

УДК 621.833.6

ГИПОЦИКЛОИДАЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

Николаев Игорь Геннадьевич

студент второго курса кафедры технологии машиностроения
Новосибирский государственный технический университет
Россия, Новосибирск
e-mail: igor_0219@mail.ru

Акулов Дмитрий Константинович

студент второго курса кафедры технологии машиностроения
Новосибирский государственный технический университет
Россия, Новосибирск
e-mail: dmitry_akulov007@mail.ru

Чусовитин Николай Анатольевич

Доцент кафедры проектирования технологических машин
Новосибирский государственный технический университет
Россия, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса 20
e-mail: tmm800@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассматривается планетарный механизм перемешивания с гипоциклоидальными особенностями, который был разработан, с целью проверки его работоспособности. Детали механизма были напечатаны на 3д принтере, перед этим смоделированы в программе «КОМПАС-3D».

Ключевые слова: планетарный механизм, эпицикл, сателлит, вал, зубчатое колесо, гипоциклоида.

HYPOCYCLOID MIXING MECHANISM

Nikolaev Igor Gennadievich

second-year student of the Department of Mechanical Engineering Technology
Novosibirsk State Technical University
Russia, Novosibirsk
e-mail: igor_0219@mail.ru

Akulov Dmitry Konstantinovich

second-year student of the Department of Mechanical Engineering Technology
Novosibirsk State Technical University
Russia, Novosibirsk
e-mail: dmitry_akulov007@mail.ru

Chusovitin Nikolai Anatolievich

Associate Professor of the Department of Design of Technological Machines

Novosibirsk State Technical University

Russia, 630073, Novosibirsk, K. Marksa Ave. 20

e-mail: tmm800@mail.ru

ABSTRACT

This article discusses a planetary mixing mechanism with hypocycloidal characteristics, which was developed to test its performance. The details of the mechanism were printed on a 3D printer, before that they were modeled in the KOMPAS-3D program.

Keywords: planetary mechanism, epicycle, satellite, shaft, gear wheel, hypocycloid.

Введение

Планетарные механизмы – это устройства, для передачи и преобразования вращательного движения. Такие механизмы веками использовались в различных машинах и являются важным компонентом многих современных приложений, включая автомобильные трансмиссии, робототехнику и производственное оборудование.

Самые ранние известные примеры планетарных механизмов относятся к древним временам, а самое раннее задокументированное использование относится к третьему веку до нашей эры в антикитерском механизме (рис. 1), сложном зубчатом устройстве, используемом для предсказания астрономических положений и затмений.

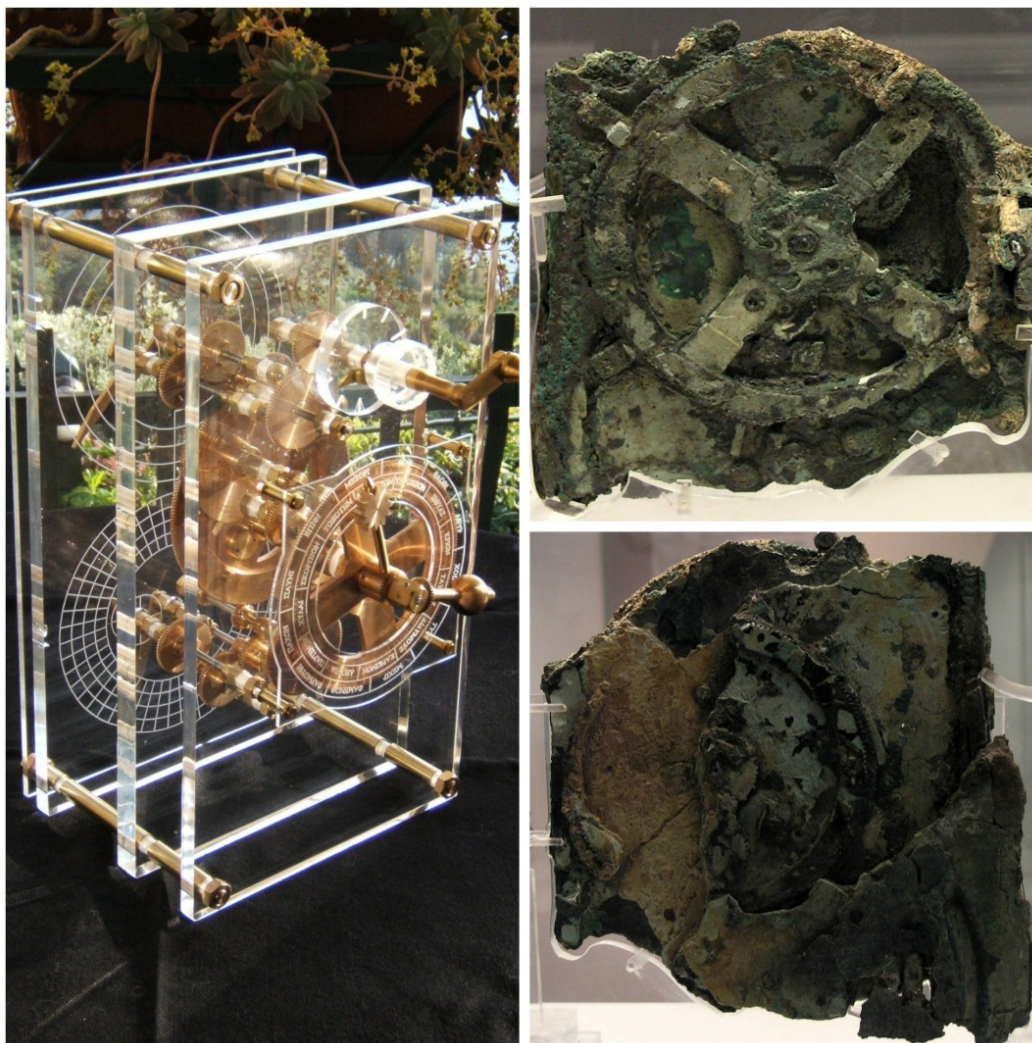


Рис. 1 - Антикитерский механизм [1]

В механизме использовался дифференциал, который был типом планетарной системы передач, для отображения положения солнца, луны и других планет.

Во время промышленной революции 18 и 19 веков планетарные механизмы стали более широко использоваться в таких машинах, как текстильные фабрики, где их использовали для привода ткацких станков и другого оборудования. Только в 20 веке планетарные механизмы стали более совершенными и начали использоваться в автомобилях и других сложных машинах.

Можно сказать, что планетарные механизмы имеют долгую и увлекательную историю и на протяжении всей истории играли важную роль в развитии машин. Их универсальность, компактный дизайн и высокая эффективность сделали их жизненно важным компонентом во многих современных приложениях, и их актуальность будет только расти по мере развития технологий.

Актуальность, преимущества и особенности.

Актуальность

Сегодня планетарные механизмы широко используются в самых разных областях, от автомобильных трансмиссий до робототехники и производственного оборудования. В автомобильной промышленности они используются в автоматических коробках передач для обеспечения плавного и эффективного переключения передач, а также в гибридных и электрических транспортных средствах для передачи мощности от электродвигателя к колесам.

В робототехнике планетарные механизмы используются в манипуляторах роботов и других системах управления движением для обеспечения точного и плавного движения. Также их используют в производственном оборудовании для обеспечения высокого выходного крутящего момента и точного позиционирования, что делает их идеальными для использования на сборочных линиях и других промышленных объектах.

Преимущества и особенности

Основным преимуществом планетарных механизмов является их способность преобразовывать вращательное движение в прямолинейное с высокой степенью точности и эффективности. Они достигают этого с помощью центральной солнечной шестерни, планетарных шестерен (сателлитов), которые вращаются вокруг солнечной шестерни, и зубчатого венца, который окружает планетарные шестерни.

Одной из ключевых особенностей планетарных механизмов является их способность выдерживать нагрузки с высоким крутящим моментом при сохранении компактной конструкции. Это делает их идеальными для использования в приложениях с ограниченным пространством, например, в автомобильных трансмиссиях или робототехнике.

Еще одной особенностью планетарных механизмов является их универсальность. Варьируя размер и количество планетарных и зубчатых колес, конструкторы могут создавать различные передаточные числа и выходной крутящий момент, что делает их пригодными для широкого спектра применений.

Описание Механизма и его работы.

Планетарный механизм перемешивания, включает в себя четыре зубчатых колеса, три из которых с внешним зацеплением, а одно с внутренним; водило и вал.

Коронная шестерня (эпицикл) неподвижна, водило вращается и тянет за собой планетарное колесо (сателлит), которое расположено на оси, принадлежащей водилу, это колесо в свою очередь находится в зацеплении с эпициклом. Сателлит начинает вращаться вокруг своей оси и двигаться по окружности колеса с внутренним зацеплением. Также на оси водила зафиксировано зубчатое колесо меньшего диаметра, которое находится в зацеплении с зубчатым колесом, которое зафиксировано на валу, расположенном на орбите сателлита. Вал вращается за счёт вращения зубчатого колеса вокруг зубчатого колеса, закреплённого на оси, принадлежащей водилу.

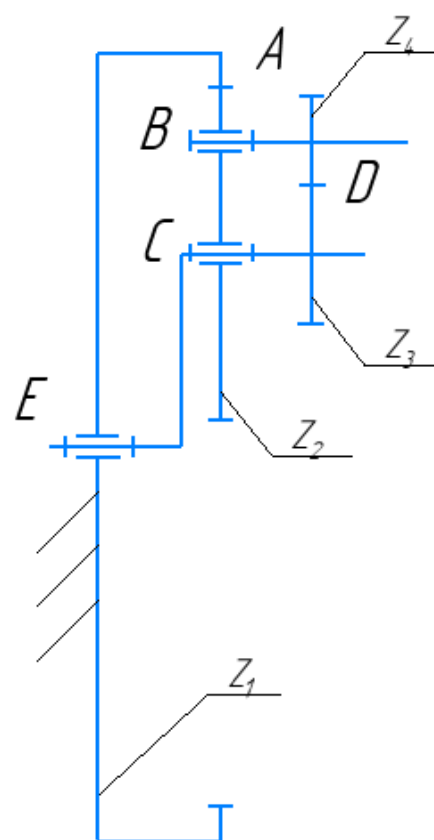


Рис. 2 – структурная схема механизма

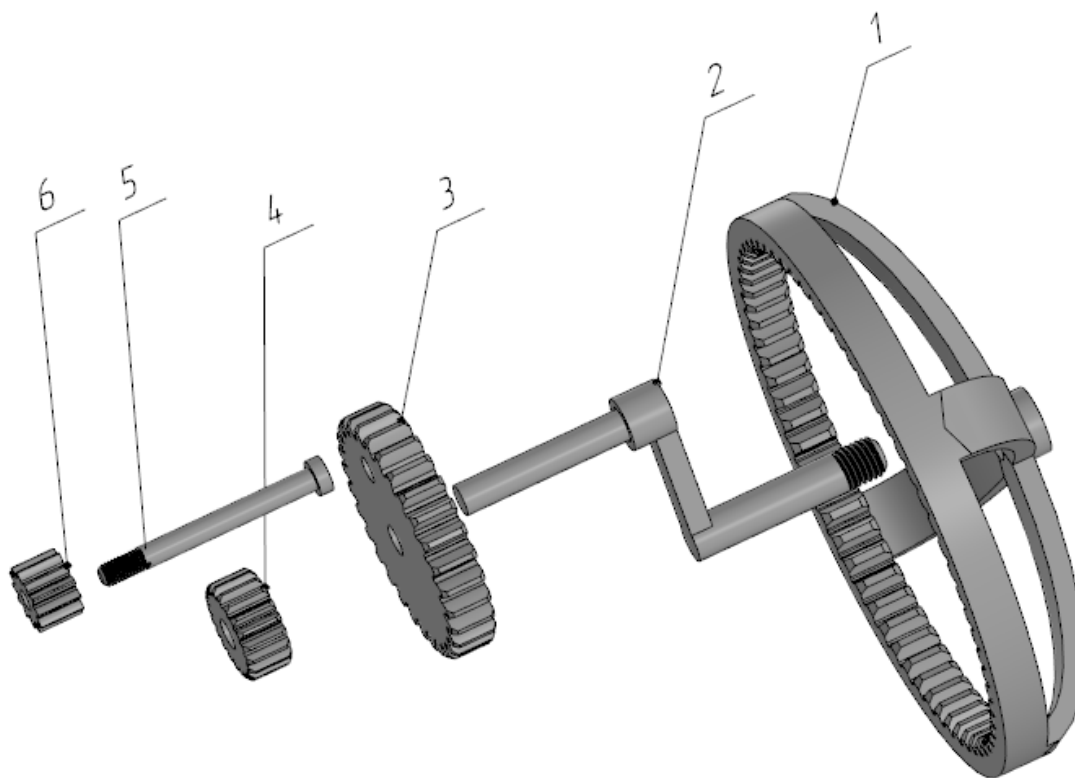


Рис. 3 - Детализированная схема механизма

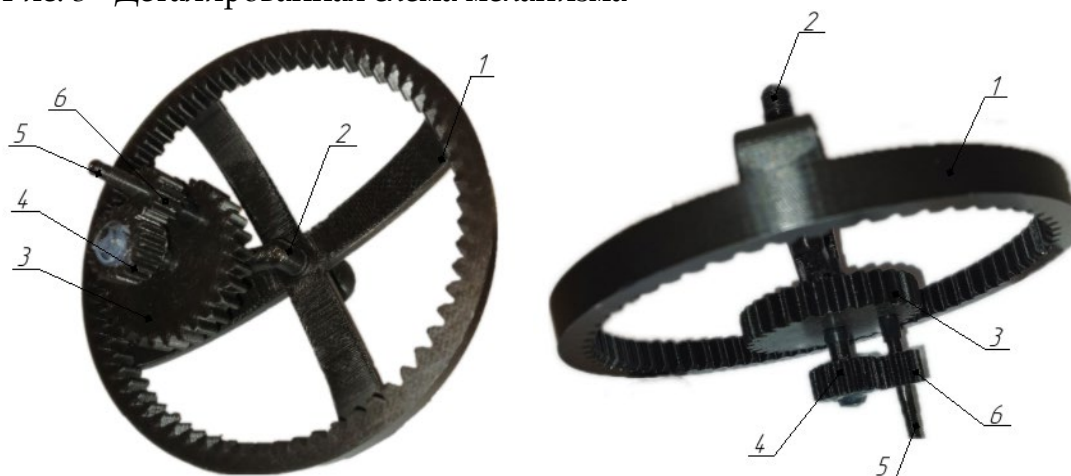


Рис. 4 - Планетарный механизм перемешивания

Таблица 1 - Обозначение позиций

№ Позиции	1	2	3	4	5	6
Название	Эпицикл(Z1)	Водило	Сателлит(Z2)	Колесо(Z3)	Вал	Колесо(Z4)

Определение передаточного числа механизма

Передаточное число – это основной параметр, который характеризует различные модели редукторов. Оно зависит от типа, параметров и ступеней шестерен.

Воспользовавшись рекомендациями [2], произведём расчёт передаточного числа механизма перемешивания.

$$Z_1 = 66; Z_2 = 30; Z_3 = 20; Z_4 = 12.$$

$$u_{16} = u_{12} \cdot u_{34} = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4},$$

$$u_{16} = \frac{66}{30} \cdot \frac{20}{12} = 3 \frac{2}{3}.$$

Анализ скорости вала в зависимости от его положения

Произведём анализ скорости вала в зависимости от его положения, воспользовавшись рекомендациями [3].

Вал движется не только вокруг своей оси, но и по гипоциклоиде, проанализируем это движение, задавшись угловой скоростью водила $\omega_H = 20$ 1/с, при этом изменяя расстояние от эксцентрично расположенного вала, до оси сателлита.

Для этого воспользуемся следующими формулами:

Скорость водила формула (1)

$$V_C = \omega_H \cdot l_{EC}, \quad (1)$$

где ω_H – угловая скорость водила, l_{EC} – длина водила.

Скорость вала формула (2)

$$V_B = \omega_2 \cdot l_{AB}, \quad (2)$$

где ω_2 – угловая скорость сателлита, l_{AB} – расстояние между осью вала и делительной окружностью сателлита (изменяется в зависимости от угла поворота оси вала и меняющегося значения l_{CB} – радиус орбиты на которой расположена ось вала) см. рис. 2.

Угловая скорость сателлита (3)

$$\omega_2 = \frac{V_C}{l_{AC}}, \quad (3)$$

где l_{AC} – радиус сателлита.

Подставим ω_2 в формулу (2), найдём V_B .

$$V_B = \frac{V_C \cdot l_{AB}}{l_{AC}}.$$

$l_{CB} = 15$ мм; 17 мм; 19 мм; $l_{EC} = 31,5$ мм; $l_{AC} = 26,25$ мм.

Результаты расчётов внесём в таблицу 2.

Таблица 2 - Зависимость скорости вала.

Угол поворота оси вала	V_B , мм/с		
	$l_{CB} = 15$ мм	$l_{CB} = 17$ мм	$l_{CB} = 19$ мм
0°	270	222	174
30°	388,8	357,36	324,48
60°	507,6	491,28	474,96
90°	630	630	630
120°	748,8	764,64	780,48
150°	867,6	899,28	930,96

180°	990	1038	1086
210°	867,6	899,28	930,96
240°	748,8	764,64	780,48
270°	630	630	630
300°	507,6	491,28	474,96
330°	388,8	356,64	324,48
360°	270	222	174

По полученным данным построим график зависимости скорости оси вала от угла её поворота (рис. 5).

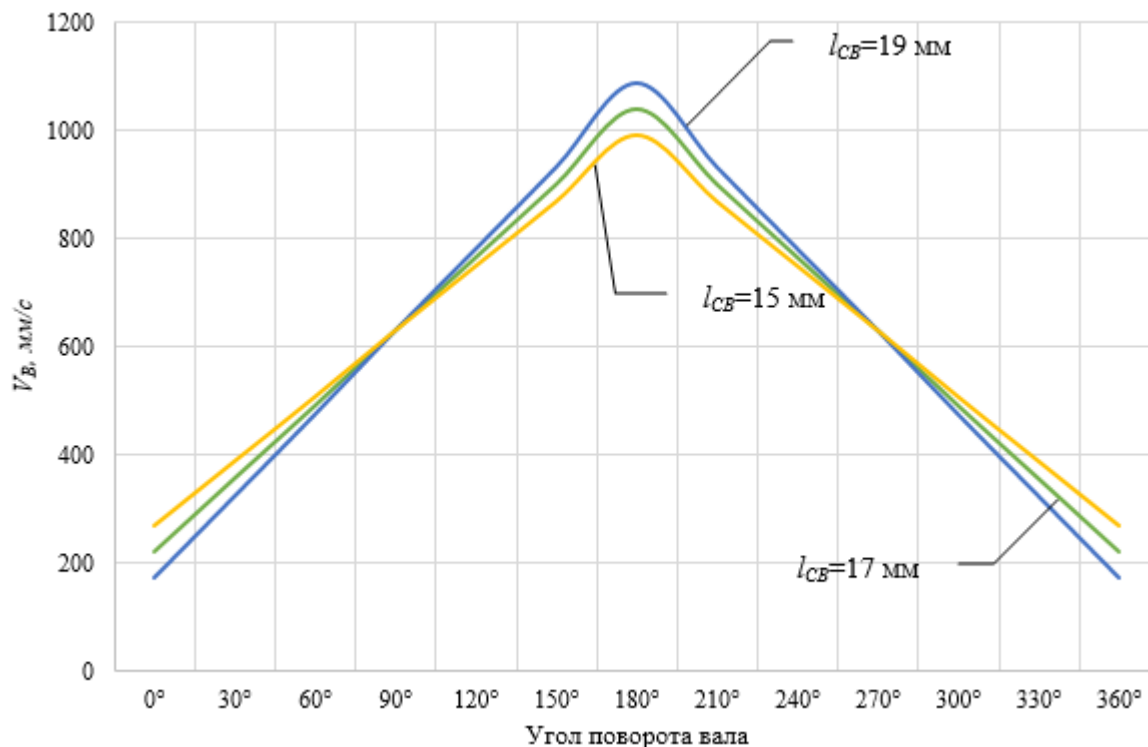


Рис. 5 - Зависимость скорости оси вала от угла её поворота

Проанализировав полученные данные и взглянув на диаграмму, наглядно видно, что при наибольшем радиусе орбиты, на которой расположена ось вала, она имеет наибольшую скорость при движении по гипоциклоиде, также при углах поворота равных 90° и 270° соответственно, скорость одинакова при различном удалении оси вала от оси сателлита.

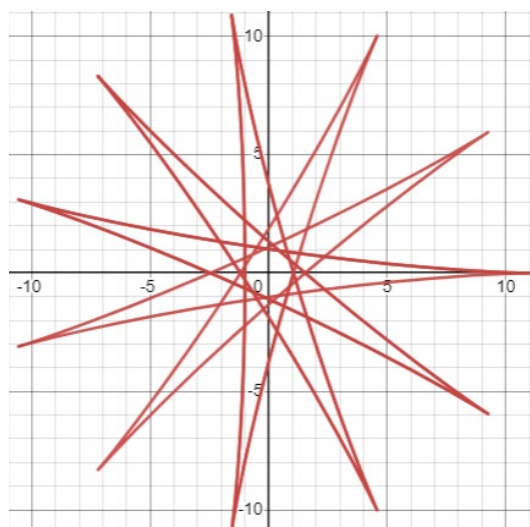
Гипоциклоидальные особенности

Механизм, представленный в статье, имеет гипоциклоидальные особенности, которые относятся к сложному движению шестерен.

Сложность движения обеспечивает высокую степень контроля над выходной скоростью и крутящим моментом механизма, что делает его идеальным решением для приложений, требующих точного и эффективного управления движением.

Механизм при движении образует гипоциклоиду, при её образовании возникают каспы или точки возврата – особые точки, в которых кривая линия разделяется на две (или более) ветви, имеющие в этих точках одинаковый направляющий вектор.

Далее представлена гипоциклоида (рис. 6), построенная на основе данных механизма, описанного в статье и параметрическое уравнение [4] для её построения.

Рис. 6 - Гипоциклоида $k = 2,2$

$$\begin{cases} x = r(k-1) \left(\cos(t) + \frac{\cos((k-1)t)}{k-1} \right) \\ y = r(k-1) \left(\sin(t) - \frac{\sin((k-1)t)}{k-1} \right) \end{cases}$$

где k – несократимая дробь вида $\frac{m}{n}$ ($m, n \in N$),
то m – это количество каспов данной гипоциклоиды,
а n – количество полных вращений катящейся
окружности.

Одной из наиболее примечательных особенностей гипоциклоидального движения является его способность обеспечивать постоянную выходную скорость независимо от входной скорости. Это достигается за счет изменения скорости, с которой планетарные шестерни вращаются вокруг своих осей, что, в свою очередь, влияет на скорость, с которой они вращаются вокруг солнечной шестерни. Тщательно контролируя соотношение количества зубьев планетарной шестерни к количеству зубьев солнечной шестерни, можно достичь широкого диапазона выходных скоростей и крутящих моментов.

Помимо практического применения, гипоциклоидальные свойства также представляют интерес для математиков и ученых, изучающих сложные движения зубчатых колес и других механических систем. Изучение гипоциклоидального движения может дать ценную информацию о поведении механических систем и их взаимодействии с другими компонентами.

Оригинальность и предполагаемое область применения

Оригинальность представленного механизма заключается в движении вала, находящегося на сателлите механизма. Вал движется по гипоциклоидальной траектории, описывая так называемые каспы, о которых говорилось выше, одновременно совершая вращательное движение вокруг своей оси, что позволяет использовать данный механизм в качестве механизма перемешивания.

Заключение

Устройство может иметь потенциальное применение в различных областях науки и техники, таких как промышленное производство, фармацевтия или пищевая промышленность. Важно отметить, что оно специально не тестировалось и не оптимизировалось для этих целей, поэтому нельзя гарантировать его эффективность или безопасность в этих условиях.

Список литературы:

1. Антикитерский механизм [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <https://www.9111.ru/questions/777777772191442/> (Дата обращения: 28.02.2023).
2. Гилета В.П. Детали машин. Расчет и проектирование механических передач: учеб. пособие / В.П. Гилета, Ю.В. Ванаг Н.А. Чусовитин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 116 с.

3. Теория механизмов и машин: лабораторный практикум : учебнометодическое пособие. Ч. 1 / [В. П. Гилета и др.] ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - 2-е изд., испр. и доп.. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2009. - 88с.
4. Свойства замечательных кривых [Электронный ресурс]. - Режим доступа. - URL: <https://vuzlit.com/858151/epitsikloida#75> (Дата обращения: 15.03.2023).

References:

1. Antikythera mechanism [Electronic resource]. - Access mode. - URL:<https://www.9111.ru/questions/7777777772191442/> (Accessed: 28.02.2023).
2. Gileta V.P. Machine parts. Calculation and design of mechanical gears: textbook. manual / V.P. Gileta, Yu.V. Vanag N.A. Chusovitin. - Novosibirsk: Publishing House of NSTU, 2017. - 116 p
3. Theory of mechanisms and machines: laboratory workshop: teaching manual. Part 1 / [V. P. Gileta et al.] ; Novosibirsk State Technical University. un-T. -2nd ed., ispr. and add.. - Novosibirsk: Publishing House of NSTU, 2009. - 88s.
4. Properties of Remarkable Curves [Electronic resource]. - Access mode. - URL: <https://vuzlit.com/858151/epitsikloida#75> (Accessed: 15.03.2023).