

**Машиностроение и машиноведение**

УДК 658.5

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-10-4-12

Д.Т. Сафаров, А.Г. Кондрашов, А.И. Фасхутдинов

**ОРГАНИЗАЦИЯ КОНСТРУКТОРСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАДАЧ РАЗЛИЧНОЙ СЛОЖНОСТИ**

Снижена трудоемкость процесса построения 3D моделей технологических систем конструкторскими службами машиностроительных предприятий для решения производственных задач различной сложности при иерархическом структурировании входной конструкторской информации построения 3D моделей технологической системы и решаемых производственных задач.

Сокращена длительности решения производственных задач различной сложности при снижении сроков 3D моделирования технологических систем.

Рациональная организация конструкторского моделирования на основе иерархического структурирования входной конструкторской информации построения 3D моделей технологической системы и решаемых производственных задач позволяет уменьшить сроки конструкторского моделирования до двух раз.

**Ключевые слова:** моделирование, технологическая система, организация, производственная задача, функциональная дифференциация процессов.

D. T. Safarov, A.G., Kondrashov, A.I. Faskhutdinov

**ARRANGEMENT OF ENGINEERING MODELING OF TECHNOLOGICAL  
SYSTEMS FOR SOLVING PRODUCTION TASKS OF DIVERSE  
COMPLEXITY**

The paper considers a technique that allows to increase the efficiency of solving various types of production tasks based on simulation modeling. The technique considers the process of engineering modeling of technological system components in accordance with conceptual hierarchical levels, which with the deeper level provide an approximation of the simulated object from the initial correspondence in the form of equipment contours to the maximum in the form of a 3D component model based on 3D scanning. This technique allows to choose the most adequate option of modeling the technological system components, corresponding to the complexity of the production task solved by simulation modeling. The application of the technique in the design and engineering services of a machine-building enterprise allows to arrange the modeling process, select all its stages, assign performers, check the execution of the modeling process, ensure that the models correspond to the production task being solved. The technique effectiveness is confirmed by the given examples of solving production tasks of diverse complexity – simulation modeling of gear milling of helical bevel gears and circular tooth pulling.

The purpose of the paper is to reduce the complexity of building 3D models of technological systems by engineering services of machine-building enterprises for solving production problems of diverse complexity thanks to the hierarchical structuring of input design information for building 3D models of a technological system and solved production tasks.

Research methods: functional differentiation of processes.

Research results and novelty: reducing the duration of solving production tasks of diverse complexity by decreasing the time of 3D modeling of technological systems.

Conclusions: rational arrangement of engineering modeling based on the hierarchical structuring of input design information for building 3D models of a technological system and solved production tasks allows to reduce the duration of engineering modeling up to two times.

**Key words:** modeling, technological system, arrangement, production task, functional differentiation of processes.

**Введение**

Для изготовления современной машиностроительной продукции предприятия реализуют множество технологиче-

ских процессов. Сложная машиностроительная продукция создается во взаимосвязанных технологических процессах –

транспортных, формообразования, контрольных, испытательных и т.д. Предприятия постоянно решают различные задачи по снижению стоимости процессов изготовления компонентов на различных рабочих местах, улучшению качества продукции, сокращению сроков вывода готовой продукции на рынок.

Для более эффективного решения этих задач предприятия все шире применяют методы моделирования процессов в различных технологических процессах - операциях обработки резанием [1-5], 3D печати [6], измерений изготовленной продукции [7, 8], эксплуатации [9]. Моделируются и вспомогательные процессы создания инструмента [10] и формирования свойств материалов [11]. Решение перечисленных выше задач требует конструкторских

моделей рассматриваемых объектов различной степени сложности. В настоящее время на многих предприятиях в связи с внедрением цифровых технологий создаются специализированные службы, основной функцией которых является выполнение моделирования различных технологических систем: станочных, транспортных, складских, инфраструктурных и т.д., а также процессов их взаимодействия.

Эффективное решение производственных задач на основе моделирования зависит от организации процесса конструкторского моделирования, определения достаточных требований к модели, для решения различных производственных задач.

### Теоретическая часть

В зависимости от сложности решаемой производственной задачи с применением методов моделирования предприятие может привлекать различные инженерные службы предприятия – конструкторские отделы, специализированные отделы моделирования, измерительные лаборатории, подразделения цифровых технологий, работники производственных участков. От оптимальной организации взаимодействия служб предприятия зависит скорость решения задачи, а также эффективность ее решения. Одним из самых трудоемких этапов решения производственных задач является предварительное конструкторское моделирование как отдельных компонентов технологической системы, так и более крупных ее элементов. В настоящее время проблемам организации конструкторского моделирования технологических систем в условиях действующего машиностроительного предприятия уделяется мало внимания. В данной статье рассматривается разработанная в ходе проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ методика организации конструкторского моделирования, обеспечивающая уменьшение сроков решения конструкторского моделирования. Методика связывает входные данные построения компонентов технологической

системы с решаемыми на их уровне видами производственных задач. Ее содержание рассмотрим на примере конструкторского моделирования станочных технологических систем формообразования лезвийным инструментом.

Методика рассматривает процесс построения конструкторских моделей технологической системы в виде работ, выполняемых в соответствии с концептуальными иерархическими уровнями, приведенными в табл. 1. Предлагаемые уровни построения отличаются исходными данными для построения ее компонентов – станочных узлов и деталей. Для верхнего уровня входными данными проектирования является вид в плане и главный вид станочной системы, для следующего уровня исходные данные дополняются из схемы наладок станка, далее из сборочного чертежа, рабочих чертежей станочных деталей и узлов с учетом посадочных и присоединительных размеров. Следующим уровнем детализации входных данных для построения трехмерных моделей является построение ее узлов и элементов в соответствии с номинальными размерами, указанными в рабочих чертежах. Нижним уровнем, на котором достигается наибольшее соответствие 3D модели действительно имеющейся на рабочем месте станочной системе,

является уровень выполнения компонентов ее модели по результатам 3D сканирования или измерений действительных значений показателей точности.

Каждый уровень построений компонентов решает строго определенную, соответствующую только этому уровню, совокупность производственных задач. Например, построение моделей технологической системы только на верхних уровнях, обеспечивает соответствие исходных данных моделирования для решения, например, задач организации оптимальной расположения оборудования в пределах цеховой площадки или применения отдельных инструментов бережливого производства. Обеспечение большего соответствия модели станочной системы на средних уровнях решает задачи, обучения персонала работе на данном оборудовании, дает возможность разработки схем сборки или разборки узлов для ремонтных служб, составления визуализированных рабочих инструк-

ций для рабочего персонала, моделирования процессов замены отдельных узлов станочной системы при ее обслуживании или ремонте.

Для решения более сложных задач, например, модернизации отдельных узлов станка или его компонентов, изготовления новой инструментальной или заготовительной оснастки, разработке конструкции и изготовления специализированного инструмента [10] – необходимы модели, построенные по данным рабочих чертежей.

Уже начиная с этого уровня качество входных данных становится пригодным для решения отдельных групп задач имитационного моделирования процесса контактного взаимодействия отдельных станочных модулей – в подвижных и неподвижных сопряжениях, процессов резания в зоне взаимодействия рабочей части инструмента [2-5] и обрабатываемого элемента заготовки.

Таблица 1

Уровни исходной информации построения моделей и примеры решаемых ими производственных задач

№	Уровень концептуального построения 3D модели	Входные данные уровня для построения 3D модели	Примеры решаемых производственных задач
1	Вид в плане, главный вид (ОВ)	Контурные узлы станка, габаритные размеры	Оптимизация планировочных решений, задачи бережливого производства
2	Схема наладки (СН)	Параметры наладки, относительное расположение контуров узлов станка	Обучение персонала
3	Сборочный чертеж компонента (СБ)	Контурные деталей, относительное расположение контуров и направляющих	Составление рабочих инструкций, визуальных схем сборки
4	Чертеж с посадочными и присоединительными размерами (ЧППР)	Контурные деталей, относительное расположение контуров и направляющих с учетом посадочных и присоединительных размеров	Проверки столкновения узлов станка с ЧПУ при визуализации программы обработки
5	Рабочие чертежи (РЧ)	Контурные деталей, относительное расположение контуров и направляющих в соответствии с номинальными размерами	Изготовление узлов станка, моделирование процесса формообразования
6	3D сканирование деталей станочной системы (3ДС)	Контурные деталей, относительное расположение контуров и направляющих в соответствии с действительными размерами	Имитационное моделирование процессов взаимодействия компонентов станочной системы

С точки зрения повышения эффективности организации процесса решения производственной задачи – повышение степени приближения соответствия моде-

ли к его образцу на рабочем месте приводит к увеличению трудоемкости построения модели технологической системы. Например, если для выполнения построе-

ний в соответствии с требованиями главного вида и вида в плане достаточно построений контуров компонентов станка и несложного выполнения конструкторских приемов создания трехмерных тел, то при выполнении моделей согласно требованиям рабочих чертежей, значительно возрастает сложность модели. Добавляются дополнительные конструктивные элементы, усложняется их взаимосвязь, растет сложность и трудоемкость конструктивных построений. При выполнении модели на основе сканирования отдельных деталей и компонентов станочной системы к перечисленным выше процессам конструкторского построения добавляются дополнительные процессы, связанные с разборкой и сборкой на рабочем месте моделируемого узла, выполнению процессов подготов-

ки деталей к сканированию, транспортные процессы по перемещению компонента, собственно по сканированию деталей, а также подготовке сосканированной 3D-модели компонента технологической системы к встраиванию в общую модель компонента, а также бюрократические процессы, связанные с оформлением накладных документов на перемещение компонентов станка еще более увеличивающие общую трудоемкость конструкторского моделирования.

Выполнение конструкторского моделирования в соответствии с методикой позволяет обеспечить оперативную подготовку и выдачу заданий на конструкторское моделирование компонентов технологической системы для решения заданного типа производственных задач.

### Практическая реализация

Рассмотрим два примера решения производственных задач различной степени сложности построения конструкторских моделей технологических систем, с применением разработанного метода подготовки модели технологической системы.

Первая задача - нахождения профиля переходной кривой косозубого цилиндрического колеса по результатам имитацион-

ного моделирования процесса зубофрезерования червячной зуборезной фрезой для обеспечения долговечности зубчатой передачи. Для решения данной узкоспециализированной задачи необходимо обеспечить конструкторское моделирование компонентов технологической системы, в соответствии с требованиями уровней моделирования, приведенными в табл. 2.

Таблица 2

Требования к построению моделей компонентов зубофрезерного станка

Компоненты станка	Уровни концептуального моделирования					
	ОВ	СН	СБ	ЧППР	РЧ	3DC
Станина		+				
Суппорт		+				
Инструментальная бабка		+				
Шпиндель инструментальный		+				
Оправка инструментальная		+				
Червячная фреза					+	
Бабка изделия		+				
Оправка заготовительная		+				
Заготовка					+	+

Моделирование станины, суппорта, инструментальной бабки, а также шпинделя инструментальной и заготовительной оснастки достаточно выполнить только на уровне схемы наладки. Модель червячной зуборезной фрезы необходимо выполнить

в соответствии с рабочим чертежом (рис. 1б). Модель обрабатываемой заготовки достаточно выполнить на уровне рабочего чертежа, с учетом данных измерений наружного диаметального размера обрабатываемой заготовки (рис. 1в).

В соответствии с требованиями табл. 1 выполнено имитационное моделирование процесса формообразования зуборезной фрезы с заготовкой, результаты которого приведены на рис. 1. В результате последующих графических построений по полученной 3D модели зубчатого венца установлены искомые параметры переходной кривой впадины зубчатого колеса – диаметра впадин  $D_f$ , диаметров начала активного профиля  $D_{lпредв.}$ .

Значение указанных параметров используется для проверки и оптимизации параметров зубчатой фрезы при проектировании ее конструкции. Правильный

подбор параметров  $D_f$  и  $D_{lпредв.}$  решает задачу повышения долговечности зубчатой передачи за счет обеспечения большей активной площади боковых поверхностей зуба [12].

Трудоемкость построения конструкторской модели составила 23 чел./часа. Решение аналогичных задач без выдачи задания на проектирование составило 37 чел./часов из-за дополнительного моделирования узлов зубопротяжного станка, входящих в его рабочую зону, в построении которых для решения основной производственной задачи нет необходимости.

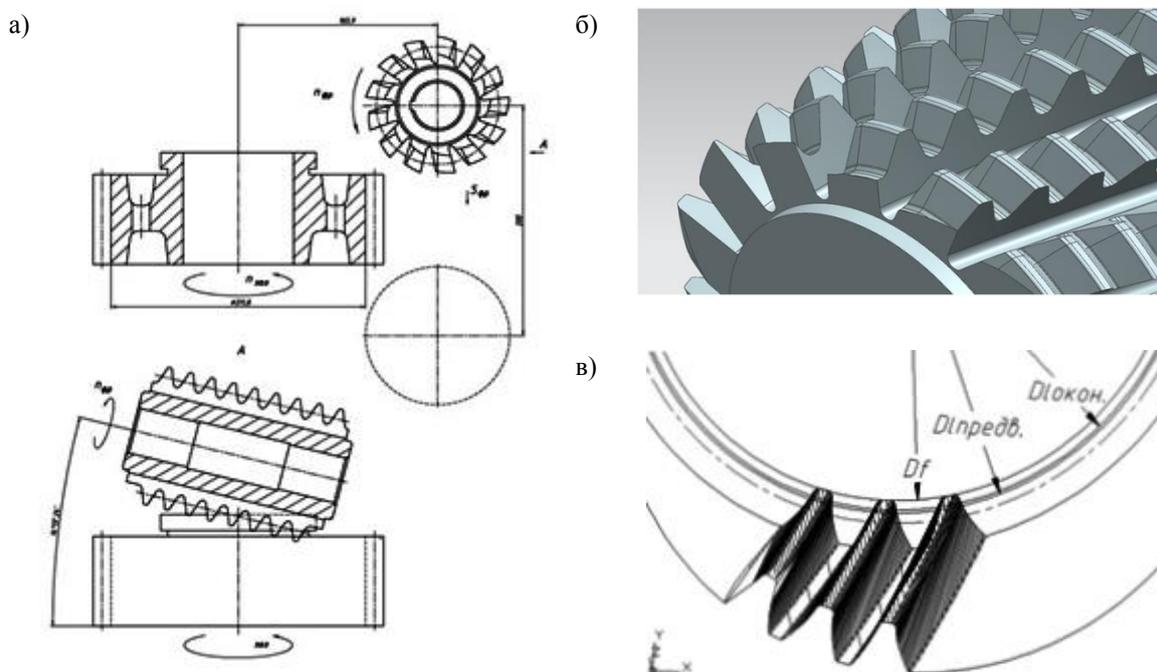


Рис. 1. Конструкторское и имитационное моделирование зубофрезерного станка:

а - схема наладки зубофрезерного станка;

б - 3D модель зуборезной фрезы;

в - результаты имитационного моделирования зубофрезерования

Вторая задача аналогична предыдущей, и направлена на нахождение параметров обрабатываемого зубчатого венца прямозубого конического зубчатого венца в результате имитационного моделирования процесса зубопроотягивания его впадин. Одновременно с основной задачей были поставлены и еще ряд попутных – модель технологической системы должна обеспечивать возможность обучения пер-

сонала приемам наладки, быть пригодной для составления рабочих инструкций наладки зубопроотяжного станка, а также могла быть встроена в цифровую модель цеха обработки зубчатых колес. Одновременное решение всех этих задач потребовало разработки более развитой, по сравнению с предыдущей, схемы требований к построению моделей компонентов зубопроотяжного станка (табл. 3).

Таблица 3

## Требования к построению моделей компонентов зубопротяжного станка

Компоненты станка	Уровни концептуального моделирования					
	ОВ	СН	СБ	ЧППР	РЧ	ЗДС
Станина	+					
Стойка заготовительной бабки	+					
Заготовительная бабка (ЗБ)	+					
Заготовительный шпиндель		+	+	+		
Разжимная оправка		+	+			
Заготовка		+			+	
Инструментальная плита (ИП)	+					
Инструментальная бабка (ИБ)	+					
Инструментальный шпиндель (ИШ)		+	+	+		
Корпус протяжки		+			+	
Блоки резцов		+				+
Копир		+				+
Механизмы наладочных перемещений и их элементы:						
- продольного ИБ	+		+			
- поперечного ИП	+		+			
- вертикального ИШ	+		+			
- продольного стойки ЗБ	+		+			
- фасочного резца	+		+			
Механизмы прижатия ИП	+		+			

Для решения основной производственной задачи достаточно выполнить модели станины, стойки заготовительной бабки, заготовительной бабки, инструментальной плиты и инструментальной бабки в соответствии с общим видом станочной системы. Заготовительный шпиндель, разжимная оправка и инструментальный шпиндель выполняются в соответствии со сборочными чертежами с учетом посадочных и присоединительных размеров. Наиболее детально моделируется корпус протяжки – по рабочему чертежу, а также блоки резцов и копир перемещения инструментальной бабки. Их конструкторские модели формируются по результатам 3D сканирования действительно установленных компонентов зубопротяжного станка на оптической координатной машине. Для решения попутных производственных задач в соответствии с общим

видом и требованиями сборочного чертежа дополнительно моделируются механизмы наладочных перемещений. В результате объединения 3D моделей компонентов получена конструкторская модель зубопротяжного станка (рис. 2 а, б), пригодная для решения всех поставленных производственных задач.

В результате выполнения имитационного моделирования процесса кругового зубопротягивания получена 3D модель конических зубчатых колес, приведенные на рис. 3 а и параметры профиля зубьев в развертке вспомогательных секущих конусов на рис. 3 б, используемые для оптимизации профиля копира при проектировании его рабочего чертежа и обеспечения соответствия изготовленного прямозубого конического колеса чертежным параметрам [13].

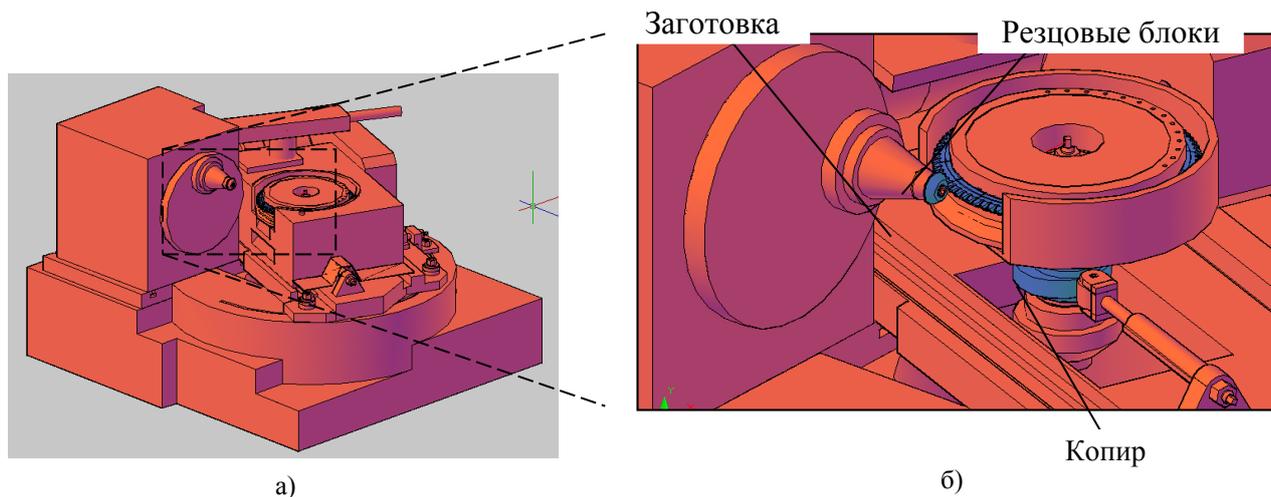


Рис. 2. Результаты конструкторского моделирования зубопротяжного станка:  
 а - изометрический вид 3D модели зубопротяжного станка;  
 б - 3D модель рабочей зоны зубопротяжного станка (инструментальная бабка не показана)

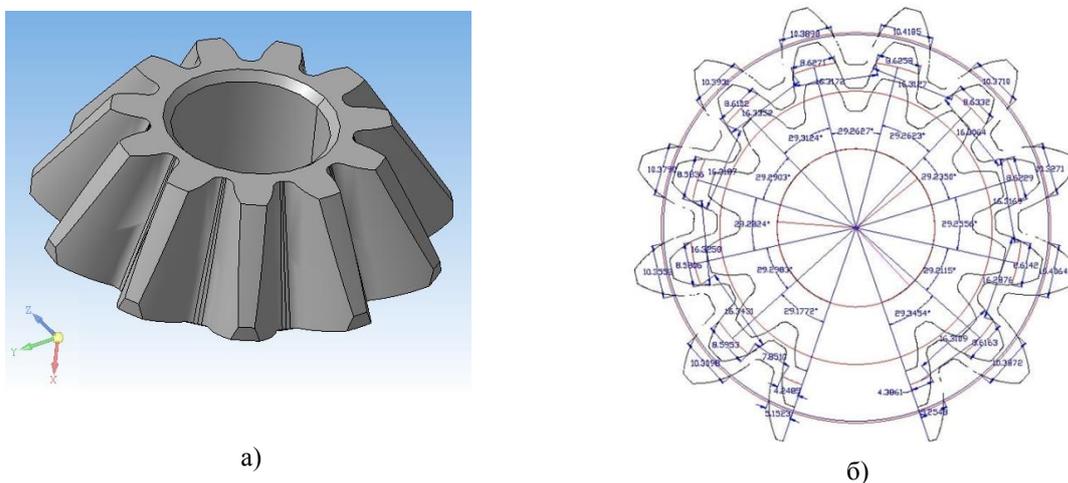


Рис. 3. Результаты имитационного моделирования процесса зубопротягивания:  
 а - 3D модель конического прямозубого колеса; б - показатели точности сателлита дифференциала в развертке сечениями 3D модели вспомогательными конусами

Трудоемкость процессов конструкторского моделирования технологической системы зубопротяжного станка, без учета трудоемкости вспомогательных процедур по сканированию блоков резцов и копира составила 153 чел./часа. Моделирование без применения методики технологических систем для решения аналогичных производственных задач без применения методики занимало от 250-ти до 400 часов

### Выводы

Приведенные примеры решения задач демонстрируют возможности иерархического подхода подготовки исходных данных для выполнения построения конструкторских 3D моделей компонентов

из-за выполнения дополнительных работ по обеспечению большего соответствия модели реальной, чем это необходимо, а также выполнению дополнительных работ по моделированию компонентов необходимых для решения производственной задачи, но не выполненных в модели технологической системы при первичном конструкторском моделировании.

станочных систем. Если при решении первой задачи модель концептуальная, то при решении одновременно нескольких задач путем моделирования процесса зубопротягивания она значительно сложнее и более

соответствует имеющейся на рабочем месте.

Таким образом, иерархический подход, позволяет обеспечить оптимальную адаптацию конструкторской модели под решаемые производственные задачи. Попутно обеспечивается унификация процесса организации конструкторского моделирования, упорядочивается документообо-

рот, обеспечивается контроль за качеством и достоверностью выполнения 3D конструкторских моделей. Унификация выдачи задания в соответствии со сложностью производственных задач обеспечивает минимальную трудоемкость процесса конструкторского моделирования, а также исключение ошибок при конструкторском моделировании.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вайнер, Л. Г.** Моделирование кинематических характеристик процесса двухсторонней торцевшлифовальной обработки / Л. Г. Вайнер // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2020. - №7 (92). – С. 20-26.
2. **Антонов, А. С.** Имитационная модель стружкообразования при резании горячего металла методом конечных элементов / А. С. Антонов, Д. В. Криворучко, А. И. Банников // Известия Волгоградского государственного технического университета. - 2014. - № 4. - С. 7-9.
3. **Криворучко, Д. В.** Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы: монография / Д. В. Криворучко, В. А. Залого. - Сумы: Унив. кн., 2012. - 496 с.
4. **Корендясев, Г. К.** О конечноэлементном моделировании процесса обработки металлов резанием (часть 2) / Г. К. Корендясев // Вестник научно-технического развития. - 2015. - № 3. - С. 14-24.
5. **Киричек, А. В.** Результаты исследования процесса резания на основе моделирования с использованием программных сред / А. В. Киричек // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2017. - № 2. - С. 6-16.
6. **Левый, Д. В.** Технология создания деталей при помощи 3D-моделирования и 3D-сканирования и разработка системы прогнозирования качества деталей, полученных 3D- печатью / Д. В. Левый, Н. Ю. Лакалина // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2018. - №12 (87). - С. 38-43.
7. **Трошин, А. А.** Математическая модель измерения шероховатости сферическим щупом / А. А. Трошин, О. В. Захаров // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2020. - №2 (87). - С. 28-33.
8. **Крахмалев, Г. Н.** Математические модели для калибровки центра инструмента промышленных роботов / Г. Н. Крахмалев, Д. И. Петрешин, О. Н. Крахмалев, А. Ю. Пимонов // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2017. - №1. - С. 44-49.
9. **Щигарцов, И. М.** Преобразование и синтез кривошипно-шатунных механизмов поршневых двигателей / И. М. Щигарцов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2015. - №3. - С. 105-109.
10. **Мокрицкий, Б. Я.** Совершенствование твердосплавной концевой составной фрезы / Б. Я. Мокрицкий, А. В. Морозова, М. А. Подойницын, Е. Б. Мокрицкая // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2017. - №1. - С. 50-57.
11. **Киричек, А. В.** Модели материалов при исследовании волнового деформационного упрочнения методом конечных элементов / А. В. Киричек, С. В. Баринев, С. А. Силаньев, А. В. Яшин, А. А. Зайцев / Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. - №1 (98). - С. 28-33.
12. **Сафаров, Д. Т.** Контроль диаметального размера граничных точек переходной кривой по данным оптического сканирования цилиндрических косозубых колес / Д. Т. Сафаров, А. Г. Кондрашов, И. И. Хафизов // Материалы X Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2019» (МНТК «ИМТОМ–2019»). Ч. 2. – Казань, 2019. – С. 65-69.
13. **Safarov, D. T.** Improving the quality of manufacture of the differential pinion gears through the integrated application of statistical methods of quality management / D. T. Safarov, A. G. Kondrashov //Journal of Physics: Conference Series / Текст : электронный. – 2019. - Volume 1260. - Issue 3. – Дата опубликования: 13 September 2019. - 032034.
1. **Vayner, L. G.** Modeling of Bilateral End-finishing Kinematic Characteristics. *Bulletin of Bryansk State Technical University*, 2020, no.7 (92), pp. 20-26.
2. **Antonov, A. S., Krivoruchko, D. V., Bannikov, A. I.** Simulation Model of Chip Formation during Cutting Hot Metal by the Finite Element Method. *Izvestia VSTU*, 2014, no. 4, pp. 7-9.
3. **Krivoruchko, D. V.** Modeling of Cutting Processes by the Finite Element Method: Methodological Foundations. Sumi, Universitetskayay Kniga, 2012, 496p.

4. **Korendyasev, G. K.** On the Finite-Element Modeling of the Process of Metal Cutting. *Vestnik Nauchno-tekhnicheskogo Razvitiya*, 2015, no. 3, pp. 14-24.
5. **Kirichek, A. V.** Investigations of Cutting Operation Process Results on Basis of Modeling Using Software Environment. *Bulletin of Bryansk State Technical University*, 2017, no. 2, pp. 6-16.
6. **Levy, D. V., Lakalina, N. Yu.** Technology for Parts Formation Using 3D Modeling and 3D Scanning and Development of System for Quality Prediction of Parts Obtained through 3D Printing. *Bulletin of Bryansk State Technical University*, 2018, no. 12 (87), pp. 38-43.
7. **Troshin, A. A., Zaharov, O. V.** Simulation for Roughness Measurement with Spherical Probe. *Bulletin of Bryansk State Technical University*, 2020, no. 2 (87), pp. 28-33.
8. **Krakhmalev, G. N., Petreshin, D. I., Krakhmalev, O. N., Pimonov, A. Yu.** Simulators for Calibration of Tool Center of Industrial Robots. *Bulletin of Bryansk State Technical University*, 2017, no.1, pp. 44-49.
9. **Shchigartsov, I. M.** Transformation and Synthesis of Krivoshipno-Shatunnyh Mechanisms of Piston Engines. *Bulletin of Bryansk State Technical University*, 2015, no. 3, pp. 105-109.
10. **Mokritskiy, B. Ya., Morozova, A. V., Podoinitsin, M. A., Mokritskaya, E. B.** Improvement of High-alloy End Compound Miller. *Bulletin of Bryansk State Technical University*, 2017, no.1, pp. 50-57.
11. **Kirichek, A. V., Barinov, S. V., Silaniev, S. A., Yashin, A. V., Zaycev, A. A.** Material Models at Research of Wave Deformation Strengthening through Finile Element Method. *Bulletin of Bryansk State Technical University*, 2021, no. 1 (98), pp. 28-33.
12. **Safarov, D. T., Kondrashov, A. G., Khafizov, I. I.** Control of the Diametrical Size of the Fillet Curve Boundary Points According to the Data of Optical Scanning of Cylindrical Helical Wheels. Proceedings of 10<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference "Innovative Machine-building Technologies, Equipment and Materials - 2019", Part 2, Kazan, 2019, pp. 65-69.
13. **Safarov, D. T., Kondrashov, A. G.** Improving the Quality of Manufacture of the Differential Pinion Gears through the Integrated Application of Statistical Methods of Quality Management. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, vol. 1260.

Ссылка для цитирования:

Сафаров, Д.Т. Организация конструкторского моделирования технологических систем для решения производственных задач различной сложности / Д.Т. Сафаров, А.Г. Кондрашов, А.И. Фасхутдинов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. - № 10. – С. 4 - 12. DOI: 10.30987/1999-8775-2021-10-4-12.

Статья поступила в редакцию 03.04.21.

Рецензент: д.т.н., профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета

Макаров В.Ф.

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 27.09.21.

#### Сведения об авторах:

**Сафаров Дамир Тамасович**, к.т.н., доц. кафедры «Материалов, технологий и качества» Набережно-челнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета, e-mail: Safarov-dt@mail.ru.

**Кондрашов Алексей Геннадьевич**, к.т.н., доц. кафедры «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» Набережночелнинского института (филиала) Казанского

**Safarov Damir Tamasovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Materials, Technologies and Quality at Naberezhnie Chelni Institute of Kazan Federal University. E-mail: Safarov-dt@mail.ru.

**Kondrashov Aleksey Gennadyevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Design and Technological Support of Machine-building Industries at Naberezhnie Chelni Insti-

(Приволжского) федерального университета, e-mail: Kondrahov@mail.ru.

**Фасхутдинов Айрат Ибрагимович**, к.т.н., доц. кафедры «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» Набережночелнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета, тел.: 8(8552)58-97-49.

tute of Kazan Federal University. E-mail: Kondrahov@mail.ru.

**Faskhutdinov Airat Ibragimovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Design and Technological Support of Machine-building Industries at Naberezhnie Chelni Institute of Kazan Federal University. Telephone: 8(8552)58-97-49.