

УДК 621.01

А. А. Джомартов, доктор технических наук, профессор, Институт механики и машиноведения, Алматы  
С. У. Джолдасбеков, доктор технических наук, профессор, Институт механики и машиноведения, Алматы

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ НА ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SimulationX

*Показано, что динамику планетарного механизма можно легко смоделировать на программном комплексе SimulationX при помощи универсальных базовых структур.*

**Ключевые слова:** динамика, планетарный механизм, модель, SimulationX.

**П**ланетарным механизмом (рис. 1) называется устройство, в котором имеется хотя бы одно зубчатое колесо с подвижной в пространстве осью [1].

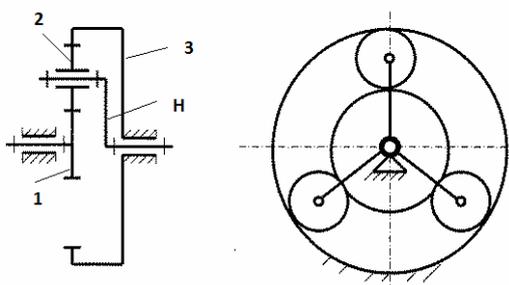


Рис. 1. Планетарный механизм

На рычаге  $H$ , называемом водилом, закреплено свободно вращающееся вокруг пальца колесо 2. При вращении водила  $H$  вокруг оси вместе с ним будет двигаться и зубчатое колесо 2 так, что его центр будет описывать окружность. Этим планетарная зубчатая пара принципиально отличается от обычной зубчатой передачи, в которой оба колеса имеют неподвижные центры. Движение колеса 2 (рис. 1) похоже на движение планеты вокруг солнца, вследствие чего колесо 2 получило название планетарного, или сателлита, а центральное колесо 1 – солнечного, а колесо 3 называется коронным. Движение сателлита будет уже не простым вращательным, а более сложным – плоским движением. На рис. 2. показаны простейшие схемы планетарных механизмов [2].

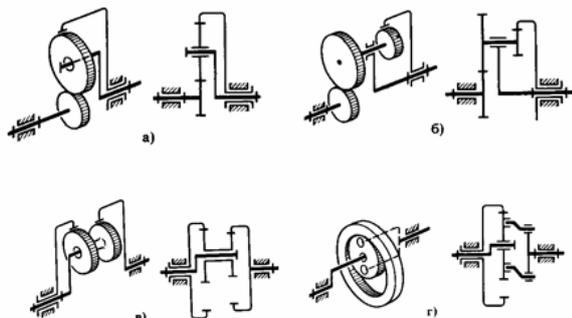


Рис. 2. Схемы планетарных механизмов

Вышеприведенные схемы планетарных механизмов могут быть рассчитаны на программном комплексе SimulationX.

SimulationX – междисциплинарный программный комплекс для моделирования физико-технических объектов и систем, который разработан и продается на коммерческой основе фирмой IPTGmbH [3] из Дрездена с 2000 года. Ученые и инженеры, работающие в промышленности и сфере образования, используют этот инструмент для разработки, моделирования, симулирования, анализа и виртуального тестирования сложных мехатронных систем. На единой платформе программа моделирует поведение и взаимодействие различных физических объектов механики (1D и 3D), приводной техники, электрических, гидравлических, пневматических и термодинамических систем, а также магнетизма, аналоговых и цифровых систем управления. Основное достоинство программы SimulationX состоит в быстром построении моделей из интуитивно понятных объектов механики (масса, сила, момент, пружина, демпфер, трение, рычаг и т. д.), пневматики и гидравлики (пневмоцилиндр, клапан, дроссель и др.), машиностроения и электромеханики (моторы, муфты, сцепления, зубчатая и другие передачи, карданный вал, дифференциал и т. д.) и управления (датчики-измерители, управляющие сигналы и пр.)

Библиотека планетарных механизмов программного комплекса SimulationX состоит из универсальных базовых структур. Сочетание этих элементов позволяют моделировать динамику различных планетарных механизмов с учетом инерционных, массовых параметров, степеней подвижности, влияния упругости подшипников и деформаций контактов зубчатых соединений. Согласно количеству возможных сборок центральных колес и сателлитов существуют восемь различных видов основных структур планетарных передач (срис. 3), которые могут быть смоделированы с помощью библиотечных планетарных структур.

Базовыми структурами планетарных зубчатых колес являются элементы, используемые для преобразования скорости вращения и крутящего момента, а также перемещений и усилий в процессе передачи. Они моделируют зубчатый контакт между центральным колесом и сателлитом и упругость подшипника между сателлитом и водилом.

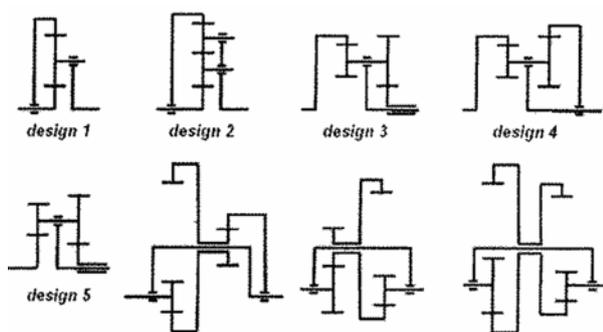


Рис. 3. Основные виды структур планетарных передач

Библиотека планетарных механизмов состоит из шести различных моделей базовых структур (рис. 4). Базовые структуры позволяют учитывать упругие и жесткие взаимодействия между сателлитом и водилом (упругость подшипников и водила), зазоры в зубчатых зацеплениях, центробежные силы и дисбаланс на сателлите или центральном колесе, различные виды потерь (фрикционные) в контактах зубьев и в подшипниках.

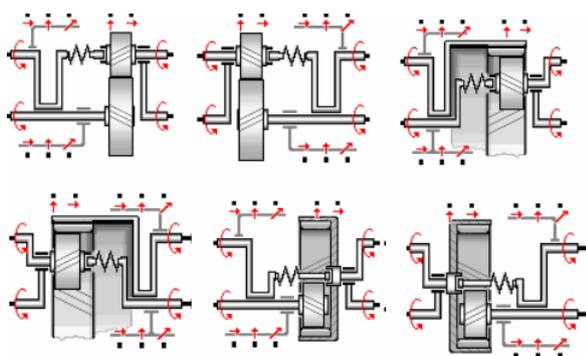


Рис. 4. Модели базовых структур планетарных механизмов

**Моделирование планетарной передачи с помощью базовых структур**

Базовые структуры планетарных зубчатых колес представляют собой наименьшую единицу для моделирования планетарной передачи. Здесь показывается разбиение цилиндрической зубчатой планетарной передачи на базовые структуры и с дальнейшим моделированием на SimulationX – полной структуры этой передачи. На рис. 5 показана цилиндрическая зубчатая планетарная передача с одним сателлитом. Эта передача содержит две кинематические базовые

структуры: колесо – водило – сателлит, коронная шестерня – сателлит – водило.

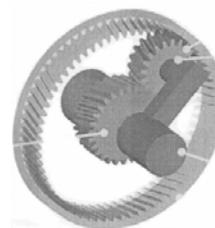


Рис. 5. Планетарная передача с одним сателлитом

На рис. 6 показано разбиение передачи на базовые структуры.

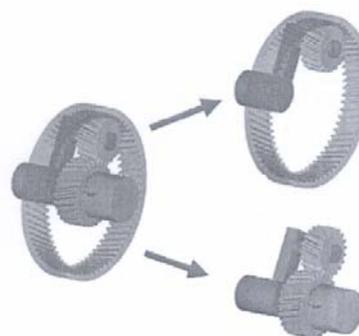


Рис. 6. Разбиение передачи на две базовые структуры

На рис. 7 показано построение модели на SimulationX, для каждой базовой структуры.

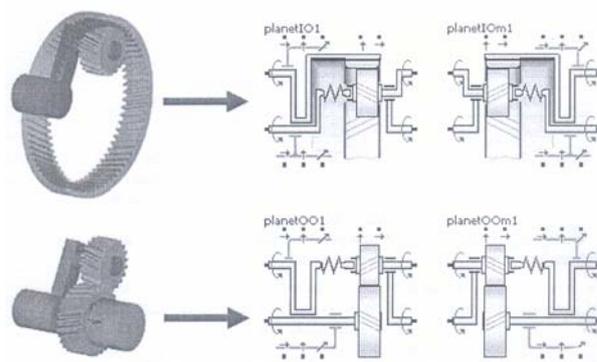


Рис. 7. Построение модели на SimulationX

На рис. 8 показана окончательная модель планетарной передачи с одним сателлитом.

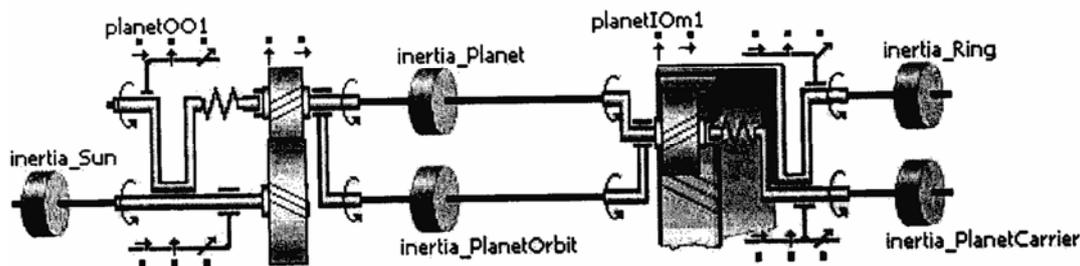


Рис. 8. Окончательная модель планетарной передачи с одним сателлитом

**Пример.** Рассмотрим моделирование планетарного механизма (рис. 9) со следующими параметрами:  $J_s = 5,68 \cdot 10^3 \text{ kgm}^2$  – момент инерции солнечного колеса;  $J_{pc} = 2,5 \cdot 10^2 \text{ kgm}^2$  – момент инерции водила;  $J_p = 7,8 \cdot 10^3 \text{ kgm}^2$  – момент инерции планетарного колеса;  $m_p = 4 \text{ kg}$  – вес планетарного колеса;  $r_p = 112,71 \text{ mm}$  – радиус водила.

На рис. 10 показана модель планетарного механизма на программном комплексе SimulationX.

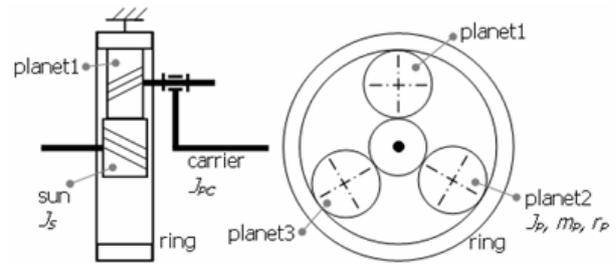


Рис. 9. Схема планетарного механизма

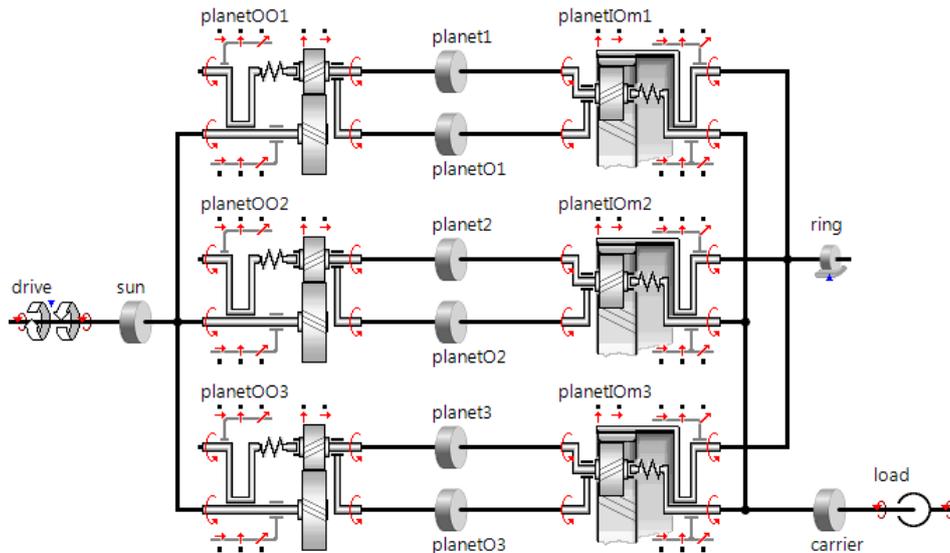


Рис. 10. Модель планетарного механизма на программном комплексе SimulationX

### Результаты моделирования

На рис. 11 показаны графики угловых скоростей входного – солнечного – колеса и выходного – водила.

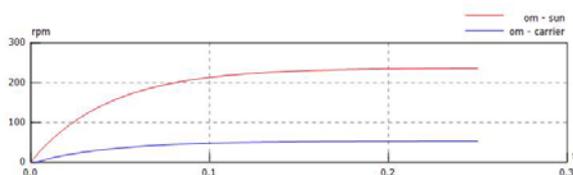


Рис. 11. Графики угловых скоростей

На рис. 12 показан график углового ускорения водила без учета зазоров в зубчатых соединениях.

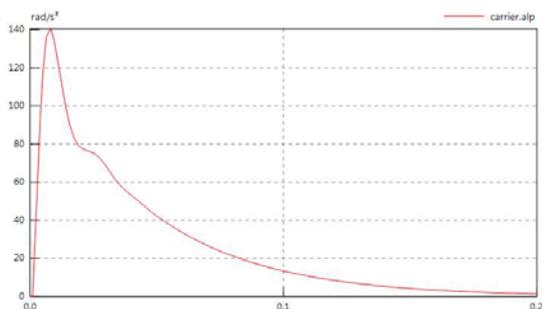


Рис. 12. Угловое ускорение водила без учета зазоров в зубчатых соединениях

На рис. 13. показан график углового ускорения водила с учетом зазоров в зубчатых соединениях.

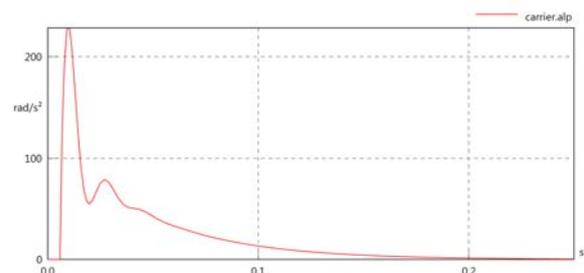


Рис. 13. Угловое ускорение водила с учетом зазоров в зубчатых соединениях

Как видно из рис. 12 и 13, максимальное ускорение водила при учете зазоров в зубчатых соединениях возрастает в 1,5 раза. Динамика планетарного механизма с учетом зазоров существенно отличается от динамики идеального механизма.

Программный комплекс SimulationX позволяет легко смоделировать динамику планетарного механизма с учетом упругости между спутником и водилом, зазоров в зубчатых зацеплениях, центробежных сил и дисбаланса на спутнике или центральном колесе, трения в контактах зубьев и в подшипниках. Наглядность моделей и графическое получение ре-

зультатов особенно полезны для студентов и инженеров при исследовании существующих планетарных механизмов.

#### Библиографические ссылки

1. Планетарные передачи : справочник / В. Н. Кудрявцев, Ю. Н. Кирдяшев [и др.]. – Л. : Машиностроение, 1977. – 536 с.
2. Крайнев А. Ф. Словарь-справочник по механизмам. – М. : Машиностроение, 1987. – 560 с.
3. ITI GmbH (разработчик SimulationX). – URL: <http://www.simulationx.com/>

*A. A. Jomartov*, DSc in Engineering, Professor, Institute of Mechanics and Mechanical Engineering, Almaty  
*S. U. Joldasbekov*, DSc in Engineering, Professor, Institute of Mechanics and Mechanical Engineering, Almaty

#### Simulation of Planetary Gears Dynamics by SimulationX Software complex

*The paper shows that the dynamics of the planetary gear can easily be modeled by SimulationX complex software, using versatile base structures.*

**Key words:** dynamics, planetary gear, model, SimulationX.

УДК 62-114.003.13

**А. Б. Чуваков**, кандидат технических наук, Павловский филиал Нижегородского государственного технического университета имени Р. Е. Алексеева  
**Д. С. Пахомов**, кандидат технических наук, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ С ЧПУ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

*Рассмотрена задача повышения производительности обработки деталей на многоцелевых станках токарной группы с двумя инструментальными револьверными головками и двухканальной системой ЧПУ. Решение поставленной задачи осуществлялось на базе рационального программирования последовательно-параллельного выполнения переходов с использованием имитационного моделирования процесса обработки детали.*

**Ключевые слова:** производительность, моделирование, программирование, обработка.

**М**ногоцелевые станки с ЧПУ находят все более широкое применение в машиностроительном производстве. Конструктивные схемы и системы управления станков постоянно совершенствуются, что существенно расширяет их технологические возможности. Так, широкое распространение в последнее время получили многоцелевые станки с ЧПУ токарной группы с двумя инструментальными револьверными головками (рис. 1). Станки оснащены двухканальными системами ЧПУ, обеспечивающими раздельное управление револьверными головками. Обработка деталей задается с помощью двух независимых управляющих программ (УП), каждая из которых предназначена для передачи команд на соответствующую револьверную головку. Двухканальные системы ЧПУ позволяют программировать параллельное выполнение части технологических переходов, что может существенно повысить производительность обработки деталей. Однако следует признать, что в настоящее время методы рационального программирования выполнения переходов освоены недостаточно. Это препятствует эффективной эксплуатации оборудования на машиностроительных предприятиях.



Рис. 1. Рабочая зона станка с двумя револьверными головками

Рассмотрим задачу повышения производительности обработки детали на многоцелевом токарно-фрезерном станке марки *Index* с двумя револьвер-