

## Исследование линейной скорости конусного дезинтегратора

<sup>1</sup>Яруллин Мунир Гумерович\*, <sup>2</sup>Хабибуллин Фаниль Фаргатович

<sup>1,2</sup> Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ), г.Казань, ул.Карла Маркса, д.10,  
<sup>1</sup>yarullinmg@yahoo.com\*, <sup>2</sup>faniil\_arsk@mail.ru

### Abstract

Researched the parameters of the linear velocity of the characteristic points of the working body. Defined the values of the linear velocity on techniques: analytical calculations, CAD/CAE analysis, experimental measurements. Analyzing the values of extreme points obtained by all three methods.

**Ключевые слова:** механизм Беннетта, параллелограмм, антипараллелограмм, линейная скорость, точка экстремума.

### Введение

Конусный дезинтегратор дробления, имеющий в приводе параллелограмм и антипараллелограмм Беннетта (см. рис. 1) [1], в отличие от дезинтегратора [2] за счет неравномерного вращения ведомых кривошипов [3-7] обеспечивает более качественное и эффективное дробление материала.

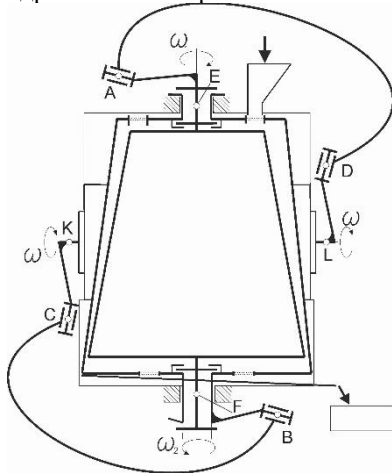


Рис. 1. Структурная схема дезинтегратора неравномерного дробления

Изучение параметров линейной скорости характерных точек конусов как одного из основных факторов, влияющих на процесс дробления [8], является весьма актуальной.

Линейные скорости и их свойства можно определить по следующим методам:

1. Аналитические расчеты;
2. CAD/CAE анализ;
3. Экспериментальные измерения.

С целью обеспечения точности и адекватности сравниваемых результатов указанными выше методами, введем понятие «характерные точки», расположенные на образующей линии конуса через фиксированные расстояния. Для удобства технических измерений, в наших исследованиях характерные точки приняты согласно рисунку 2, причем  $l_1=15$  мм,  $l_2=90$  мм,  $l_3=115$  мм и, соответственно,  $r_1=60$  мм,  $r_2=57,19$  мм,  $r_3=45,9$  мм, а также частоту вращения ведомого звена принимаем  $n=120$  об/мин. Угловая скорость определяется по формуле (1):

$$w = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14159 \cdot 120}{60} = 12,566 \text{ рад/с.} \quad (1)$$

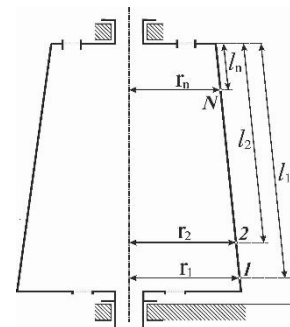


Рис. 2. Координаты расположения характерных точек на рабочем конусе

### Метод аналитических расчетов

Значение средней линейной скорости на выбранных характерных точках определяется по формуле 2:

$$V_{n-mid}^{th} = w \cdot r_n \quad (2)$$

где  $w$  - угловая скорость конуса, рад/с;

$r_n$  - радиус конуса на характерной точке, мм.



$$V_{1-mid}^{th} = w \cdot r_1 = 12,56 \cdot 0,06 = 0,7536 \text{ м/с} = 753,6 \text{ мм/с};$$

$$V_{2-mid}^{th} = w \cdot r_2 = 12,56 \cdot 0,057 = 0,717 \text{ м/с} = 717,1 \text{ мм/с};$$

$$V_{3-mid}^{th} = w \cdot r_3 = 12,56 \cdot 0,046 = 0,576 \text{ м/с} = 576,5 \text{ мм/с}.$$

### Метод CAD/CAE анализа

Рассмотрим компьютерную модель, в которой вращательное движение от ведущего звена к ведомому звену передается через механизм Беннетта. Ведущий кривошип вращается со скоростью 120 об/мин. Определяем поступательную скорость на поверхности конуса при  $r_1=60$  мм,  $r_2=57,19$  мм,  $r_3=45,9$  мм. CAD/CAE анализ позволяет получить график изменений линейных скоростей в характерных точках (см. рис.3).

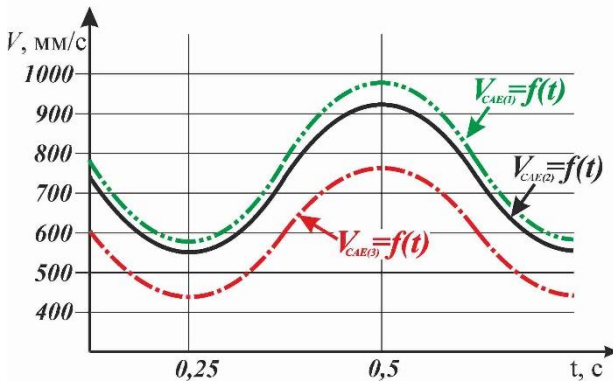


Рис. 3. График изменений линейных скоростей в характерных точках

Анализ графика изменений линейных скоростей показывает, что ведомый кривошип вращается с переменной скоростью. Максимальная линейная скорость характерной точки при радиусе  $r=60$  мм равна 984 мм/с, минимальная линейная скорость 580 мм/с. Среднее значение линейной скорости определяется по формуле (3):

$$V_{1-mid}^{CAE} = \frac{V_{1-max}^{CAE} + V_{1-min}^{CAE}}{2} \quad (3)$$

Аналогичным способом определяются параметры линейной скорости при  $r_2=57,19$  мм,  $r_3=45,9$  мм (см. табл. 1).

Таблица 1. Значения линейных скоростей, полученных CAD/CAE анализом

$l_n$ , мм	$r_n$ , мм	$V_n^{CAE}$ , мм/с		$V_{n-mid}^{CAE}$ , мм/с
115	60	max	984	782
		min	580	
90	57,19	max	936	746
		min	556	
15	45,9	max	750	598
		min	446	

Таблица 2. Значения линейных скоростей, полученных экспериментальным путем

$l_n$ , мм	$V_n^{exp}$ , м/мин		$V_n^{exp}$ , мм/с	$V_{n-mid}^{exp}$ , мм/с
115	max	50,02	833,666	791,616
	min	44,974	749,566	
90	max	48,38	806,333	765,333
	min	43,46	724,333	
15	max	39,59	659,833	630,849
	min	36,112	601,866	

Таблица №3. Значения линейных скоростей, полученных аналитическим, CAD/CAE и экспериментальными методами

$l_n$ , мм	$V_{n-mid}^{th}$ , мм/с	$V_n^{CAE}$ , мм/с		$V_n^{exp}$ , мм/с	
		max/min	mid	max/min	mid
115	753,6	984	782	833,666	791,616
		580		749,566	
90	717,1	936	746	806,333	765,333
		556		724,333	
15	576,5	750	598	659,833	630,849
		446		601,866	

### Метод экспериментальных измерений

Измерения линейной скорости поверхности внешнего конуса производились для тех же характерных точек, т.е. при  $l_1=15$  мм,  $l_2=90$  мм,  $l_3=115$  мм, при соответствующих им радиусах  $r_1=60$  мм,  $r_2=57,19$  мм,  $r_3=45,9$  мм. При измерениях цифровой тахометр АТТ-6001 показывал: максимальную  $V_{n-max}^{exp}$ , минимальную  $V_{n-min}^{exp}$  и среднюю линейную  $V_{n-mid}^{exp}$  скорости, м/мин.

С целью получения более точного среднего суммарного значения максимальных и минимальных параметров линейной скорости на каждой характерной точке, измерения проводились пятикратной повторяемостью. Полученные параметры представлены в таблице 2.

### Анализ полученных данных

Для анализа и сравнения результатов исследуемых линейных скоростей, полученных выше указанными методами, приведена таблица №3 и рисунки 4,5.

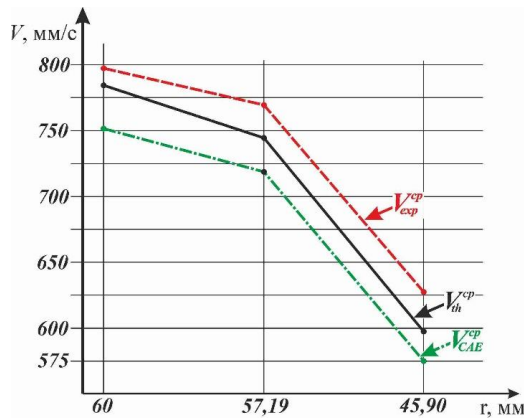


Рис. 4. График изменений средней линейной скорости в зависимости от радиуса характерных точек на поверхности конуса

На графике изменений средней линейной скорости по вертикальной оси представлены параметры линейной скорости (мм/с), по горизонтальной оси представлены параметры радиуса внешнего конуса (мм). Небольшая разница между средними значениями характерных точек теоретических, компьютерных и экспериментальных данных подтверждает достоверность полученных результатов.

Максимальные и минимальные параметры (экстремумы) линейной скорости неравномерного вращения компьютерной модели должны совпадать с соответствующими максимальными и минимальными параметрами, полученными экспериментальным путем.

$$\Delta w_{n-max} = w_{n-max}^{CAE} - w_{n-max}^{exp} \Rightarrow 0$$

$$\Delta w_{n-min} = w_{n-min}^{CAE} - w_{n-min}^{exp} \Rightarrow 0$$

На основе параметров, полученных при  $r_1=60$  мм, построен график точек экстремумов, приведенный на рисунке 5.

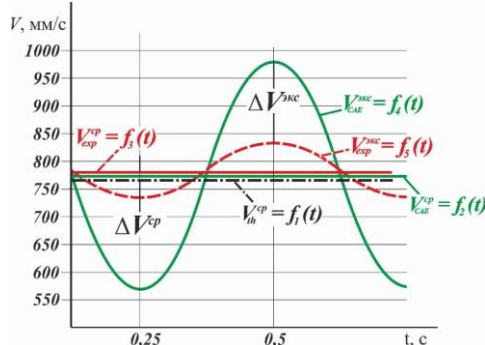


Рис. 5. График, построенный на значениях экстремума для характерной точки  $r_1=60$

На графике по вертикальной оси представлена поступательная скорость в мм/с, а по горизонтальной оси представлено время в секундах с учетом, что ведомое звено за 0,5 секунду совершает один полный оборот.

Анализ графиков скоростей представленных на рисунке 4 показывает, что максимальная разница между средними значениями скоростей равна 38 мм/с, что составляет не более 4,92% относительной погрешности. Разница между значениями экстремума (максимальные, минимальные) составляет 16,53 % относительной погрешности. Что объясняется силой инерции конуса, силой инерции звеньев и влиянием неравномерного вращения ведомого звена на ведущее звено.

Уменьшение неравномерности конуса для реальной установки по указанным выше причинам положительно влияет на динамику работы дезинтегратора, тем не менее, неравномерность вращения конуса положительно влияет на динамику процесса разрушения материала. Таким образом, результаты исследования кинематики характерных точек конуса дезинтегратора являются: во-первых, исходным материалом для исследования динамики дробления, режима работы и производительности устройства; во-вторых, подтверждает правильность полученных теоретических, компьютерных и экспериментальных исследований.

## Список литературы

- [1]. Пат. № 2581487 Российская Федерация МПК В02С 2/10. Дезинтегратор неравномерного дробления/ Яруллин М.Г., Мингазов М.Р., Исянов И.Р., Хабибуллин Ф.Ф. Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева (КНИТУ-КАИ), Регистрационный №2014153937/13 от 29 декабря 2014, опубл. 20.04.2016 Бюл. №11
- [2]. Пат. 2538389 Российская Федерация, МПК В02С2/04, В02С13/20. Дезинтегратор /Яруллин М. Г., Хабибуллин Ф.Ф., Исянов И. Р.// заявитель Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КГАСУ) Регистрационный № 2013125888/13 от 04 июня 2013 года, опубл. 10.12.2014. Бюл. №1
- [3]. Яруллин М.Г., Хабибуллин Ф.Ф. Кинематика двухподвижного дезинтегратора с приводом на базе пространственных 4к-механизмов/ Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. Т. 71. С. 108-111.
- [4]. Yarullin M.G., Khabibullin F.F., Isyanov I.R., Nonlinear crushing dynamics in two-degree of

freedom disintegrator based on the Bennett's linkage. *Vibroengineering PROCEDIA*, Vol. 8, 2016, p. 477-482.

- [5]. Евграфов А.Н. Расчет геометрических и кинематических параметров пространственного рычажного механизма с избыточной связью /А.Н.Евграфов, Г.Н. Петров // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2013. No3. с.3-8.
- [6]. J. McCarthy, *Geometric Design of Linkages*, Springer, New York, 2000.
- [7]. Rasim İ.Alizade et. al., 2014, *Function Systems of*

*Bennet 6R Mechanisms Using Chebyshev Approximation*. Elsevier, *Mechanism and Machine Theory*, Volume 81, pp.62-78

- [8]. Яруллин М.Г., Хабибуллин Ф.Ф. Теоретические и практические условия проворачиваемости механизма Беннетта, *Материалы 5-й Международной научно-практической конференции «Машиностроение. Наука и образование ММЕСЕ-2016»*. 30.06-01.07.2016, С 306-316.

## Кинематика двухподвижного плоского пятизвенного механизма манипулятора

<sup>1</sup>Яруллин Мунир Гумерович\*, <sup>2</sup>Исянов Илнур Рафаилевич\*

<sup>1,2</sup> Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ), г.Казань, ул.Карла Маркса, д.10,

<sup>1</sup>yarullinmg@yahoo.com\*, <sup>2</sup>isyanov1993@mail.ru

### Abstract

The mathematical model of the kinematics of a planar five-link mechanism with two degrees of freedom. Shown the equations describing the velocity and acceleration of the characteristic points of the mechanism. Determined velocity and acceleration characteristic points E and K by using the system of symbolic calculations and CAD/CAE analysis. The results obtained kinematics in the form of graphs.

**Ключевые слова:** пятизвенные рычажные механизмы, двухподвижность, кинематика, манипуляторы.

### Введение

Одним из путей совершенствования современных машин является применение в них механизмов, имеющих улучшенные кинематические параметры (характеристики). Широкое использование в технике получили плоские одноподвижные рычажные механизмы. Использование же плоских двухподвижных рычажных механизмов в качестве базового механизма различных мехатронных устройств и манипуляторов является весьма перспективным.

### Структура и подвижность

Рассмотрим структурную схему двухподвижного плоского рычажного пятизвенного механизма (рис.1). Он образован на основе известного шарнирного четырехзвенника путем образования в шарнире А

соосных двух вращательных пар вместо одной и превращения в стойку вал этих кинематических пар [1]. Таким образом, в новом механизме по сравнению одноподвижным четырехзвенником имеем: первое звено остается ведущим кривошипом, шатун 2 остается шатуном, звено 3 – балансира становится шатуном, звено 4 со стойки превращается во второй ведущий кривошип, а вал соосных вращательных кинематических пар в шарнире А образуется в стойку.

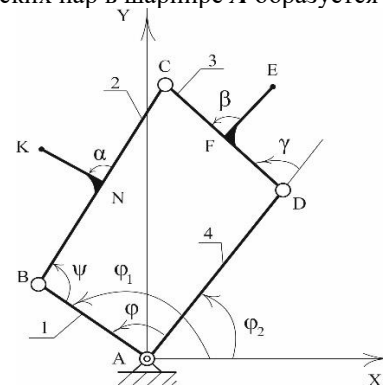


Рис. 1. Плоский двухподвижный пятизвенный рычажный механизм

Степень свободы, полученного механизма определяется по формуле Чебышева и будет равна

$$W = 3(m - 1) - 2p_1 - p_2, \quad (1)$$

где  $m$  – число звеньев;  $p_1$  – число высших (одноподвижных) кинематических пар;  $p_2$  – число низших пар.

Тогда имеем: