

Спектр сигнала, поступающего на основной вход фильтра, показан на рис. 1. Коэффициент гармоник сигнала, поступающего на основной вход  $\text{THD}_I = 24,36\%$ . Спектр восстановленного сигнала показан на рис. 2. Коэффициент гармоник восстановленного сигнала  $\text{THD}_I = 5,18\%$ .

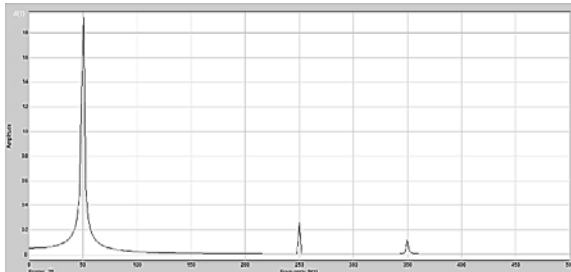


Рис. 1. Спектр сигнала на основном входе адаптивного фильтра

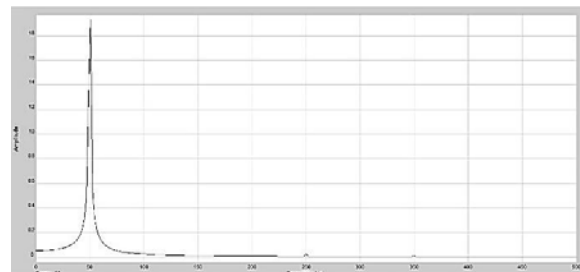


Рис. 2. Спектр восстановленного сигнала адаптивного фильтра

Результаты имитационного моделирования показали, что система управления активного фильтра на основе адаптивной фильтрации с нормализованным алгоритмом средних квадратов в качестве настройки весовых коэффициентов эффективно подавляет высшие гармоники несинусоидального тока. Это позволяет уменьшать  $\text{THD}_I$  с 24,36 до 5,18 %.

#### Л и т е р а т у р а

1. Синтез фильтрокомпенсирующих устройств для систем электроснабжения : монография / Н. П. Боярская [и др.] ; под ред. В. П. Довгуна. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2014. – 192 с.
2. Боярская, Н. П. Адаптивная система формирования управляющих сигналов для активных фильтров гармоник / Н. П. Боярская, А. М. Дербенев, В. П. Довгун // Ползун. вестн. – 2011. – № 2/1. – С. 25–29.
3. Первененок, Р. Е. Фазовая синхронизация в системе коррекции параметров питающего напряжения методом адаптивной фильтрации / Р. Е. Первененок, А. Л. Сицко // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2021. – Т. 66, № 2. – С. 212–219.

УДК 621.9.014

### КВАДРУПОЛЬНАЯ КОМПОНОВКА ДЛЯ КРУПНОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО ГИБРИДНОГО СТАНКА

С. С. Довнар<sup>1</sup>, А. Д. Лапука<sup>1</sup>, С. В. Резник<sup>2</sup>, А. В. Федорец<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, г. Минск

<sup>2</sup>ОАО «СтанкоГомель», Республика Беларусь

<sup>3</sup>ОАО «МЗОР», г. Минск, Республика Беларусь

Работа направлена на развитие аддитивно-субтрактивных (гибридных) станков. Станки должны нести как субтрактивные (снимающие стружку) модули, так и аддитивные модули (например, лазерные головки). Обсуждаются крупногабаритные станки, компоновки которых обычно включают стойки, колонны, башни. Работа опирается на концепцию бионической бетонной башни (БББ) [1, 2]. Концепция рекомендована прежде всего для станкостроения. Материалом для башен может быть фибробетон UHPFRC.

Новизна данной работы заключается в концепции *квадруполя* – системы из четырех БББ (рис. 1; фигуры людей даны для демонстрации размеров станка). Каждая башня 1–4 на рис. 1, *а* несет на себе минимум два обрабатывающих модуля М. При обработке токарной детали Т (рис. 1, *б*) квадруполь создает двойной портал П1, П2.

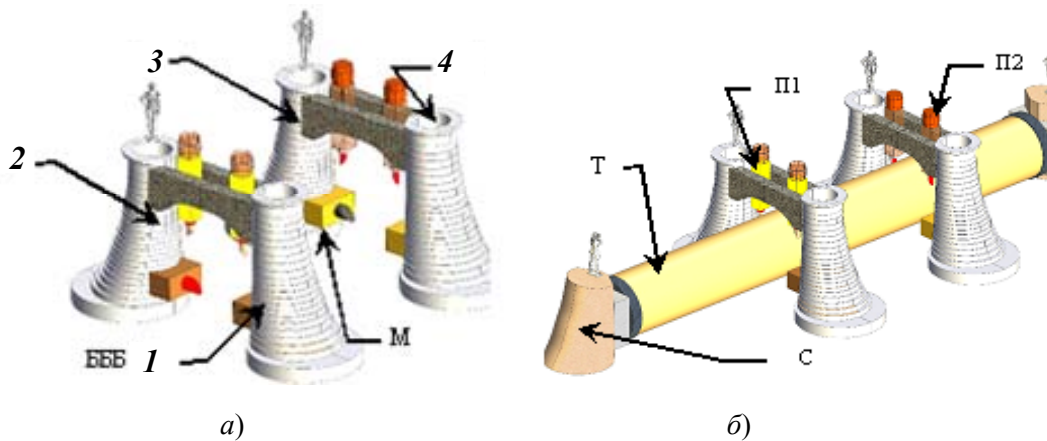


Рис. 1. Квадруполь из четырех бионических бетонных башен (БББ – 1–4) с аддитивными и субтрактивными модулями М (*а*) и схема токарной обработки детали-трубы Т в квадруполе (*б*): С – подвижная стойка для трубы; П1, П2 – пара динамических порталов

Портал П1 образован башнями 1 и 2, а портал П2 – башнями 3 и 4. Модули каждого портала могут не только обрабатывать трубу, но и поддерживать ее (выполнять функции люнетов).

По торцам трубу Т удерживают стойки С (аналоги передней и задней бабок токарного станка). Предполагается, что труба Т доставляется внутрь квадруполя в осевом направлении именно подвижными стойками С. Монтаж-демонтаж трубы в стойках происходит вне квадруполя. Это позволяет использовать многочисленные дорогостоящие обрабатывающие модули М в постоянном режиме. Станок можно укомплектовать двумя парами стоек для поочередной подачи труб в квадруполь.

В предлагаемой концепции каждая башня квадруполя имеет вертикальную ось поворота. Это дает возможность реконфигурировать систему порталов. На рис. 2, *а* все башни показаны в промежуточном состоянии, повернутыми на 45°. Они находятся в процессе переключения с обработки токарной детали Т на фрезерную деталь Ф. Деталь Ф подается в квадруполь с перпендикулярного направления по отношению к Т.

После поворота башен на 90° квадруполь реконфигурируется в порталы П3 и П4 (рис. 2, *б*). Портал П3 образуется башнями 2 и 3 (рис. 1, *а*), а портал П4 – башнями 1 и 4. Подчеркнем, что происходит именно динамическая реконфигурация башен [3]. После нее деталь Ф (рис. 2, *б*) может интенсивно обрабатываться всем комплектом аддитивных и субтрактивных модулей станка.

Таким образом, концепция станка предполагает новую, перекрестную схему продвижения токарных и фрезерных деталей сквозь станок. Подготовительно-заключительные действия с деталями выносятся на периферию и не блокируют работу станка. В результате квадруполь БББ становится центром интенсивной аддитивно-субтрактивной обработки для широкого круга деталей.

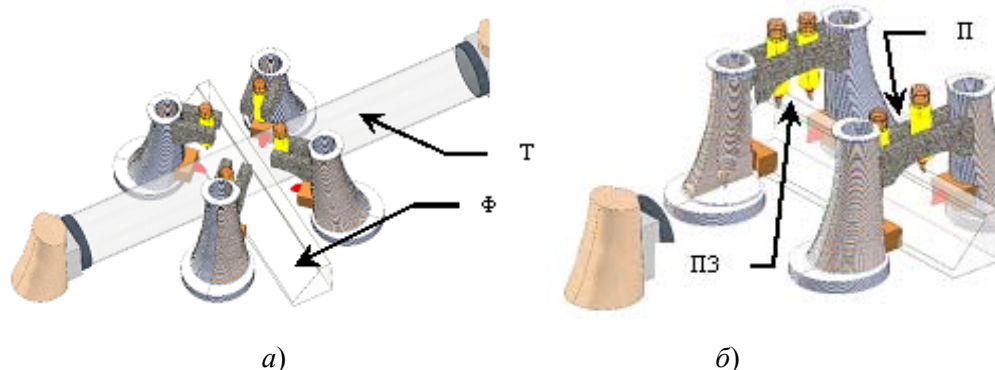


Рис. 2. Схема реконфигурации башен квадруполя (а) и обработки детали фрезерного типа Ф (б): ПЗ, П4 – оппозитная (по отношению к П1, П2) пара динамических порталов

Предлагаемая квадрупольная компоновка станка требует решения по меньшей мере двух механических задач. Во-первых, нужно разработать систему быстрого и точного сцепления башен в портал. Между башнями должна возникать динамическая траверса.

Во-вторых, требуется подсистема развязки взаимно перпендикулярных направляющих в перекрестии в центре квадруполя. Возможным, хотя и энергетически затратным вариантом, является сочетание гидростатических горизонтальных направляющих.

#### Литература

1. Довнар, С. С. МКЭ-анализ бетонно-бионического бандажа подвижной колонны станка – Теоретическая и прикладная механика : междунар. науч.-техн. сб. / С. С. Довнар, А. М. Якимович, А. Д. Лапука / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. Ю. В. Василевич (пред. редкол., гл. ред.). – Минск : БНТУ, 2022. – Вып. 37. – С. 132–137. <https://rep.bntu.by/handle/data/125456>.
2. МКЭ-анализ эффективности бионической исторической консоли в качестве колонны крупногабаритного станка / С. С. Довнар [и др.] // Систем. анализ и приклад. информатика. 2023. – № 2. – С. 13–23. <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2023-2-13-23>
3. Dounar, S., Iakimovitch, A. & Jakubowski, A. (2021) Finite element analysis of the dynamically created portal in the huge machine tool of “travelling column” type. Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie 65 (137). <https://repository.am.szczecin.pl/handle/123456789/2658>. <https://doi.org/10.17402/458>

УДК 621:681.51

## ПОВЫШЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОСТИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ НА ОСНОВЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

В. А. Данилов

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Повышение универсальности станков по форме обрабатываемых поверхностей эффективно при освоении производства изделий, для обработки которых требуются специальные станки. Альтернативой их созданию является расширение технологических возможностей существующих станков путем реализации прогрессивных технологий формообразования. В большей мере это важно для станочного оснащения