

УДК 621.83.06

А. В. Капитонов, К. В. Сасковец, А. И. Касьянов, Д. В. Лешко, П. А. Фильченко

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ
МАЛОГАБАРИТНЫХ РАДИАЛЬНО-ПЛУНЖЕРНЫХ РЕДУКТОРОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ САПР**

UDC 621.83.06

A. V. Kapitonov, K. V. Saskovets, A. I. Kasyanov, D. V. Leshko, P. A. Filchenko

**COMPUTER-AIDED DESIGN OF SMALL-SIZE RADIAL PLUNGER REDUCERS
USING ADVANCED CAD**

Аннотация

Приведены результаты автоматизированного проектирования конструкции малогабаритного планетарного радиально-плунжерного редуктора, компьютерные модели редуктора и его деталей, результаты моделирования его работоспособности, кинематики и динамики в САПР Siemens NX. Проведена оптимизация профиля многопериодной дорожки с целью устранения интерференции в зацеплении, уменьшения зазоров и повышения плавности работы передачи.

Ключевые слова:

планетарный радиально-плунжерный редуктор, компьютерные модели, моделирование кинематики и динамики передачи, оптимизация профиля многопериодной дорожки.

Abstract

The paper gives the results of the computer-aided design of a small-size planetary radial plunger reducer, the computer models of the reducer and its components, the results of simulating its performance, kinematics and dynamics in Siemens NX CAD. The optimization of the multi-period track profile was performed to eliminate interference in engagement, to reduce gaps and to enhance smooth transmission operation.

Key words:

planetary radial plunger reducer, computer models, simulation of kinematics and dynamics of transmission, optimization of multi-period track profile.

В современных машинах широко используются редуцирующие механизмы. Разработка инновационных технологий проектирования и создание новых конструкций механических передач является важнейшей научной и инженерной задачей. Современные механизмы все больше проектируют небольших размеров и массы, при этом их эксплуатационные характеристики не уступают более габаритным аналогам.

Исследуемые планетарные радиально-плунжерные передачи с промежуточными телами качения являются

малогабаритными. Они имеют небольшую массу и небольшие габаритные размеры по сравнению с зубчатыми передачами, большие передаточные отношения в одной ступени, соосность входного и выходного валов и др.

Построенные на основе этих передач редукторы применяются в ручных лебедках, станочных приспособлениях, приводе станка монтажа-демонтажа автомобильных шин, приводе перемещения технологических приспособлений для полива стадиона, как усилители мо-

ментов к гаечным ключам и машинным тискам [1]. Их также можно использовать в мехатронных устройствах, например, в приводах роботов.

Однако, несмотря на проведенные ранее исследования, существует ряд нерешенных задач при проектировании, изготовлении и контроле радиально-плунжерных передач. Конструкции таких передач мало изучены, и еще меньше изучены вопросы, связанные с точностью изготовления, методами контроля и оценкой их эксплуатационных характеристик.

Целью научной работы, результаты которой представлены в статье, являлась разработка и использование методики компьютерного моделирования и автоматизированного проектирования конструкций малогабаритных радиально-плунжерных передач и оценка их работоспособности. С помощью компьютерного 3D-моделирования можно оп-

ределить недостатки конструкции редукторов на начальных этапах проектирования, исследовать их кинематику и динамику. Для данных целей при разработке моделей редукторов использовалась лицензионная САПР Siemens NX.

На рис. 1 показана 3D-модель разработанного редуктора, выполненная в NX8. Редуктор имеет две ступени. Передаточное отношение каждой ступени равно 11, передаточное отношение редуктора – 121. Редуктор состоит из вала ведущего 1, эксцентриков 2, установленных в каждой ступени, сепаратора первой ступени 3, двух центральных колес 4, фланца правого 5, кольца соединительного 6, сепаратора второй ступени 7, выполненного вместе с выходным валом, стакана подшипникового 8, фланца левого 9, кольца компенсатора 10, втулки распорной 11, подшипников № 110 12, подшипников № 104 13.

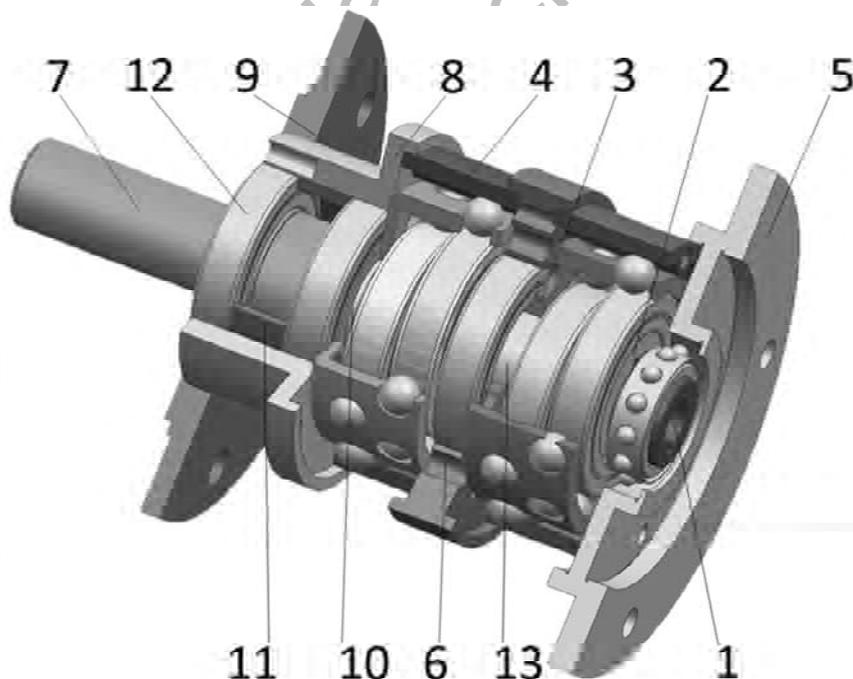


Рис. 1. 3D-модель двухступенчатого планетарного радиально-плунжерного редуктора

При вращении ведущего вала 1 эксцентрики, установленные на этом валу, воздействуют на шары-сателлиты, входящие в зацепление с многопериодными дорожками колес 4 и отверстиями сепараторов-водил 3 и 7. Количество шаров в каждом ряду на единицу больше, чем количество периодов дорожки колеса 4, поэтому за один оборот ведущего звена система шаров повернется

совместно с сепаратором 3 на один угловой период многопериодной дорожки колеса 4. При этом обеспечивается передаточное отношение одной ступени, равное одиннадцати [1].

В системе Siemens NX были разработаны модели основных деталей редуктора. На рис. 2 показаны 3D-модели деталей зацепления редуктора.

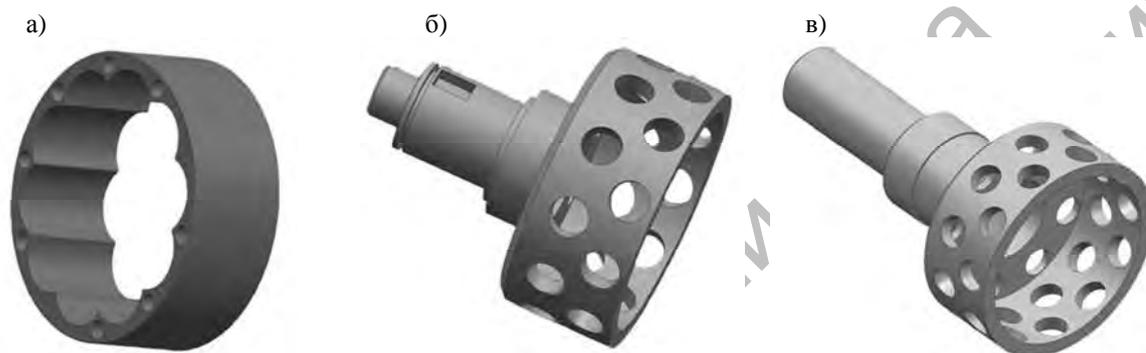


Рис. 2. 3D-модели деталей зацепления: а – центральное колесо с многопериодной дорожкой; б – сепаратор-водило первой ступени; в – сепаратор-водило второй ступени

Также были смоделированы другие детали редуктора, в том числе и унифицированные. В CAD-модуле программы NX получена модель сборки редуктора и проведена проверка сборки на наличие зазоров и интерференции деталей при моделировании вращения, т. к. пересечение компонентов приводит к заклиниванию узлов механизма при работе, а большие зазоры ухудшают кинематические и динамические характеристики передачи. Для обеспечения высокой точности сборки редуктора были установлены допустимые отклонения размеров на контактирующих поверхностях механизма.

На рис. 3 показана модель зацепления передачи.

Кинематический и динамический анализ в модуле программы Motion simulation подтвердил работоспособность механизма. При моделировании работы одной и двух ступеней передачи задавались угловая скорость входного

вала 6000 град/с (1000 об/мин), нагрузка на выходном валу, равная 10, 20 и 30 Н·м, передаточные отношения равные 11 и 121. При моделировании учитывались силы контакта деталей в зацеплении, силы трения, механические свойства материалов, жесткость деталей, объемные силы. В результате моделирования получены графики зависимости угловых перемещений, угловых скоростей, угловых ускорений от времени при различных заданных условиях. Значения графиков, полученных моделированием, близки значениям, полученным расчетным путем [1, 2]. При этом колебания значений угловых скоростей и угловых ускорений за оборот выходного вала незначительны, что характеризует высокую плавность работы передачи без ударов.

Для обеспечения высокой работоспособности моделируемой передачи необходимо определить оптимальные геометрические параметры и форму

профиля многопериодной кривой, которая является осью перемещения фрезы при формообразовании дорожки центрального колеса [1–4]. Многопериод-

ная кривая описывается уравнением смещенной окружности, замкнутой на плоскости.



Рис. 3. 3D-модель зацепления передачи

Для оптимизации профиля дорожки использовался метод приближения замкнутой кривой путем последовательной замены кривых, полученных предыдущим моделированием. Сначала при построении профиля многопериодной дорожки центрального колеса и симуляции вращения звеньев передачи использовалась кривая, построенная по формуле смещенной окружности с числом периодов, равным 10. Так как форма кривой и профиля дорожки не позволила устранить зазоры всех шаров-сателлитов в зацеплении, то в программе задавалось условие, при котором шары были сопряжены с кулачком. Тем самым зазоры между шарами и ведущей дорожкой (кулачком) не оказывали значительного влияния на точность их перемещения. После симуляции вращения путем вывода графиков перемещения

шара-сателлита по координатам X и Y была построена кривая дорожки, замкнутая на плоскости (первое приближение). Затем для симуляции вращения использовались координаты точек перемещения этого шара, полученные в первом приближении. Повторяя замену кривых, полученных предыдущим моделированием, и описанные выше действия еще несколько раз, была смоделирована достаточно точная кривая, учитывающая особенности геометрии зацепления, которая использовалась при проведении конечной симуляции вращения редуктора под различными нагрузками.

Для построения многопериодной кривой замкнутой на плоскости была разработана программа в VBA Excel. На рис. 4 показан график полученной кривой, а на рис. 5 – код программы в ре-

даторе VBA. Алгоритм программы содержит массив значений радиус-векторов положений точек кривой, формулы расчета координат точек окружности X и Y в декартовой системе координат, смещенной на величину эксцентриситета, равную 3,75 мм, фор-

мулу расчета радиус-векторов в полярной системе координат, вывод координат точек в таблицу Excel с шагом, равным числу периодов дорожки, – 10. Для изменения значений переменной использовался цикл со счетчиком, который реализуется оператором For.

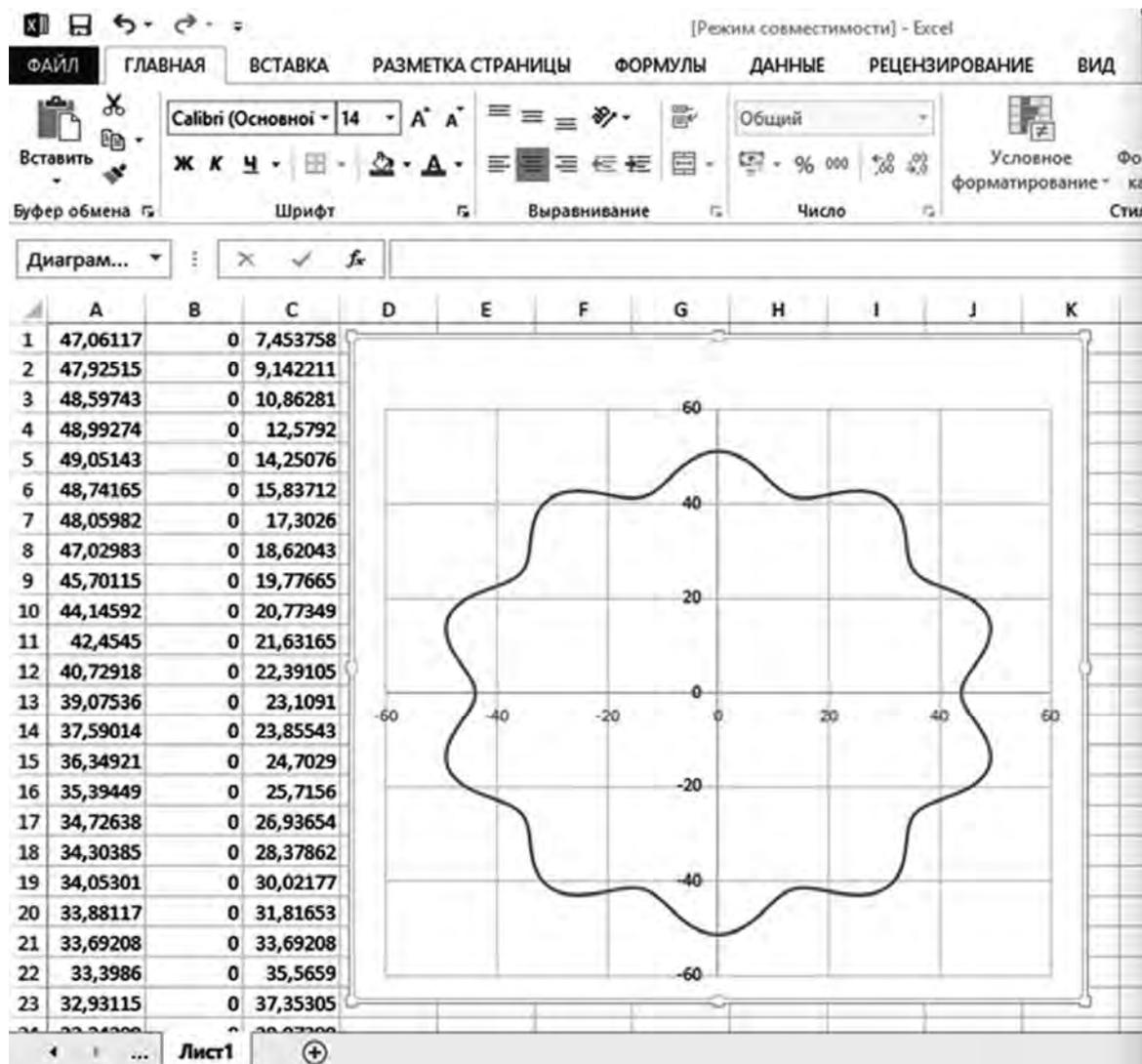
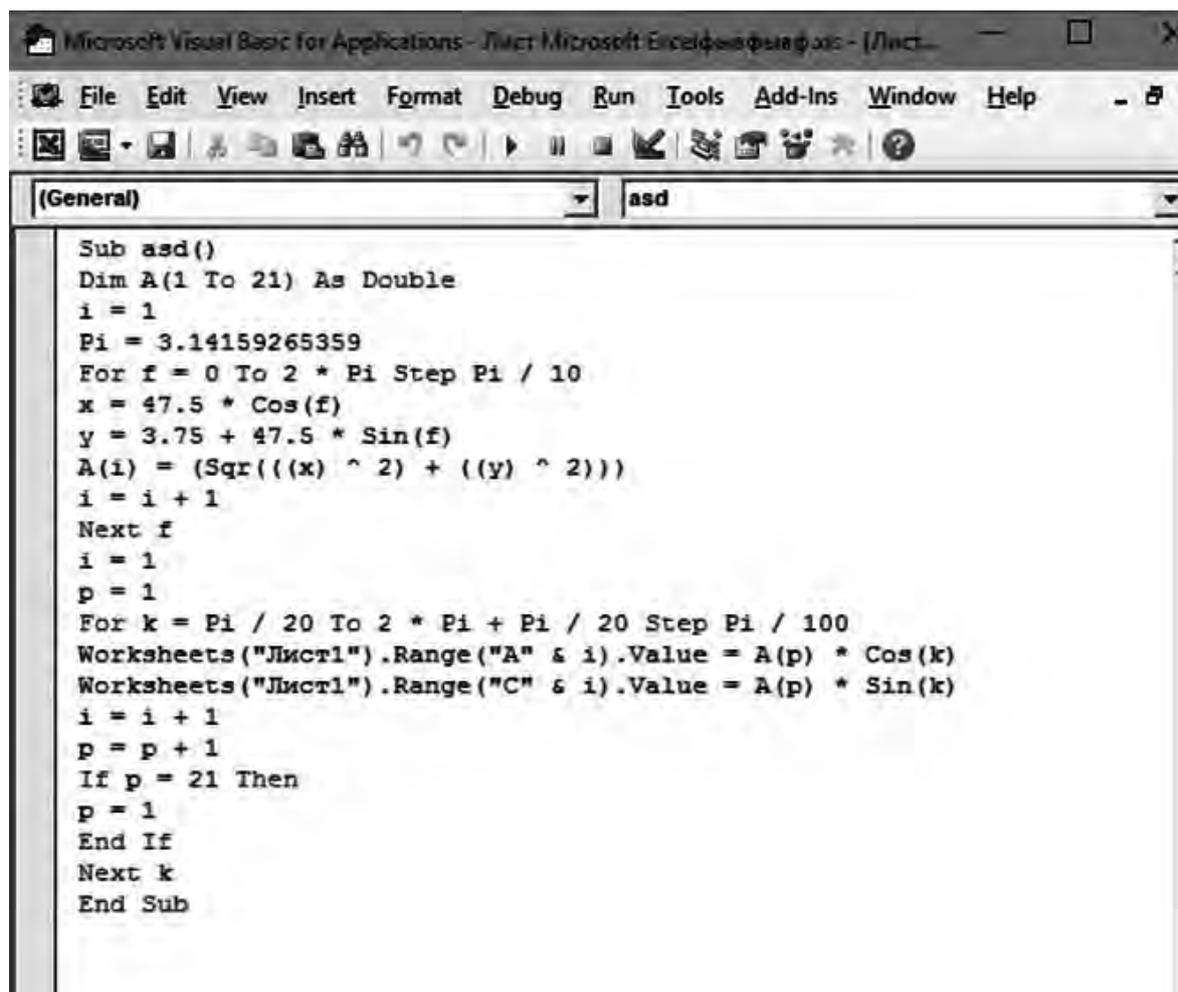


Рис. 4. График многопериодной кривой, замкнутой на плоскости



```

Sub asd()
Dim A(1 To 21) As Double
i = 1
Pi = 3.14159265359
For f = 0 To 2 * Pi Step Pi / 10
x = 47.5 * Cos(f)
y = 3.75 + 47.5 * Sin(f)
A(i) = (Sqr(((x) ^ 2) + ((y) ^ 2)))
i = i + 1
Next f
i = 1
p = 1
For k = Pi / 20 To 2 * Pi + Pi / 20 Step Pi / 100
Worksheets("Лист1").Range("A" & i).Value = A(p) * Cos(k)
Worksheets("Лист1").Range("C" & i).Value = A(p) * Sin(k)
i = i + 1
p = p + 1
If p = 21 Then
p = 1
End If
Next k
End Sub

```

Рис. 5. Код программы в редакторе VBA для построения многопериодной кривой

Для построения профиля многопериодной дорожки необходимо построить многопериодную эквидистантную кривую на расстоянии, равном половине диаметра шарика-сателлита, – 7,5 мм. На рис. 6 показано окно программы NX, в котором отображена эквидистантная кривая. По полученной эквидистантной кривой построено центральное колесо редуктора с поверхностью многопериодной дорожки (рис. 7). Оптимизированный профиль дорожки позволил

улучшить кинематику и динамику передачи, повысить ее плавность работы, уменьшить колебания угловой скорости и углового ускорения.

Проверка модели редуктора на наличие интерференции и зазоров показала, что в зацеплении находится 7 шариков-сателлитов из 11, что позволяет повысить нагрузочную способность и плавность работы передачи и является высоким показателем усовершенствования ее конструкции.

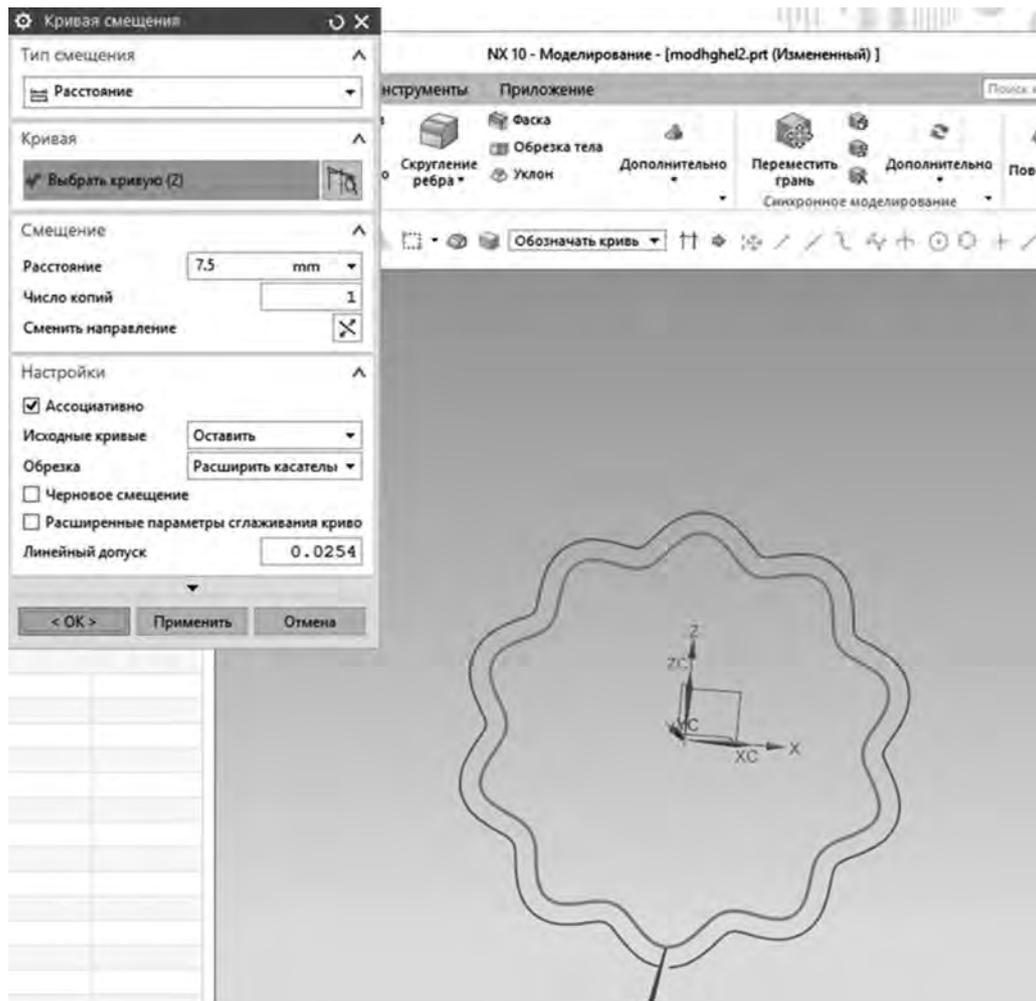


Рис. 6. Моделирование эквидистантной кривой

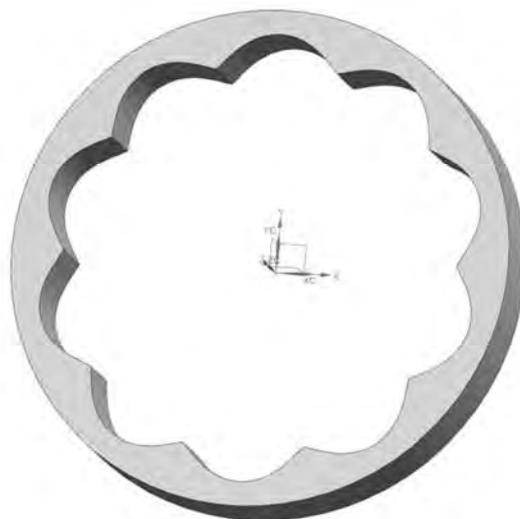


Рис. 7. Центральное колесо редуктора с оптимизированной поверхностью многопериодной дорожки

Выводы

Разработанная методика автоматизированного проектирования малогабаритных планетарных радиально-плунжерных передач на базе программного обеспечения САПР Siemens NX позволила создать компьютерные модели редуктора и его деталей, провести

моделирование кинематики и динамики передачи, оптимизацию профиля многопериодной дорожки с целью устранения интерференции в зацеплении, уменьшения зазоров и повышения нагрузочной способности и плавности работы передачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Планетарные кулачково-плунжерные передачи. Проектирование, контроль и диагностика / М. Ф. Пашкевич, В. М. Пашкевич, А. М. Пашкевич, С. В. Чертков. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2003. – 221 с.
2. **Пашкевич, М. Ф.** Планетарные шариковые и роликовые редукторы и их испытания / М. Ф. Пашкевич, В. В. Герасценко. – Минск : БелНИИНТИ, 1992. – 248 с.
3. Управление точностью планетарных роликовых передач на основе их моделирования и спектрального анализа кинематических погрешностей / М. Ф. Пашкевич, В. М. Пашкевич, В. В. Капитонов, А. М. Пашкевич // Изв. Белорус. акад. наук. – 2002. – № 1. – С. 45–52.
4. **Капитонов, А. В.** Методика оценки точности обработки периодических дорожек планетарных малогабаритных передач / А. В. Капитонов // Вестн. МГТУ. – 2004. – № 1. – С. 60–64.

Статья сдана в редакцию 15 июня 2015 года

Александр Валентинович Капитонов, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-298-36-97-41.

Константин Валерьевич Сасковец, студент, Белорусско-Российский университет.

Артем Игоревич Касьянов, студент, Белорусско-Российский университет.

Павел Андреевич Фильченко, студент, Белорусско-Российский университет.

Денис Васильевич Лешко, студент, Белорусско-Российский университет.

Aleksandr Valentinovich Kapitonov, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University. Phone: +375-298-36-97-41.

Konstantin Valeryevich Saskovets, student, Belarusian-Russian University.

Artem Igorevich Kasyanov, student, Belarusian-Russian University.

Pavel Andreyevich Filchenko, student, Belarusian-Russian University.

Denis Vasilyevich Leshko, student, Belarusian-Russian University.