

**КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ БИОНИЧЕСКИХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БАШЕН В КОМПОНОВКЕ  
АДДИТИВНО-СУБТРАКТИВНОГО КАРУСЕЛЬНОГО  
СТАНКА**

Лапука А.Д., аспирантка; Данилович В.С., магистрантка;  
студент гр. 10305121 Мануш Д.А.

*Научные руководители: Довнар С.С., Якимович А.М.*  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

***Термины и аббревиатуры***

- АСС – аддитивно-субтрактивный станок (а также машина – АСМ), например, станок в котором производятся лазерные наплавленные (аддитивные) и лезвийные стружкосъемные (субтрактивные) операции
- БТБ – бионическая технологическая башня (а также ББ – бионическая башня)
- БББ (Б<sup>3</sup>) – бетонная бионическая башня (выполненная, например, из фибробетона)
- ИИ – искусственный интеллект (в данной работе – класса «text-to-graphics»). Изображения генерируются библиотекой ИИ (DALL-E3) по текстовым запросам
- И<sup>3</sup> – (ИИ-интерпретация) – результат визуализации в библиотеке ИИ формально рационального тестового запроса (в данной работе – о компоновке станка в бионическом или в историческом контекстах). И<sup>3</sup> может вести как к сбоям, так и к подсказкам
- НС – несущая система станка или технологической машины
- ТКС – токарно-карусельный станок (vertical turning machine)
- Фибробетон (UHPC, UHPFRC) – высокостабильный и бетон, армированный металлическими волокнами
- ФСД – форма ствола дуба: проверенная бионическая и историческая форма – первоочередная рекомендация при проектировании технологической башни

Целью работы является продвижение концепции бетонных бионических башен (БЗ) [1, 2] в область токарно-карусельных станков. Для этого пересматривается конфигурация несущей системы станка и уточняется общая компоновка ТКС. Задачи работы:

- перейти в несущей системе ТКС от чугунных отливок к фибробетонным композициям (литье, лепка, 3D-печать в вариантах);
- применить для колонн и стоек ТКС бионические формы (например, очертания ствола дуба – равнопрочной балки);
- превратить колонны и стойки станка в бетонные технологические башни (БТБ, что примерно соответствует БЗ);
- оснастить виртуально обновленный ТКС как субтрактивным инструментом (резцы, фрезы и т.д.), так и аддитивным инструментом (лазерные наплавочные головки, плазменные сопла и т.д.);
- проанализировать выгоды и ограничения, возникающие при переводе традиционных станков ТКС в класс аддитивно-субтрактивных машин (АСМ или АСС);
- оценить эффективность ИИ-интерпретаций как инструмента поиска и генерации структурных схем в области компоновок станков и их НС.

Очевидно, что горизонтальный токарный станок имеет ограничения при обработке деталей типа диск больших размеров (рис. 1). Габариты станка резко возрастают. Жесткость базирования диска всегда оказывается невысокой.

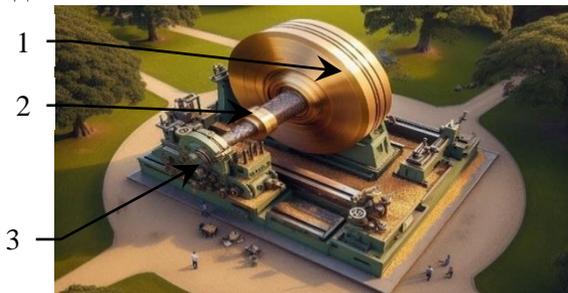


Рисунок 1 – ИИ-интерпретация концепции горизонтально-токарного станка: 1 – обрабатываемая деталь типа диска; 2 – оправка; 3 – шпиндельная бабка

Традиционно детали типа больших дисков, колец и втулок обрабатывают на вертикальных токарных станках (они же – токарно-карусельные станки ТКС) (рис. 2). У станка может быть одна или две стойки 1 (колонны). Обрабатываемый диск 2 базируется на обобщенном грунте. Поэтому его жесткость обеспечена.



*Рисунок 2 – III-интерпретация концепции вертикально-токарного (карусельного) станка: 1 – стойка-башня; 2 – обрабатываемая деталь типа диска; 3 – обобщенная обрабатывающая головка*

В данной работе вместо стоек с рис. 2 предлагается ставить технологические башни в духе рис. 3. Такие ВТБ должны:

- иметь бионическую форму;
- быть «вылепленными» из бетона класса УНРС;
- иметь повышенное число координат перемещения для свободного манипулирования как аддитивными, так и субтрактивными инструментами.

Традиционные ТКС могут иметь как одну стойку, так и две стойки, образующие портал. Аналогично, для модернизации ТКС можно предлагать как одну, так и две бионические башни. Схема с двумя башнями на очень отвлеченном уровне иллюстрируется на рисунке 4. Деревья являются образами БТБ. Карусель оказалась дословной интерпретацией вращающейся планшайбы ТКС.

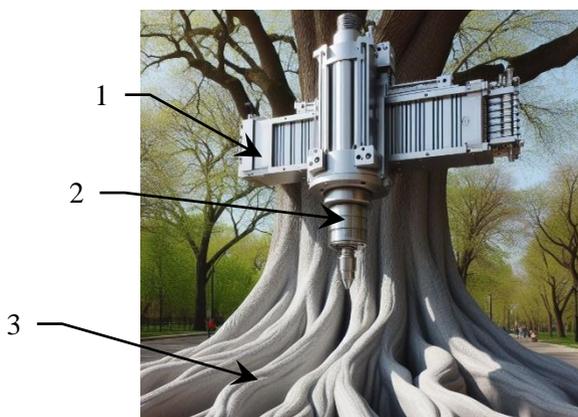


Рисунок 3 – III-интерпретация концепции бионической технологической башни БТБ: 1 – траверса; 2 – обрабатывающая головка на суппорте; 3 – бионическая башня из фибробетона

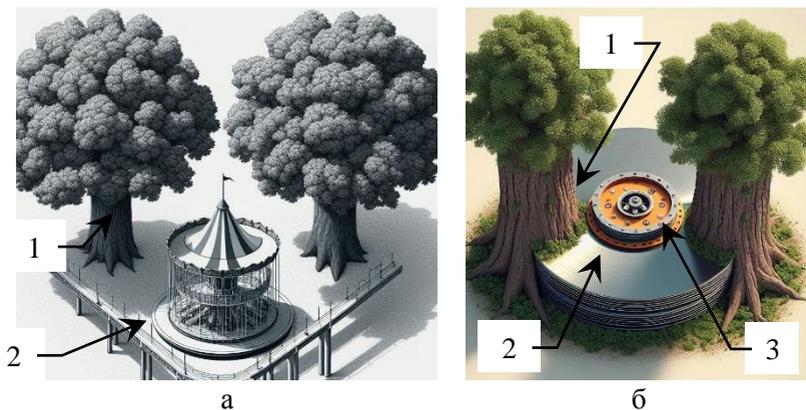
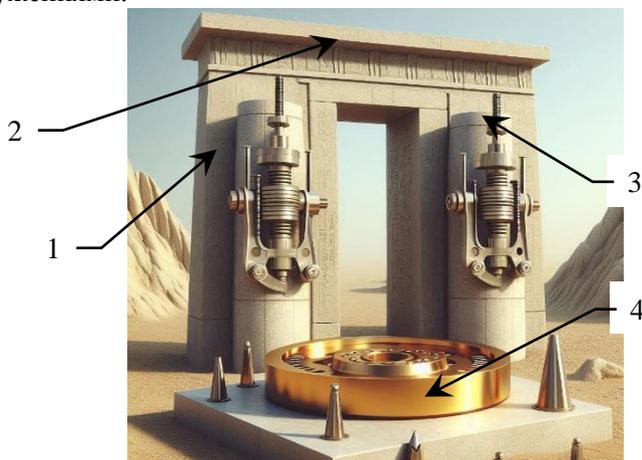


Рисунок 4 – III-интерпретация концепции карусельного станка с парой ББ (а – отвлеченная ситуация; б – приближение к реальности): 1 – образ бионической башни (в форме дуба); 2 – образ планишайбы; 3 – деталь

Более ясную III-интерпретацию объединения двух башен в портал удалось получить на рисунке 5. Здесь бетонные стойки (башни) 1 и 3 связаны друг с другом бетонной же траверсой в портал 1-2-3, на котором размещаются образы суппортов с

инструментами. Особенность модели на рисунке 5 является то, что башни сформированы в виде пилонов. Это не бионическое, а историческое решение. Одним из направлений возможного развития несущих систем станков является переход к формам, оправдавшим себя в ходе длительной службы в суровых условиях. Именно эти формы здесь названы историческими. Форма пилона ассоциируется с сохранившимися древнеегипетскими сооружениями.



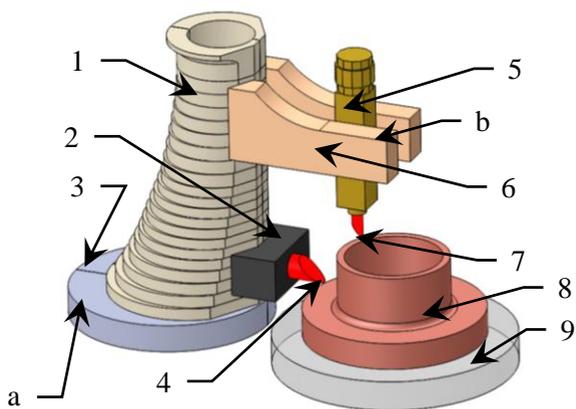
*Рисунок 5 – III-интерпретация концепции порталного карусельного станка с порталом 1-2-3 из бетонных пилонов 1,3 и траверсы 2: 4 – образ обрабатываемой детали*

Форма ствола дуба является одновременной и бионической формой (ветроустойчивое дерево) и исторической формой (маяк Эддистон, построенный в 1881 г. в открытом море). Поэтому форму ствола дуба (ФСД) рассмотрим для башен ТКС ниже (рис. 6).

Бионическая башня 1 выстроена вертикальной с правой своей стороны (рис. 6), чтобы обеспечить направление для суппорта 2 и консоли 6 с ползуном 5. Консоль в сборе односторонне свешивается (б) справа от башни. Для компенсации возникающей эксцентрической нагрузки (продольного изгиба и внецентренного сжатия башни) сделана модификация профиля башни. Слева внизу башни предусмотрено утолщение «ствола» влево (а). Возможность такой коррекции показывает удобство бионических форм.

Башня на рис. 6 должна иметь возможность поворачиваться на столе 3. Суппорт 2 и консоль 6 нуждаются в вертикальных приводах. Обобщенный инструмент суппорта 4 должен перемещаться радиально. Ползун 5 со своим обобщенным инструментом 7 предполагаются подвижными как вертикально, так и радиально вдоль консоли 6.

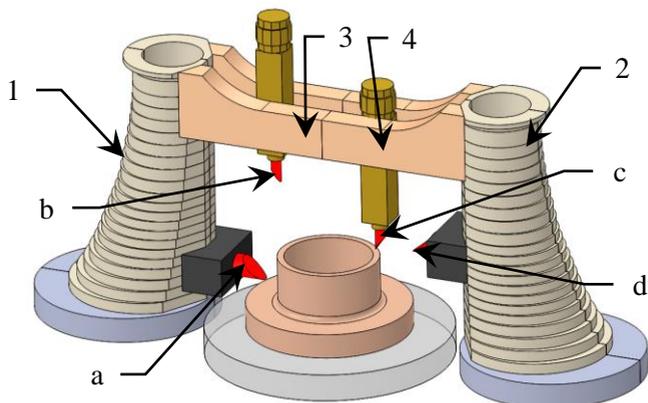
Обрабатываемая деталь 8 вращается вокруг вертикальной оси на планшайбе 9. Маркеры 4 и 7 на рис. 6 указывают и на места контакта инструментов и детали. Рационально силовые лезвийные инструменты (резцы, торцовые фрезы и т.п.) на станке позиционировать по маркеру 4. На позиции 7 может находиться чистовой субтрактивный инструмент (например, шлифовальная головка) или аддитивный инструмент типа лазерной головки. Очевидно, что на консоли следует располагать инструменты, работа которых не связана с созданием больших сил.



*Рисунок 6 – Компонка станка с одной бионической башней ФСД (1): 2 – вертикальный суппорт; 3 – стол башни; 4 – инструмент суппорта; 5 – ползун; 6 – консоль; 7 – инструмент ползуна; 8 – деталь; 9 – планшайба детали; а – прикорневое утолщение башни; б – свес консоли*

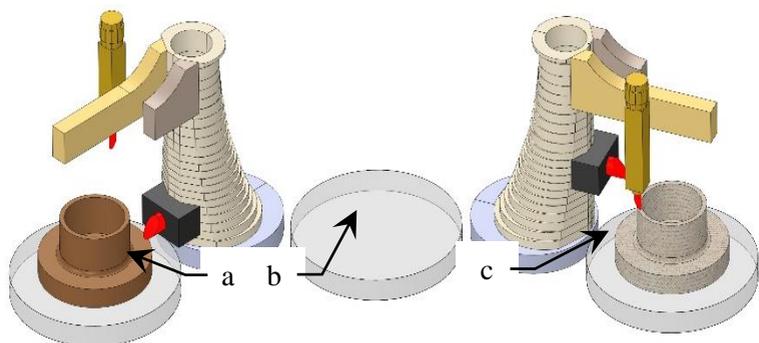
На основе компоновки с одиночной башней (рис. 6) для ТКС предлагается компоновка с порталом. Портал образован из двух башен 1, 2 и траверсы, составленной из консолей 3, 4. В компоновке присутствуют по крайней мере четыре независимых друг от друга

инструмента (a, b, c, d). Это расширяет возможность проводить с одной установки детали целый спектр аддитивных и субтрактивных обработок. Например, после чистового обтачивания диска можно осуществлять лазерное напыление и оплавление, а далее шлифовать наплавленный слой.



*Рисунок 7 – Компоновка станка с порталом из двух бионических башен (1, 2) и траверсы (3, 4): a, d – инструменты суппортов; b, c – инструменты ползунов*

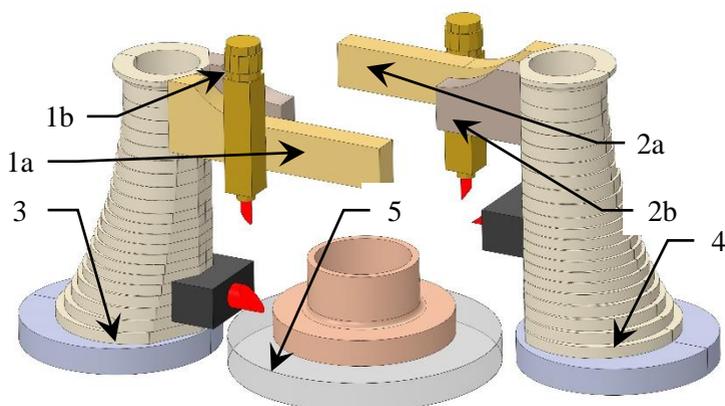
На рис. 8 представлен вариант динамической реконфигурации портала. Предполагается, что каждая башня может вращаться и работать в одиночку на отдельных планшайбах.



*Рисунок 8 – Вариант динамической реконфигурации портала для работы на трех планшайбах a, b, c*

Однако башни могут быть повернуты и навстречу друг другу и сведены над общей планшайбой 5 (рис. 9). Тогда портал замкнется и жесткость всех инструментов увеличится.

Каждая консоль может иметь короткую и длинную части. При этом возникает возможность сопряжения длинной консоли одной башни с короткой консолью другой (пары «1а – 2b» и «2а – 1b» на рис. 9). В результате после замыкания портала ползун с инструментом получает возможность далеко уходить от своей башни радиально и сохранять при этом жесткость. Например, левый ползун (рис.9) может по магнитной дороге выдвигаться на правый край длинной консоли 1а. Иными словами, ползун будет способен заходить за центр вращения планшайбы.



*Рисунок 8 – Сведение коротких (1b, 2b) и длинных (1a, 2a) частей консолей в единую траверсу путем вращения столов (3, 4) башен навстречу друг другу: 5 – общая планшайба*

#### Достоинства предлагаемой концепции:

9. Благодаря гибкому формоизменению одиночной бионической башни обеспечивается устойчивость её к одностороннему свешиванию с башни консоли с инструментами.
10. В перспективе конкретными профилями бионических башен можно будет управлять при проектировании станка в зависимости от его конкретного предназначения.

11. Объединение в портал именно бионических башен должно обеспечить повышенную жесткость инструментов в плоскости портала.
12. Динамическое смыкание башен в портал позволит регулировать жесткость инструментов.
13. Работа на трех планшайбах путем поворотов бионических башен позволяет обеспечить высокую загрузку ценного и дорогостоящего аддитивного оборудования
14. Рассмотренные компоновки хорошо подходят к приводам типа «магнитная дорога», хорошо зарекомендовавших себя в станках для лазерной резки.

#### *Литература*

1. Довнар, С.С. МКЭ-анализ эффективности бионической исторической консоли в качестве колонны крупногабаритного станка / С.С. Довнар, Д.Н. Авсиевич, О.К. Яцкевич, А.М. Шведова, И.Ю. Аглушевич // «Системный анализ и прикладная информатика». 2023; (2):13-23. <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2023-2-13-23>.
2. Довнар, С.С. Концепция бетонного бионического портала для крупногабаритного токарного гибридного станка / С.С. Довнар, Д.Н. Шведова // Беларусь-Китай: контуры инновационно-технологического сотрудничества: сборник материалов научно-практической конференции (Минск, 19-20 октября 2023 г.); сост. М.А. Войтешонок. – Минск : БНТУ, 2023. ISBN 978-985-583-980-5 - С. 105-107 <https://rep.bntu.by/handle/data/137149>