

квазистатических условиях или когда чугунная НС уже существует и её надо усилить в рамках реновации станка.

Бетон не является полной заменой чугуна в смысле статической жесткости. Поэтому НС из бетонных плит несколько уступает чугуно-бетонному решению. Однако, исполнение станка с бетонной несущей системой **ПБ** рационально, если переменное резание происходит вблизи резонансов станка и требуется обеспечивать динамическую жесткость путем интенсивного демпфирования колебаний.

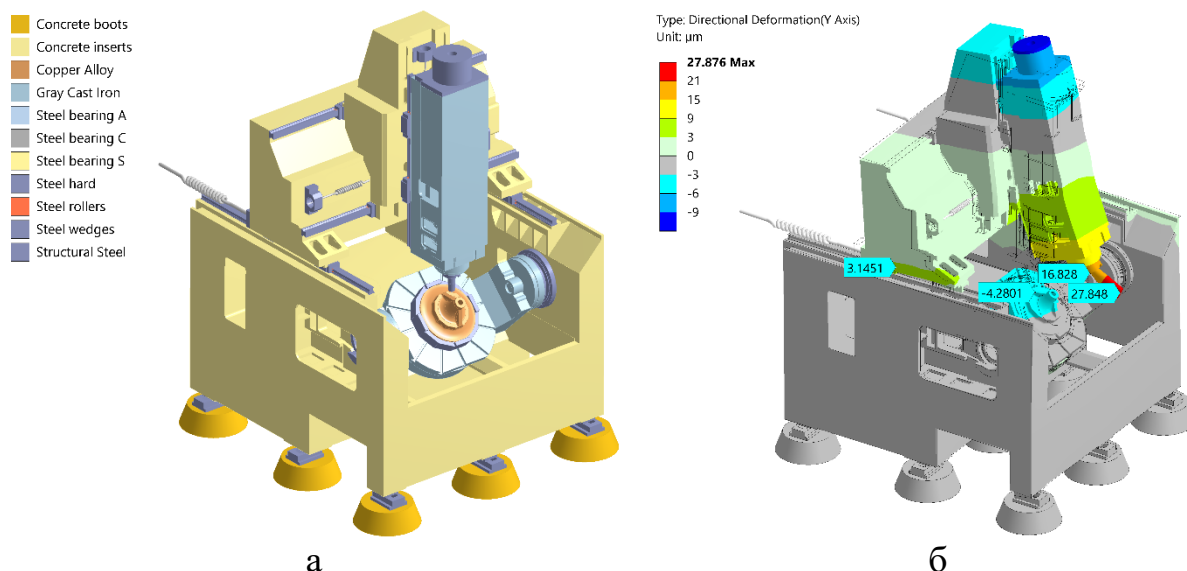


Рисунок 3 – Станок с полностью бетонной (**ПБ**) несущей системой (а) и его деформационные перемещения по оси Y (мкм) (б; $\times 20000$)

УДК 621.9.06

МКЭ-АНАЛИЗ БИОНИЧЕСКОГО УСИЛЕНИЯ КОЛОНН СТАНКОВ

Довнар С.С., Лапука А.Д.

Белорусский национальный технический университет, Минск
Республика Беларусь

Несущие системы (НС) современных крупногабаритных станков часто включают в себя колонны (стойки), традиционно создаваемые как монолитные чугунные отливки. Их будем называть стандартными колоннами (SC). Часто такие детали имеют невысокую жесткость, особенно для станков типа “*Travelling column*”, где колонна подвижна и динамически нагружена силами резания.

Жесткость колонны SC требуется повысить в ходе реновации станка. Известным решением является заполнение колонны бетоном. Это дает ограниченный эффект. Под бетоном понимается полимербетон или высокопрочный бетон типа УНРС. В данной работе предлагается делать

бионическое усиление (БУ) колонны снаружи (рис.1), создавая на её стенках бионический бандаж (BB). Бандаж формируется из бетона (заливка, 3D-принтинг) и копирует форму *ствола дерева*. Бетон бандажа BB и чугун колонны SC должны сцепиться (рис.1, а) и дать жесткое решение в духе классической концепции *равнопрочной балки*.

Эффективность решения оценивалась путем МКЭ-анализа. Цель усиления – повысить статическую и динамическую жесткость на шпинделе Sp , особенно в направлении X (кручение колонны). На рис. 1, б показана тестирующая сила ($F_x = 1\text{кН}$ - маркер D), а также граничные условия (A, B), имитирующие гидростатические направляющие (C – образ привода по X).

Масса бионического бандажа BB составляет 10,48 т, что менее трети от совокупной массы колонны SC (9,21 т), салазок (10,94 т) и суппорта (4,93 т).

На рис. 1, в показан совместно *наружный* бандаж BB и бетонное ядро Core, которое может быть создано *внутри* колонны. Ядро Core имеет в модели массу 2624 кг, сечение $0,93 \times 0,87$ м и внутреннее отверстие $\varnothing 0,75$ м.

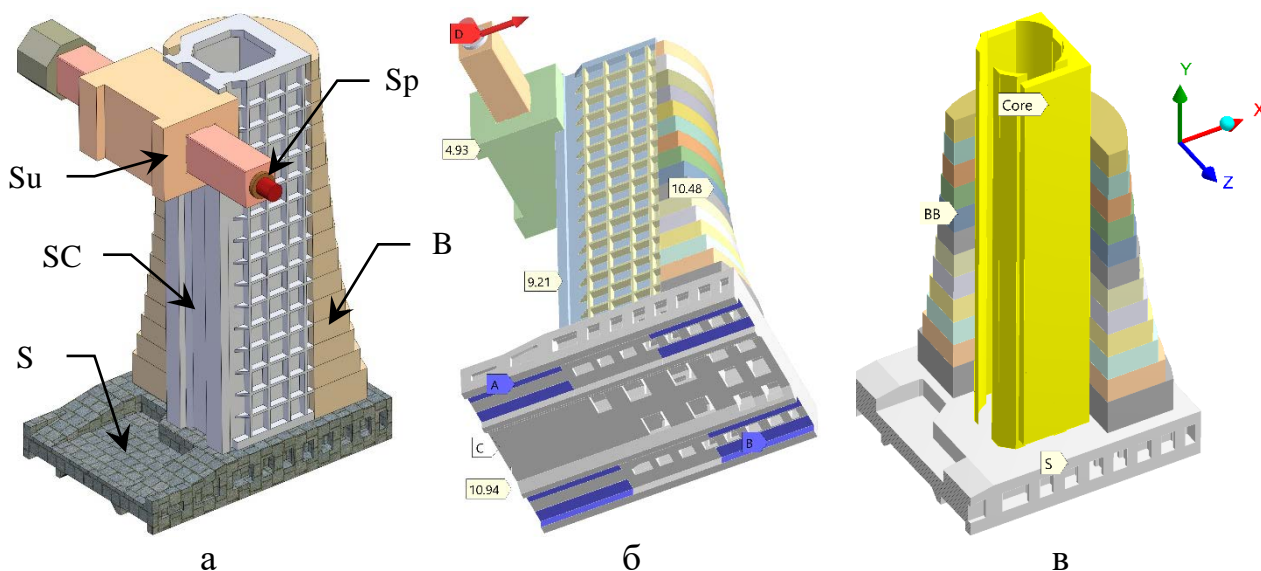


Рисунок 1 – Подвижная колонна: а – 3D-модель из салазок S, колонны SC (4,5 м высоты), бандажа BB, суппорта Su с ползуном и шпиндельным узлом Sp; б - массы (т) и условия для МКЭ; в – бетонные бандаж BB и ядро Core

На рис. 2 представлены результаты статического линейного МКЭ-анализа. Собственно чугунная колонна SC подвергается кручению и изгибу силой $F_x = 1\text{кН}$. Шпиндельный узел отклоняется на 22,588 мкм (рис. 2, а). Это соответствует невысокой жесткости $j_x^{SC} = 44,2\text{Н/мкм}$. Виртуальное введение бетонного ядра Core (рис. 2, б) снижает отклонение до 17,032 мкм. Жесткость возрастает в 1,32 раза. Однако, самой эффективной мерой оказывается бионическое усиление БУ (рис. 2, в). Отклонение (9,3468 мкм) падает в 2,41 раза, а жесткость достигает 106,8 Н/мкм.

Бионический бандаж вполне эффективен и без создания ядра *Core* (ядро сложно формовать внутри колонны). Вариант *BB* (разумеется, *BB* сцеплено с *SC*) дает жесткость $j_x^{BB} = 95,4 \text{ Н/мкм}$, что вдвое больше, чем исходно.

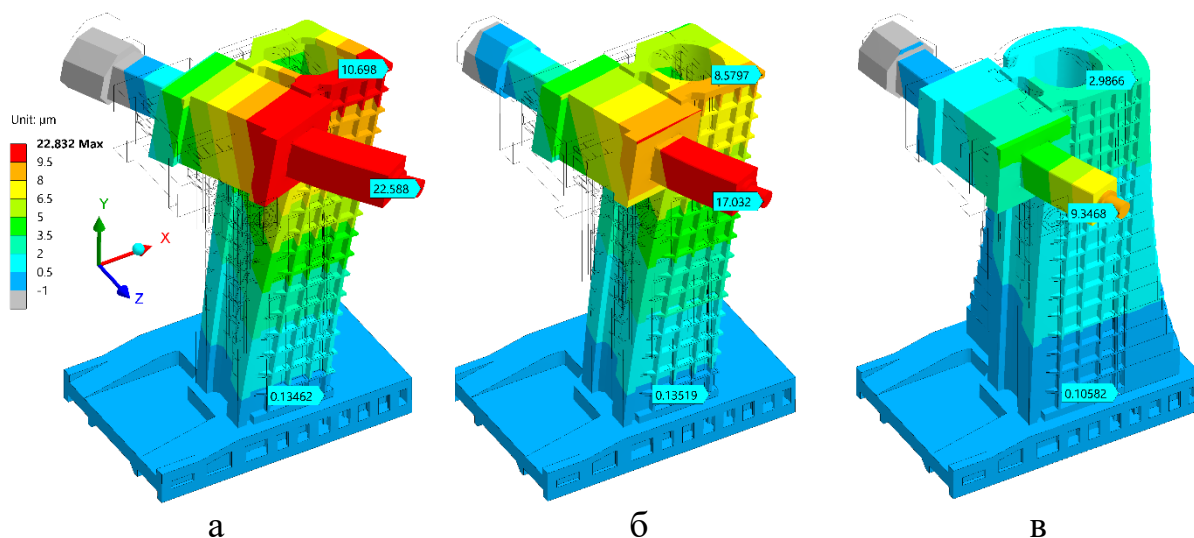


Рисунок 2 – Статическая деформация станка под действием силы $F_x = 1 \text{ кН}$ на шпинделе: а – стандартная колонна *SC*; б – колонна с бетонным ядром (*SC+Core*); в – колонна с ядром и бионическим бандажом *BB* ($\times 75000$)

Для оценки динамического усиления колонны были проведены модальный и гармонический анализы. Три нижние (главные) резонансные моды оказались независимыми по форме от структурного варианта колонны (рис. 3). Первая и вторая моды (*Mb1* и *Mb2*) заключаются в изгибных колебаниях колонны. Третья мода *Mt3* создается крутильными колебаниями колонны с ползуном вокруг вертикальной оси, близкой к оси колонны.

Для случая *SC* резонансные частоты составляют триаду «14.7, 17.8 и 35.2 Гц». Бионическое усиление *BB* повышает частоты до «26.3, 30.2 и 52.8 Гц».

Повышение резонансных частот способствует демпфированию вибраций станка и расширению его квазистатического частотного диапазона.

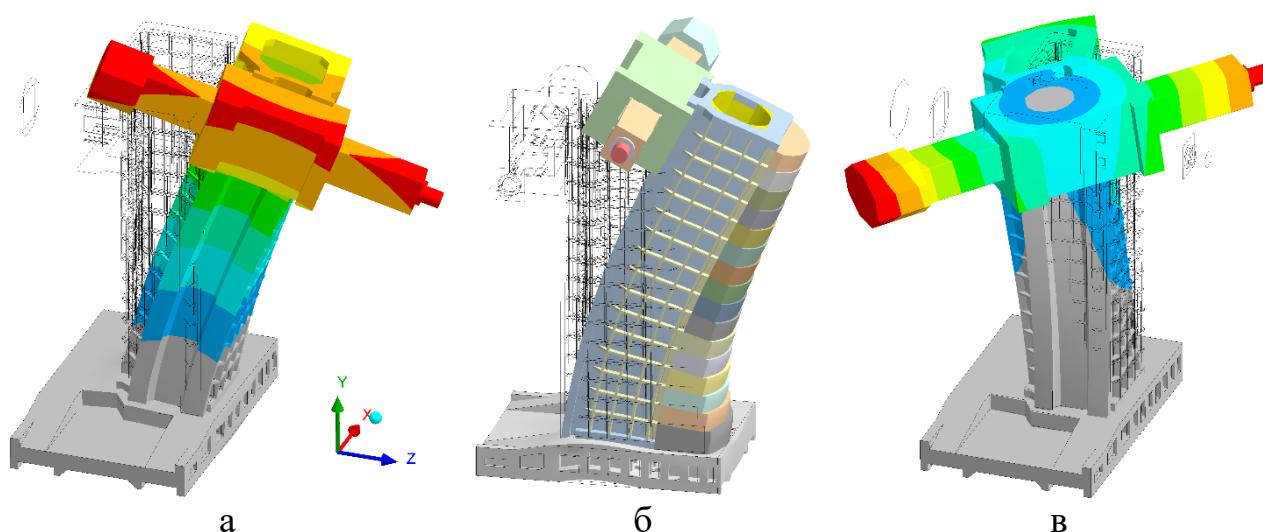


Рисунок 3 – Три нижние резонансные моды: а – изгибная $Mb1$ (вдоль Z); б – изгибная $Mb2$ (вдоль X); в – крутильная $Mt3$ (вокруг Y)

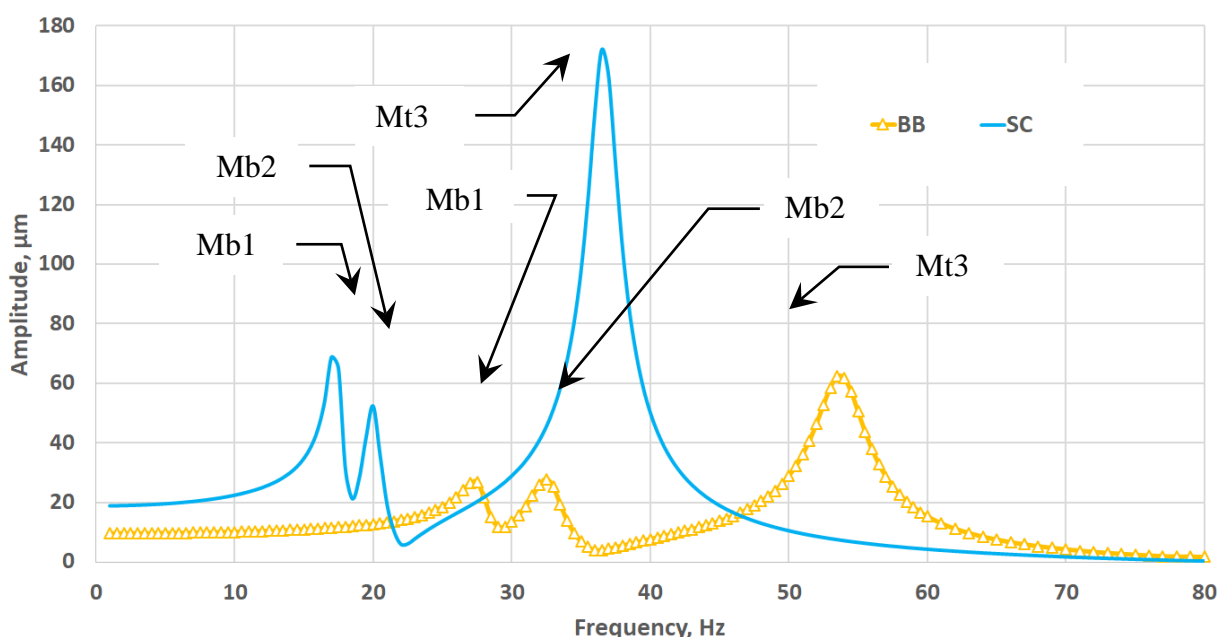


Рисунок 4 – АЧХ «сила F_x – перемещение u_x » для стандартной колонны SC и колонны с бионическим бандажом BB

Таким образом, бионическое усиление колонн станков представляется действенным решением. Жесткость на шпинделе может быть повышена не менее, чем вдвое. Резонансные пики ослабляются в 2 – 3 раза. Бионическое усиление колонны является экономичным по материалоемкости. В первую очередь его следует рекомендовать для реновации крупных станков.

УДК 621.77

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ДИСЛОКАЦИЙ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПОКОВОК, ПОЛУЧЕННЫХ ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЙ ПРОКАТКОЙ

Дубенец С.С.^{1,2}

- 1) Белорусский национальный технический университет;
- 2) Физико-технический институт НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь