

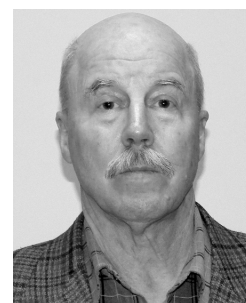
## Инновационный интерактивный программный продукт как средство повышения эффективности проектирования механизмов



**А. Я. Некрасов,**  
к. т. н., доцент  
a.nekrasov@stankin.ru



**А. Н. Соболев,**  
к. т. н., доцент  
t-64@mail.ru



**М. О. Арбузов,**  
к. т. н., доцент  
stankin-okm@yandex.ru

**Кафедра станков, ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»**

В настоящее время в машиностроении широко применяют приводные механизмы многопарного зацепления; наиболее перспективными из них являются зубчато-ременные и волновые передачи. С целью повышения эффективности проектирования и моделирования таких механизмов на кафедре станков МГТУ «СТАНКИН» разработан комплекс интерактивных программных приложений для расчетов и синтеза 3-мерных моделей механизмов и их элементов в САД-системе. Модульная реализация программного комплекса позволяет эффективно решать отдельные инженерные задачи на ранних этапах проектирования механизмов.

**Ключевые слова:** эффективность, расчет, моделирование, интерактивный, САД-система, механизм, многопарное зацепление, передача.

Развитие промышленности в нашей стране, особенно ее базовой машиностроительной отрасли, в настоящее время неразрывно связано с внедрением и совершенствованием методов и средств автоматизации проектирования и моделирования различных технических объектов на ранних этапах конструкторской подготовки производства с целью повышения ее эффективности [1, 2].

Во многих технологических, а также подъемно-транспортных машинах в конструкциях приводных

узлов широко применяются механизмы с многопарным зацеплением зубьев звеньев: волновые, зубчато-ременные, червячные, глобоидные и другие передачи (рис. 1). Таким образом, исследование вопросов повышения эффективности их проектирования и моделирования на основе внедрения и совершенствования средств автоматизации является весьма актуальной задачей [3-6].

### Методы и средства решения поставленной задачи

Из различных путей повышения качества и производительности конструкторской подготовки производства в машиностроении самым эффективным является автоматизация на базе инновационного программного обеспечения. Важной задачей при этом является создание комплексных автоматизированных систем конструкторской подготовки производства, обеспечивающих, кроме расчетов, возможность построения графических моделей конструируемых объектов машиностроения [7-9].

На кафедре станков МГТУ «СТАНКИН» в настоящее время ведется активная научно-исследовательская работа по совершенствованию имеющихся и разработке новых методов и средств автоматизации проектирования и моделирования механизмов и их



Рис. 1. Общая схема классификации механизмов многопарного зацепления

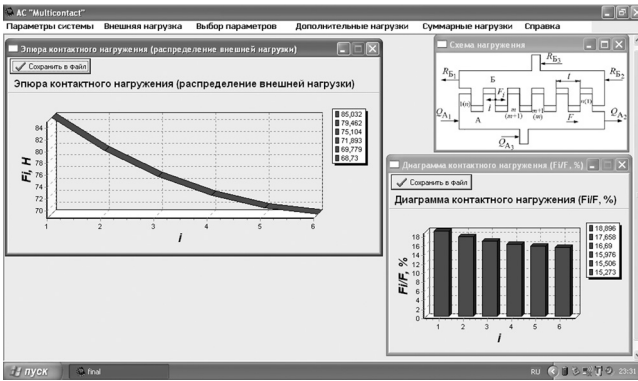


Рис. 2. Окна вывода расчетной схемы, эпюры и диаграммы распределения нагрузки по зубьям ремня на дуге обхвата шкива ремнем

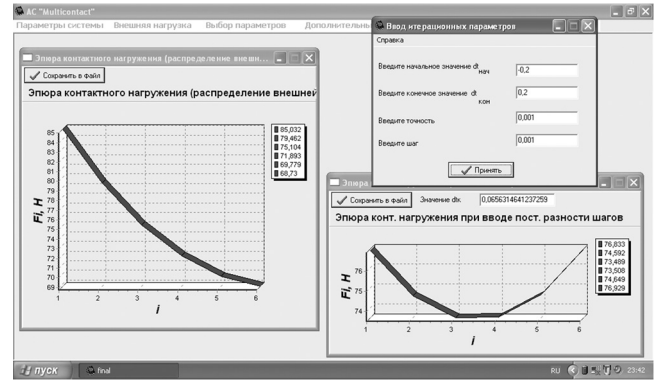


Рис. 3. Окна вывода эпюр распределения рабочей нагрузки между зубьями ремня при вводе постоянной разности шагов зубьев ремня и шкива

элементов (как станочного, так и общего назначения) [10-17]. В процессе выполнения этих исследований авторами статьи был разработан комплекс прикладных программных приложений для проектных расчетов и построения 3-мерных моделей механизмов многопарного зацепления в САД-системе, причем модульная реализация комплекса позволяет эффективно решать в интерактивном режиме отдельные конструкторские задачи на ранних этапах проектирования механизмов [18-20].

Программным приложением моделирования и расчета зубчато-ременной передачи является автоматизированная система (АС) «Multicontact» [18]. Структура АС «Multicontact» основана на блочном принципе организации, что позволяет выполнять операции по решению отдельных инженерных задач по анализу и оптимизации схемы нагружения зубьев ремня и выбору конструктивных параметров передачи. АС «Multicontact» соответствует принципу открытости, то есть может быть расширена и дополнена вспомогательными программными компонентами, например справочными базами данных [3, 4].

Для работы с АС «Multicontact» в интерактивном режиме был разработан наглядный и удобный интерфейс, основанный на системе рабочих окон Windows, что позволяет пользователям оперативно осваивать данное программное приложение.

Основными интерактивными окнами программного приложения являются:

- эпюры и диаграммы схемы распределения рабочей нагрузки по зубьям ремня на дуге обхвата шкива ремнем (рис. 2);
- эпюры дополнительных нагрузок, вызванных накопленной погрешностью шагов зубьев ремня и шкива и погрешностью отдельного шага зубьев ремня;
- эпюры и диаграммы распределения суммарных нагрузок между зубьями ремня на дуге обхвата шкива ремнем;
- эпюра модифицированной схемы распределения внешней нагрузки между зубьями ремня и расчетная величина номинального несоответствия шагов зубьев ремня и шкива (рис. 3);
- расчетная величина определяемого конструктивного параметра - числа пар зубьев в зоне зацепления [3, 5, 6].

АС «Multicontact» позволяет проводить расчет и анализ схемы распределения рабочей нагрузки по элементам контакта и выбор рациональных конструктивных параметров и для других видов механизмов и устройств с многопарным зацеплением (передач, соединений, муфт) [3-6].

Дополнительно, авторами был разработан программный модуль автоматизированного проектирования и моделирования волновых передач с эвольвентными зубьями, кулачковым генератором волн и промежуточными телами качения (ПТК) [19, 20]. Для расчета геометрических параметров волновой

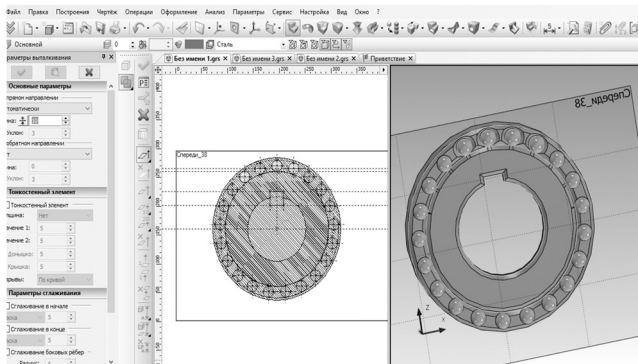


Рис. 4. Параметрическая 3D-модель кулачкового генератора волн

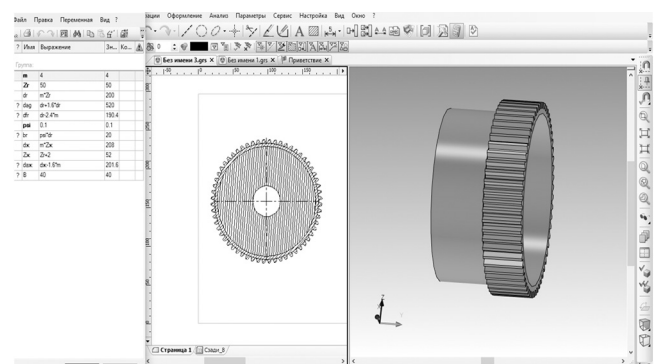


Рис. 5. Параметрическая 3D-модель гибкого колеса волновой передачи

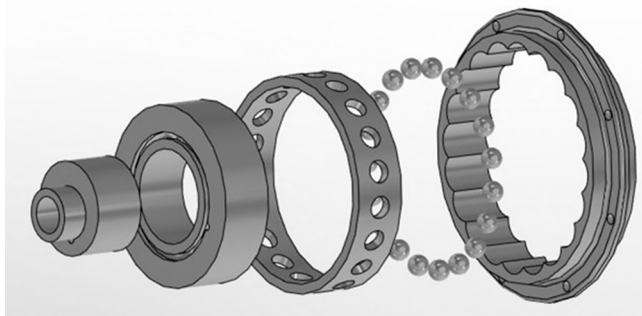


Рис. 6. 3D-модель элементов волновой передачи с ПТК

передачи было использовано стандартное средство параметризации T-Flex CAD - редактор переменных (калькулятор). В результате функционирования программного модуля обеспечивается синтез геометрических параметров, на основе которых генерируются параметрические 3D-модели элементов волновой передачи в системе T-Flex CAD (рис. 4-6).

Потенциал параметрического трехмерного моделирования для повышения эффективности проектирования механизмов многопарного зацепления трудно переоценить, так как при конструировании практически любых объектов машиностроения значительная доля работы инженера связана с преобразованием графической информации. Конструктор должен реализовать вариант решения в виде чертежа, оформленного в полном соответствии с требованиями ЕСКД. При этом инженер-конструктор выполняет сложные графические операции взаимного расположения деталей и узлов механизма, вписывая их в ограниченные объемы, соединения отдельных элементов с помощью нормализованных и стандартных изделий, указанных в каталогах и справочниках, составления спецификаций и проставки размеров [21].

Важным фактором развития отечественного машиностроения являются перспективные возможности использования разработанного инновационного программного продукта в образовательном процессе технических университетов как дополнительного учебного средства, способствующего формированию у учащихся машиностроительных специальностей и направлений компетенций, предусмотренных государственными образовательными стандартами высшего образования. В настоящее время экономическая ситуация выдвигает повышенные требования к качеству и содержанию подготовки инженерно-научных кадров как в части овладения методами автоматизированного проектирования и параметрического моделирования, позволяющими корректно ставить, формально описывать и решать проектно-конструкторские задачи, так и в части изучения возможностей и особенностей работы современных технических средств проектирования [1, 2, 21, 22].

## Выводы и результаты

1. Тестирование разработанных приложений подтвердило работоспособность и стабильность инновационного программного обеспечения, а также подчеркнуло его следующие важнейшие

для конструирования объектов машиностроения возможности:

- интерактивность системы оператор – компьютер, что обеспечивает свойственную проектированию технических средств, в том числе механизмов, непрерывность творческого процесса;
  - визуализация результатов проектирования (как окончательных, так и промежуточных) с помощью средств компьютерной графики;
  - хранение и передача большого объема информации;
  - быстрое и эффективное выполнение значительного числа математических операций [21, 22].
2. Разработанный программный комплекс основан на модульном принципе организации, что позволяет выполнять операции по решению отдельных логических задач при проектировании механизмов многопарного зацепления.
  3. Программный комплекс может быть интегрирован в глобальную конструкторско-технологическую автоматизированную систему машиностроительного предприятия либо проектно-конструкторской организации в виде отдельного программного блока.
  4. Программный комплекс может быть использован как эффективное дополнительное учебное средство в технических и технологических университетах при подготовке научно-инженерных кадров в области общего машиностроения и станкостроения.
  5. Использование на ранних этапах конструкторской подготовки производства разработанного программного комплекса позволяет повысить качество и производительность проектирования и моделирования механизмов многопарного зацепления за счет сокращения рабочего времени, затрачиваемого инженером-конструктором.
  6. В настоящее время материалы и результаты работы используются в образовательном процессе на кафедре станков МГТУ «СТАНКИН» при преподавании дисциплин «Теория механизмов и машин», «Детали машин» и «Основы конструирования машин» в целях повышения качества подготовки будущих специалистов в области машиностроения:
    - инженеров по специальности 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов»;
    - бакалавров по направлениям 15.03.01 «Машиностроение», 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»;
    - магистрантов и аспирантов.

## Список использованных источников

1. Григорьев С. Н. Тенденции и проблемы модернизации машиностроительного производства на базе отечественного станкостроения // Вестник МГТУ «Станкин». 2010. № 3 (11). С. 7-13.
2. Григорьев С. Н., Телешевский В. И., Андреев А. Г., Кольнер Л. С., Осипов П. А. К проблеме построения прецизионных станков для изготовления изделий с нанометровой точностью // Вестник МГТУ «Станкин». 2015. № 3 (34). С. 9-14.

3. Арбузов М. О., Некрасов А. Я. Разработка автоматизированной системы исследования и оптимизации схемы распределения нагрузки между элементами передач и соединений с многопарным контактом (на примере зубчатременной передачи с трапецидальным профилем зубьев)//Вестник МГТУ «Станкин». 2010. № 1 (9). С. 126-135.
4. Некрасов А. Я. Автоматизированная система анализа схемы распределения нагрузки в многоконтактных кинематических парах: математические модели и расчетная методика//Вестник МГТУ «Станкин». 2011. № 2 (14). С. 8-13.
5. Некрасов А. Я., Арбузов М. О. Математическая модель нагружения звеньев механических устройств с многопарным силовым контактом//Вестник МГТУ «Станкин». 2012. № 1 (18). С. 32-35.
6. Некрасов А. Я., Арбузов М. О. Исследование механических устройств с многопарным силовым контактом//Вестник МГТУ «Станкин». 2012. № 2 (20). С. 20-24.
7. Гречишников В. А., Исаев А. В. Определение положения режущих пластин, расположенных вдоль винтовой стружечной канавки, в корпусе сборной фасонной фрезы//Вестник МГТУ «Станкин». 2014. № 2 (29). С. 34-39.
8. Гречишников В. А., Пивкин П. М. Резцовая головка для отрезки, обработки канавок с конической образующей и торцевых канавок на деталях различной конфигурации//Вестник МГТУ «Станкин». 2014. № 2 (29). С. 50-56.
9. Гречишников В. А., Исаев А. В., Романов В. Б. Метод формирования профиля образующей исходной инструментальной поверхности сборных фасонных фрез с режущими пластинами, расположенными вдоль винтовой линии//Вестник МГТУ «Станкин». 2015. № 1 (32). С. 8-12.
10. Соболев А. Н., Некрасов А. Я., Арбузов М. О. Синтез и моделирование кулачковых механизмов в САД-системах//Вестник МГТУ «Станкин». 2014. № 1 (28). С. 102-106.
11. Соболев А. Н., Некрасов А. Я., Арбузов М. О. Усовершенствованная методика проектирования зубчатых и червячных механизмов в САД/САЕ-системах//Вестник МГТУ «Станкин». 2014. № 2 (29). С. 81-86.
12. Соболев А. Н., Некрасов А. Я. Расчет и моделирование мальтийских механизмов станков в САД/САЕ-системах//СТИН. 2015. № 9. С. 2-5.
13. Соболев А. Н., Некрасов А. Я. Совершенствование методики проектирования цевочного зацепления на основе новых программных средств расчета и моделирования//Вестник МГТУ «Станкин». 2015. № 3 (34). С. 34-38.
14. Косов М. Г., Соболев А. Н., Некрасов А. Я. Информационная структура системы нетвердотельного моделирования//Вестник МГТУ «Станкин». 2015. № 1 (32). С. 108-111.
15. Соболев А. Н., Косов М. Г., Некрасов А. Я. Моделирование конструкций корпусных деталей с использованием расчетных макроэлементов//Вестник МГТУ «Станкин». 2014. № 3 (30). С. 98-101.
16. Соболев А. Н., Некрасов А. Я., Ягольницер О. В., Бутримова Е. В. Экспериментальная модель оценки технико-экологических показателей станочного оборудования//Вестник МГТУ «Станкин». 2016. № 1 (36). С. 33-37.
17. Некрасов А. Я., Соболев А. Н. Алгоритмизация процесса конструирования деталей и узлов машин (на примере цепной передачи)//Вестник МГТУ «Станкин». 2015. № 3 (34). С. 47-51.
18. Св-во гос. рег. прог. для ЭВМ 2014618102. Российская Федерация. Автоматизированная система «Multicontact» (АС «Multicontact»)/Некрасов А. Я., Соболев А. Н.; правообладатель МГТУ «СТАНКИН». - № 2014615927; дата поступл. 19.06.2014; дата регистр. 11.08.2014. - 1 с.
19. Св-во гос. рег. прог. для ЭВМ 2014618103. Российская Федерация. Проектирование эвольвентного зацепления «Evol»/Соболев А. Н., Некрасов А. Я.; правообладатель МГТУ «СТАНКИН». - № 2014615930; дата поступл. 19.06.2014; дата регистр. 11.08.2014. - 1 с.
20. Св-во гос. рег. прог. для ЭВМ 2014661336. Российская Федерация. Расчет зубчатых передач «GearsSolver»/Соболев А. Н., Некрасов А. Я.; правообладатель МГТУ «СТАНКИН». - № 2014619143; дата поступл. 11.09.2014; дата регистр. 29.10.2014. - 1 с.
21. Основы автоматизированного проектирования самолетов: учеб. пособие для вузов/С. М. Егер, Н. К. Лисейцев, О. С. Самойлович. - М.: Машиностроение, 1986. - 232 с.
22. Гиловой Л. Я., Молодцов В. В. Проектирование зубофрезерных станков повышенной жесткости//Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2013. № 2 (191). С. 40-45.

## An innovate interactive software product as a means of the advancement of the efficiency of engineering devices design

**A. Ya. Nekrasov**, Ph. D. in Technics, associate professor of sub-department of Machines, MSTU «STANKIN».

**A. N. Sobolev**, Ph. D. in Technics, associate professor of sub-department of Machines, MSTU «STANKIN».

**M. O. Arbuzov**, Ph. D. in Technics, associate professor of sub-department of Machines, MSTU «STANKIN».

The present time in the engineering are widely using multiple-paired gearing transmissions mechanisms. Toothed belt transmissions and harmonic gearing transmissions are the most perspective of them. For the aim of the advancement of the efficiency of design and simulation of such mechanisms an interactive software complex for calculations and construction of 3-D models of mechanisms and their elements in the CAD-system have been worked out in the sub-department of machines of MSTU «STANKIN». A realization of this software complex on the base of individual programming modules allows solve separate engineering problems effectively on early stages of mechanisms design.

**Keywords:** efficiency, calculation, modeling, interactive, CAD-system, engineering device, multiple-paired gearing, transmission.