

# ДИНАМИЧЕСКИЙ МКЭ-АНАЛИЗ УСИЛЕНИЯ БЕТОНОМ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ 5-ОСЕВОГО ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Довнар С. С., Авсиевич А. М., Яцкевич О. К.,

Колесников Л. А., Яворский А. В.

Белорусский национальный технический университет,

ОАО «СтанкоГомель»

dovnar@bntu.by

**Аннотация.** Несущая система 5-осевого токарно-фрезерного станка виртуально усиливалась бетоном. С помощью МКЭ выявлена сложная картина резонансов. Только бетонирование по вертикали ведет к сдерживанию всех резонансов станка одновременно. Динамическая жесткость на шпинделе повышается в 1,81 раза.

**摘要.** 5轴车床铣床的承载系统被混凝土虚拟加固。通过有限元方法，揭示了复杂的共振模式。只有垂直浇筑才能同时抑制所有机床共振。主轴上的动态刚度提高 1.81 倍。

Работа связана с созданием на ОАО «СтанкоГомель» компактного токарно-фрезерного станка (ТФС) с ЧПУ (рис. 1, а) с 5-ю степенями свободы.

С помощью МКЭ проведены виртуальные испытания и оптимизация несущей системы (НС) станка. Фокус сделан на динамическом поведении станка. Особенностью является subtilность и легковесность структурных деталей (СД). Априори стояла задача усиления НС. Был выбран путь усиления бетоном (УБ) пустотелых СД бетоном (УНРС, полимербетон).

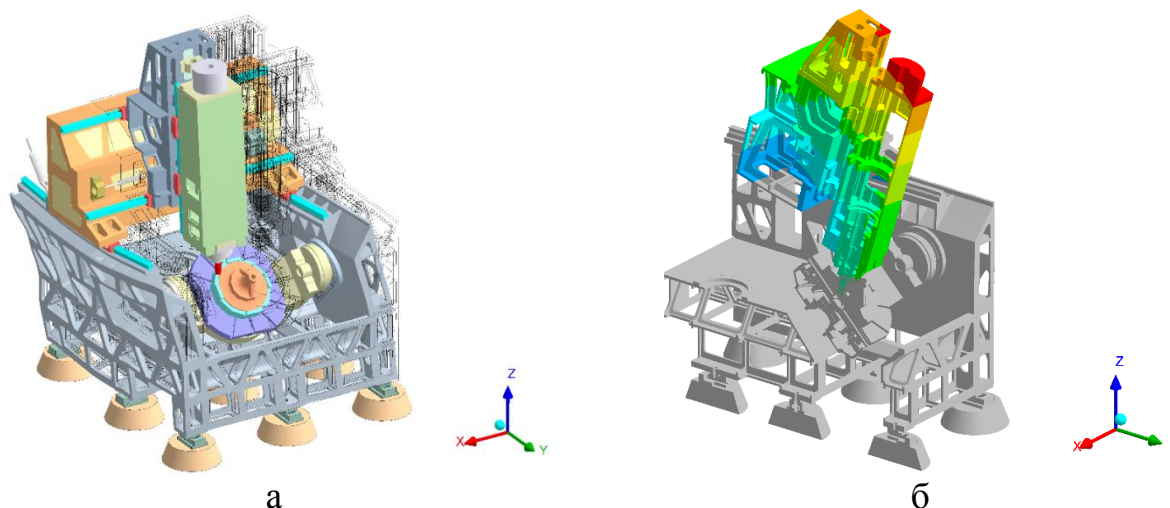


Рисунок 1 – Низкочастотные резонансы НС: а – изгиб стенок по X (мода *Walls*; 19,5 Гц); б – кручение траверсы и клевки ползуна (мода *Tors1*; 27,9 Гц)

Для ТФС в рамках модального и гармонического анализа смоделировано три основных структурных варианта: **A** – пустотелая НС (полости чугунных СД не заполнены); **B** – бетоном заполнена только станина; **C** – все структурные

детали (станина, стенки, траверса, суппорт) залиты бетоном (ползун и стол не заполнялись ввиду отсутствия внутри их существенного пространства).

В частотном диапазоне от 0 до 110 Гц обнаружено семь резонансов. Они четко разделяются на резонансы направления X (*Walls*, *Yaw*, *Pend sy*, *Pend an*) и резонансы направлений Y, Z (связаны с кручением траверсы и обозначены как *Tors1*, *Tors2*, *Tors3*). Обе группы резонансов слабо связаны друг с другом. Каждая группа возбуждается осцилляцией силы резания со своего направления.

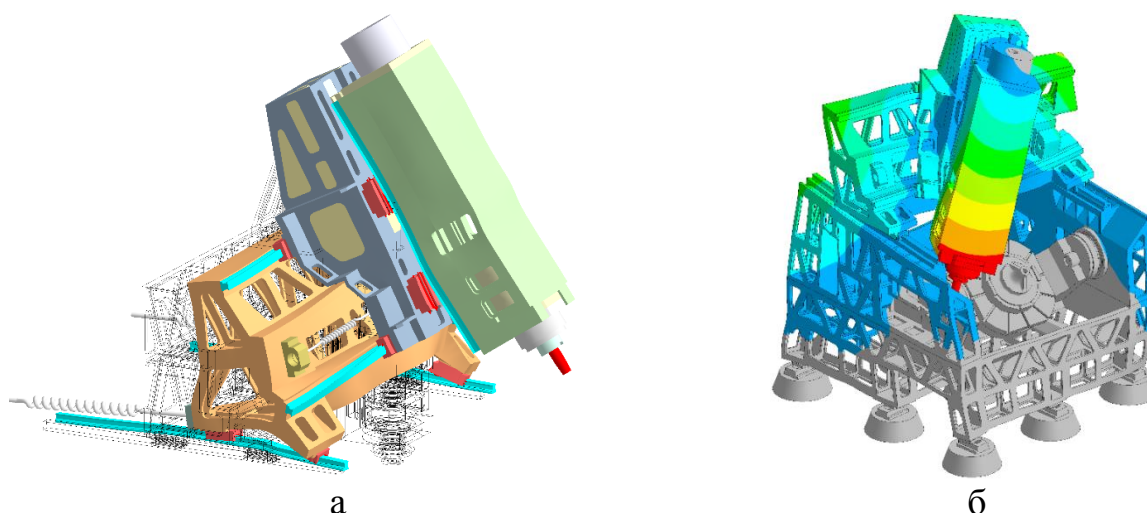


Рисунок 2 – Среднечастотные резонансы станка: а – изгиб-кручение траверсы (мода *Tors2*; 47,5 Гц); б – рыскание ползуна в XY (мода *Yaw*; 68,1 Гц)

Самыми главными (нижними по частоте) являются резонансы *Walls* и *Tors1*. Резонанс *Walls* (рис. 1, а) связан с колебаниями податливых стенок станка. Пустотелые стенки разумно заполнить бетоном. Однако, для эффекта нужно провести УБ и под стенками - в станине станка.

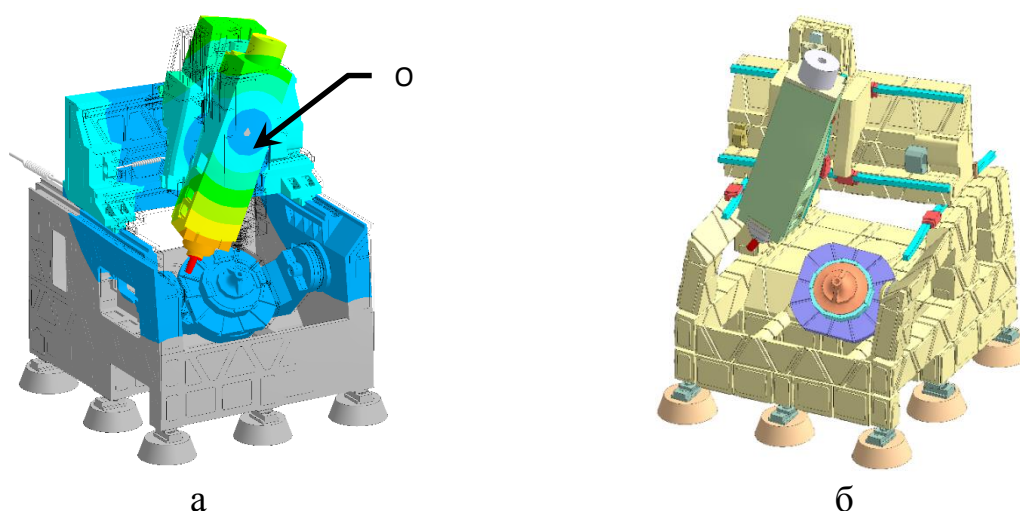


Рисунок 3 – Высокочастотные резонансы ползуна: а – синфазный (*Pend sy*, 84,0 Гц); б – антифазный (*Pend an*, 104,2 Гц). Полное усиление НС бетоном

Резонанс *Tors1* обусловлен (рис. 1, б) упругим закручиванием траверсы. Это вызывает клевки в плоскости YZ суппорта и ползуна с инструментом. Резонансу *Tors1* подобен среднечастотный резонанс *Tors2* (рис. 2, б). В нем кручение траверсы дополняется ее изгибом, скольжением и перекосом профиля. Резонанс *Tors3* похож на два упомянутых и отличается смещением оси кручения.

Три крутильных резонанса сдерживаются заполнением траверсы бетоном. Однако, усиление (и утяжеление) возвышенной траверсы динамически рискованно. Есть потребность в УБ нижележащих стенок и станины.

Среднечастотный резонанс *Yaw* (рис. 2, а) заключается в рыскании сборки «Траверса – суппорт – ползун» в горизонтальной плоскости. Дополнительно происходит маятниковое колебание ползуна в плоскости XZ.

Высокочастотные резонансы представлены на рис.3. Это две сопряженные моды, в которых ползун ведет себя как маятник (*pendulum*). Он раскачивается вокруг центра О. Для моды *Pend sy* (рис. 3, а) колебания ползуна сопровождаются синфазными колебаниями стенок. Для моды *Pend an* (рис. 3, б) раскачивания ползуна балансируются антифазными изгибами стенок.

На рис.3 представлен полностью усиленный бетоном станок (согласно варианту С). На рис. 3, б видна бетонная заливка. Масштаб резонансных возбуждений станка показан с помощью АЧХ на рис. 4.

Линия А показывает два мощных резонансных пика, относящихся к модам изгиба стенок *Walls* и рыскания *Yaw*. Они нуждаются в безусловном ослаблении и смещении к высоким частотам. Бетонирование только станины (линия В) дает частичный эффект. Пик *Walls* уменьшается в 1,51 раза и смещается на ~9 Гц в сторону больших частот. На пик *Yaw* заполнение бетоном станины не влияет.

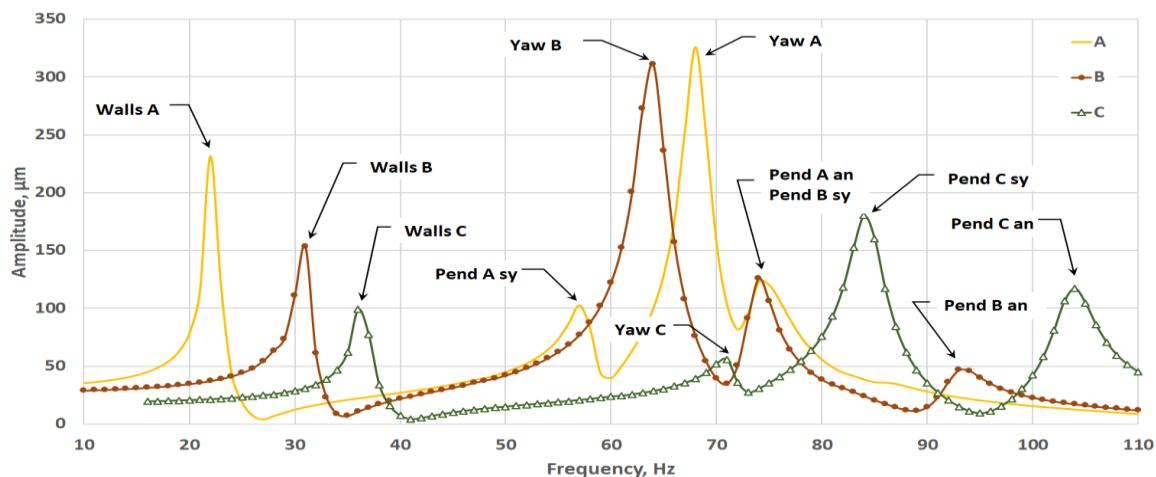


Рисунок 4 – АЧХ торца ползуна в направлении X для пустотелой НС (А), НС с бетонированной станиной (В) и с полным усилением НС бетоном (С)

Рациональным решением является именно *полное УБ* (линия С). После заполнения бетоном всех СД пик *Walls* ослабевает в 2,33 раза и не угрожает возбуждением автоколебаний. Ведущим становится резонанс *Pend sy*. Однако, на его пике амплитуда ослабляется в 1,81 раза при росте частоты на ~16 Гц.

Итак, именно полное бетонное усиление корпусных деталей является условием для подъема динамической жесткости 5-осевого токарно-фрезерного станка.

## ВИРТУАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Довнар С. С., Лапука А. Д.

Белорусский национальный технический университет  
dovnar@bntu.by, penkina@bntu.by

**Аннотация.** МКЭ-анализ несущих систем тяжелых технологических машин показал перспективность внедрения здесь бионических форм. Колонны крупногабаритных станков могут быть усилены бионическими бетонными консолями с геометрией, воспроизводящей стволы деревьев. Интересным направлением является создание полей древовидных инерционных демпферов. Согласно МКЭ-анализу, такие поля хорошо противодействуют сразу нескольким резонансам в порталных станках. Должны возрасти точность технологических машин и качество поверхности.

**摘 要。** 通过有限元法对重型技术机器的承载系统进行的分析显示了在这里引入仿生形式的前景。大型机器的柱子可以用仿生混凝土控制台加固，其几何形状与树干相似。一个有趣的方向是创建树状惯性阻尼器场。根据有限元法的分析，这样的场很好地抵消了门式机床中的多个共振。技术机器的精度和表面质量必须提高。

Несущие системы (НС) технологических машин (ТМ) должны сочетать в себе жесткость и прочность при возможности регулирования массы для оптимизации динамического поведения. Под технологическими машинами понимаются стационарные производственные машины, включающие базу и интенсивно движущиеся при ней мобильные части, осуществляющие процессинг изделий. Вариантами ТМ являются станки (субтрактивные машины), 3D-принтеры (аддитивные машины), технологические роботы.

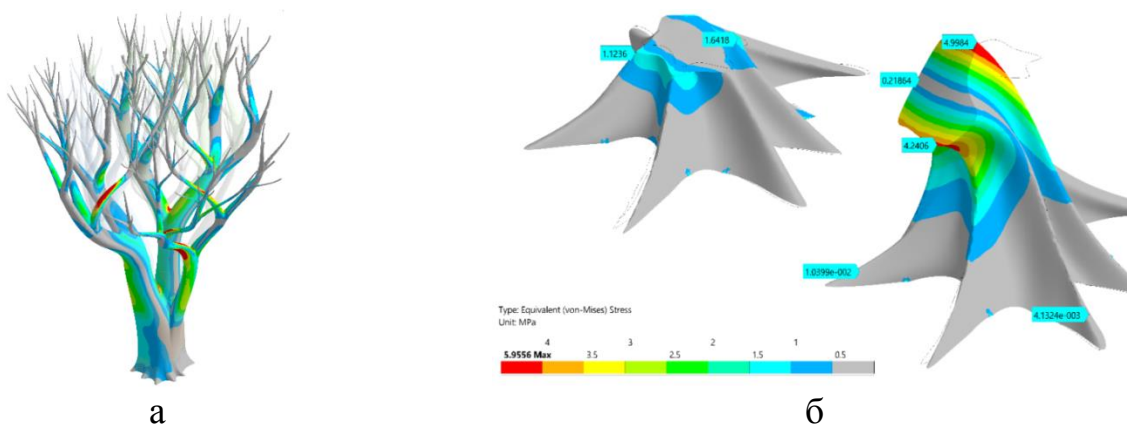


Рисунок 1 – Виртуальные испытания 3D-моделей бионических объектов:  
а – нагруженные ветви дуба как консоли, близкие к равнопрочным;  
б – напряженные stump-системы как геометрические прототипы для опор ТМ