

Вестник БарГУ

Научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 года
Выходит 2 раза в год

№ 1 (11), май, 2022

Серия «Технические науки»

Учредитель: учреждение образования
«Барановичский государственный университет».

Адрес редакции:
ул. Войкова, 21, 225404 г. Барановичи.
Телефон: +375 (163) 64 34 77.
E-mail: vestnikbargu@gmail.com .

Подписные индексы: 00999 — для индивидуальных
подписчиков; 009992 — для организаций.
Свидетельство о регистрации средств массовой
информации № 1533 от 30.07.2012, выданное
Министерством информации Республики Беларусь.

В соответствии с приказом Высшей
аттестационной комиссии Республики
Беларусь от 21 января 2015 г. № 16 научно-
практический журнал «Вестник БарГУ» серия
«Технические науки» включён в Перечень
научных изданий Республики Беларусь для
опубликования результатов диссертационных
исследований по техническим наукам.

Научно-практический журнал «Вестник БарГУ»
включен в РИНЦ (Российский индекс научного
цитирования), лицензионный договор
№ 06-01/2016.

Выходит на русском, белорусском
и английском языках.
Распространяется на территории
Республики Беларусь.

Заведующий редакционно-издательской
группой А. Ю. Сидоренко
Технический редактор Л. Н. Щербук
Компьютерная вёрстка С. М. Глушак
Корректор Н. Н. Колодко

Подписано в печать 04.05.2022. Формат 60 × 84 1/8.
Бумага ксероксная. Печать цифровая.
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,25. Уч.-изд. л. 8,60.
Тираж 100 экз. Заказ . Цена свободная.

Полиграфическое исполнение: Гродненское
областное унитарное полиграфическое
предприятие «Слонимская типография».
Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/203 от 07.03.2014, № 2
от 25.02.2014. Адрес: ул. Хлопина, 16, 231800
г. Слоним, Гродненская обл.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Кочурко В. И. (гл. ред. журн.), доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Белорусской инженерной академии, академик Международной академии технического образования, академик Международной академии наук педагогического образования, академик Академии экономических наук Украины, заслуженный работник образования Республики Беларусь, профессор кафедры технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии (учреждение образования «Барановичский государственный университет»), Барановичи, Республика Беларусь).

Климук В. В. (зам. гл. ред. журн.), кандидат экономических наук, доцент, первый проректор (учреждение образования «Барановичский государственный университет»), Барановичи, Республика Беларусь).

Алифанов А. В. (гл. ред. сер.), лауреат Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники, доктор технических наук, профессор (учреждение образования «Барановичский государственный университет»), Барановичи, Республика Беларусь).

Горбач Ю. Е. (отв. секретарь сер.) (учреждение образования «Барановичский государственный университет»), Барановичи, Республика Беларусь).

Зубрицкая Л. С. (ред. текстов на англ. яз.) (учреждение образования «Барановичский государственный университет»), Барановичи, Республика Беларусь).

Богданович И. А. (отв. за направление «Машиностроение и машиноведение»), кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет»), Барановичи, Республика Беларусь); **Дубень И. В.** (отв. за направление «Процессы и машины агроинженерных систем»), кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет»), Барановичи, Республика Беларусь).

Анискович Г. И., кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь); **Белый А. В.**, академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор (государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси»), Минск, Республика Беларусь); **Девойно О. Г.**, доктор технических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской инновационной лабораторией плазменных и лазерных технологий (филиал Белорусского национального технического университета «Научно-исследовательская часть», Минск, Республика Беларусь); **Дремук В. А.**, кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет»), Барановичи, Республика Беларусь); **Жигалов А. Н.**, доктор технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет»), Барановичи, Республика Беларусь); **Калугин Ю. К.**, кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»), Гродно, Республика Беларусь); **Карташевич А. Н.**, доктор технических наук, профессор (учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»), Горки, Республика Беларусь); **Клочков А. В.**, доктор технических наук, профессор (учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»), Горки, Республика Беларусь); **Клубович В. В.**, академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор (государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси»), Минск, Республика Беларусь); **Сиваченко Л. А.**, доктор технических наук, профессор (межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет»), Могилев, Республика Беларусь); **Томило В. А.**, доктор технических наук, профессор (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь); **Шелег В. К.**, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь).

Promoter: Educational Institution
"Baranovichi State University".

Editorial address:
21 Voykova Str., 225404 Baranovichi.
Phone: +375 (163) 64 34 77.
E-mail: vestnikbargu@gmail.com .

Subscription indices: 00999 — for individual subscribers;
009992 — for companies.
The certificate of the registration of mass media № 1533
of 30.07.2012 issued by the Ministry of Information
of Belarus.

In compliance with the order of the Higher Attestation
Commission of the Republic of Belarus from January 21,
2015 № 16 the scientific and practical journal "BarSU
Herald. Engineering Series" is included into the List of
scientific publications of the Republic of Belarus for
publishing the results of theses research on engineering
sciences (mechanical engineering and machines,
processes and machines of agroengineering systems).

Scientific-and-practical journal "BarSU Herald"
is included into RSCI (Russian Science Citation Index),
license agreement № 06-01/2016.

Issued in Russian, Belorussian and English. The journal is
distributed on the territory of the Republic of Belarus.

Managing editor A. Y. Sidorenko
Technical editor L. N. Scherbuk
Desktop Publishing S. M. Glushak
Proofreader N. N. Kolodko

Signed print 04.05.2022. Format 60 × 84 1/8. Paper xerox.
Digital printing. Headset Times. Conv. pr. s. l. 13,25.
Acc.-pub. s. l. 8,60. Circulation of 100 copies.
Order . Free price.

Printing performance: Grodno Regional Printing Unitary
Enterprise "Slonim printing establishment". The state
registration certificate of the publisher, manufacturer and
publications distributor № 1/203 of 07.03.2014, № 2
of 25.02.2014. Address: 16 Hlyupin St., 231800 Slonim,
Grodno region.

EDITORIAL BOARD

Kochurko V. I. (*editor-in-chief*), DSc in Agriculture, Professor, Academician of the Belarusian Academy of Engineering, Academician of the International Academy of Technical Education, academician of the International Academy of Pedagogical Education, Academician of the Academy of Economic Sciences of Ukraine, Honored Worker of Education of the Republic of Belarus, Professor of Department of Technical Support of Agricultural Production Processes and Agronomic Sciences (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Klimuk V. V. (*deputy editor-in-chief*), PhD in Economics, Associate Professor, first vice-rector (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Alifanov A. V. (*the series editor-in-chief*), Laureate of the State Prize of the Republic of Belarus in the field of science and technology, DSc in Technical Sciences, Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Gorbach Yu. E. (*responsible for the topic area "Engineering Sciences"*) (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Zubritskaya L. S. (*ed. of texts in English*) (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Bogdanovich I. A. (*responsible for the area "Mechanical Engineering and Machine Science"*), PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus); **Duben I. V.** (*responsible for the area "Processes and Machines of Agro engineering Systems"*), PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Aniskovich G. I., PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Belarusian State Agrarian Technical University", Minsk, the Republic of Belarus); **Bely A. V.**, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc in Technical Sciences, Professor (State Scientific Institution "Institute of Physics and Technology of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, the Republic of Belarus); **Devoino O. G.**, DSc in Technical Sciences, Professor, Head of the Innovative Research Laboratory of Plasma and Laser Technologies (branch of the Belarusian National Technical University "Research Unit", Minsk, the Republic of Belarus); **Dremuk V. A.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus); **Zhigalov A. N.**, DSc in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus); **Kalugin Yu. K.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Yanka Kupala Grodno State University", Grodno, the Republic of Belarus); **Kartashevich A. N.**, DSc in Technical Sciences, Professor (Educational Institution "Belarusian State of the Orders of the October Revolution and Labor Red Banner Agricultural Academy", Gorki, the Republic of Belarus); **Klochov A. V.**, DSc in Technical Sciences, Professor (Educational Institution "Belarusian State of the Orders of the October Revolution and Labor Red Banner Agricultural Academy", Gorki, the Republic of Belarus); **Klubovich V. V.**, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc in Technical Sciences, Professor (State Scientific Institution "Institute of Physics and Technology of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, the Republic of Belarus); **Sivachenko L. A.**, DSc in Technical Sciences, Professor (Interstate Educational Institution of Higher Education "Belarusian-Russian University", Mogilev, the Republic of Belarus); **Tomilo V. A.**, DSc in Technical Sciences, Professor (Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus); **Sheleg V. K.**, A. M. of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc in Technical Sciences, Professor (Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus).

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Громыко П. Н., Хатетовский С. Н., Макацария Д. Ю., Макаревич А. С. Обеспечение поступательного движения сателлита при работе эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов

Жигалов А. Н., Горавский И. А. Экспериментальные исследования микроструктуры быстрорежущей стали P6M5, упрочненной аэродинамическим звуковым методом

Малеронок В. В., Кушнеров А. В., Алифанов А. В. Влияние магнитно-импульсной обработки на фазовые переходы в поверхностном слое режущего осевого инструмента из инструментальной стали

Наліюко А. І., Русан С. І., Сівачэнка Л. А., Сівачэнка Т. Л. Методика набліжаного аналізу сілавога ўзаемадзеяння ў здрабняльных машынах са шчоткападобнымі звёнамі

Пивоварчик А. А., Гавриленя А. К., Корольков А. С. Исследование эксплуатационных показателей синтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях легковых автомобилей

Фадин Ю. М., Шеметова О. М. Использование пневмосмесительного оборудования для производства сухих строительных смесей

Шматов А. А. Характер упрочнения твердых сплавов при термо-гидрохимической обработке

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Бондарев С. Н. Определение потребной мощности на процесс машинного доения коровы

Китун А. В., Передня В. И., Крупенин П. Ю., Филатов В. Г., Дубень И. В. Исследование процесса измельчения кормов плоскостным роторным измельчающим аппаратом вертикального типа

Китун А. В., Передня В. И., Крупенин П. Ю., Филатов В. Г., Дубень И. В. Оптимизация выбора оборудования линии первичной обработки молока

Китун А. В., Швед И. М. Определение параметров участка размыва осадка в навозохранилище направленным действием струи жидкого навоза

Пузевич К. Л., Коцуба В. И., Пузевич В. В., Филиппов А. И. Агрегаты для посева сельскохозяйственных культур под мульчирующую пленку

Шаршунов В. А., Курзенков С. В., Левчук В. А., Цайц М. В. Исследование характера деформации и разрушения семенной коробочки льна

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

4 Gromyko P. N., Khatetovsky S. N., Makatsaryia D. Yu., Makarevich A. S. Provision of the satellite translational motion during the operation of eccentric transmission with parallel arrangement of input and output shafts

14 Jigalov A. N., Goravskii I. A. Experimental investigations of the high-speed steel P6M5 microstructure hardened by the aerodynamic sound method

24 Maleronok V. V., Kushnerou A. V., Alifanov A. V. The effect of magnetic pulse processing on phase transitions in the surface layer of a cutting axial tool of tool steel

31 Naliuko O. I., Rusan S. I., Sivachenko L. A., Sivachenko T. L. Method of approximate analysis of force interaction in grinding machines with brush-like links

37 Pivovarchyk A. A., Haurylenia A. K., Korolkov A. S. Research of performance of synthetic motor oils indicators used in gasoline engines of passenger cars

43 Fadin Yu. M., Shemetova O. M. The use of pneumatic mixing equipment for the dry building mixes production

48 Shmatov A. A. The nature of hard alloys hardening during thermo-hydrochemical treatment

PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

55 Bondarev S. N. Determination of the required power for the machine cow milking process

65 Kitun A. V., Perednya V. I., Krupenin P. Y., Filatov V. G., Duben I. V. Research of grinding feed process by a planar vertical rotary grinder

74 Kitun A. V., Perednya V. I., Krupenin P. Y., Filatov V. G., Duben I. V. Optimization of the equipment choice for a primary milk processing line

81 Kitun A. V., Shved I. M. Determination of the sediment erosion area parameters in the manure storage by the directed action of a liquid manure jet

88 Puzevich K. L., Kotsuba V. I., Puzevich V. V., Filippov A. I. Aggregates for sowing agricultural crops under mulching film

96 Sharshunov V. A., Kurzenkov S. V., Levchuk V. A., Tsaits M. V. Investigation of the nature of flax seedpods deformation and destruction

УДК 621.833

П. Н. Громько¹, доктор технических наук, профессор,
С. Н. Хатетовский¹, кандидат технических наук, доцент,
Д. Ю. Макацария², кандидат технических наук, доцент,
А. С. Макаревич¹

¹Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет», пр-т Мира, 43, 212000 Могилев, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Могилевский институт Министерства внутренних дел Республики Беларусь»,
ул. Крупской, 67, 212011 Могилев, Республика Беларусь, grom7@tut.by

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ САТЕЛЛИТА ПРИ РАБОТЕ ЭКСЦЕНТРИКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ВХОДНОГО И ВЫХОДНОГО ВАЛОВ

В статье показана структурная схема эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов. Рассмотрен случай, когда ее работоспособность теряется при определенном значении угла поворота входного вала. Аналитические исследования показали, что обеспечение поступательного движения сателлита при работе эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов возможно только при наличии дополнительного кривошипа, причем данный дополнительный кривошип должен составлять с сателлитом вращательную пару, а его ось вращения должна быть параллельна оси вращения основного кривошипа. Следует также отметить, что параметры эксцентрика нового дополнительного кривошипа должны соответствовать параметрам эксцентрика основного кривошипа.

Исследования, проведенные с использованием компьютерного моделирования, показали, что эксцентриковые передачи с параллельным расположением входного и выходного валов имеют уровень основных эксплуатационных показателей, аналогичный эксцентриковым передачам с соосным расположением входного и выходного валов.

Ключевые слова: дополнительный кривошип; компьютерное моделирование; параллельное расположение входного и выходных валов; поступательное движение сателлита; работоспособность; угол поворота; эксцентриковая передача.

Рис. 10. Библиогр.: 8 назв.

P. N. Gromyko¹, DSc in Technical Sciences, Professor,
S. N. Khatetovsky¹, PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
D. Yu. Makatsaryia², PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
A. S. Makarevich¹

¹Interstate Educational Institution of Higher Education “Belarusian-Russian University”, 43 Mira Ave.,
212000 Mogilev, the Republic of Belarus

²Educational Institution “Mogilev Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Belarus”,
67 Krupskoj Str., 212011 Mogilev, the Republic of Belarus, grom7@tut.by

PROVISION OF THE SATELLITE TRANSLATIONAL MOTION DURING THE OPERATION OF ECCENTRIC TRANSMISSION WITH PARALLEL ARRANGEMENT OF INPUT AND OUTPUT SHAFTS

The article shows a block diagram of eccentric transmission with parallel arrangement of input and output shafts. The case when its operability is lost at a certain value of the angle of rotation of the input shaft is considered. Analytical studies have shown that the provision of translational motion of the satellite during the operation of an eccentric trans-

mission with a parallel arrangement of the input and output shafts is possible only if there is an additional crank. Besides, this additional crank must make a rotating pair with the satellite, and its axis of rotation must be parallel to the axis of the main crank rotation. It should also be noted that the eccentric parameters of the new additional crank must correspond to the eccentric parameters of the main crank.

Studies conducted using computer simulations have shown that eccentric transmissions with parallel arrangement of input and output shafts have a level of basic performance similar to eccentric transmissions with coaxial arrangement of input and output shafts.

Key words: additional crank; computer modeling; parallel arrangement of input and output shafts; translational satellite motion; operability; rotation angle; eccentric transmission.

Fig. 10. Ref.: 8 titles.

Введение. Передачи с параллельным расположением входного и выходного валов (ременные, цепные) известны давно [1; 2]. Отличительной особенностью рассматриваемого варианта эксцентриковой передачи является возможность трансформировать вращение с относительно большими по величине значениями коэффициента редуцирования за счет осуществления жестких конструкций сопрягаемых звеньев. Структурные схемы эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов предложены в работах [3; 4].

При обеспечении поступательного движения сателлита в процессе работы эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов возникает случай, когда ее работоспособность теряется в определенный момент. В целях осуществления функционирования эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов предложена конструкция с дополнительным новым кривошипом, позволяющим устранить функционирование передачи в критическом ее состоянии.

На основе приведенных аналитических выражений, а также разработанной компьютерной модели предлагаемого варианта эксцентриковой передачи было сделано заключение об ее полной работоспособности при осуществлении поступательного движения сателлита.

Разработанная эксцентриковая передача с параллельным расположением входного и выходного валов благодаря конструкции, включающей дополнительный кривошип, имеет основные эксплуатационные показатели на уровне эксцентриковой передачи с соосным расположением указанных валов и может быть использована во многих отраслях народного хозяйства.

Материалы и методы исследования. Методы исследования структурной схемы эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов без дополнительного кривошипа. Рассмотрим представленный на рисунке 1 базовый вариант эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов без дополнительного кривошипа [5].

Планетарная эксцентриковая передача содержит корпус 1, основной кривошип 2, размещенный на входном валу 3 и приводящийся во вращение двигателем 4, дополнительный кривошип 5 с осью вращения 15, которая параллельна оси вращения основного кривошипа 2. На выходном валу 8 эксцентриковой передачи закреплено центральное колесо 12 с внутренним зубчатым венцом, которое входит в зацепление с наружным зубчатым венцом 14. Зубчатый венец 14 расположен на сателлите 7, который совершает поступательное движение за счет наличия двух вращательных пар, соединяющих отверстия сателлита 7 с основным 2 и дополнительным 5 кривошипами.

В основном кривошипе 2 и в дополнительном кривошипе 5 возникают опорные реакции R_A и R_B , которые можно разложить на составляющие вдоль осей X и Y , т. е. R_{Ax} , R_{Ay} , R_{Bx} и R_{By} . Следует отметить, что составляющие опорных реакций R_{Ax} , R_{Ay} определяются по моменту $M_{вх}$ двигателя 4, приводящего в движение входной вал 3. Для получения реакций R_{Bx} , R_{By} необходимо знать величину и направление активной силы N_k , создаваемой зубчатыми колесами 14 и 12 данной передачи.

На рисунке 2 изображен сателлит 7 при положении эксцентрика основного кривошипа A_1A_2 под углом β к оси A_1Y .

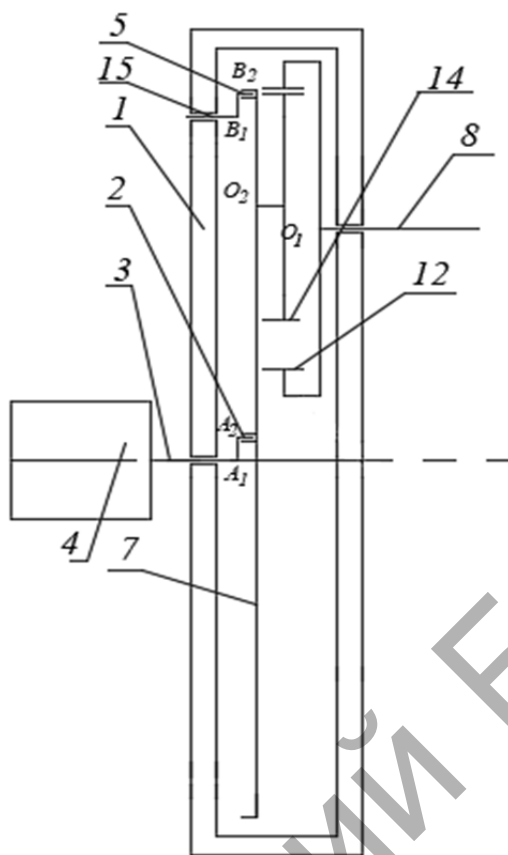


Рисунок 1. — Структурная схема эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов

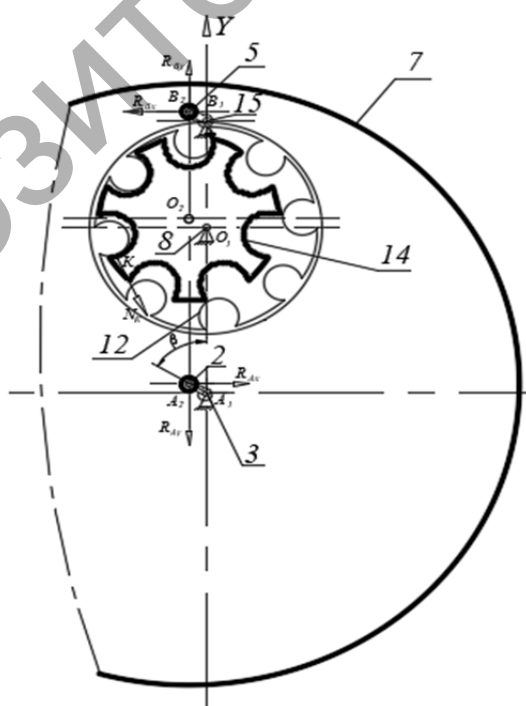


Рисунок 2. — Структурная схема сателлита 7 эксцентриковой передачи при расположении эксцентрика основного кривошипа A_1A_2 под углом β к оси A_1Y

Значение общей реакции R_{B2} , полученной из составляющих ее реакций R_{Bx} , R_{By} , определяется исходя из известных уравнений статики по известной активной силе N_k [6]:

$$R_{B2} = \frac{M_{вх}(r_{Ky} - e \cos \beta)z}{\sqrt{e^2 + (r_{Ky} - e \cos \beta)^2 + 2e(r_{Ky} - e \cos \beta) \cos \left(\beta + \frac{\beta}{z} \right)}} \times \frac{(f_{трC2} \sin \alpha + \cos \alpha)}{\left(f_{трM2} \sin \left(\alpha + \arcsin \frac{e \sin \beta}{(r_{Ky} - e \cos \beta)} \right) + \cos \left(\alpha + \arcsin \frac{e \sin \beta}{(r_{Ky} - e \cos \beta)} \right) \right)} r_B (\sin \beta + f_{трB2} \cos \beta) \tag{1}$$

- где R_B — нормальная составляющая реакции в точке B ;
 $M_{вх}$ — входной момент эксцентриковой передачи;
 r_{Ky} — проекция вектора от точки K к точке A_1 на ось OY ;
 e — эксцентриситет, равный длине A_1A_2 ;
 β — угол поворота кривошипа A_1A_2 ;
 z — число зубьев сателлита;
 $f_{трC2}$ — коэффициент трения в точке C_2 ;
 α — угол поворота N_k относительно вертикальной оси;
 r_B — расстояние, определяющее длину A_2B_2 ;
 $f_{трB2}$ — коэффициент трения в точке B_2 [6].

На основе уравнения (1) построен график изменения значения реакции R_{B2} , в зависимости угла поворота кривошипа A_1A_2 (рисунок 3).

Используя полученную графическую зависимость значения реакции R_{B2} , можно заметить, что при углах, определяющих положение эксцентрика A_1A_2 основного кривошипа 2 к оси A_1Y , равных 0 и 180°, значение реакций R_{B2} изменяется и возрастает до значения 10 000 Н.

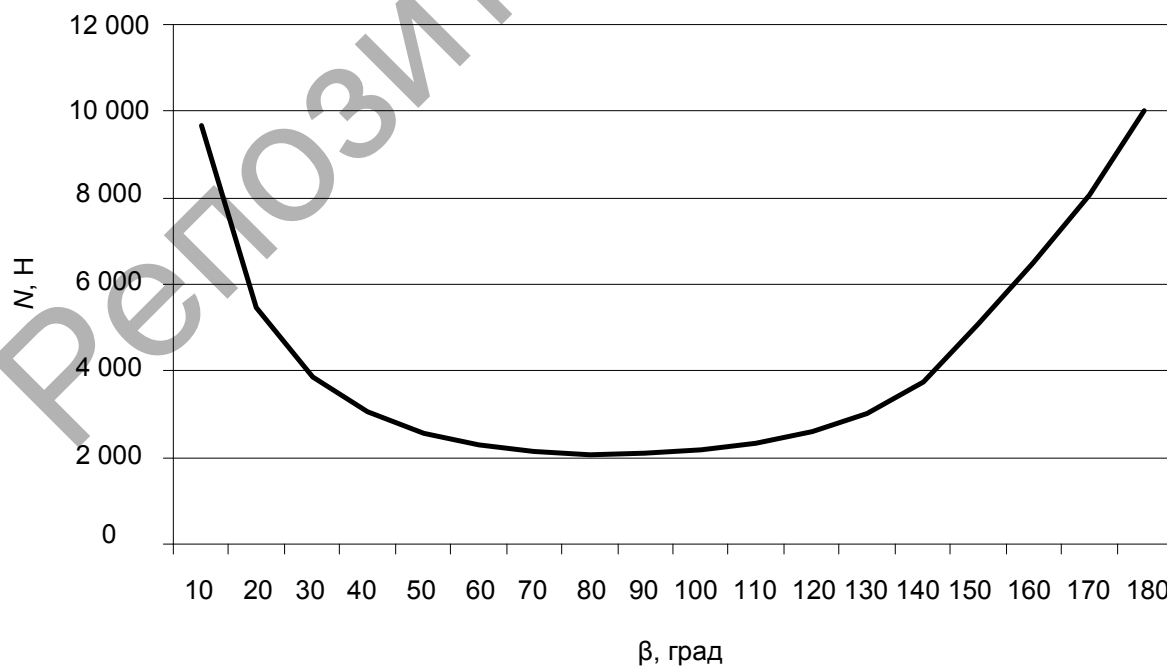


Рисунок 3. — Зависимость изменения значения реакции R_{B2} от угла β поворота кривошипа A_1A_2

Если угол β , определяющий положение эксцентрика A_1A_2 основного кривошипа 2, будет равен 0° (или же 180°), то вертикальная составляющая реакции R_{By} в точке B_2 будет отсутствовать (рисунок 4, а), т. е. в тот момент времени, когда эксцентриситет A_1A_2 основного кривошипа 2 расположен вдоль оси A_1Y , в точке B_2 вертикальная составляющая реакции R_{By} при изменении своего знака с плюса на минус должна быть равна нулю.

Для работы эксцентриковой передачи в этом случае сателлит 7 должен под действием активной силы N_k повернуться в обратном направлении своего движения (см. рисунок 4, б). При обратном повороте сателлита 7 в точке B_2 дополнительно к опорной реакции R_{Bx} снова добавляется опорная реакция R_{By} .

Таким образом, при заданном вращении эксцентрика основного кривошипа A_1A_2 сателлит 7 не совершает поступательного движения, т. е. эксцентриковая передача неработоспособна в момент времени, когда угол β , определяющий положение эксцентрика A_1A_2 основного кривошипа 2 к оси A_1Y , будет равен 0° (или же 180°). В данном случае механизм параллельных кривошипов, состоящий из сателлита 7 с кривошипами 2 и 5, находится в так называемой мертвой зоне.

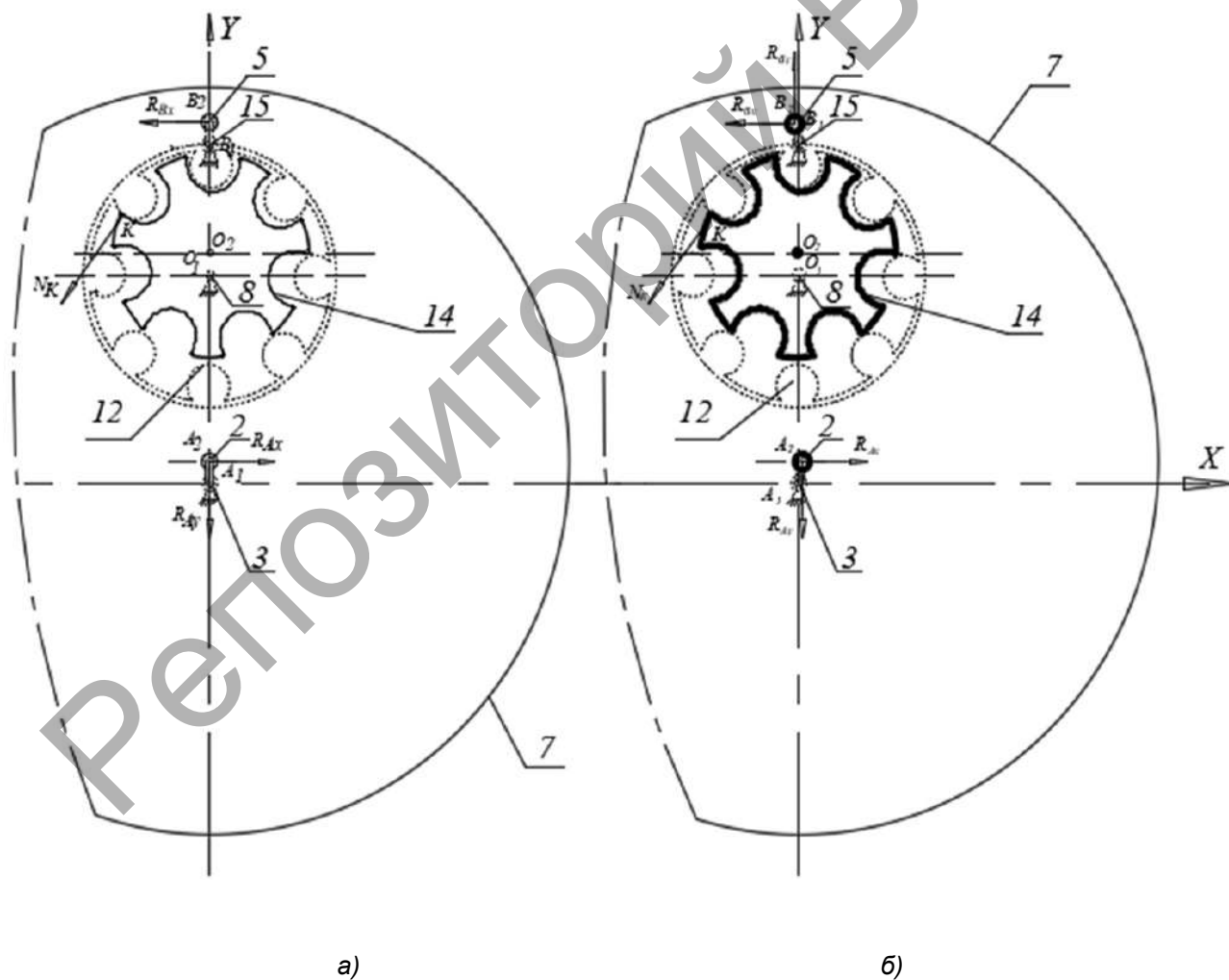


Рисунок 4. — Структурная схема сателлита 7 эксцентриковой передачи при расположении эксцентрика основного кривошипа A_1A_2 под углами β к оси A_1Y : а — при $\beta = 0$; б — при β , близком к нулевому значению

Методы исследования структурной схемы эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов при наличии дополнительного кривошипа. Чтобы осуществлялась нормальная работа эксцентриковой передачи при углах β , равных 0 или 180° , необходимо дополнить эксцентриковую передачу как минимум еще одним новым дополнительным кривошипом 6 (рисунок 5) [3].

Важно, чтобы ось вращения 16 не находилась в плоскости, проходящей через ось вращения 3 и ось вращения 15 . Причем новый дополнительный кривошип 6 должен составлять с сателлитом 7 вращательную пару C_2 . Ось вращения нового дополнительного кривошипа 6 должна быть параллельна оси вращения основного кривошипа 2 . Следует также отметить, что параметры эксцентрика C_1C_2 нового дополнительного кривошипа 6 должны равняться параметрам эксцентрика основного кривошипа A_1A_2 .

На рисунке 6, *a*, видно, что наличие нового дополнительного кривошипа 6 в случае поворота основного кривошипа 2 на угол β , который не отличается от углов 0 или 180° , позволяет дополнительно разгружать опоры как дополнительного 5 , так и нового дополнительного 6 кривошипов, что способствует нормальной работе эксцентриковой передачи.

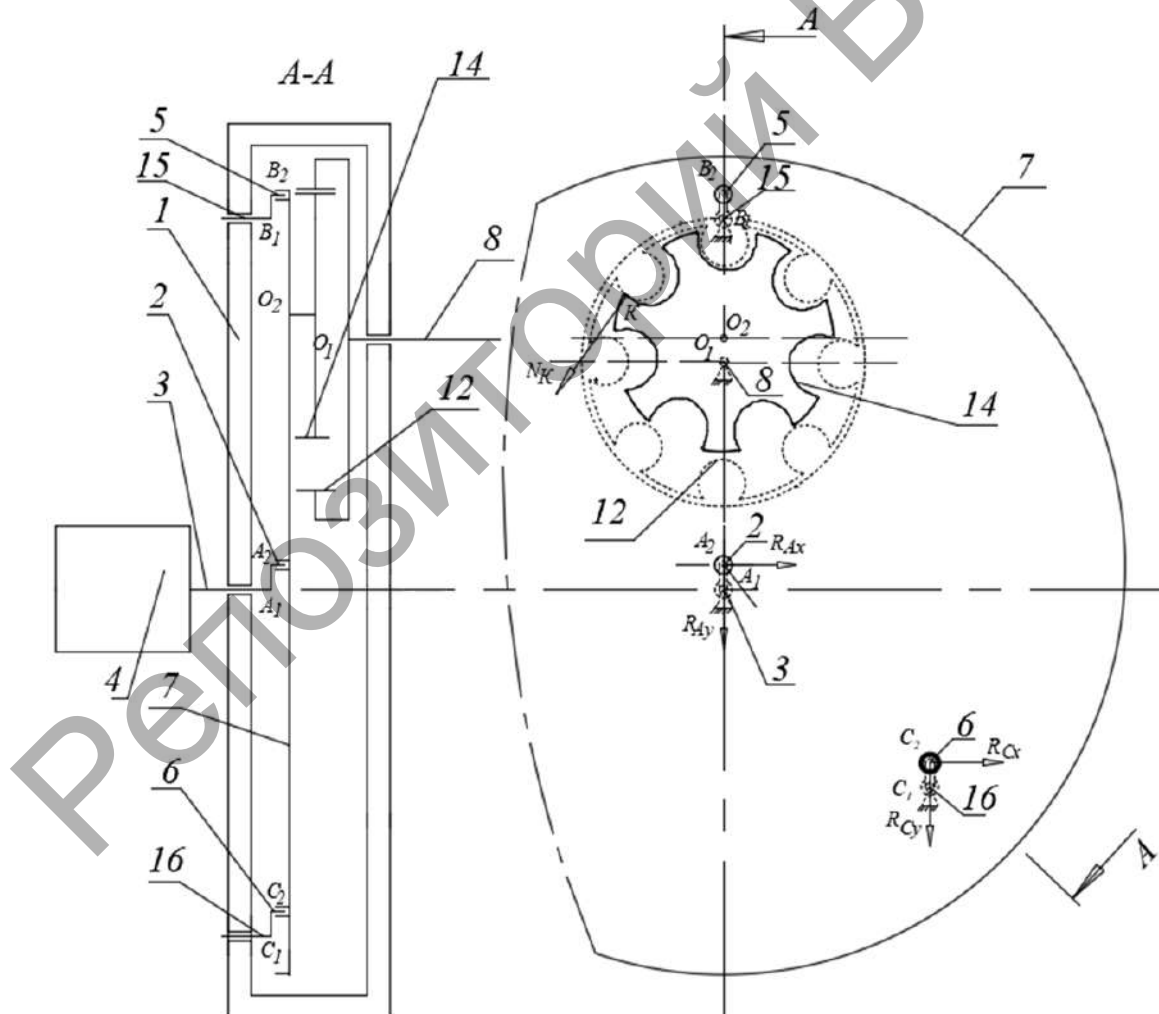


Рисунок 5. — Структурная схема эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов с новым дополнительным кривошипным валом 6

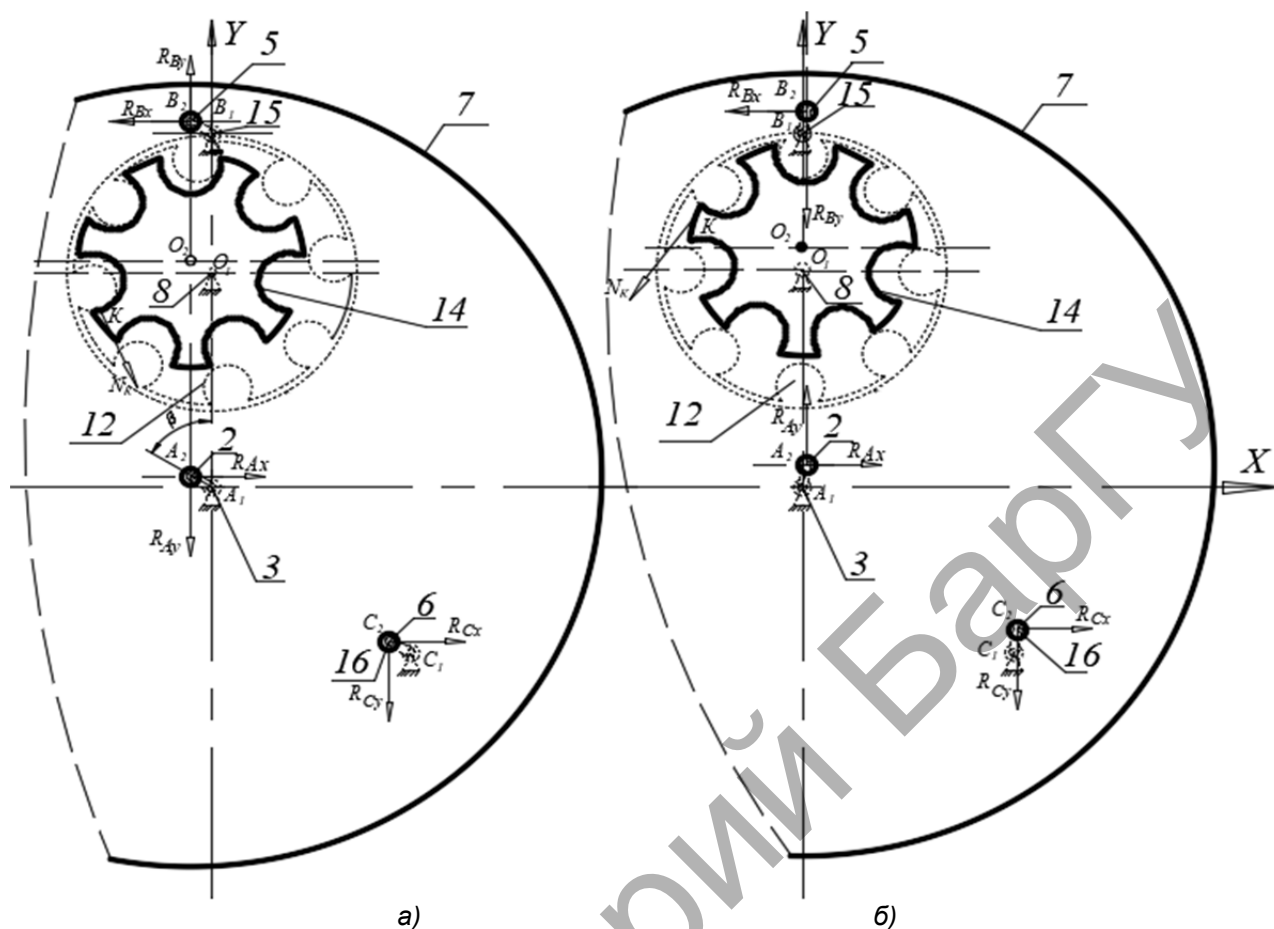


Рисунок 6. — Вариант эксцентриковой передачи с новым дополнительным кривошипным валом 6: а — при расположении эксцентрика основного кривошипа A_1A_2 под углом β к оси A_1Y ; б — нормальная работа эксцентриковой передачи при плоскопараллельном движении сателлита 7 в направлении движения основного эксцентрика A_1A_2

В случае, когда поворот основного кривошипа 2 будет осуществлен на угол β , равный углу 0° (или же 180°), несмотря на то, что вертикальная составляющая реакции R_{By} в точке B_2 дополнительного кривошипа 5 равна нулю, благодаря новому дополнительному кривошипу 6 сателлит 7 продолжит совершать плоскопараллельное движение (см. рисунок 6, б). Плоскопараллельное движение сателлита 7 не изменится, если все параллельные эксцентрики основного 2, дополнительного 5 и нового дополнительного кривошипов 6 совершат поворот на определенный угол относительно начального своего положения.

Следовательно, наличие как минимум одного нового дополнительного кривошипа 6 делает эксцентриковую передачу работоспособной по сравнению с первоначальным вариантом данной эксцентриковой передачи.

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты исследований основных показателей эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов на основе компьютерных исследований. Для проведения анализа поступательного движения сателлита была разработана компьютерная модель эксцентриковой передачи (рисунок 7).

При вращении входного вала 1 с кривошипом 2 сателлит 3 за счет пары вращения между поверхностью кривошипа 2 и поверхностью отверстия сателлита 3 совершает поступательное движение. На сателлите 3 имеется еще один внутренний зубчатый венец 4, который контактирует с наружными зубьями центрального колеса 5. Для создания необходимого поступательного движения сателлита 3 предусмотрены дополнительные кривошипы 7 и 9, вращающиеся на валах 6 и 8.

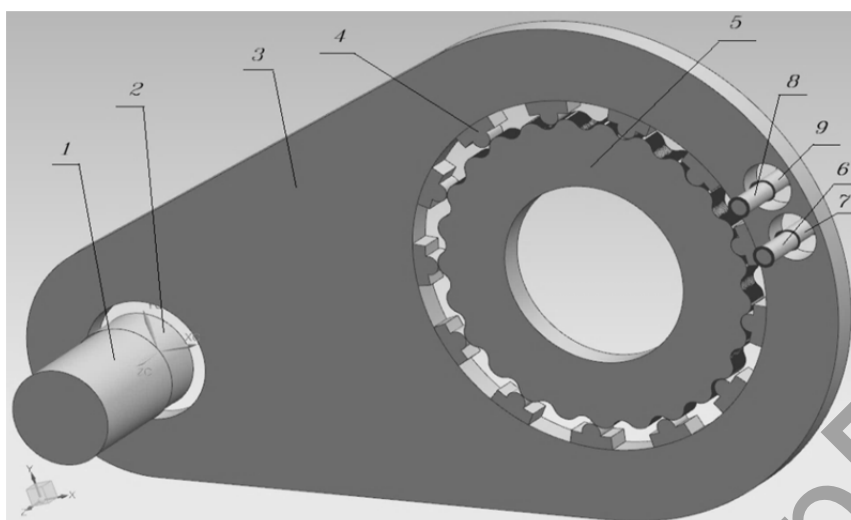


Рисунок 7. — Компьютерная модель эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов с дополнительными кривошипами 7 и 9, вращающимися на валах 6 и 8

Методика исследований эксцентриковых передач методами компьютерного моделирования рассмотрена в работе [7]. В целях определения параметров движения сателлита 3 была построена компьютерная модель.

В случае, когда связь между узлом вращения с дополнительным эксцентриком 9 и отверстием сателлита 3 не учитывается, в результате моделирования был построен график, показанный на рисунке 8. В данной компьютерной модели использовался вариант эксцентриковой передачи, рассмотренный на рисунках 1, 2. Результаты, отраженные на графике (см. рисунок 8), показывают изменение кинематической погрешности вращения выходного звена 5 от угла поворота входного вала 1. Данные результаты позволили сделать вывод о том, что при отсутствии дополнительного эксцентрика 9 наблюдается резкое изменение значения кинематической погрешности выходного звена 5, а затем ее заклинивание. Это подтверждает, что данный вариант эксцентриковой передачи неработоспособен.

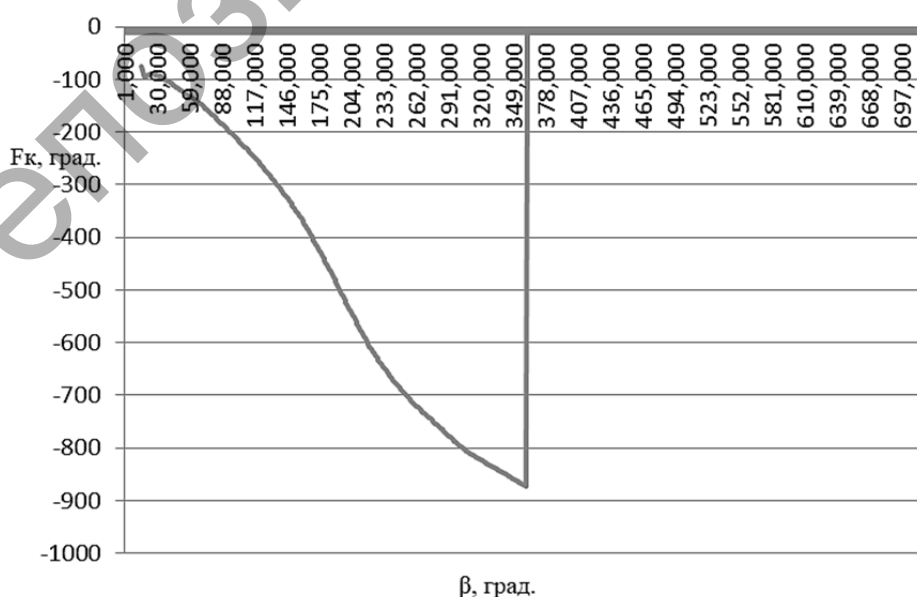


Рисунок 8. — Кинематическая погрешность выходного звена 5 от поворота входного вала при отсутствии связи между узлом вращения с дополнительным эксцентриком 9 и отверстием сателлита 3

В случае работы эксцентриковой передачи, имеющей новый дополнительный эксцентрик 9, получены графики, изображенные на рисунках 9, 10. В данном случае рассматривается вариант эксцентриковой передачи, показанной на рисунках 5, 6, в котором дополнительно включен новый дополнительный эксцентрик 9 с осью вращения 8.

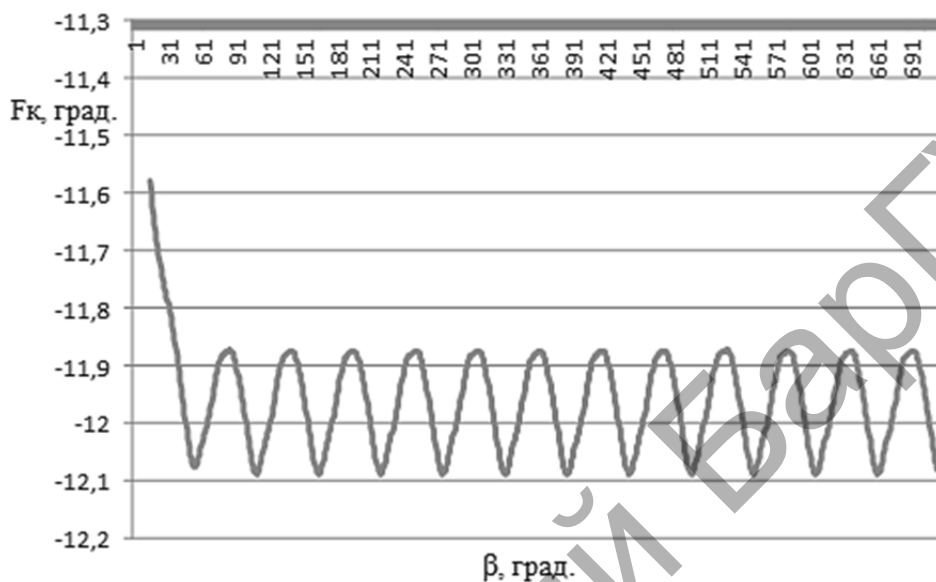


Рисунок 9. — Кинематическая погрешность выходного звена 5 от поворота входного вала при наличии связи между узлом вращения с дополнительным эксцентриком 9 и отверстием сателлита 3

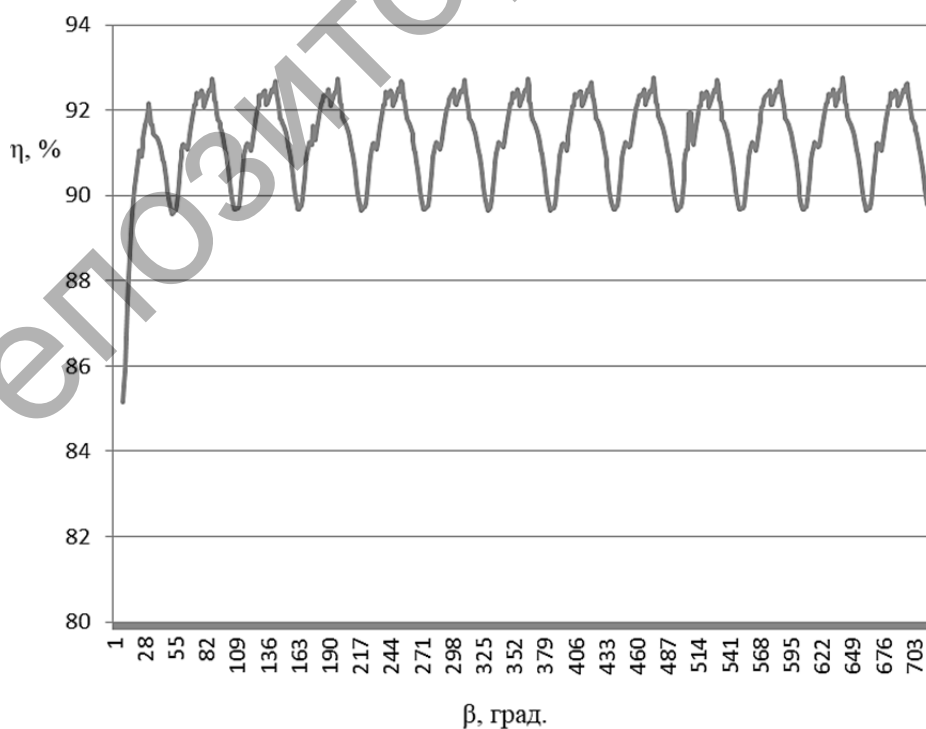


Рисунок 10. — Зависимость КПД от угла поворота выходного звена 5 при наличии связи между узлом вращения с дополнительным эксцентриком 9 и отверстием сателлита 3

Анализ вышеприведенных графических зависимостей позволяет заключить, что кинематическая точность вращения зубчатого колеса 5 находится в диапазоне от 11,7 до 12,1 угловых минут. Колебания КПД эксцентриковой передачи находятся на уровне от 88,9 до 93,0 %. Это говорит о том, что эксцентриковые передачи с параллельным расположением входного и выходного валов имеют уровень технических показателей, аналогичный эксцентриковым передачам с соосным расположением входного и выходного валов [8].

Заключение. Обеспечение поступательного движения сателлита при работе эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов возможно только при наличии нового дополнительного кривошипа.

Эксцентриковые передачи с параллельным расположением входного и выходного валов имеют уровень технических показателей, аналогичный эксцентриковым передачам с соосным расположением входного и выходного валов.

С учетом многообразия приводных устройств немаловажным является расширение ассортимента общемашиностроительных редукторных механизмов, способных удовлетворять широкому выбору компоновочных и эксплуатационных показателей за счет использования изделий, имеющих конструкцию предлагаемого типа.

Список цитированных источников

1. Олофинская, В. П. Детали машин. Основы теории, расчета и конструирования : учеб. пособие / В. П. Олофинская. — М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. — 72 с.
2. Иванов, М. Н. Детали машин : учеб. для академ. бакалавриата / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. — 16-е изд., испр. и доп. — М. : Юрайт, 2018. — 409 с.
3. Планетарная эксцентриковая передача : заявка 20190289 Респ. Беларусь : МПК F16H1/32 / П. Н. Громыко, С. Д. Макаревич, А. С. Макаревич ; дата публ.: 18.11.2019.
4. Макаревич, А. С. Передачи эксцентрикового типа с параллельным расположением входного и выходного валов / А. С. Макаревич, П. Н. Громыко // материалы 55-й студ. науч.-техн. конф., 3—4 мая 2019 г. — Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2019. — С. 150.
5. Планетарная передача : а. с. 1778392 СССР : МКИЗ F16H1/32 / Г. П. Большаков ; № 4767192/28 ; дата публ.: 30.11.1992.
6. Громыко, П. Н. Силовой анализ контактирующих зубьев эксцентриковой передачи, формообразованных на основе использования удлиненной эпициклоиды / П. Н. Громыко, Д. Ю. Макацария, Р. А. Бондарев // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. — 2021. — № 3. — С. 5—13.
7. Компьютерное моделирование планетарных прецессионных передач : монография / П. Н. Громыко [и др.] ; под общ. ред. П. Н. Громыко. — Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2007. — 271 с.
8. Громыко, П. Н. Совершенствование механизма передачи движения на выходное звено в эксцентриковых передачах типа К-Н-V / П. Н. Громыко, С. Н. Хатетовский, Д. Ю. Макацария // Гор. механика и машиностроение. — 2021. — № 2. — С. 27—33.

Поступила в редакцию 28.02.2022.