

## МАШИНОСТРОЕНИЕ . МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 621.83:004

**П. Н. Громыко, д-р техн. наук, проф., О. М. Пусков, канд. техн. наук, Л. Г. Доконов**

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЛАНЕТАРНОЙ ПРЕЦЕССИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ФРИКЦИОННОГО ТИПА**

Рассмотрены вопросы исследования планетарной прецессионной передачи фрикционного типа методами компьютерного моделирования. Показана конструкция исследуемой передачи, приведена методика создания модели передачи в САПР SolidWorks, описана методика исследований в приложении COSMOSMotion, предназначенном для моделирования динамических систем. Результаты исследований подтвердили работоспособность построенной компьютерной модели передачи и программного обеспечения для обработки результатов.

В настоящее время проектирование различных технических устройств редко обходится без применения современных методов компьютерного моделирования. Компьютерное моделирование является одним из самых перспективных инструментов современной науки и используется для решения практических задач. На отечественных машиностроительных предприятиях используются различные программные продукты для моделирования механических систем. Компьютерное моделирование позволяет инженеру, используя эскизные прорисовки, создавать и анализировать виртуальные модели.

При моделировании создается компьютерная механическая система, состоящая из определенных элементов. Учитываются взаимосвязи и контактные взаимодействия элементов, составляющих модель, а также внешние воздействия (силы или моменты). Компьютерная модель позволяет рассчитать траектории движения всех тел и возникающие силы реакций, т. е. решать прямую задачу динамики и кинематики.

Компьютерное моделирование позволяет существенно сократить сроки проектирования, испытания и настройки параметров технических объектов, в том числе и механических передач различных типов.

В машиностроении, кроме зубчатых передач, используют фрикционные передачи. К преимуществу фрикционных передач относится простота конструкции, обеспечивающая невысокую себестоимость изготовления и работу с пониженным уровнем шума и вибрации. Однако их использование ограничивается невысокой нагрузочной способностью и небольшими значениями передаточных отношений. Существующие типы фрикционных передач в основном используются как кинематические. В связи с вышесказанным, стоит проблема создания такой структуры фрикционной передачи, которая обеспечивала бы, с одной стороны, трансформацию вращения с большими значениями передаточных отношений в ограниченных объемах пространства, с другой – обладала нагрузочной способностью, позволяющей использовать передачу в качестве силовой. Решение указанной проблемы позволило бы отказаться от использования во многих механических приводах планетарных зубчатых передач, имеющих повышенную себестоимость изготовления и, следовательно, цену значительно выше цены фрикционных передач.

Для решения указанной выше научной проблемы авторами данной статьи предлагается заменить в структуре

планетарной прецессионной передачи зубчатые венцы на фрикционные диски. Данное технологическое решение позволит обеспечить повышение нагрузочной способности по сравнению с фрикционными передачами других типов, а также обеспечит значительные передаточные отношения на одной ступени при относительно невысокой себестоимости изготовления. При этом предлагается использовать новый способ автоматического создания натяга в контакте фрикционных дисков. Оба данных предложения способствуют созданию прецессионной фрикционной передачи на основе использования структуры планетарной прецессионной передачи зубчатого типа. Новизна данных решений подтверждается полученными патентами [1, 2].

Предлагаемая фрикционная прецессионная передача (рис. 1) содержит корпус 1, имеющий внутреннюю фрикционную рабочую поверхность, противовес 4, жестко связанный с входным валом, на противовес установлена эксцентриковая втулка, которая подпружинена в радиальном направлении пружиной 10, эксцентриковая втулка посредством подшипника 5 соединена с сателлитом 2, фрикционная наружная рабочая поверхность 3 которого взаимодействует с внутренней рабочей поверхностью корпуса 1. Вращение на выходной вал 7, установленный в подшипники 6 с сателлита 2, передается с помощью угловой муфты 8. На выходе установлена манжета 9.

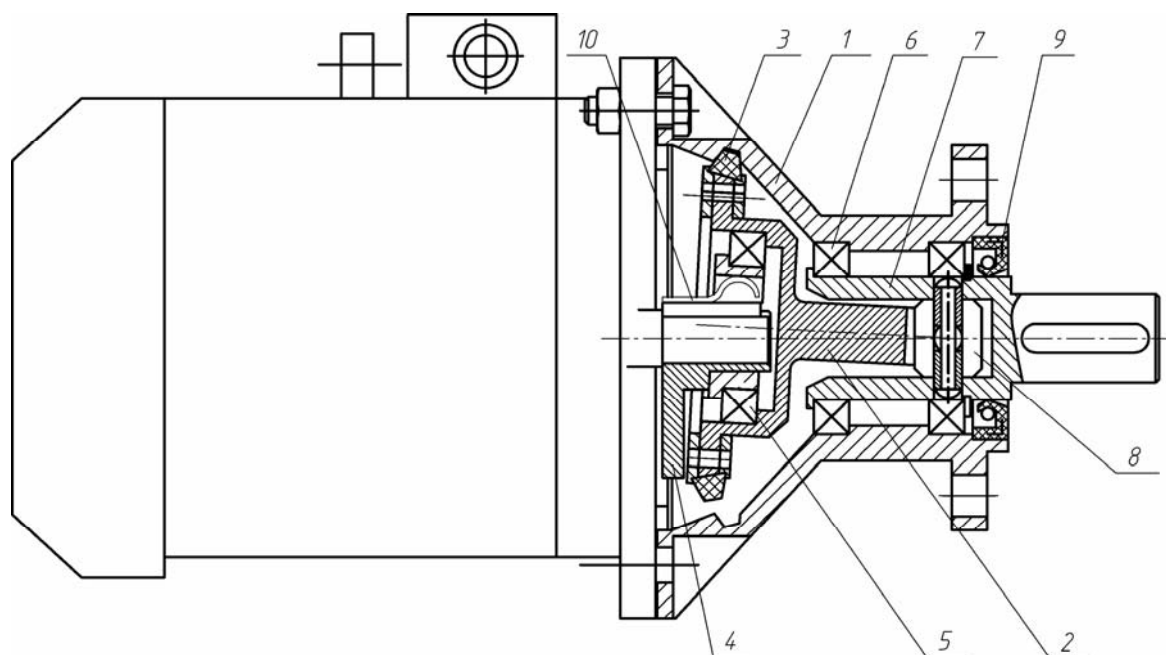


Рис. 1. Планетарная прецессионная передача фрикционного типа

На основе приведенной конструкции прецессионной передачи фрикционного типа была создана компьютерная модель (рис. 2). Данная компьютерная модель состоит из входного вала 1, имеющего наклонную цилиндрическую часть, исполняющую роль косоугольного кривошипа. На наклонной цилиндрической части косоугольного

кривошипа расположены две эксцентрические втулки 2 и 3. В случае износа контактирующих фрикционных поверхностей ослабление напряжений в зоне контакта центрального неподвижного колеса и сателлита, обеспечивающих требуемую несущую способность, не происходит, т. к. поворот эксцентрико-

вых втулок 2 и 3 относительно друг друга увеличивает суммарную величину эксцентриситета, благодаря чему постоянно поддерживается требуемая величина силы прижатия. Таким образом, износ контактирующих поверхностей и звеньев предлагаемой передачи не оказывает влияние на несущую способность, что увеличивает её долговечность. На наружной цилинд-

рической поверхности втулки 3 расположен сателлит 4. Коническая поверхность сателлита 4 контактирует с внутренней конической поверхностью неподвижного колеса 5. В результате указанного взаимодействия сателлит 4 получает вращение, которое может быть передано с помощью шарнира Гука на выходной вал 6.

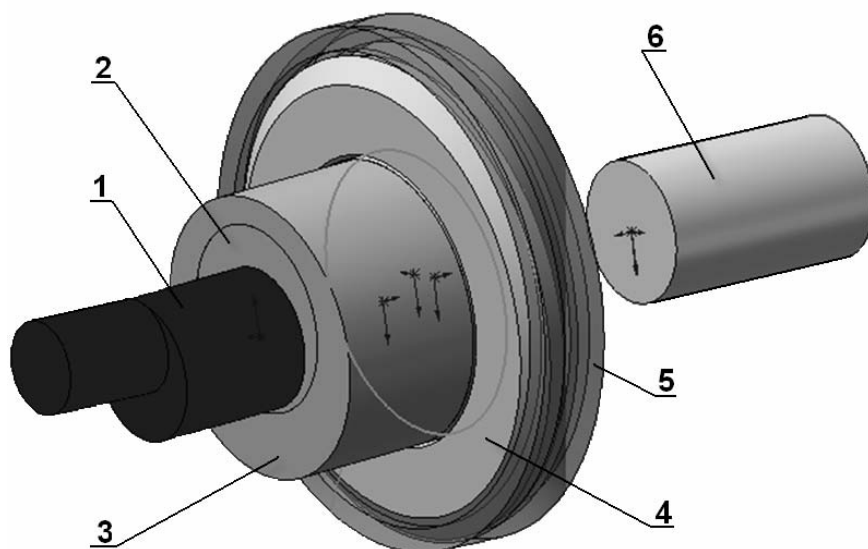


Рис. 2. Компьютерная модель прецессионной передачи фрикционного типа

Компьютерная модель, созданная в САПР SolidWorks, может быть исследована в приложении COSMOSMotion, предназначенном для моделирования динамических систем. Перед проведением исследований необходимо произвести настройку компьютерной модели, осуществив наложение на модель взаимосвязей и настройку параметров взаимодействия ее звеньев (рис. 3).

Центральное колесо определяется в меню программы «Parts» как «Ground Parts», т. е. как неподвижное. Все остальные звенья передачи определяются в этом же меню как «Moving Parts», т. е. как подвижные.

В меню «Constraints» и подменю «Joints» на звенья компьютерной модели наносятся определенные взаимосвязи. Так,

на входной 1 и выходной 2 валы, а также на эксцентриковые втулки 3 и 4 в местах расположения подшипников опор устанавливаются связи «Revolute Joint» относительно «Ground», благодаря чему звенья модели могут совершать взаимный поворот относительно выбранной оси. На сателлит устанавливается связь «Cylindrical Joint» 5 на наклонной части входного вала. Связь между сателлитом и выходным валом, позволяющая передать вращение от первого последнему, устанавливается в виде «Universal Joint» 6. Жесткость и коэффициент демпфирования для всех опор можно назначить в общем меню программы. При необходимости учета жесткости и коэффициента демпфирования в отдельных опорах вместо вы-

шеописанных взаимосвязей используется инструмент «Bushing» из подменю

«Forces» с назначением соответствующих параметров.

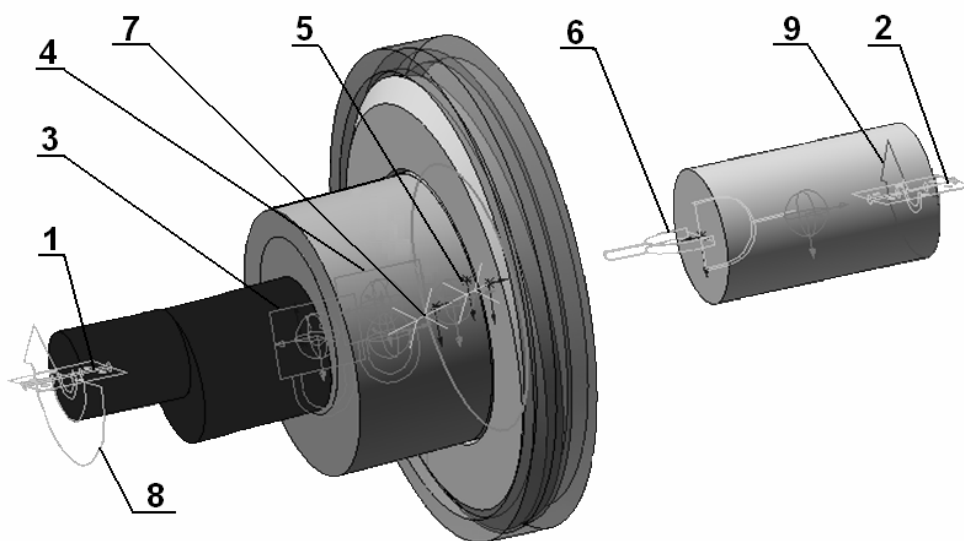


Рис. 3. Вид компьютерной модели прецессионной передачи фрикционного типа с наложенными на нее взаимосвязями

На центральное колесо и сателлит, поверхности которых находятся в контакте, устанавливается связь Contact3D 7 (3D-Контакт) – контакт двух и более тел с учетом особенностей их геометрии. В параметрах Contact3D назначаются материалы тел, входящих в контакт, а также коэффициенты статического и динамического трения.

Затем в меню «Motion» задается вращение вокруг оси OZ на входном валу 8 с угловой скоростью, равной  $1500 \text{ мин}^{-1}$ , что соответствует значению  $9000 \text{ град/с}$ . После этого в подменю «Action Only» на выходном валу 9 задается крутящий момент  $10 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

После наложения на компьютерную модель необходимых взаимосвязей осуществляют расчет.

Рассмотрим наиболее важные для механической передачи показатели – кинематическую точность и КПД, получение которых возможно в приложении COSMOSMotion.

Кинематическая точность любой

механической передачи характеризуется погрешностью или разностью между действительным и номинальным (расчетным) углами поворота ее ведомого вала, соответствующими одинаковым углам поворота ведущего вала в измеряемый момент времени.

Кинематическая погрешность может выражаться в угловых единицах.

$$\Delta\varphi_2 = \varphi_{2d} - \varphi_{2n};$$

$$\varphi_{2d} = \varphi_1 \cdot U, \quad (1)$$

где  $\Delta\varphi_2$  – кинематическая погрешность, угл. ед.;  $\varphi_{2d}$  – действительный угол поворота ведомого вала;  $\varphi_{2n}$  – номинальный угол поворота ведомого вала;  $\varphi_1$  – действительный угол поворота ведущего вала;  $U$  – передаточное число передачи.

Средства приложения COSMOSMotion позволяют отобразить изменение значений угла поворота выходного вала во времени в виде графика. Оценка кинематической погрешности пре-

цессионной передачи на основе полученной графической зависимости невозможно, т. к. изменение угла поворота выходного вала происходит в большом диапазоне, что не дает возможности оценить величину колебаний угла поворота относительно номинальных значений. Поэтому необходимо произвести обработку полученных данных, пользуясь формулами (1). Для этого в меню COSMOSMotion с помощью подменю «Export Results» и «To Text file» создается текстовый файл с данными результатов, который далее экспортируется в Microsoft Excel. Обработка экспортируемых данных осуществляется с помощью разработанной специально для этих целей программы, которая в автоматическом режиме рассчитывает шаг угла поворота и определяет кинематическую погрешность в минутах за один оборот выходного вала.

Перейдем к методике определения КПД, который не только определяет энергетические потери в звеньях передачи. Значение КПД рассчитывается по формуле

$$\eta = \frac{M_2 \cdot \omega_2}{M_1 \cdot \omega_1}, \quad (2)$$

где  $M_1$  – момент на входном валу, Н·м;  $M_2$  – момент на выходном валу, Н·м;  $\omega_1$  – угловая скорость вращения на входном валу, рад/с;  $\omega_2$  – угловая скорость вращения на выходном валу, рад/с.

На основе созданной модели планетарной прецессионной передачи в приложении COSMOSMotion могут быть получены параметры, входящие в формулу (2). Крутящий момент  $M_2$ , прилагаемый к выходному валу, и заданная угловая скорость входного вала  $\omega_1$  являются входными параметрами. Крутящий момент на входном валу  $M_1$  и угловая скорость выходного вала  $\omega_2$  снимаются непосредственно в результатах расчета модели в приложении COSMOSMotion.

Более подробно с методикой определения параметров прецессионной пере-

дачи фрикционного типа можно познакомиться в [3].

Для определения КПД необходимо произвести перерасчет исходных и полученных параметров в соответствии с формулой (2). Для этого был создан программный модуль на алгоритмическом языке Visual Basic, который встраивается в Microsoft Excel как надстройка, что дает возможность использовать модуль во всех документах. Программа автоматически распознает данные, производит расчет КПД, а также представляет результаты расчета в графическом виде. Однако предварительно требуется произвести экспорт данных из приложения COSMOSMotion в Microsoft Excel. Результатом работы программы в Microsoft Excel является график изменения КПД во времени.

В результате анализа компьютерной модели передачи были получены графические зависимости кинематической погрешности угла поворота выходного вала  $\varphi$  от времени при различных значениях крутящего момента на входном валу и значений коэффициента полезного действия  $\eta$  от времени, представленные на рис. 4 и 5.

Одним из критериев, на основании которых возможна оценка целесообразности использования прецессионной передачи фрикционного типа, является уровень значений реакций в подшипниковых опорах выходного вала и сателлита. Снижение силовых факторов положительно сказывается на долговечности работы передачи и на ее массогабаритных показателях. На рис. 6 и 7 показана зависимость реакций в подшипниковых опорах сателлита и выходного вала от времени.

Таким образом, разработанная методика компьютерных исследований планетарной прецессионной передачи фрикционного типа позволяет получать значения КПД, кинематической погрешности и реакций в подшипниковых опорах, что позволит выбирать рациональные параметры при проектирова-

нии передачи. Полученные графические зависимости подтвердили работоспособность построенной компьютерной модели

передачи и программного обеспечения для обработки результатов.

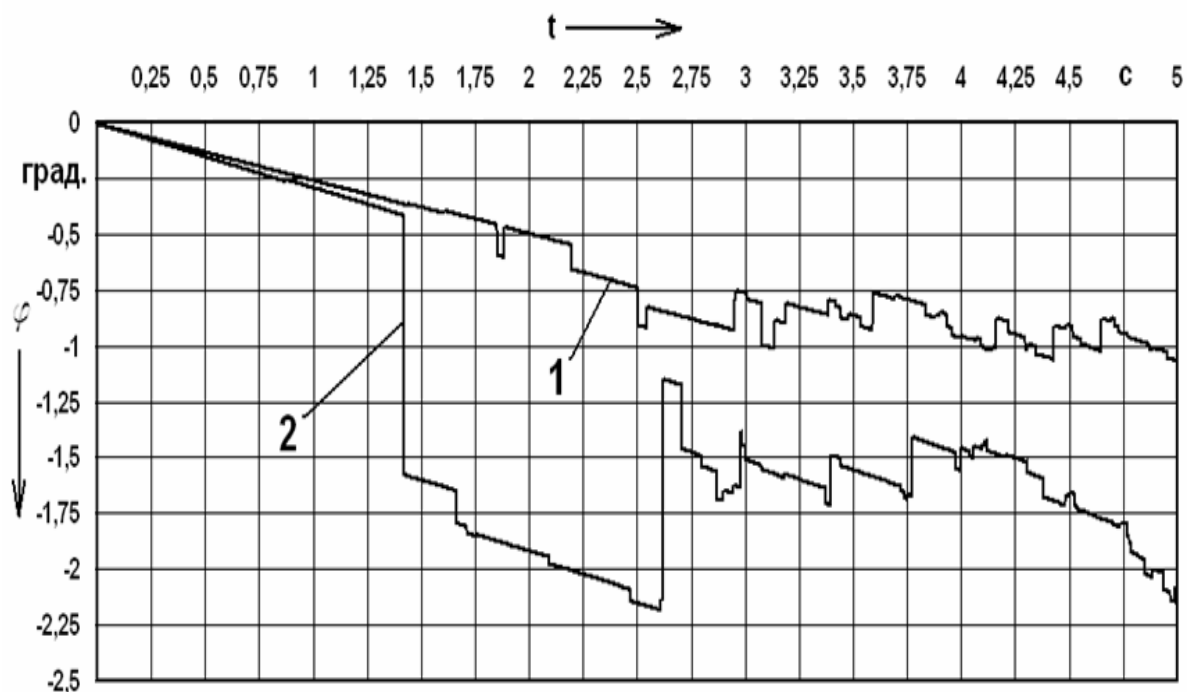


Рис. 4. Зависимость кинематической погрешности от времени: 1 – для момента на выходном валу 10 Н·м; 2 – для момента на выходном валу 15 Н·м

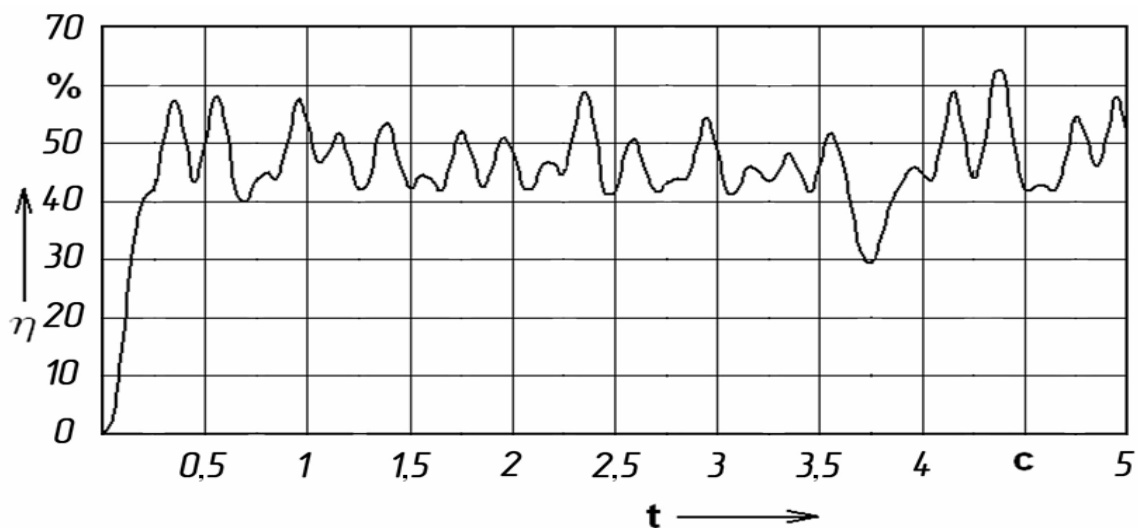


Рис. 5. Зависимость значений КПД от времени

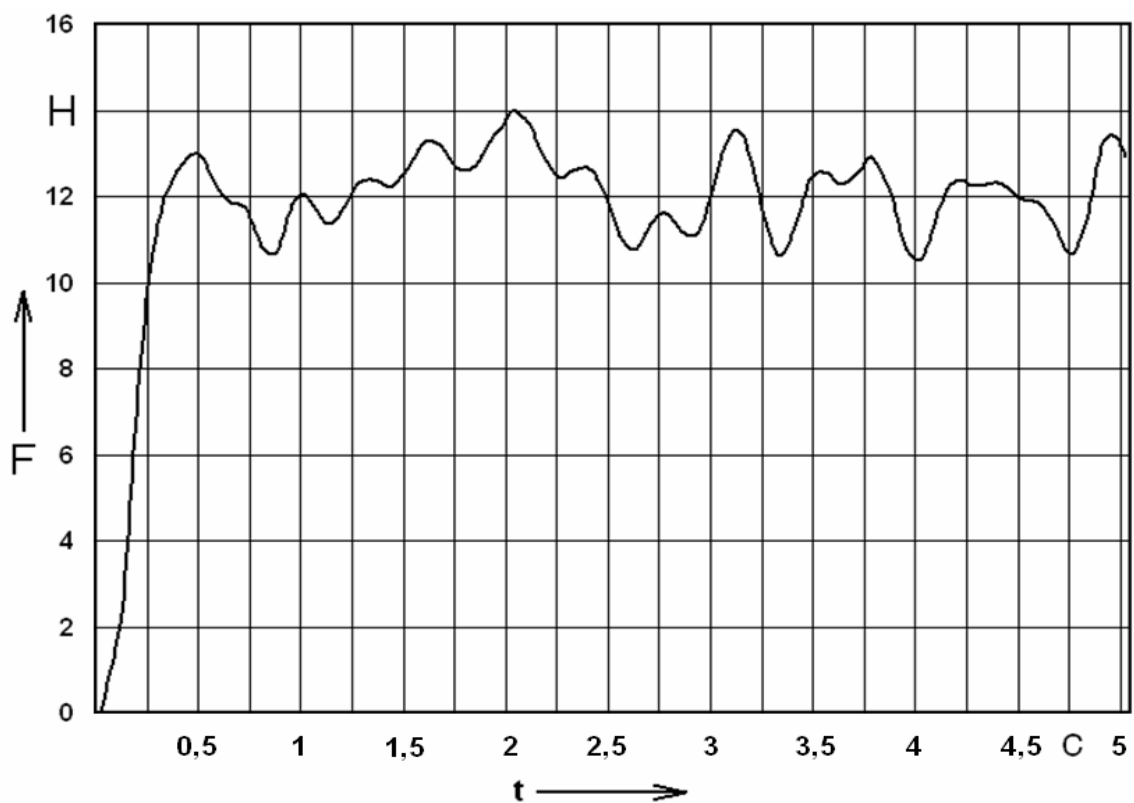


Рис. 6. Изменение значений реакций в подшипниковых опорах спутника

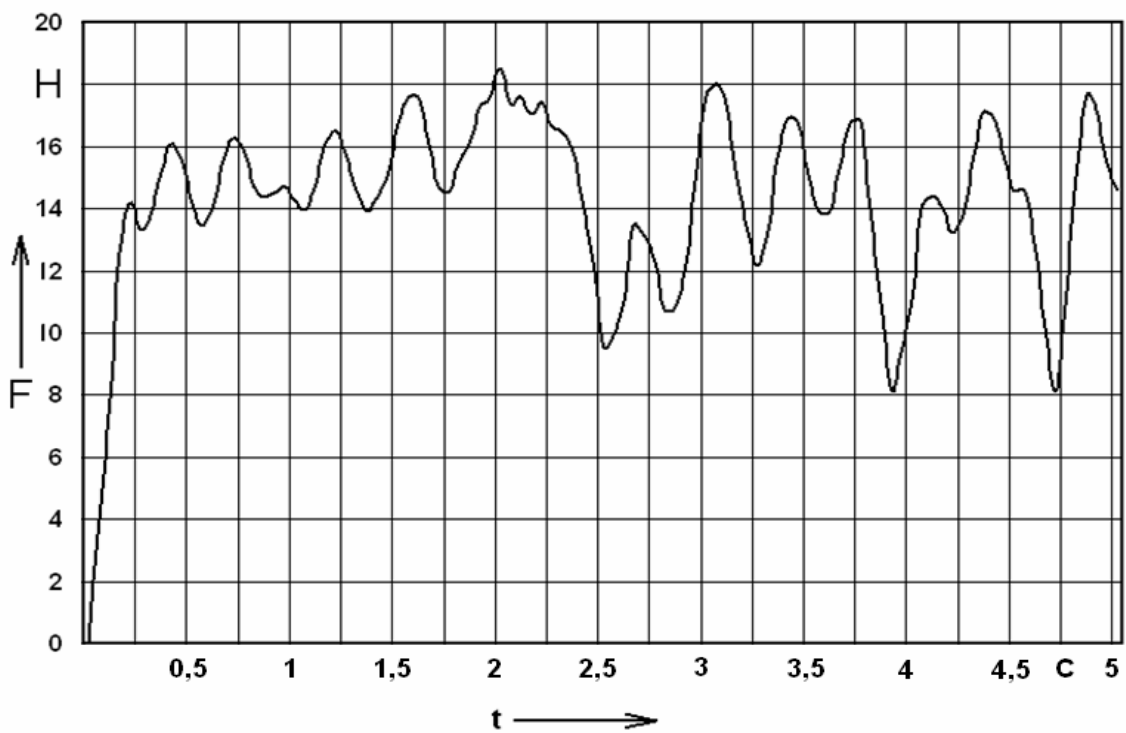


Рис. 7. Изменение значений реакций в подшипниковых опорах выходного вала

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 3156 ВУ, МКИ<sup>7</sup> F 16 H 7/02, 37/02. Фрикционная планетарная передача / В. Л. Басинюк [и др.] ; заявитель и патентообладатель Ассоциация «Наматехсис». – № и 20060282 ; заявл. 28.04.06 ; опубл. ОБ № 6 2006 г. – С. 199.

2. Пат. 3157 ВУ, МКИ<sup>7</sup> F 16 H 7/02, 37/02. Фрикционная планетарная передача / В. Л. Басинюк [и др.] ; заявитель и патентообладатель Ассоциация «Наматехсис». – № и 20060283 ; заявл. 28.04.06 ; опубл. ОБ № 6 2006 г. – С. 200.

3. Компьютерное моделирование планетарных прецессионных передач : монография / П. Н. Громыко [и др.] ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. П. Н. Громыко. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – 271 с. : ил.

Белорусско-Российский университет  
Материал поступил 27.11.2008

**P. N. Gromyko, O. M. Puskov, L. G. Dokonov**  
**Creation of the methods for computer research**  
**of friction-type planetary precession transmission**

The problems of computer research of friction type planetary precession transmission have been considered in the paper. The design of the transmission under research has been given, the methods for a CAD model of the transmission within SolidWorks environment have been presented, the methods of some research within COSMOSMotion application for dynamic systems modeling have been described. The results of the research have proved workability of the software developed to process the results.