

ISSN 2224-5227

2015 • 3

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ
БАЯНДАМАЛАРЫ

ДОКЛАДЫ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

REPORTS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ЖУРНАЛ 1944 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1944 г.
PUBLISHED SINCE 1944



Бас редактор
ҚР ҰҒА академигі **М.Ж. Жұрынов**

Редакция алқасы:

хим.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әдекенов С.М.** (бас редактордың орынбасары), эк.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әділов Ж.М.**, мед. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Арзықұлов Ж.А.**, техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Бишімбаев У.К.**, а.-ш.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Есполов Т.И.**, техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Мұтанов Г.М.**, физ.-мат.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Өтелбаев М.О.**, пед. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Пралиев С.Ж.**, геогр.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Северский И.В.**; тарих.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Сыдықов Е.Б.**, физ.-мат.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Тәкібаев Н.Ж.**, физ.-мат.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Харин С.Н.**, тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбүсейітова М.Х.**, экон. ғ. докторы, проф., ҰҒА корр. мүшесі **Бейсембетов И.К.**, биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жамбакин К.Ж.**, тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Кәрібаев Б.Б.**, мед. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Локшин В.Н.**, геол.-мин. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірсеріков М.Ш.**, физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.**, физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Садыбеков М.А.**, хим.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Сатаев М.И.**; ҚР ҰҒА құрметті мүшесі, а.-ш.ғ. докторы, проф. **Омбаев А.М.**

Редакция кеңесі:

Украинаның ҰҒА академигі **Гончарук В.В.** (Украина), Украинаның ҰҒА академигі **Неклюдов И.М.** (Украина), Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **Гордиенко А.И.** (Беларусь), Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Дука Г.** (Молдова), Тәжікстан Республикасының ҰҒА академигі **Илолов М.И.** (Тәжікстан), Қырғыз Республикасының ҰҒА академигі **Эркебаев А.Э.** (Қырғызстан), Ресей ҒА корр. мүшесі **Величкин В.И.** (Ресей Федерациясы); хим.ғ. докторы, профессор **Марек Сикорски** (Польша), тех.ғ. докторы, профессор **Потапов В.А.** (Украина), биол.ғ. докторы, профессор **Харун Парлар** (Германия), профессор **Гао Энджун** (КХР), филос. ғ. докторы, профессор **Стефано Перни** (Ұлыбритания), ғ. докторы, профессор **Богуслава Леска** (Польша), философия ғ. докторы, профессор **Полина Прокопович** (Ұлыбритания), профессор **Вуйцик Вольдемар** (Польша), профессор **Нур Изура Удзир** (Малайзия), д.х.н., профессор **Нараев В.Н.** (Ресей Федерациясы)

Главный редактор
академик НАН РК **М.Ж. Журинов**

Редакционная коллегия:

доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **С.М. Адекенов** (заместитель главного редактора), доктор экон. наук, проф., академик НАН РК **Ж.М. Адилов**, доктор мед. наук, проф., академик НАН РК **Ж.А. Арзыкулов**, доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **В.К. Бишимбаев**, доктор сельскохозяйств. наук, проф., академик НАН РК **Т.И. Есполов**, доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Г.М. Мутанов**, доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **М.О. Отелбаев**, доктор пед. наук, проф., академик НАН РК **С.Ж. Пралиев**, доктор геогр. наук, проф., академик НАН РК **И.В. Северский**; доктор ист. наук, проф., академик НАН РК **Е.Б. Сыдыков**, доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Н.Ж. Такибаев**, доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **С.Н. Харин**, доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Х. Абусейтова**, доктор экон. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **И.К. Бейсембетов**, доктор биол. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **К.Ж. Жамбакин**, доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Б.Б. Каримаев**, доктор мед. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **В.Н. Локшин**, доктор геол.-мин. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Ш. Омирсериков**, доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов**, доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.А. Садыбеков**, доктор хим. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.И. Сатаев**; почетный член НАН РК, доктор сельскохозяйств. наук, проф., **А.М. Омбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Украины **Гончарук В.В.** (Украина), академик НАН Украины **И.М. Неклюдов** (Украина), академик НАН Республики Беларусь **А.И.Гордиенко** (Беларусь), академик НАН Республики Молдова **Г. Дука** (Молдова), академик НАН Республики Таджикистан **М.И. Илолов** (Таджикистан), член-корреспондент РАН **Величкин В.И.** (Россия); академик НАН Кыргызской Республики **А.Э. Эркебаев** (Кыргызстан), д.х.н., профессор **Марек Сикорски** (Польша), д.т.н., профессор **В.А. Потапов** (Украина), д.б.н., профессор **Харун Парлар** (Германия), профессор **Гао Энджун** (КНР), доктор философии, профессор **Стефано Перни** (Великобритания), доктор наук, профессор **Богуслава Леска** (Польша), доктор философии, профессор **Полина Прокопович** (Великобритания), профессор **Вуйцик Вольдемар** (Польша), профессор **Нур Изура Удзир** (Малайзия), д.х.н., профессор **В.Н. Нараев** (Россия)

«Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан» ISSN 2224-5227

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5540-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год. Тираж: 3000 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г.Алматы, ул.Шевченко, 28, ком.218-220, тел. 272-13-19, 272-13-18

<http://nauka-nanrk.kz>, reports-science.kz

Адрес типографии: ИП «Аруна», г.Алматы, ул.Муратбаева, 75

©Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015 г.

E d i t o r i n c h i e f

M.Zh. Zhurinov, academician of NAS RK

Editorial board:

S.M. Adekenov (deputy editor in chief), Doctor of Chemistry, prof., academician of NAS RK; **Zh.M. Adilov**, Doctor of Economics, prof., academician of NAS RK; **Zh.A. Arzykulov**, Doctor of Medicine, prof., academician of NAS RK; **V.K. Bishimbayev**, Doctor of Engineering, prof., academician of NAS RK; **T.I. Yespolov**, Doctor of Agriculture, prof., academician of NAS RK; **G.M. Mutanov**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., academician of NAS RK; **M.O. Otelbayev**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., academician of NAS RK; **S.Zh. Praliyev**, Doctor of Education, prof., academician of NAS RK; **I.V. Seversky**, Doctor of Geography, prof., academician of NAS RK; **Ye.B. Sydykov**, Doctor of Historical Sciences, prof., academician of NAS RK; **N.Zh. Takibayev**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., academician of NAS RK; **S.N. Kharin**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., academician of NAS RK; **M.Kh. Abuseitova**, Doctor of Historical Sciences, prof., corr. member of NAS RK; **I.K. Beisembetov**, Doctor of Economics, prof., corr. member of NAS RK; **K.Zh. Zhambakin**, Doctor of Biological Sciences, prof., corr. member of NAS RK; **B.B. Karibayev**, Doctor of Historical Sciences, prof., corr. member of NAS RK; **V.N. Lokshin**, Doctor of Medicine, prof., corr. member of NAS RK; **M.Sh. Omirserikov**, Doctor of Geology and Mineralogy, prof., corr. member of NAS RK; **T.S. Ramazanov**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., corr. member of NAS RK; **M.A. Sadybekov**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., corr. member of NAS RK; **M.I. Satayev**, Doctor of Chemistry, prof., corr. member of NAS RK; **A.M. Ombayev**, Honorary Member of NAS RK, Doctor of Agriculture, prof.

Editorial staff:

V.V. Goncharuk, NAS Ukraine academician (Ukraine); **I.M. Neklyudov**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.I. Gordienko**, NAS RB academician (Belarus); **G. Duca**, NAS Moldova academician (Moldova); **M.I. Iolov**, NAS Tajikistan academician (Tajikistan); **A.E. Erkebayev**, NAS Kyrgyzstan academician (Kyrgyzstan); **V.I. Velichkin**, RAS corr.member (Russia); **Marek Sikorski**, Doctor of Chemistry, prof. (Poland); **V.A. Potapov**, Doctor of Engineering, prof. (Ukraine); **Harun Parlar**, Doctor of Biological Sciences, prof. (Germany); **Gao Endzhun**, prof. (PRC); **Stefano Perni**, Doctor of Philosophy, prof. (UK); **Boguslava Leska**, dr, prof. (Poland); **Pauline Prokopovich**, Doctor of Philosophy, prof. (UK); **Wójcik Waldemar**, prof. (Poland), **Nur Izura Udzir**, prof. (Malaysia), **V.N. Narayev**, Doctor of Chemistry, prof. (Russia)

Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

ISSN 2224-5227

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of Information and Archives of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan N 5540-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 3000 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of.219-220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

<http://nauka-nanrk.kz/> reports-science.kz

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

**REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 2224-5227

Volume 3, Number 301 (2015), 10–18

UDC 621.01

Research of dynamics of planetary gear

G. Ualiyev, A.A. Jomartov
dgpimmash@mail.ru

Institute of Mechanics & Mechanical Engineering named after U.A. Dzholdasbekov, Almaty

Key words: planetary gear, dynamics, model, SimulationX

Abstract. Planetary gear is a mechanical system consisting of the several planetary gears rotating around a central, sunny, gearwheel. The planetary gearwheels are fixed together using the carrier. The planetary gear may also include the additional outer ring gearwheel that has internal tooth with the planetary gearwheels. The paper shows, that the dynamics of the planetary gear can be modeled on the software package SimulationX, using the universal basic structures. SimulationX - a multidisciplinary software package for modeling of physical and technical objects and control systems is developed by ITI GmbH. On a uniform platform the program simulates the behavior and interaction of different physical objects mechanics (1D and 3D), the drive technology, electrical, hydraulic, pneumatic and thermodynamic systems. SimulationX software package allows easy simulate the dynamics of the planetary gear with the elasticity between the satellite and the carrier, the clearances in the teeth, the centrifugal forces and unbalance on the satellite or the central wheel, the friction of the teeth and the bearings. Visual models and graphical results are particularly useful for students and engineers in the study of the existing planetary gear.

УДК 621.01

Исследование динамики планетарных зубчатых передач

А.А. Джомартов, Г.Уалиев
dgpimmash@mail.ru

Институт механики и машиноведения имени У.А. Джолдасбекова, МОН РК Алматы

Ключевые слова: планетарная передача, шестерня, динамика, модель, SimulationX

Аннотация. Планетарная зубчатая передача это механическая система, состоящая из нескольких планетарных зубчатых колес вращающихся вокруг центральной, солнечной, шестерни. Планетарные шестерни фиксируются вместе при помощи водила. Планетарная передача может также включать дополнительную внешнюю кольцевую шестерню, имеющую внутреннее зацепление с планетарными шестернями. В работе показано, что динамику планетарной зубчатой передачи, можно смоделировать на программном комплексе SimulationX, при помощи универсальных базовых структур.

Планетарной зубчатой передачей (см. рисунок 1) называется механизмом, в котором имеется хотя бы одно зубчатое колесо с подвижной в пространстве осью [1].

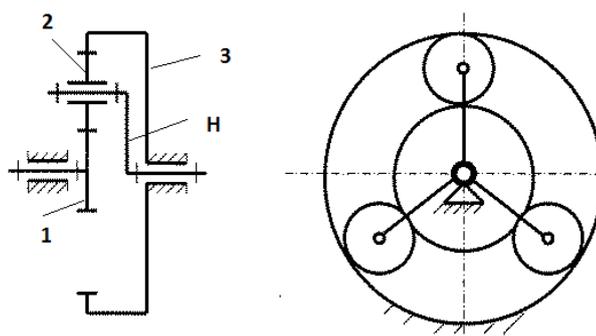


Рисунок 1 - Планетарная зубчатая передача

На рычаге H , называемом водилом, закреплено свободно вращающееся колесо 2, вокруг пальца. 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 (см. рисунок 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 рисунке 2 показаны простейшие схемы планетарных зубчатых передач [2].

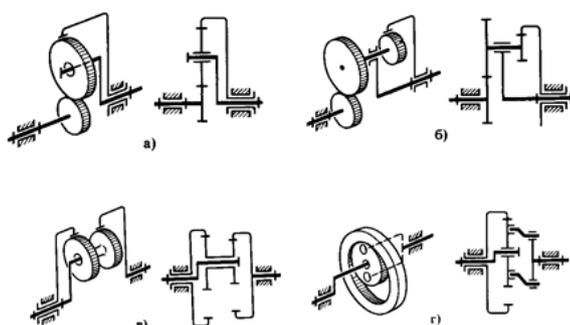


Рисунок 2 - Схемы планетарных зубчатых передач

Вышеприведенные схемы планетарных зубчатых передач, хорошо могут быть рассчитаны на программном комплексе SimulationX.

SimulationX – междисциплинарный программный комплекс для моделирования физико-технических объектов и систем управления, разработанный фирмой IPT GmbH [3]. На единой платформе программа моделирует поведение и взаимодействие различных физических объектов механики (1D и 3D), приводной техники, электрических, гидравлических, пневматических и термодинамических систем.

Основное достоинство программы заключается 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.), управления (датчики-измерители, управляющие сигналы и пр.)

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

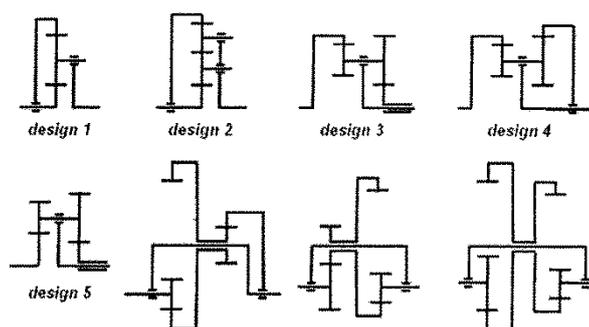


Рисунок 3 - Основные виды структур планетарных зубчатых передач

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.

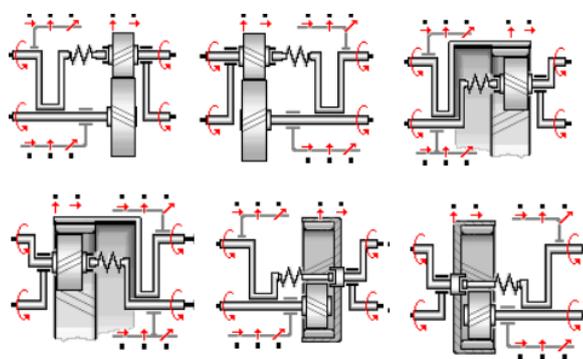


Рисунок 4 - Модели базовых структур планетарных зубчатых передач

Библиотека планетарных зубчатых передач состоит из шести различных моделей базовых структур (см. рисунок 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,

Моделирование планетарной зубчатой 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 рисунке 5 показана цилиндрическая зубчатая планетарная передача с одним сателлитом. Эта передача содержит две кинематические базовые структуры: колесо – водило – сателлит, коронная шестерня-сателлит-водило.

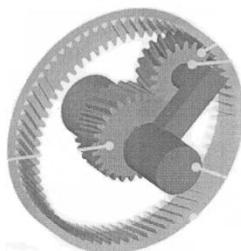


Рисунок 5 - Планетарная зубчатая передача с одним сателлитом
На рисунке 6 показано, разбиение планетарной зубчатой передачи на базовые структуры

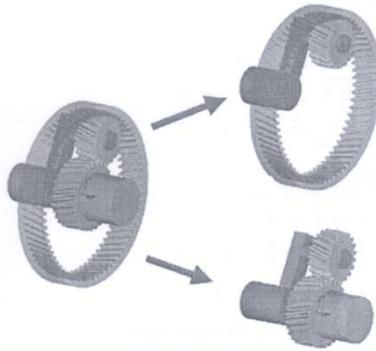


Рисунок 6 - Разбиение планетарной зубчатой передачи на две базовые структуры
 На рисунке 7 показано построение модели на SimulationX, для каждой базовой структуры

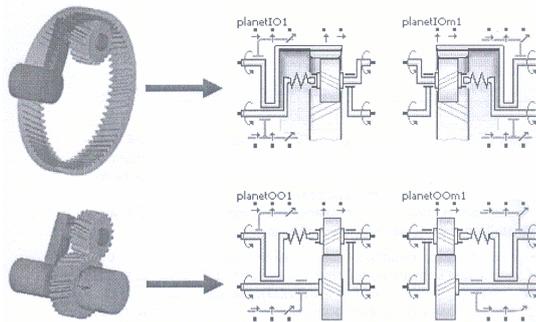


Рисунок 7 - Построение модели на SimulationX

На рисунке 8 показана окончательная модель планетарной зубчатой передачи одним сателлитом

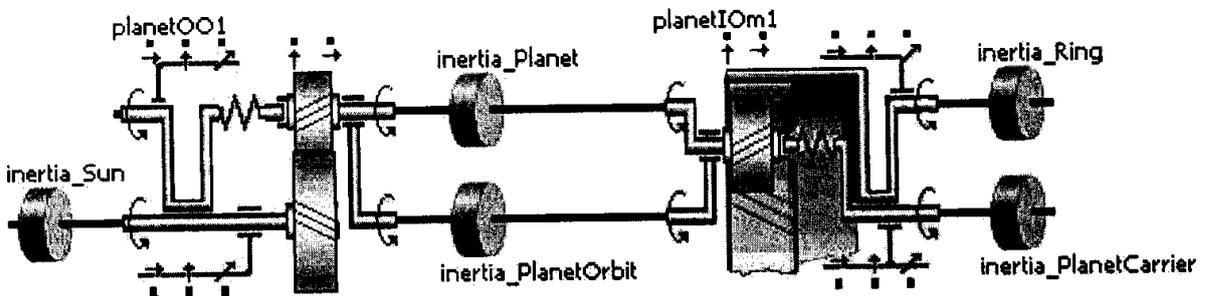


Рисунок 8 - Окончательная модель планетарной зубчатой передачи одним сателлитом

Пример. Рассмотрим моделирование планетарной зубчатой передачи (см. рисунок 9) с 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

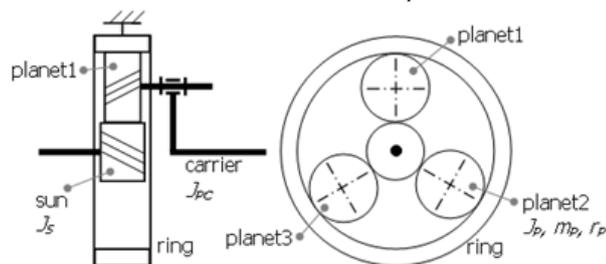


Рисунок 9 - Схема планетарной зубчатой передачи

На рисунке 10 показана модель планетарной зубчатой передачи на программном комплексе SimulationX

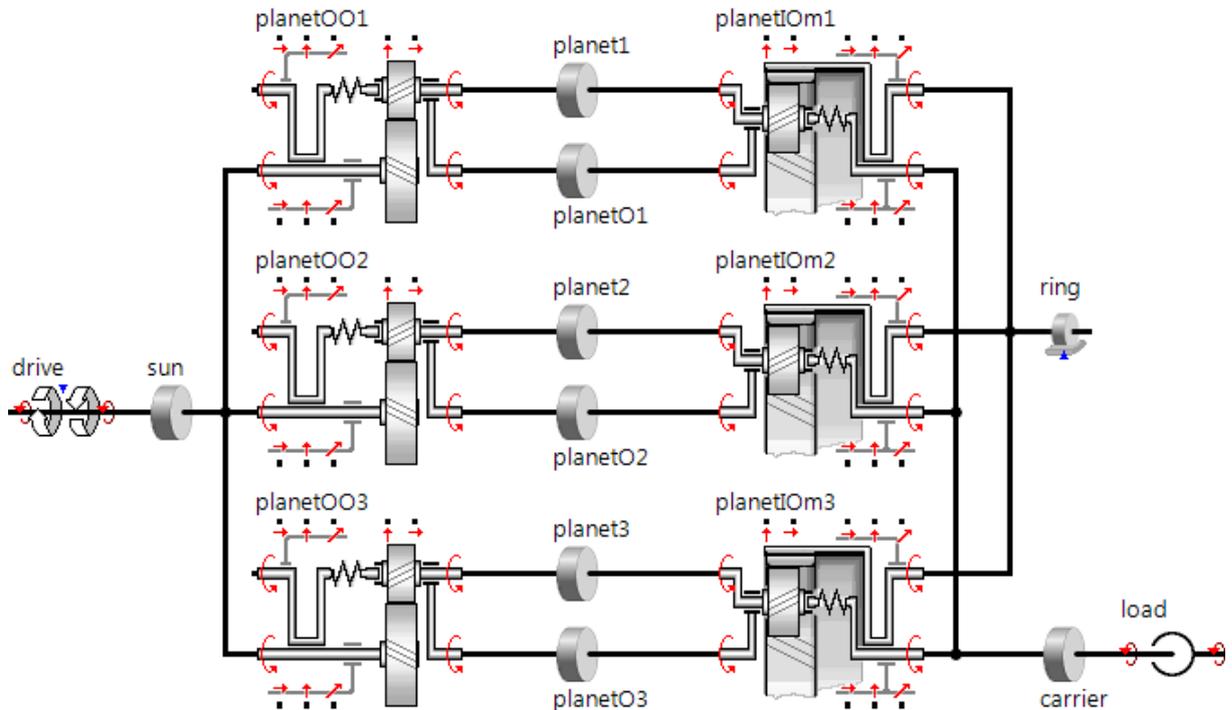


Рисунок 10 - Модель планетарной зубчатой передачи на программном комплексе SimulationX

Результаты моделирования. На рисунке 11 показаны графики угловых скоростей входного – солнечного колеса и выходного – водила.

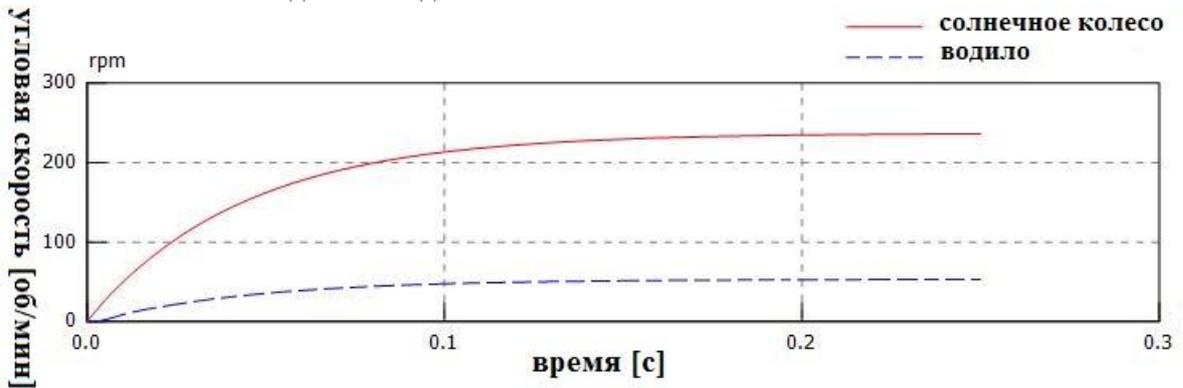


Рисунок 11 - Графики угловых скоростей солнечного колеса и водила

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

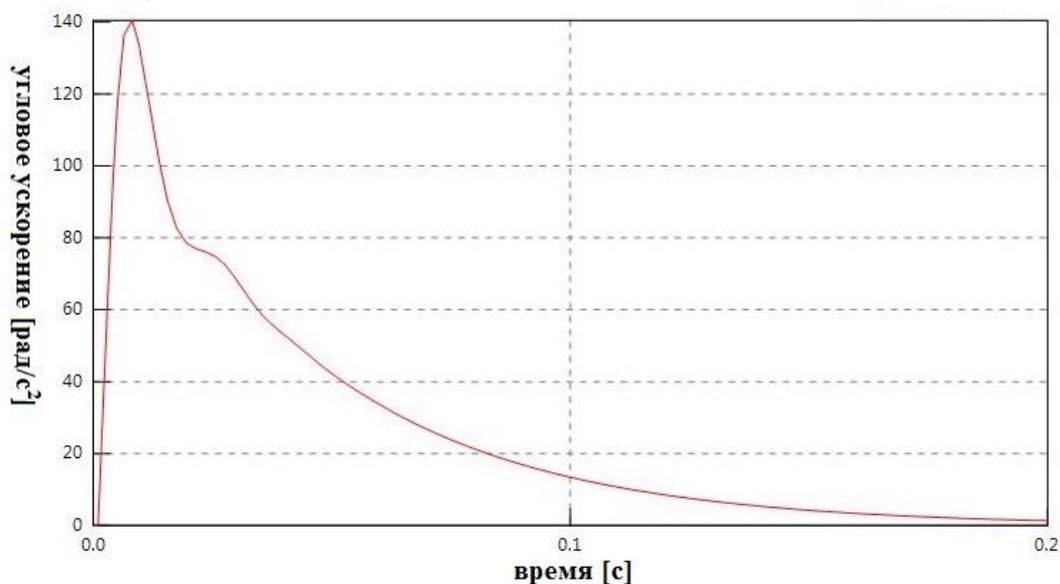


Рисунок 12 - Угловое ускорение водила без учета зазоров в зубчатых соединениях

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

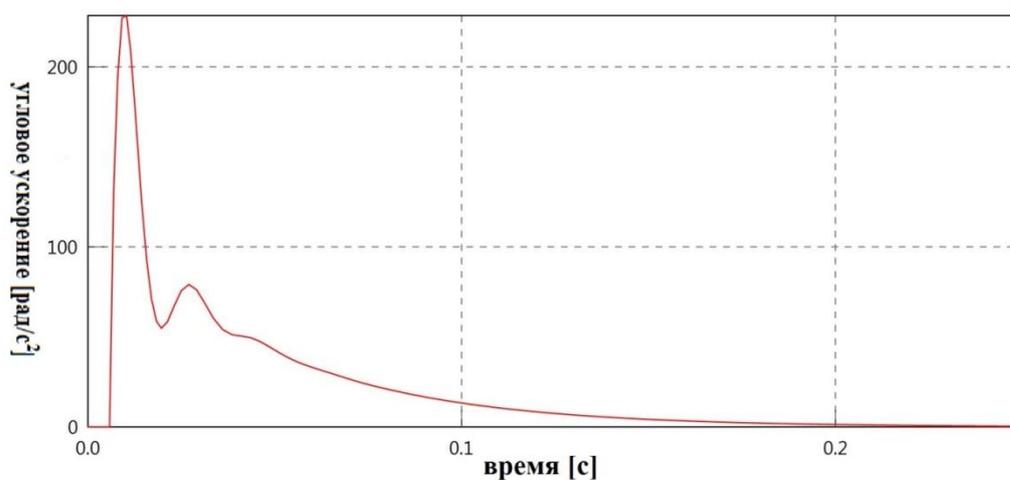


Рисунок 13 - Угловое ускорение водила с учетом зазоров в зубчатых соединениях

Как видно из рисунков 12 и 13 максимальное ускорение водила, при учете зазоров в зубчатых соединениях, возрастает в 1.5 раза. Динамика планетарной зубчатой передачи с учетом зазоров существенно отличается от динамики идеальной планетарной передачи.

Программный комплекс SimulationX позволяет легко смоделировать динамику планетарной зубчатой передачи с учетом упругости между сателлитом и водилом, зазоров в зубчатых зацеплениях, центробежных сил и дисбаланса на сателлите или центральном колесе, трения в контактах зубьев и в подшипниках. Наглядность моделей и графическое получение результатов особенно полезны для студентов и инженеров при исследовании существующих планетарных зубчатых передач.

ЛИТЕРАТУРА

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

REFERENCES

- [1] Kudrjavcev V.N., Kirdjashev Ju. N. *Planetarnye peredachi. Spravochnik*. L.: Mashinostroenie, **1977**, 536 s. (in Russ.)
- [2] Krajnev A.F. *Slovar'-spravochnik po mehanizmam*. M.: Mashinostroenie, **1987**, 560 s. (in Russ.)
- [3] ITI GmbH <http://www.simulationx.com/>

Планетарлық тісті берілістердің динамикасын зерттеу

А.А. Жомартов, Г. Уәліев
dgpimmash@mail.ru

(Академик Ө.А. Жолдасбеков атындағы механика және машинатану институты,
Алматы қ.)

Кілт сөздер: планетарлық беріліс, динамика, модель, SimulationX

Аннотация. Планетарлық тісті беріліс бұл орталық күнді тісті доңғалақ төңірегінде айналшықтайтын бірнеше планетарлық тісті доңғалақтардан тұратын механикалық жүйе. Планетарлық тісті доңғалақтар жетекшінің көмегімен бірге байланысады. Сонымен қатар планетарлық берілісте планетарлық тісті доңғалақтармен ішкі ілінісі бар қосымша сыртқы сақиналық тісті доңғалақ болуы мүмкін. Жұмыста планетарлық тісті берілістің динамикасын SimulationX бағдарламалық кешенінде әмбебап базалық құрылымдардың көмегімен модельдеуге болатыны көрсетілген.

Сведения об авторе статьи

Исследование динамики планетарных зубчатых передач

Фамилия, Имя, Отчество **Джомартов Асылбек Абдразакович**

Ученая степень и ученое звание **д.т.н., член-корр. НИА РК**

Место работы и должность **Институт механики и машиноведения им. академика У.А. Жолдасбекова, зам. генерального директора директора. Электронная почта legsert@mail.ru**

Контактный телефон **(727) 2723426, 7773295999**

Сведения об авторе статьи

Исследование динамики планетарных зубчатых передач

Фамилия, Имя, Отчество **Уалиев Гахип**

Ученая степень и ученое звание **д.т.н., академик. НАН РК**

Место работы и должность **Институт механики и машиноведения им. академика У.А. Жолдасбекова, зав. лабораторией.**

Электронная почта dgpimmash@mail.ru

Контактный телефон **(727) 2723426**

Поступила 18.04.15 г.