

УДК 621.831

**П. Н. Громыко, д-р техн. наук, проф., С. Н. Хатетовский, канд. техн. наук, доц.,
Д. С. Галюжин, канд. техн. наук, Л. Г. Доконов**

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕЦЕССИОННОГО РЕДУКТОРА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассмотрены вопросы моделирования планетарной прецессионной передачи, включающие геометрический и прочностной расчеты, а также определение эксплуатационных характеристик. При моделировании использованы такие пакеты программ, как AutoCad и SolidWorks. Разработаны твердотельные модели колес планетарной прецессионной передачи, позволяющие определить и исследовать ее характеристики. Разработана методика автоматизированного проектирования планетарной прецессионной передачи.

Компьютерное моделирование является одной из перспективных областей современной науки. Его использование не ограничивается только лишь научными исследованиями, но имеет также практическое значение. Компьютерное моделирование позволяет инженеру, используя первоначальные эскизные прорисовки, создавать и анализировать виртуальные модели. При этом сокращается цикл разработки, так как сокращается цикл доводки опытных образцов.

Ряд современных исследователей занимаются вопросами компьютерного моделирования и созданием на их основе механических передач. Так, д-р техн. наук, проф. В. И. Гольдфаб и канд. техн. наук С. В. Лунин активно занимаются вопросами в этой области и посвятили этому ряд серьезных публикаций [1, 2]. На большинстве отечественных крупных машиностроительных предприятиях используются различного рода программы для моделирования механических систем. На их основе корректируется и дополняется конструкторская документация.

Поэтому проблема, заключающаяся в необходимости использования современных методов компьютерного моделирования при создании, исследовании и проектировании редуцирующих механизмов для машиностроительных приводов, которые бы удовлетворяли техническим требованиям и имели бы более низкую себестоимость изготовления, является весьма актуальной.

Строительно-отделочная техника относится к средствам малой механизации и широко применяется при проведении строительных и ремонтных работ. В настоящее время существует достаточно большое количество разновидностей строительно-отделочных машин. Большой класс представляют машины для устройства полов: бетонозаглаживающие, затирочные, паркетшлифовальные, мозаично-шлифовальные и т.д. Одним из основных элементов этих машин является механический или электромеханический привод.

Следует отметить, что к приводам строительно-отделочных машин предъявляются требования по минимизации их осевого размера, и не только из соображений компактности. Важно, чтобы центр масс привода находился как можно ближе к рабочему органу, так как это напрямую связано с качеством производимой строительно-отделочной машиной работы [3].

В связи с этим актуальным является разработка новых видов соосных механических передач для приводов строительно-отделочных машин, которые обеспечивают снижение осевого размера. При этом не менее важны экономические показатели, основным из которых является себестоимость изготовления и сборки привода. Особый интерес при проектировании редуцирующих устройств представляет относительно новый класс соосных механических передач – планетар-

ные прецессионные передачи (ППП). В связи с этим было предложено применить в приводах строительно-отделочных машин редуктор на базе ППП типа К–Н–V [4].

Первым этапом проектирования прецессионного редуктора являлось создание компьютерной твердотельной модели прецессионной передачи. Компьютерная модель – математическое описание физико-механических свойств объекта. Методика создания теоретически точных компьютерных моделей базируется на пакетах программ, созданных в лаборатории прецессионных передач Белорус-

ско-Российского университета, написанных на языках программирования Auto-lisp и Visual Basic for Application в среде AutoCad. Программы позволяют создать теоретические модели колес в виде массива координат точек в сечениях сателлита. Ознакомиться с методикой расчета координат точек можно в [6]. Компьютерная модель ППП визуально может быть отображена на экране дисплея в виде входного вала, центрального колеса и сателлита. Результатом первого этапа разработки является компьютерная модель ППП, представленная на рис. 1.

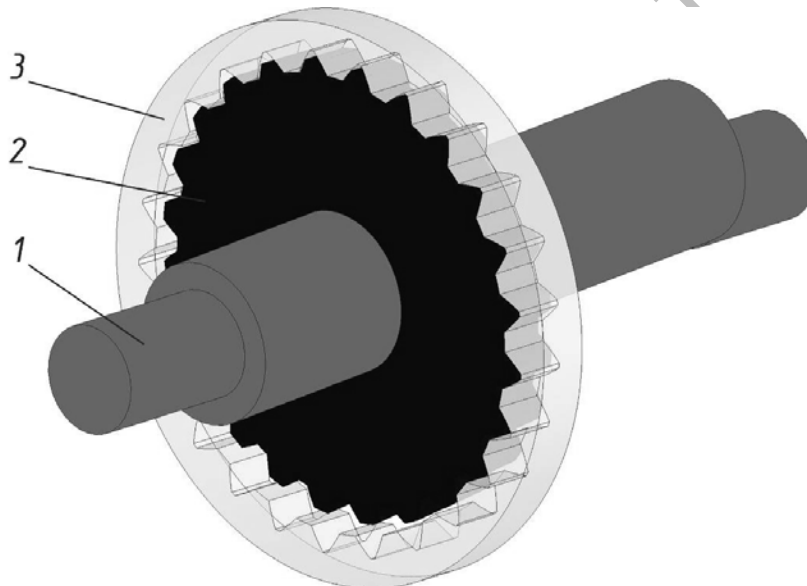


Рис. 1. Общий вид компьютерной модели ППП: 1 – кривошип; 2 – сателлит; 3 – центральное колесо

Вторым этапом разработки являлось статическое уравнивание вращающихся звеньев ППП. Для статического уравнивания необходимо расположить центр масс системы, состоящей из вращающихся звеньев, на оси вращения входного вала. Методика статического уравнивания системы сводится к следующему:

- корректное создание деталей, составляющих сборку, с заданием их материала;

- сборка вращающихся деталей ППП, исключая интерференцию ком-

понентов;

- расчет с помощью компьютерных программ положения центра масс в абсолютной системе координат;

- выбор геометрических параметров противовеса с целью вывода центра масс системы на ось вращения.

Современные средства моделирования с большой степенью точности (до 20-го знака после запятой) позволяют определить местоположение центра масс системы вращающихся звеньев. Данные программы разбивают все тела, входящие в систему, на конечное число

малых элементов, вычисляя по отдельности их массу координаты центра масс. Далее производится расчет центра масс всей системы.

На рис. 2. показана исследуемая система вращающихся звеньев ППП с обозначением абсолютной точки отсчета.

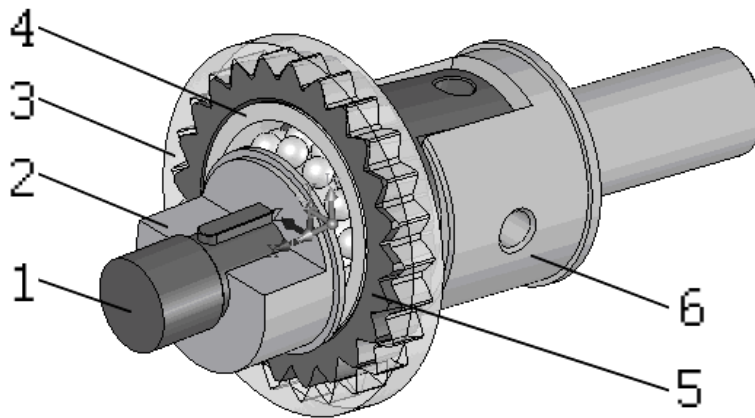


Рис. 2. Система вращающихся звеньев ППП: 1 – вал входной; 2 – противовес; 3 – колесо центральное; 4 – подшипник сферический; 5 – сателлит; 6 – вал выходной

Третий этап разработки – это определение показателей зацепления и выходных характеристик проектируемого редуктора на основе созданной компьютерной модели. Для определения указанных показателей и характеристик компьютерной модели ППП были использованы пакеты программ Adams и COSMOSMotion. Условия и взаимосвязи накладывались на компьютерную модель ППП следующим образом: на входной вал в местах расположения подшипников опор были установлены шарниры поворота (Revolute Joint), при которых детали могут совершать взаимный поворот относительно выбранной оси, на входной конец вала было наложено движение вращения (Motion). Центральное колесо было определено в меню программы как «земля», т.е. неподвижное. На сателлит накладывался постоянный момент сопротивления и Revolute Joint относительно вала. Центральное колесо и сателлит были приведены в контакт (т.е. установлен 3D Contact). В параметрах 3D Contact назначаются материалы тел, а также коэффициенты статического и динамического трения.

В качестве показателя для оценки качества работы прецессионного зацепления может быть принята амплитуда колебаний частоты вращения выходного вала. Однако, исходя из полученных значений амплитуды указанных колебаний, достаточно сложно судить о качестве работы передачи, не проводя сравнительных оценок. Поэтому для объективной оценки качества работы зацепления ППП необходимо сравнить значения амплитуды колебаний частоты вращения выходного вала ППП с соответствующими значениями, полученными для эвольвентной зубчатой цилиндрической передачи. Для этого на основе имеющихся программных модулей по расчету и построению эвольвентных зубчатых колес была разработана компьютерная модель (рис. 3). Передаточное отношение, а также кинематические и силовые характеристики для компьютерной модели стандартной эвольвентной передачи берутся такие же, как и для компьютерной модели исследуемой ППП.

В результате работы модели эвольвентной передачи определяются колеба-

ния частоты вращения и угла поворота на выходном зубчатом колесе. На основании получаемых колебаний угла поворота выходного зубчатого колеса можно перейти к угловой, а затем к линейной кинематической погрешности и оценить адекватность составленной модели.

Исследования компьютерной модели эвольвентной передачи позволили получить зависимости колебаний частоты вращения и угла поворота выходного вала в зависимости от времени, представленные на рис. 4.

На основе полученного графика колебаний угла поворота выходного вала (рис. 4) можно перейти к кинематической погрешности компьютерной модели стандартной эвольвентной передачи в угловых минутах. Для сравнения с параметрами, соответствующими ГОСТ 1643-81 [7], необходимо полученную угловую кинематическую погрешность перевести в линейную. Результаты работы компьютер-

ной модели ППП представляются также в виде графиков, отражающих зависимость частоты вращения выходного вала от времени (рис. 5).

Сравнительная оценка графиков позволяет дать оценку качества работы ППП на стадии проектирования по критерию минимума кинематической погрешности.

На данном этапе разработки проводился анализ напряженно-деформированного состояния контактирующих колес ППП. Результаты анализа представлены в виде моделей зубчатых колес, показанных на рис. 6.

С помощью методов компьютерного моделирования возможно как численное, так и визуальное определение коэффициента перекрытия зацепления ППП. На рис. 7 показано зацепление ППП с пятнами контакта на боковой поверхности зубьев.

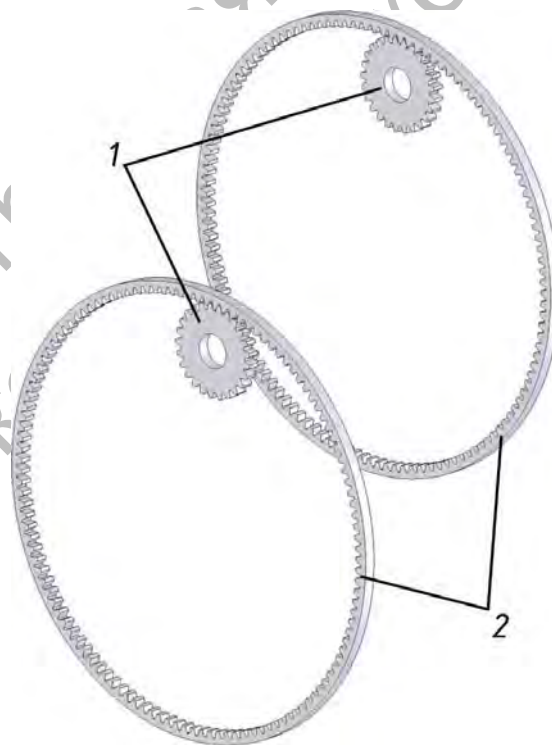


Рис. 3. Общий вид компьютерной модели эвольвентной цилиндрической передачи с передаточным отношением 25: 1 – шестерня; 2 – колесо

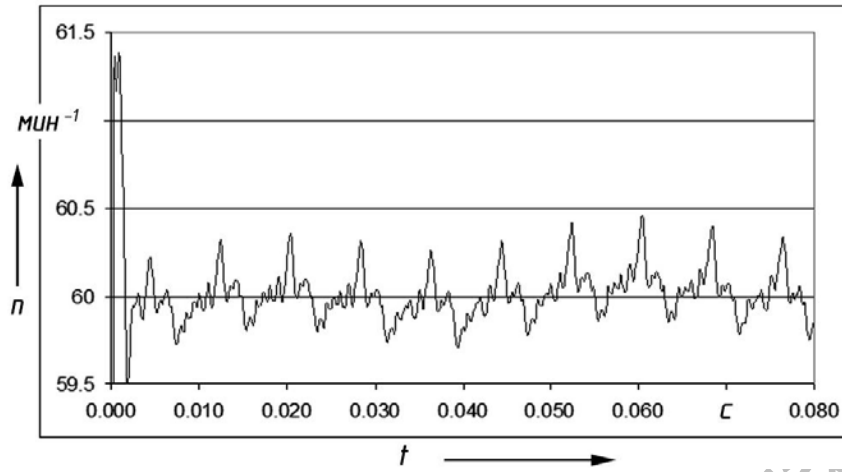


Рис. 4. График зависимости частоты вращения выходного вала с течением времени

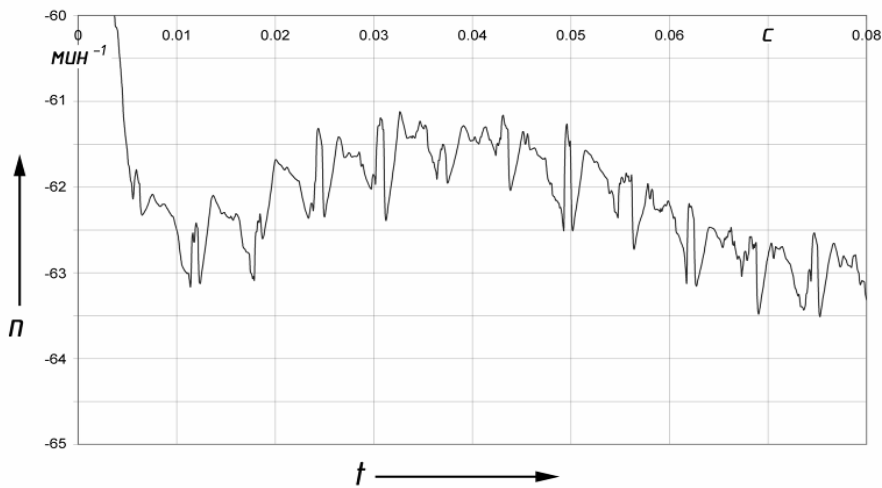


Рис. 5. Колебание угловой частоты вращения выходного вала за один оборот входного вала

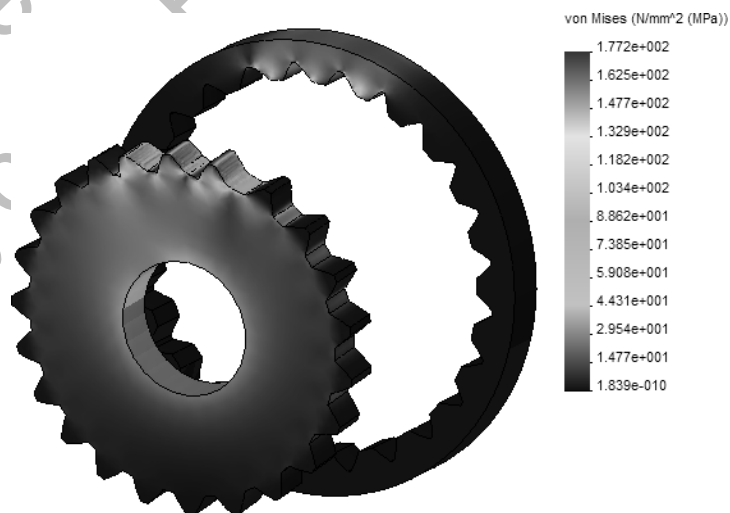


Рис. 6. Общий вид напряженно-деформированного состояния колес ППП

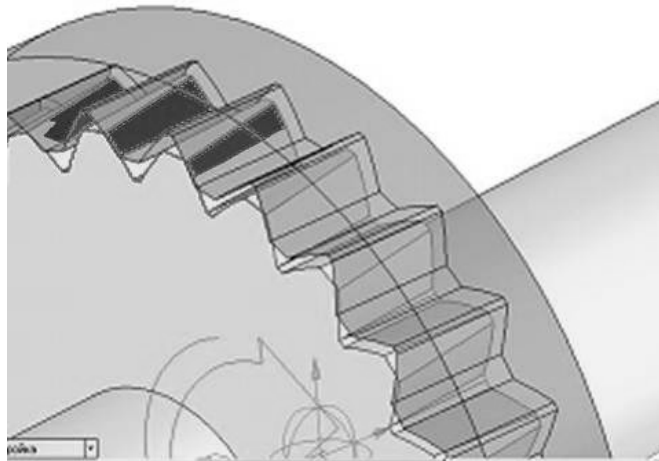


Рис. 7. Общий вид зацепления ППП

Пакет программ ADAMS позволяет также произвести оценку КПД в зацеплении ППП. Для более достоверной оценки уровня механических потерь ранее полученные компьютерные модели прецессионного зацепления были дополнены моделью угловой муфты. Кроме этого были введены дополнительные условия для подшипниковых опор, т.е. были заданы коэффициенты жесткости и демпфирования. На рис. 8 показан график зависимости КПД от времени.

Четвертым этапом разработки является непосредственно проектирование редуктора для привода бетонозаглаживающей машины СО-170. Машина СО-170 предназначена для заглаживания бетонных полов после обработки их виброрейками. На рис. 9 приведен общий вид разработанного на базе ППП редуктора.

Принцип работы редуктора состоит в следующем. Вал 2 электродвигателя 1 передает вращение на эксцентрик 4. На эксцентрике 4 установлен сферический подшипник 3, на котором расположен сателлит 5. В результате взаимодействия внутреннего зубчатого венца корпуса 7 и сателлита 5 последний получает вращательное движение. На выходной вал 6 вращение с сателлита 5 передается с помощью угловой муфты 8.

Проведенные экспериментальные ис-

следования разработанных на базе ППП типа К-Н-V редукторов показали, что КПД находится на уровне 85–88 %, уровень шума 66 дБА, амплитуда колебаний частоты вращения выходного вала $1,75 \text{ мин}^{-1}$, что соответствует требованиям, предъявляемым к приводам строительно-отделочных машин. На основе определенных значений скорости и критической величины износа было установлено, что прогнозируемый ресурс работы прецессионного мотор-редуктора в приводе бетонозаглаживающей машины составляет более 10 000 ч.

На рис. 10 показан общий вид бетонозаглаживающей машины СО-170 с прецессионным мотор-редуктором.

Эксплуатационные испытания на полигоне ОАО «МИСОМ ОП» (г. Минск) показали, что прецессионный мотор-редуктор соответствует техническому заданию и может быть использован в качестве привода для машины заглаживающей СО-170. Результатом работы явилось уменьшение со 190 до 117 мм осевого размера привода бетонозаглаживающей машины по сравнению с приводом, разработанным на основе циклоидального редуктора. Предполагаемый годовой экономический эффект от внедрения прецессионного редуктора составит более 130 млн белорус. р.

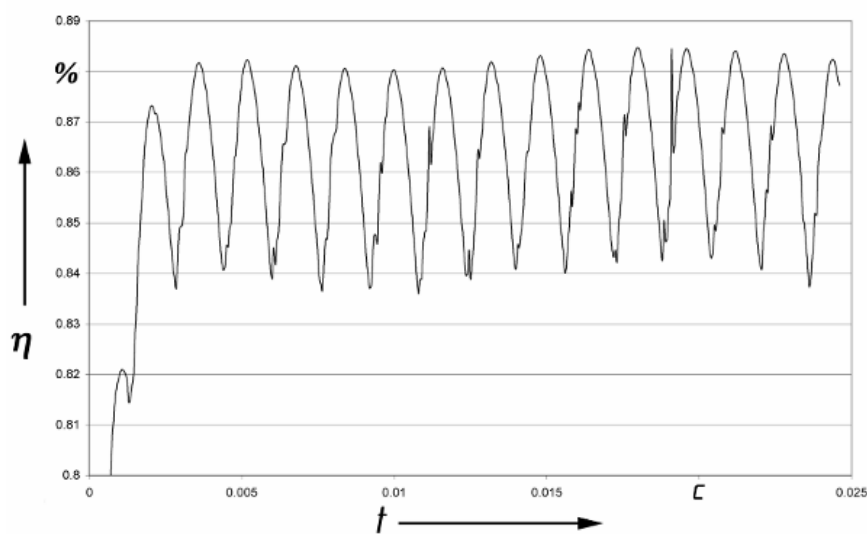


Рис. 8. Зависимость КПД в зацеплении ППП от времени

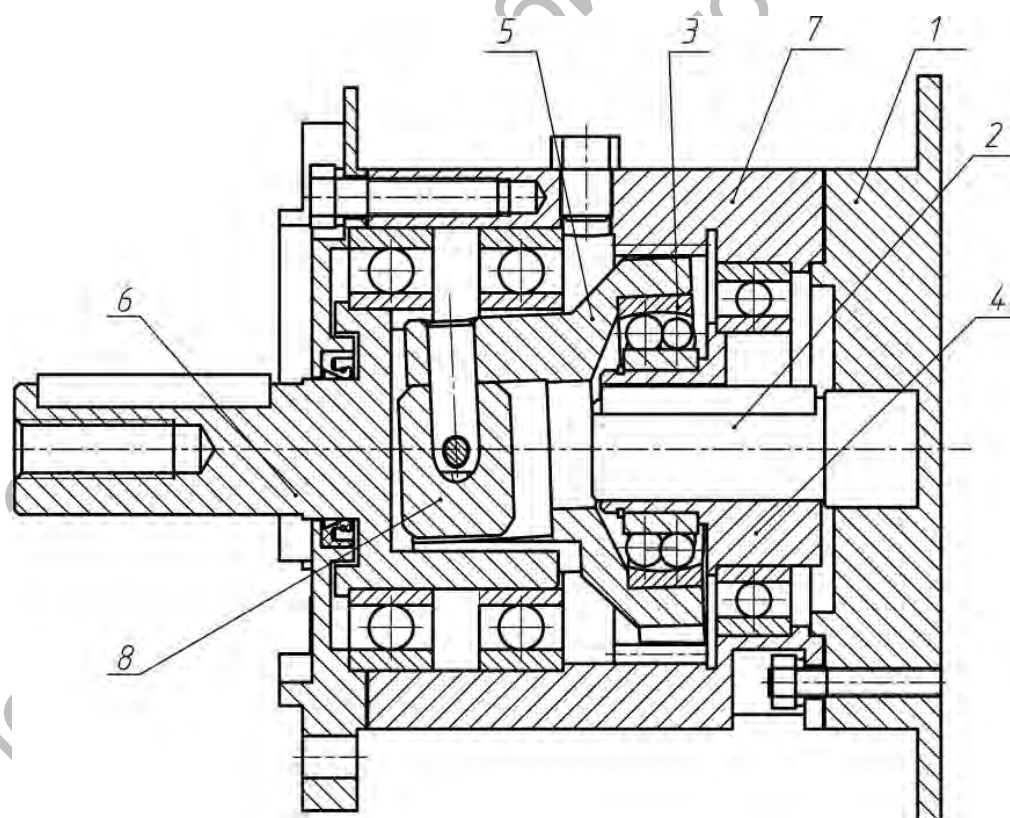


Рис. 9. Общий вид мотор-редуктора на базе ППП типа К-Н-V с передаточным отношением 24 для привода бетонозаглаживающей машины СО-170



Рис. 10. Общий вид машины заглаживающей СО-170 с прецессионным мотор-редуктором: 1 – электродвигатель; 2 – прецессионный редуктор; 3 – электрооборудование; 4 – рабочий орган

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гольдфарб, В. И.** Особенности в подходах к разработке и внедрению САПР передач и редукторов / В. И. Гольдфарб // Автоматизированное проектирование передач и редукторов : тез. докл. науч.-техн. семинара. – Ижевск, 1989. – С. 3–5.
2. **Гольдфарб, В. И.** Современный подход к разработке средств компьютерного моделирования зубчатых передач / В. И. Гольдфарб, С. В. Лунин, Е. С. Трубочев // Информационная математика. – М. : Изд-во физ.-мат. лит., 2003. – № 1 (3). – С. 103–109.
3. **Сергеев, В. П.** Строительные машины и оборудование : учебник для вузов по специально-

сти «Строительные машины и оборудование» / В. П. Сергеев. – М. : Высш. шк., 1987. – 376 с. : ил.

4. **Скойбеда, А. Т.** Коническо-цилиндрические прецессионные редукторы (КЦПР) / А. Т. Скойбеда, П. Н. Громыко. – Минск : БГПА, 2001. – 189 с.

5. **Громыко, П. Н.** Моделирование на ЭВМ сателлитного колеса коническо-цилиндрической прецессионной передачи / П. Н. Громыко, С. Н. Хатетовский // Теория и практика машиностроения. – 2005. – № 1. – С. 21–24.

6. **ГОСТ 1643-81.** Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 68 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 16.10.2006

**P. N. Hramyka, S. N. Khatetovsky,
D. S. Galuzhin, L. G. Dokonov**
**The main stager of designing
of a precession reduction gear
based on computer modeling**
Belarusian-Russian University

Here we consider some questions of the planetary precession modeling, including geometrical and strength analysis as well as operating characteristics definition. While modeling we used such packets of programmers as AutoCad and SolidWorks. We developed some solid-state models of the wheels of a planetary precession gear, allowing to define and study its characteristics. We also worked out a method of automatized designing of a planetary precession gear.