

# МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСУЩИХ СИСТЕМ СТАНКОВ НА ОСНОВЕ СТЕРЖНЕВЫХ И ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Додоров А.И., Поляков А.Н.

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

При проектировании станков в настоящее время одной из основных составляющих успеха является использования современных компьютерных технологий, что реализуется применением CAD/CAE-систем [1-3].

Эффективность моделирования несущих систем станка (НСС) с использованием любой CAE-системы определяется наличием соответствующих методик и математических моделей, составляющих средства их поддержки и сопровождения. Недостаточный уровень их развития в станкостроении сдерживает широкое использование CAE-систем при проектировании станков [4-5].

В связи с широким применением 3D-моделирования и наличием мощных CAD/CAE- систем практически нет ограничений по проведению инженерного анализа несущих систем станков (НСС) с использованием твердотельных элементов. Однако, в этом случае даже для современных компьютерных систем возникают проблемы размерности, длительности расчета и, в целом, эффективности моделирования. Ранее, когда не было столь мощного развития универсальных CAE-систем (до начала 2000-х годов) наоборот, решение сложных технических систем сводилось к использованию стержневых систем. При этом всегда было сложно сопоставить эффективность моделей, построенных на базе различных конечных элементов. Сейчас для современных CAE-систем этой проблемы нет. Поэтому возникла идея на ранних этапах проектирования новых станков использовать стержневые конечные элементы. Однако, эффективность использования стержневых расчетных моделей в современных CAE-системах для моделирования НСС не изучена. Для этого необходимо провести сравнительный инженерный анализ для различных моделей нескольких моделей станков.

Методы исследования. В качестве базовой CAE-системы в исследованиях использована система Ansys. Основные этапы исследования:

- построение 3D – моделей станков в CAD-системе;
- экспорт 3D-модели в Ansys и расчет статических и динамических характеристик в системе Ansys с использованием твердотельных конечных элементов;
- построение и расчет стержневой модели станка в системе Ansys на основе 3D-модели станка;
- анализ и обобщение полученных результатов инженерного анализа с использованием двух типов конечных элементов.

В исследованиях были использованы эскизы несущих систем четырех станков токарно-фрезерной группы: Biglia B545Y, Okuma Multus B200W, Index G300 и Mori Seiki NT 4200 DCG.

На рисунках (рис. 1-3) представлены твердотельные и стержневые расчетные модели трех НСС: Index G300, Okuma Multus B200W и Mori Seiki NT 4200 DCG. Расчетные модели НСС Okuma Multus B200W и Biglia B545Y, ввиду близости их компоновок, не существенно отличались, поэтому расчетная модель для Biglia B545Y здесь не приводится.

Для построения твердотельных моделей несущих систем всех станков были использованы конечные элементы типа Solid185 – однородный восьмиузловой конечный элемент. Для построения стержневых моделей использованы элементы Beam188 и Beam189 – двухузловой и трехузловой стержневые элементы, соответственно. Для моделирования сосредоточенных масс использовался элемент MASS21.

На рисунках 1,а, 2,а, 3,а представлены твердотельные модели НСС. На рисунках 1,б, 2,б, 3,б представлены стержневые модели, созданные в одной плоскости. На рисунках 1,в, 2,в, 3,в представлены пространственные стержневые модели несущих систем рассматриваемых станков. Для наглядности представления пространственных стержневых моделей использовано визуальное изображение видов поперечных сечений стержней.

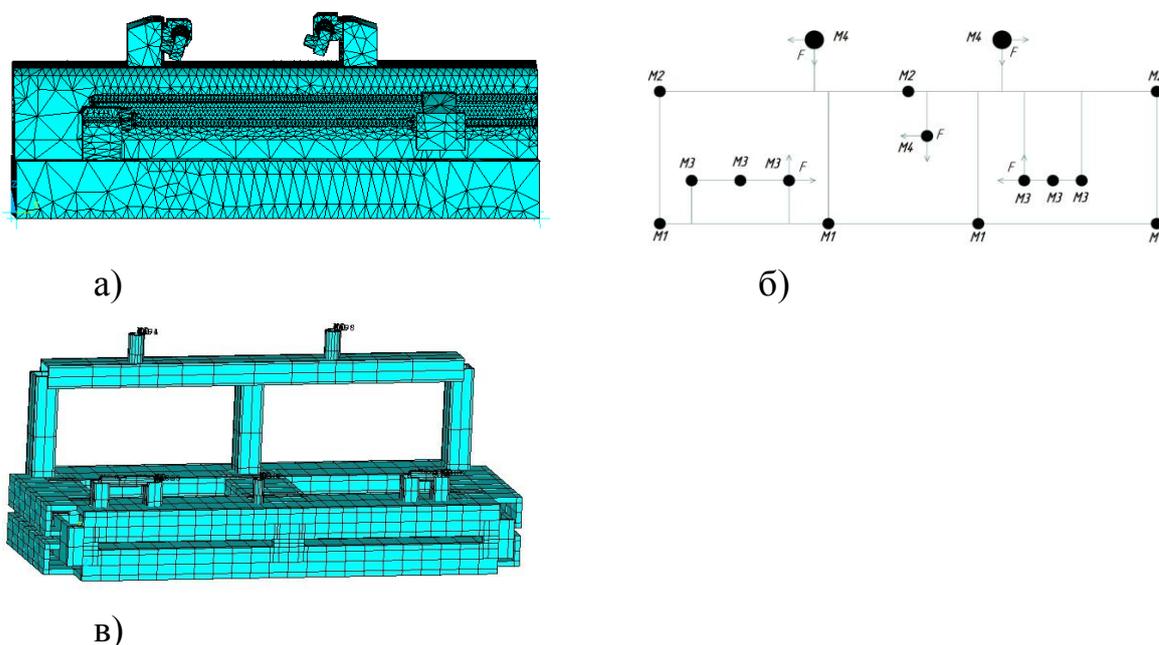
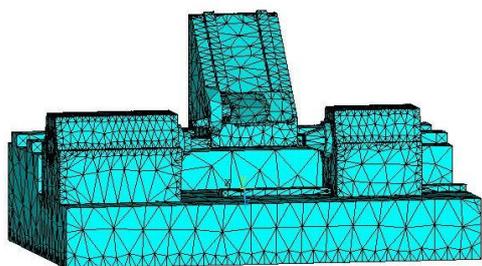
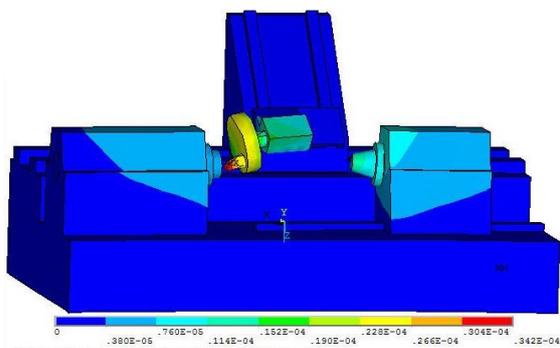


Рисунок 1 – Расчетные модели НСС на основе станка прототипа Index G300

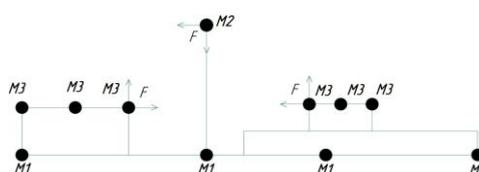
Для проведения сравнительного анализа эффективности моделирования с использованием стержневых и твердотельных конечных элементов были проведены три вида расчета: статический, модальный и динамический. В качестве активной нагрузки использованы силы резания. В расчетных моделях несущие системы станков рассмотрены на упругом основании. Для этого

использовался элемент Combin14 , используемый в Ansys для моделирования продольной и крутильной жесткости.

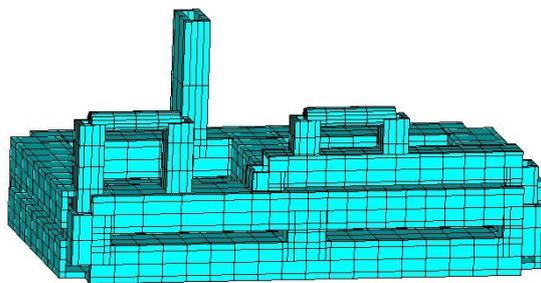
*Расчет статических характеристик.* На рисунке 4 приведено графическое представление результатов статических расчетов для станков Okuma Multus B200W (рис. 4,а и 4,б) и Mori Seiki NT 4200 DCG (рис. 4,в и 4,г, результаты расчетов для других станков имели подобные результаты, поэтому не приведены).



а)

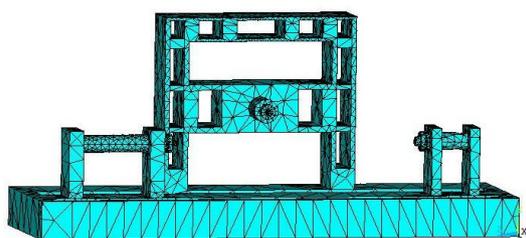


б)

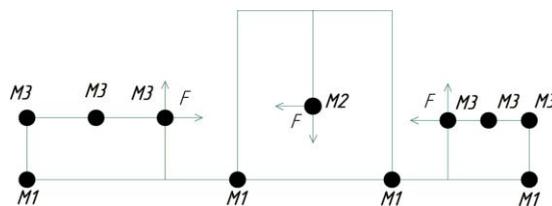


в)

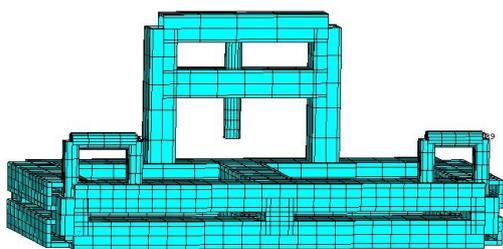
Рисунок 2 – Расчетные модели НСС на основе станка прототипа Okuma Multus B200W



а)

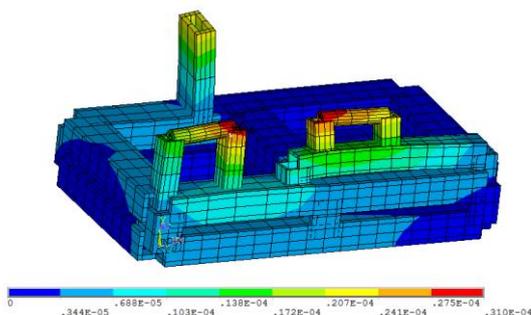


б)



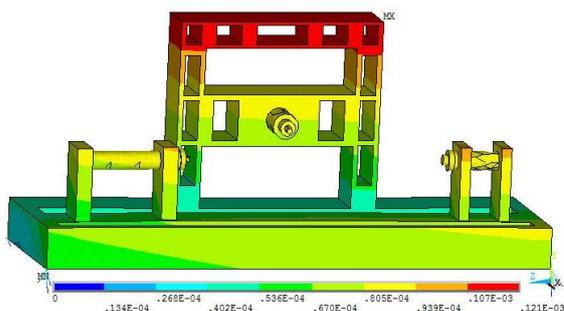
в)

Рисунок 3 – Расчетные модели станка прототипа Mori Seiki NT 4200 DCG

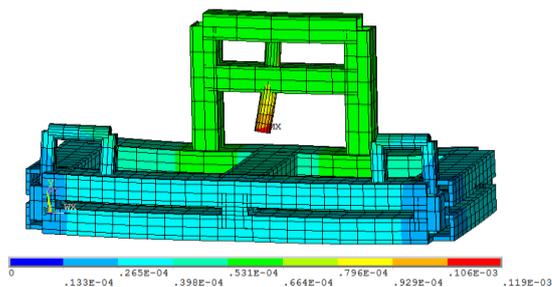


а)

б)



в)



г)

Рисунок 4 – Результаты статических расчетов моделей двух НСС

Анализ представленных результатов расчета показал, что при использовании разнотипных конечных элементов (стержневых и твердотельных) фиксировались близкие значения максимальных перемещений, погрешность не превышала 20 %. Это позволяет с достаточной точностью моделирования статических характеристик станков использовать их стержневые модели. При этом размерности стержневых моделей НСС отличались от соответствующих твердотельных почти на два порядка. Например, твердотельная расчетная модель НСС Index G300 состояла более чем из 100000 конечных элементов и насчитывала более 29000 узлов. Соответствующая пространственная стержневая модель насчитывала около 337 конечных элементов и 391 узел, а стержневая модель, выполненная в одной плоскости – 109 конечных элементов и 182 узла, соответственно.

*Модальный расчет.* При выполнении модального расчета анализировался диапазон частот от 0 до 300 Гц. Максимальное количество оцениваемых частот было принято 20. Для расчетной твердотельной модели станка Index G300 в

расчетном диапазоне было выявлено только 14 частот со значениями от 7 до 289 Гц. Для пространственной стержневой модели были получены только шесть частот, со значениями в диапазоне от 7 до 38 Гц. Три частоты были кратные, т.е. имели совпадающие частоты. Для твердотельной расчетной модели станка Mori Seiki NT 4200 DCG были зафиксированы 20 частот со значениями в диапазоне от 9 до 241 Гц. Для соответствующей стержневой модели было установлено десять различных частот со значениями в диапазоне от 9 до 27 Гц, три частоты были кратные. Аналогичные результаты были зафиксированы для других расчетных моделей. Это позволяет сделать вывод о том, что для разнотипных моделей фиксируется совпадение только первых частот. Это можно объяснить соблюдением идентичности габаритов, массы и параметров жесткости для разнотипных моделей НСС.

*Динамический расчет.* Для всех выше представленных расчетных моделей НСС были выполнены динамические расчеты в варианте Full (полноразмерный расчет без редукации). На рисунке 5 представлены амплитудно-частотные характеристики для НСС Okuma Multus B200W для твердотельной расчетной модели НСС (рис. 5,а) и пространственной стержневой расчетной модели (рис. 5,б). Высокая сравнительная точность динамической податливости для первого пика АЧХ подчеркивает существование определенного сегмента задач, в которых можно с высокой эффективностью моделирования использовать стержневые модели при анализе также динамических характеристик НСС.

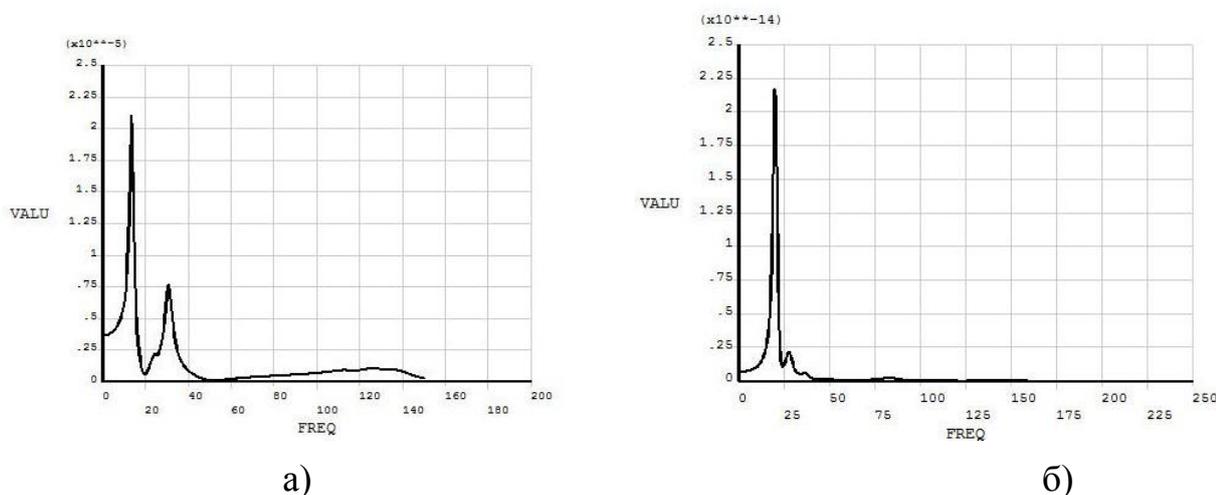


Рисунок 5 – Амплитудно-частотные характеристики для расчетной модели НСС Okuma multus B200W

Поскольку другие собственные частоты в разнотипных моделях не совпадали по значениям, то и соответствующие значения динамической податливости не имели однозначного совпадения. Аналогичные результаты были зафиксированы при расчете динамических характеристик для других рассмотренных в работе станков.

*Заключение.*

Таким образом, выполненные исследования показали:

а) на ранних этапах проектирования новых станков (или других машин) для получения качественных оценок можно использовать стержневые модели; при этом замена твердотельных конечных элементов стержневыми позволяет существенно снизить размерность решаемой задачи и тем самым повысить производительность моделирования;

б) хотя стержневые модели не могут быть эквивалентными твердотельным моделям по количественным оценкам, но их использование не искажает качественный характер анализируемых решений; результат изменений конструкции несущей системы станка при использовании разнотипных конечных элементов сопоставим качественно;

Дальнейшим направлением развития проведенных исследований является:

- совершенствование моделирования несущих систем станков и других машин, основанное на использовании стержневых моделей;

- применение в одной модели разнотипных конечных элементов и построение таких моделей средствами CAE-системы; при незначительном росте размерности расчетных моделей такой подход однозначно позволит решать задачи оптимизации конструкции средствами CAE-системы Ansys, а также расширит область типовых задач моделирования НСС.

#### *Список литературы*

1 Байкер, М. Умные станки требуют интеллектуальных подходов к проектированию/ М. Байкер // *Сапр и графика*. – 2015. – № 10(228). – С. 64-65.

2 *Состояние и направления развития научных исследований в станкостроении* / В.В. Бушуев, А.П. Кузнецов, Ф.С. Сабиров, В.С. Хомяков, В.В. Молодцов // *СТИН*. – 2015. – № 11. – С. – 12-20.

3 Берлинер, Э.М. *Современный этап развития САПР станков с ЧПУ*/ Э.М. Берлинер // *СТИН*. – 2010. – № 3. – С. 16-19.

4 Кульга, К.С., Виноградов П.В. *Применение CAD/CAE-систем при проектировании компоновок многоцелевых станков с ЧПУ*/ К.С. Кульга // *СТИН*. – 2015. – № 9. – С. 5-10.

5 Поляков, А.Н., *Повышение эффективности использования CAE-систем при проектировании станков*/ А.Н Поляков, С.В. Каменев // *СТИН*. – 2009. – № 10. – С. 2-7.