

УРАВНОВЕШИВАНИЕ ПЛАНЕТАРНОЙ ПРЕЦЕССИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ¹

М.Д. Курожко, Д.С. Галюжин

В статье рассмотрены теоретические исследования по нахождению величины дисбаланса противовеса в планетарной прецессионной передаче, предложена методика по уравниванию передачи с помощью методов компьютерного моделирования.

Ключевые слова: Планетарная прецессионная передача, компьютерная модель, система автоматизированного проектирования.

Создание теоретических основ уравнивания ППП позволит получить простые формулы для разработки методики расчета, которой сможет пользоваться большой круг специалистов. Исследования в данной области уже велись [1, 3], однако в работах имелись значительные допущения, не рассматривался вопрос о динамической балансировке вращающихся звеньев. Поэтому данный вопрос доработан и уточнен для получения ряда формул с минимальными допущениями, и которыми сможет пользоваться большой круг специалистов.

В общем случае любое число вращающихся масс может быть уравновешено двумя противовесами, однако в большинстве случаев размещение противовесов невозможно с конструкторскими ограничениями либо их наличие усложняют конструкцию. Анализ расположения противовеса слева либо справа от расчетной точки ранее не производился, также не было доказано в расчетных исследованиях и то, что главный вектор сил инерции сателлитного колеса (рисунок 1) относительно неподвижного центра О перпендикулярен подвижной плоскости параллелограмма угловых скоростей $\bar{\omega}_2 = \bar{\omega}_1 + \bar{\omega}_{2-1}$, а также, что абсолютная величина главного момента сил инерции сателлита 2 относительно центра О при установившемся движении ($\omega_1 = const$) является величиной постоянной.

Результатом проведенной работы явилось получение формул на базе расчетной схемы, показанной на рисунке 1.

$$\begin{cases} R^\phi = (m_{I,1} \cdot r_{C_{I,1}} + m_{I,2} \cdot r_{C_{I,2}} + m_2 \cdot r_{C_2}) \cdot \omega_1^2 \\ H = \frac{(m_{I,1} \cdot r_{C_{I,1}} \cdot l_1 + m_{I,2} \cdot r_{C_{I,2}} \cdot l_2 + \frac{\varepsilon_2}{\omega_1^2} I_{2E}^{np}) \cdot \omega_1^2}{(m_{I,1} \cdot r_{C_{I,1}} + m_{I,2} \cdot r_{C_{I,2}} + m_2 \cdot r_{C_2})} \end{cases} \quad (1)$$

где R^ϕ – равнодействующая сил инерции вращающихся звеньев,

H – расстояние от центра прецессии до центра масс противовеса,

$m_2, m_{I,1}, m_{I,2}$ – массы сателлита, щеки и шейки наклонного вала соответственно,

$r_{C_2}, r_{C_{I,1}}, r_{C_{I,2}}$ – радиусы вращения центра масс сателлита, щеки и шейки наклонного вала, относительно точки прецессии,

ω_1 – угловая скорость вала,

ε_2 – угловое ускорение сателлита,

¹ Статья подготовлена в ходе выполнения научно-исследовательской работы студентов на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты»

l_1, l_2 – расстояние от точки прецессии до центра масс щеки и шейки наклонного вала соответственно,

I_{2E}^{np} – приведенный момент инерции сателлита.

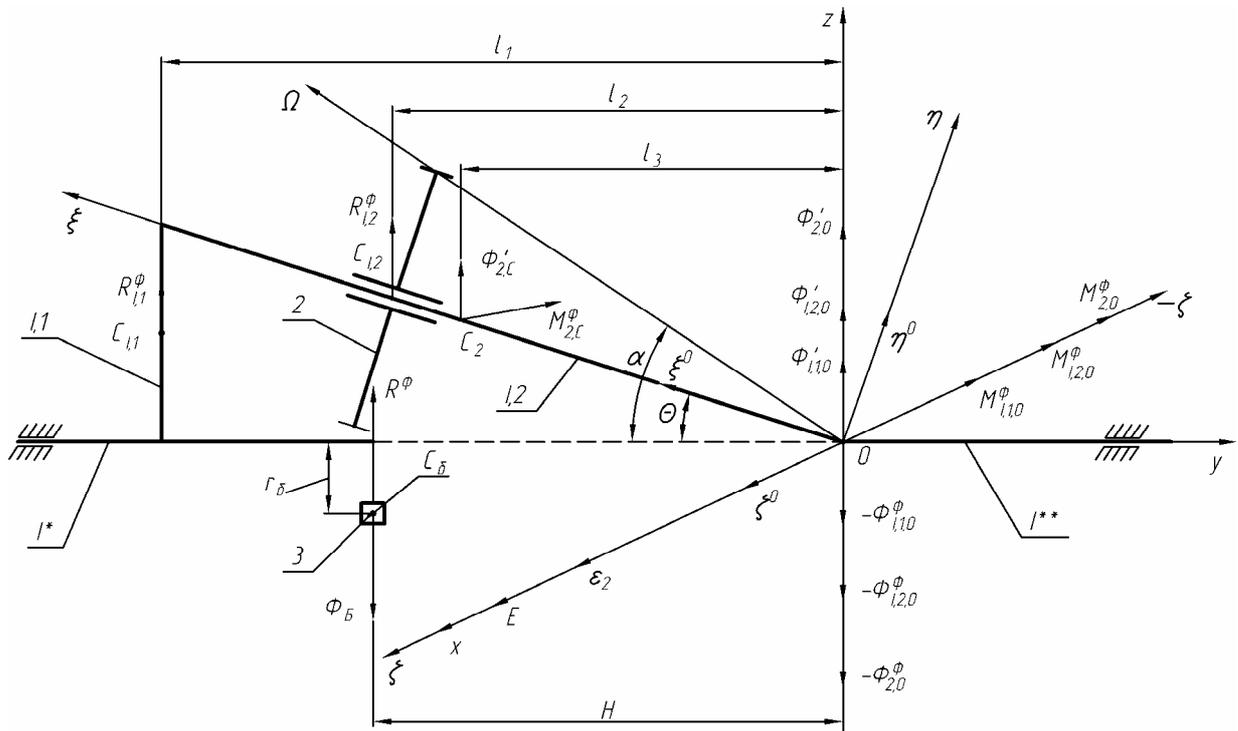


Рис. 1. Расчетная схема для определения величины дисбаланса противовеса ППП

Формулы 1 содержат параметры, определение которых вызывает значительную сложность, например, определение приведенного момента инерции сателлита I_{2E}^{np} . Поэтому, необходим был поиск других методов уравнивания вращающихся звеньев ППП, которые исключали бы необходимость определения указанных выше параметров. Одним из таких методов является использование методов компьютерного моделирования [2, 3].

Методика уравнивания вращающихся деталей ППП с помощью методов компьютерного моделирования сводится к следующему:

- создание компьютерных моделей вращающихся деталей ППП с заданием их физико-механических свойств;
- осуществить сборку деталей, исключаящую их интерференцию;
- средствами САПР Solidworks произвести расчет расположения центра масс вращающихся деталей в абсолютной системе координат;
- изменяя геометрические параметры противовеса, вывести центр масс системы на ось вращения входного вала.

Теоретически для подсчета центра масс системы, состоящей из однородных тел, используют формулы:

$$X_C = \frac{1}{S} \sum s_k \cdot x_k \quad (2)$$

$$Y_C = \frac{1}{S} \sum s_k \cdot y_k \quad (3)$$

где S – суммарная площадь всех тел, входящих в сечение,
 s_k – площади сечений составляющих тел,
 x_k, y_k – координаты точек приложения сил тяжести по каждому сечению.

Современные средства компьютерного моделирования с высокой степенью точности позволяют определить местоположение центра масс системы. Данные программы разбивают все тела на конечное число малых элементов, вычисляя по отдельности их координаты центра масс и их массу, а далее производится расчет уже для всей системы.

Рассмотрим последовательность определения центра масс на примере планетарной прецессионной передачи (ППП) типа К-Н-V с передаточным отношением 24. На *рисунке 2* показана исследуемая система вращающихся масс ППП, где 1 - абсолютная точка отсчета и 2 - точка расположения центра масс. Данные расчета центра масс системы вращающихся звеньев ППП представляются в виде таблицы, приведенной на *рисунке 3*.

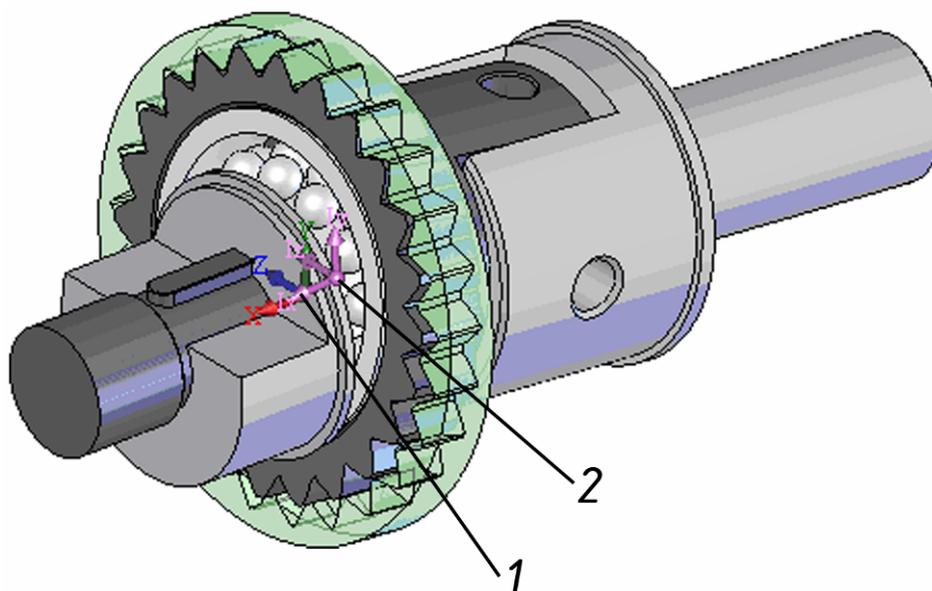


Рис. 2. Общий вид системы с расположением центра масс вращающихся звеньев ППП относительно абсолютной системы координат

Массовые характеристики уравновешивание (Assembly Configuration - По умолчанию): %2		
Активная система координат : -- по умолчанию --		
Плотность = 0.00800 граммов на кубический миллиметр		
Масса = 1444.65999 граммов		
Объем = 180582.49840 кубических Миллиметры		
Площадь поверхности = 70972.86405 квадратных Миллиметры		
Центр масс: (Миллиметры)		
X = -0.00015		
Y = -0.01169		
Z = 63.28987		
Основные оси инерции и основные моменты инерции: (граммов * квадратных Миллиметры)		
центр масс		
Ix = (0.00000, -0.04984, 0.99876)		Px = 807009.88395
Iy = (-0.00016, -0.99876, -0.04984)		Py = 2943953.78684
Iz = (1.00000, -0.00016, -0.00001)		Pz = 2999202.90271
Моменты инерции: (граммов * квадратных Миллиметры)		
(@центр масс, выровнен с системой координат)		
Lxx = 2999202.90124	Lxy = 8.72081	Lxz = 5.61188
Lyx = 8.72081	Lyy = 2938645.76186	Lyz = -106370.95278
Lzx = 5.61188	Lzy = -106370.95278	Lzz = 812317.91040

Рис. 3. Данные расчета центра масс системы вращающихся звеньев ППП относительно абсолютной системы координат

Для учета динамических составляющих при уравновешивании вращающихся звеньев ППП используем следующую схему, представленную на рисунке 4. Реальный противовес заменяется невесомым диском со штырем 1, на котором расположен противовес 2 с заданными массовыми характеристиками, взятыми из статического уравновешивания. Определение оптимального расположения противовеса производим путем его перемещения относительно точки прецессии и устанавливаем значение реакций в подшипниковых опорах.

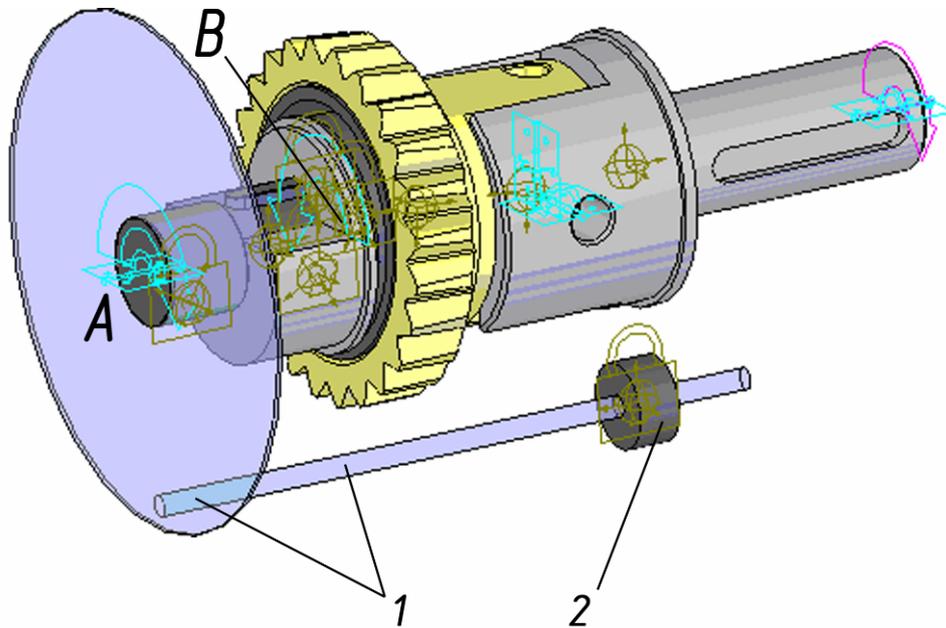


Рис. 4. Общий вид расчетной системы для динамического уравновешивания

Последовательно были определены суммарные реакции в подшипниковых опорах при перемещении противовеса на расстояние от 0 до 90 мм от точки прецессии с шагом в 10 мм, в результате были получены следующие графические зависимости значений реакций за один оборот входного вала. Далее была выбрана область, где значения в подшипниковых опорах были минимальны, и шаг перемещения противовеса был уменьшен до 0,5 мм. Так на рисунках 5 и 6 представлены графические зависимости

изменения суммарных реакций в подшипниковых опорах за время одного оборота входного вала при расположении противовеса на расстоянии 90 мм от центра прецессии. Обозначим наиболее удаленную подшипниковую опору буквой «А», а вторую - «В» (см. рисунок 4).

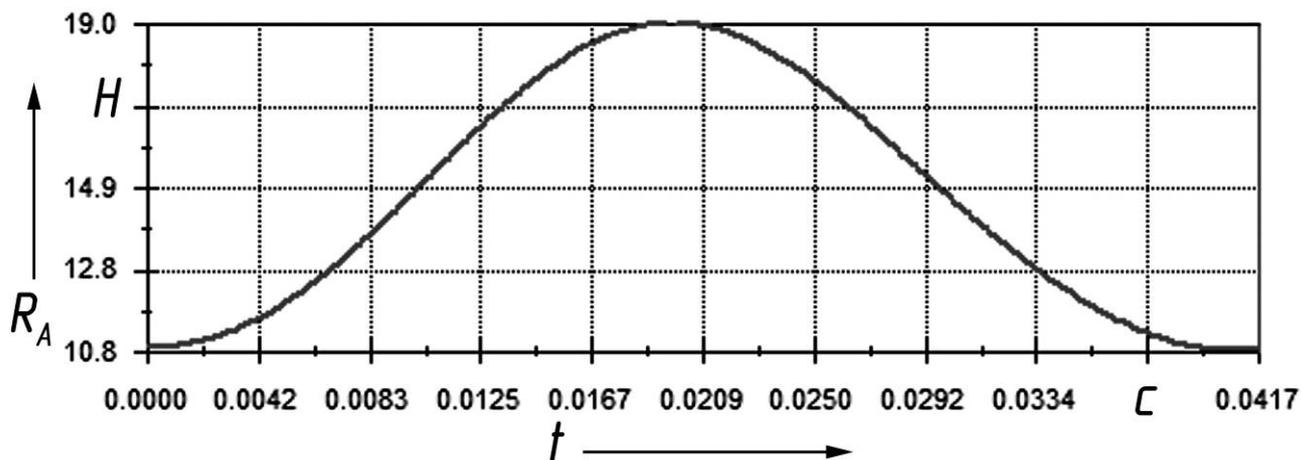


Рис. 5. Изменение суммарной реакции в подшипниковой опоре А за время одного оборота входного вала при расположении противовеса на расстоянии 90мм от центра прецессии

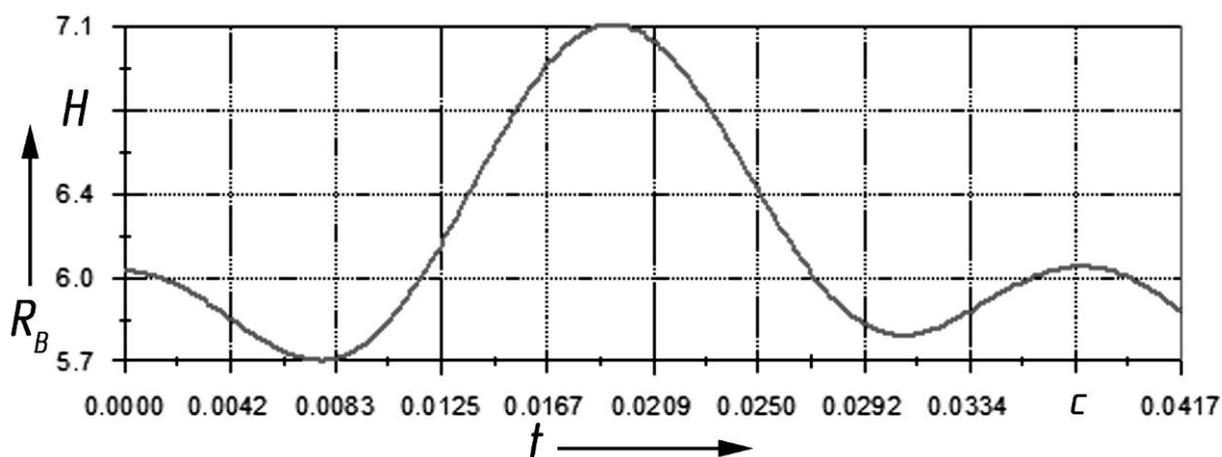


Рис. 6. Изменение суммарной реакции в подшипниковой опоре В за время одного оборота входного вала при расположении противовеса на расстоянии 90мм от центра прецессии

Так на рисунках 7 и 8 представлены графические зависимости изменения значений суммарных реакций в подшипниковых опорах за время одного оборота входного вала при расположении противовеса у центра прецессии.

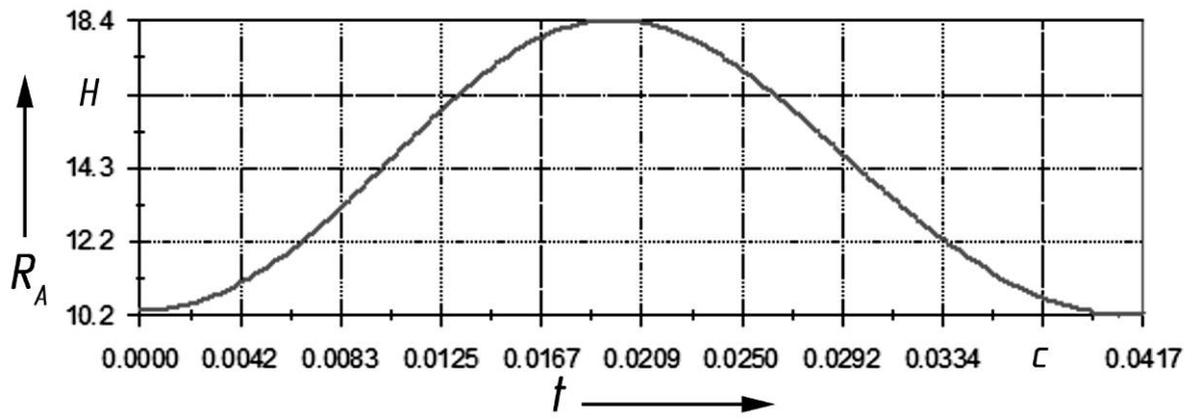


Рис. 7. Изменение суммарной реакции в подшипниковой опоре А за время одного оборота входного вала при расположении противовеса в центре прецессии

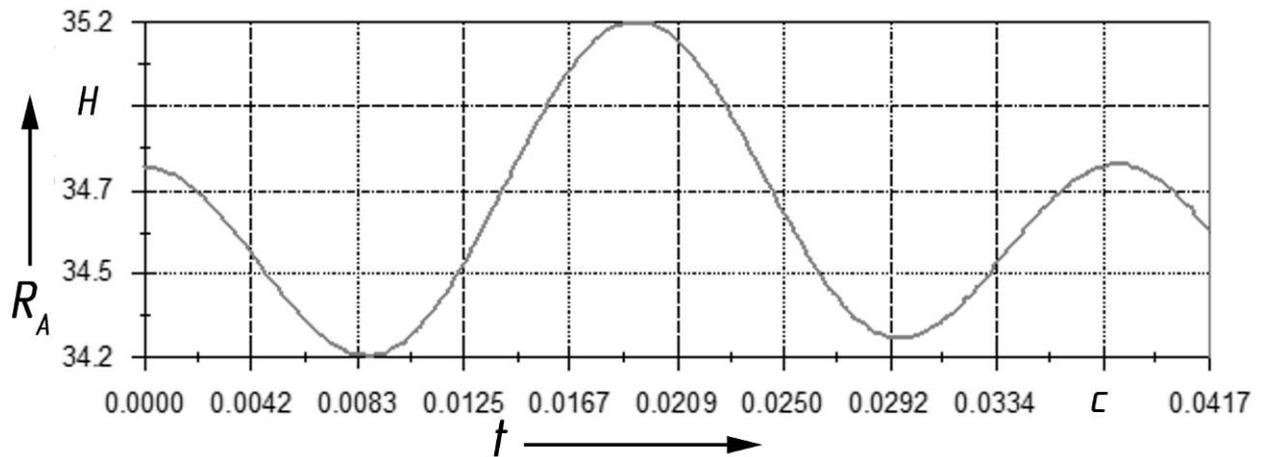


Рис. 8. Изменение суммарной реакции в подшипниковой опоре В за время одного оборота входного вала при расположении противовеса в центре прецессии

При расположении противовеса на расстоянии 67 мм от центра прецессии реакции в подшипниковых опорах минимальны (рисунки 9 и 10).

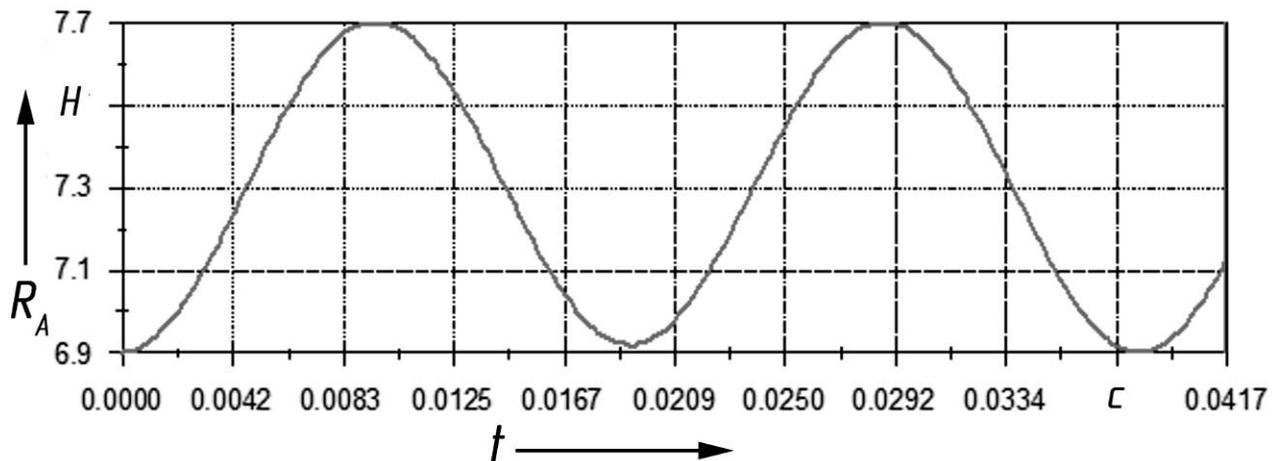


Рис. 9. Изменение суммарной реакции в подшипниковой опоре А за время одного оборота входного вала при расположении противовеса на расстоянии 67 мм от центра прецессии

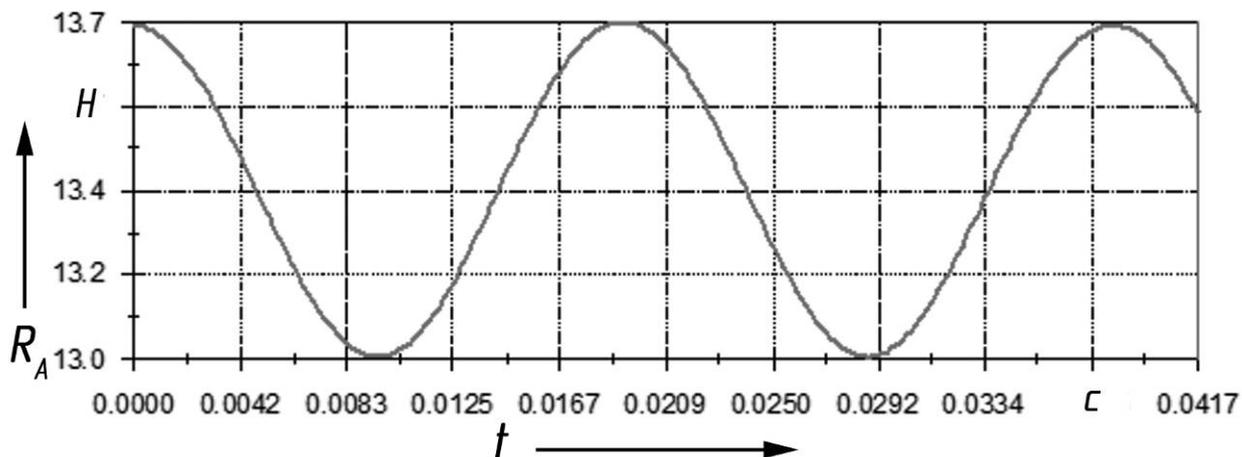


Рис. 10. Изменение суммарной реакции в подшипниковой опоре В за время одного оборота входного вала при расположении противовеса на расстоянии 67 мм от центра прецессии

Анализ полученных графических зависимостей позволяет сделать вывод о том, что для минимизации суммарных реакций в подшипниковых опорах «А» и «В» противовес необходимо располагать за торцом сателлита, находящемся на более удаленном расстоянии от точки прецессии.

Таким образом, с помощью методов компьютерного моделирования было найдено такое расположение противовеса и определено значение его дисбаланса, при которых реакции в подшипниковых опорах минимальны.

Литература

1. Скойбеда А. Т. Коническо-цилиндрические прецессионные редукторы (КЦПР)/ А.Т.Скойбеда, П.Н.Громыко. – Мн.: БГПА, 2001. – 189 с.
2. Solidworks/ Компьютерное моделирование в инженерной практике /Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одицов Е.В., Харитонович А.И., Пономарев Н.Б. - СПб.:БХВ-Петербург, 2005.-800с.: ил.
3. Галюжин, Д.С. Полное уравновешивание вращающихся звеньев коническо-цилиндрической прецессионной передачи // Перспективные технологии, материалы и системы: сб. науч. тр. МГТУ. – Могилев, 2003. – С.32-36.

Курожко Максим Дмитриевич

Студент машиностроительного факультета
Белорусско-Российский университет, г. Могилёв
Тел.: +375(29) 837 10 12

Галюжин Даниил Сергеевич

Доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты», канд. техн. наук, доцент
Белорусско-Российский университет, г. Могилёв
Тел.: +375(222) 22-06-39