



Параметры ρ_n и r_n изменяются со временем, поэтому меняются и корреляционные свойства итогового процесса. Верхний график соответствует большим значениям этих параметров, поэтому процесс близок к чисто периодическому. При малых значениях параметров периодичность слабее (нижний график).

Таким образом, описанные дважды стохастические модели цилиндрических изображений могут служить основой для моделирования и имитации квазипериодических процессов с различными видами нестационарности путём подходящего набора параметров моделей.

Литература

1. Васильев, К.К. Статистический анализ последовательностей изображений / К.К. Васильев, В.Р. Крашенинников. – М.: Радиотехника, 2017. – 248 с.
2. Крашенинников, В.Р. Статистические методы обработки изображений / В.Р. Крашенинников. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2015. – 167 с.
3. Крашенинников, В.Р. Прогнозирование динамики объекта с использованием авторегрессионных моделей на цилиндре / В.Р. Крашенинников, Ю.Е. Кувайскова // Радиотехника. – 2016. – №9. – С. 36-39.
4. Woods, J.W. Image Estimation Using Doubly Stochastic Gaussian Random Field Models / J.W. Woods, S. Dravida, R. Mediavilla // Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1987. – Iss. 2. – Vol. 9. – P. – 245-253.
5. Васильев, К.К. Представление и обработка спутниковых многозональных изображений / К.К. Васильев, В.Е. Дементьев. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2017. – 251 с.
6. Krasheninnikov, V.R. Multidimensional Image Models and Processing / V.R. Krasheninnikov, K.K. Vasiliev // Intelligent Systems Reference Library 135. Springer International Publishing. – 2018. – P. 11-64.
7. Vasiliev, K.K. Filtration and Restoration of Satellite Images Using Doubly Stochastic Random Fields / K.K. Vasiliev, V.E. Dementiev, N.A. Andriyanov // CEUR Workshop Proceedings. – 2017. – Vol. 1814. – P. 10-20.

К.С. Кульга, Э.Р. Асбапов

МЕТОДИКА СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА КОМПОНОВОК МЕХАТРОННЫХ СТАНКОВ С ПОМОЩЬЮ САД/САЕ-СИСТЕМ

(ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический
университет «УГАТУ»)

Актуальность проблемы. Компоновка мехатронного станка (далее, станок), как правило, состоит из одного стационарного (постоянно неподвижного) и нескольких подвижных элементов, разделённых соединениями (стыками). Создание (синтез) компоновки осуществляется на ранней стадии проектирования станка после определения его характеристик, выбора метода и



движений формообразования, предварительного определения кинематической структуры. Компонировка станка влияет на его основные показатели качества: статические и динамические упругие деформации, термические деформации, на распределение давлений и износ в подвижных соединениях.

Цель научного исследования. Разработка методики структурного синтеза компоновок станков на ранней стадии проектирования на основе применения программного обеспечения (ПО) *CAD (Computer Aided Design)/CAE(Computer Aided Engineering)*-систем и метода конечных элементов (МКЭ).

Теоретическая часть. Совместное использование ПО *CAD/CAE*-системы компании позволила в максимальной степени задействовать достоинства графической среды: мощную параметризацию, поверхностное и твердотельное геометрическое моделирование, кинематику сборок. Важным преимуществом применения ПО *CAD/CAE*-систем является получение результатов статического анализа компоновок станков на стадии эскизного проектирования (технического предложения) [1].

Рассмотрим методику создания конечно-элементной модели компоновки станка. Исходными данными для реализации методики структурного синтеза компоновок станков являются результаты анализа конструкции и базового технологического процесса изготовления детали-представителя, определения перечня формообразующих исполнительных движений и структурно-кинематические схемы компоновок станков. Одним из основных показателей оценки компоновки станка, который можно определить на ранней стадии проектирования, является статическая жесткость [2].

В таблице 1 приведены этапы реализации предлагаемой методики статического анализа на примере компоновки токарного станка с использованием ПО *CAD/CAE*-систем [1]:

1. Проектирование *3D*-геометрической модели компоновки станка в *CAD*-системе, адаптированной для МКЭ с учётом всех параметров, которые могут оказать существенное влияние на результаты статического анализа;

2. Создание сетки конечных элементов (КЭ) в *CAE*-системе – один из важнейших этапов статического анализа компоновки станка на основе МКЭ. Для повышения точности статического анализа компоновки станка осуществляется управление параметрами уплотнения сетки КЭ. Рекомендации по уплотнению сетки КЭ (рисунок 1):

– в зонах значительного градиента напряжений, деформаций, тепловых потоков (отверстие, выточка, трещина и т.п.);

– в зонах существенных изменений граничных условий, например, в области приложения изменяющейся нагрузки и границ области приложения нагрузок;

– в окрестностях границ участков контакта деталей в сборках;

– при наличии в сборках деталей с отличающейся жесткостью в местах возле границ контакта.

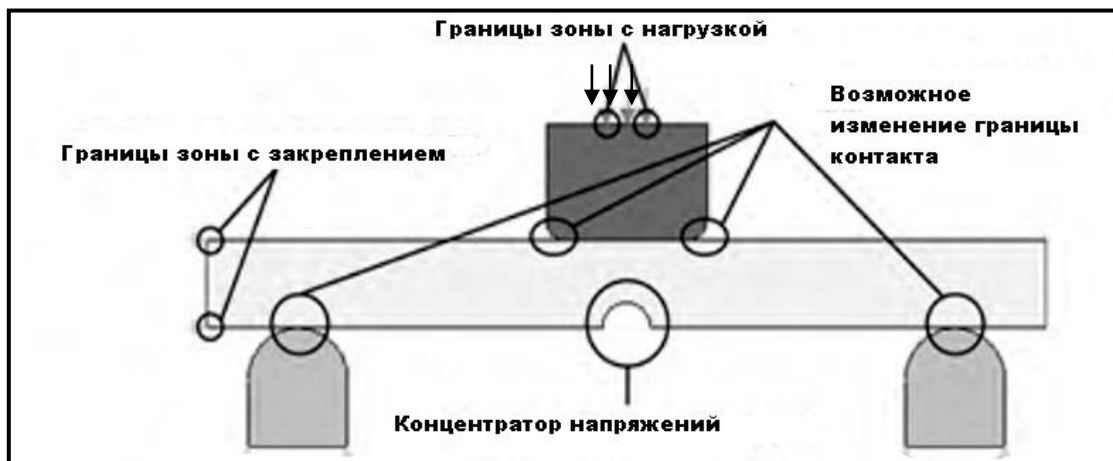


Рисунок 1 – Рекомендуемые зоны уплотнения сетки

Эти рекомендации относятся к исходной конечно-элементной модели. После первого статического анализа появляется актуальная информация, на базе которой можно изменять параметры сетки.

Рекомендуется строить график сходимости результатов статических анализов, позволяющий сделать рекомендации для различных методов дискретизации конечно-элементной модели станка [3].

3. Моделирование граничных условий для конечно-элементной модели компоновки станка. В ходе реализации этого этапа учитывается как действие активных силовых факторов (составляющих сил резания), так и наложенных на систему связей (подвижные и неподвижные стыки);

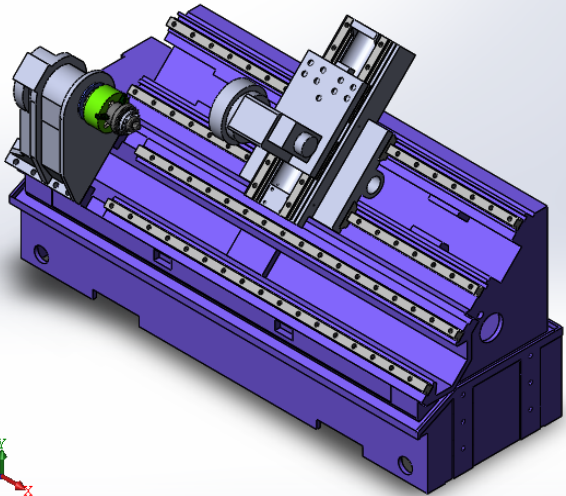
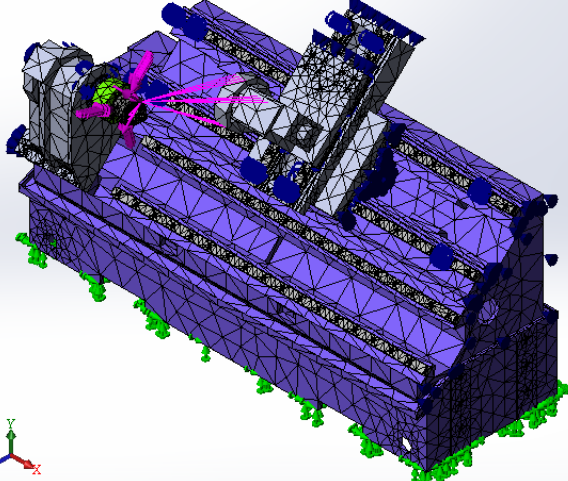
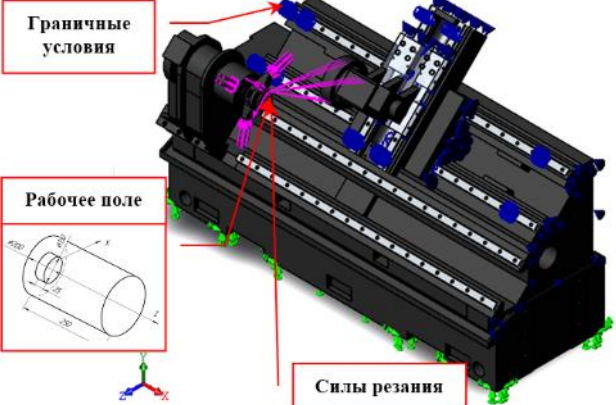
4. Численное решение системы линейных уравнений;

5. Статический анализ конечно-элементной модели компоновки станка и обработка результатов. Настройка параметров решаемой программы для управления итерациями метода решения, улучшения точности или скорости получения результатов;

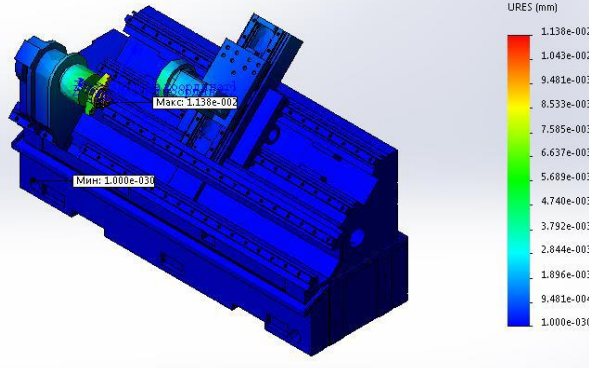

6. Определение направлений оптимизации компоновочных факторов станка с целью улучшения результатов статического анализа.



Таблица 1 – Результаты структурного синтеза компоновки токарного станка

№ этапа	Наименование этапа	Иллюстрация этапа
1.	Создание геометрической модели компоновки станка (CAD-система <i>SolidWorks</i>).	 A 3D CAD model of a lathe machine assembly, rendered in purple and blue. The model shows the main body, the headstock, the tailstock, and the tool rest. A small 3D coordinate system is visible in the bottom left corner.
2.	Создание сетки конечных элементов (CAE-система <i>SolidWorks Simulation</i>)	 A 3D model of the lathe machine assembly with a finite element mesh overlaid. The mesh is composed of small tetrahedral elements. A small 3D coordinate system is visible in the bottom left corner.
3.	Моделирование граничных условий для конечно-элементной модели компоновки станка (CAE-система <i>SolidWorks Simulation</i>)	 A 3D model of the lathe machine assembly with boundary conditions and cutting forces applied. The model is rendered in black and blue. Red arrows indicate the application of boundary conditions and cutting forces. A small 3D coordinate system is visible in the bottom left corner. Three callout boxes are present: 'Граничные условия' (Boundary conditions) pointing to the base of the machine, 'Рабочее поле' (Working field) pointing to the cutting area, and 'Силы резания' (Cutting forces) pointing to the tool tip.
4.	Численное решение системы линейных уравнений (CAE-система <i>SolidWorks Simulation</i>)	



Продолжение таблицы 1		
5.	<p>Обработка результатов статического анализа модели компоновки станка (CAE-система <i>SolidWorks Simulation</i>):</p> <ul style="list-style-type: none">- построение эпюр (<i>von Mises</i>, <i>URES</i> и ряда других);- построение балансов статических перемещений элементов компоновки станка;- анализ результатов статических исследований;- формирование отчётов;	
6.	<p>Оптимизация конечно-элементной модели компоновки станка. Этот этап базируется на изучении результатов статического анализа модели компоновки станка (CAE-система <i>SolidWorks Simulation</i>)</p>	

Заключение. Предложенная методика позволяет проводить структурный синтез компоновок станков на ответственных стадиях проектирования (эскизное проектирование, техническое предложение) с применением ПО CAD/CAE-систем.

Литература

1. *INSPIRING INNOVATION* [Электронный ресурс] // *Dassault Systemes*. – Режим доступа: <http://www.3ds.com> – Проверено 12.11.2017;
2. Врагов, Ю. Д. Анализ компоновок металлорежущих станков / Врагов Ю. Д. – М.: Машиностроение. – 1978. – 208 с.;
3. Информационные технологии в проектировании мехатронного оборудования: учеб. пособие / К. С. Кульга; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2014. – 201 с.