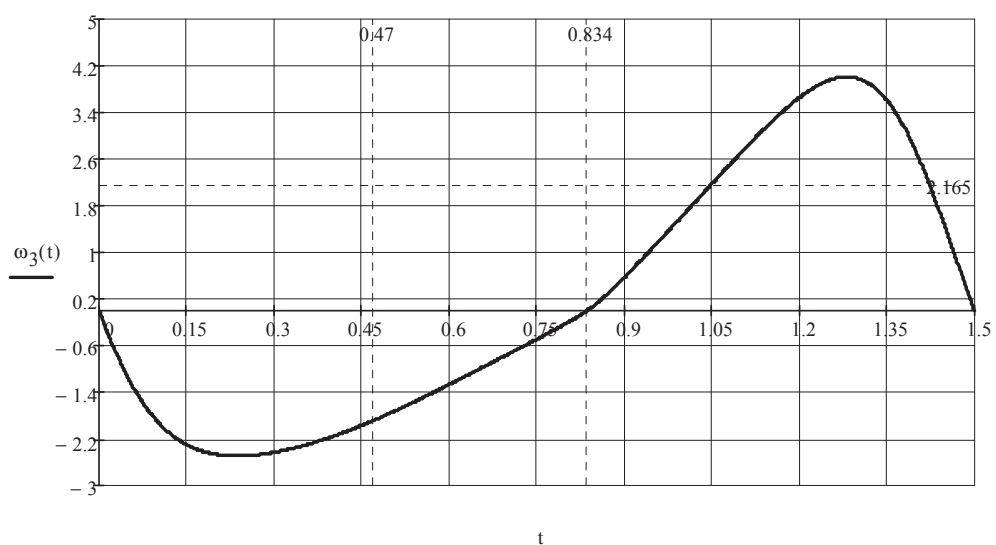


Рис. 4 – График функции угловой скорости $\omega_3(t)$ рычага подачи (звена l_5).

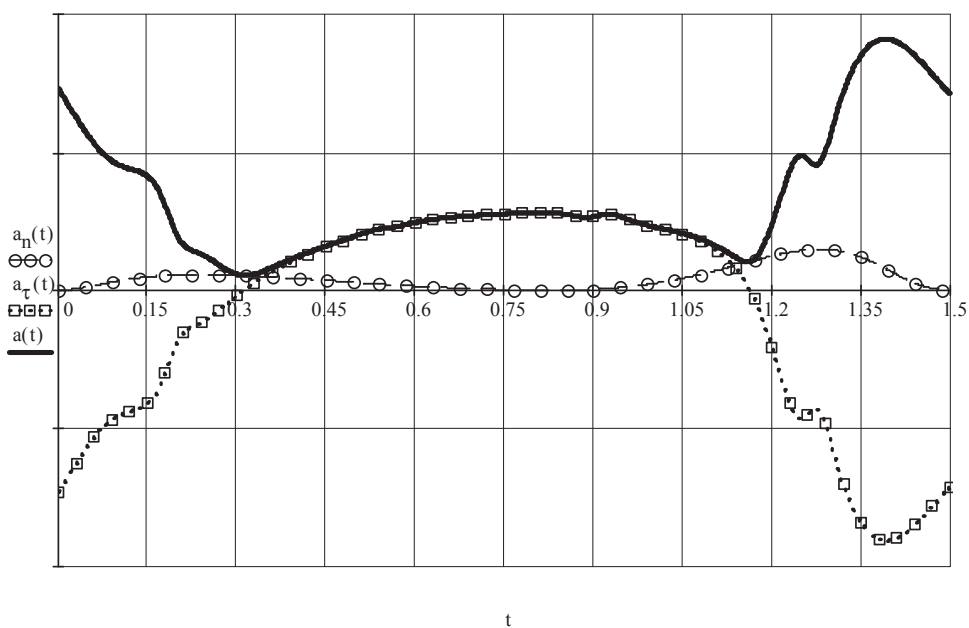
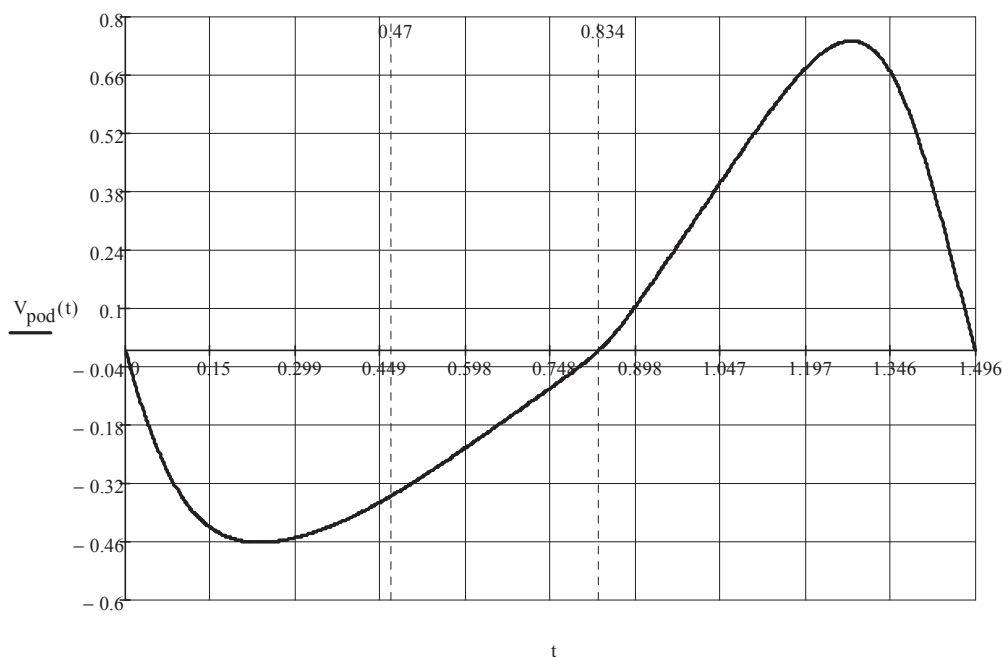


Рис. 5 – График функции нормального $a_n(t)$, тангенциального $a_t(t)$, общего ускорения $a(t)$ рычага подачи (звена l_5).

Рис. 6 – График функции скорости подачи продукта (звена l_5)**Выводы**

Приведенный аналитический анализ механизма позволяет определить кинематические параметры качательной подачи продукта на дисковый нож. Перспективами дальнейших исследований является исследование динамических характеристик процесса резания дисковым ножом и качательным способом подачи продукта.

Литература

1. Пелеев А.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности/А.И. Пелеев. – М.: Пищ. промышленность, 1971.– 518 с.
2. Гордон Л.И. Расчет и конструирование торгово-технологического оборудования: Учеб.пособие/ Л. И. Гордон, Т.А. Корнюшко, И.И. Лангенбах и др.;- Л., Машиностроение, 1985. – 335 с.
3. Даурский А.Н. Резание пищевых материалов: Теория процесса, машины, интенсификация/А.Н. Даурский, С.А. Мачихин. - М.: Пищ. промышленность, 1980.– 240с.
4. Резник Н.Е. Теория резания лезвия и основы расчета режущих аппаратов / Н.Е. Резник. – М. Машиностроение, 1975. – 311с.
5. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. –М.: Наука. Гл. ред. физ.–мат. лит., 1988.–640 с.