

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СТРУКТУР СОВРЕМЕННЫХ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ СТАНКОВ

Методические указания
к выполнению курсового проекта по дисциплине
для студентов направления
15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»
всех форм обучения

Севастополь
СевГУ
2025

УДК 621.941-114 (076)

ББК 34.63-5я73

А64

Р е ц е н з е н т :

Н.И. Покинтелица – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой
«Пищевые технологии и оборудование»

Составители: С.М. Братан, А.О. Харченко, А.С. Часовитина

А64 Анализ и синтез структур современных многооперационных станков: методические указания к выполнению курсового проекта для студентов направления подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» всех форм обучения / Севастопольский государственный университет, Политехнический институт ; сост. : С. М. Братан, А. О. Харченко, А. С. Часовитина. – Севастополь : СевГУ, 2025. – 47 с. – Текст : электронный.

Предназначены для учебно-методического обеспечения дисциплины «Анализ и синтез структур современных многооперационных станков» студентов направления 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». Целью методических указаний является оказание помощи студентам при выполнении курсового проекта. Материал изложен в форме, удобной для практического использования, со ссылками на нормативные документы и методические указания по дисциплине.

УДК 621.941-114 (076)

ББК 34.63-5я73

Рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании кафедры «Автоматизация и технология машиностроения», протокол № 12 от 20 мая 2025 г.

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	1
1.1. Цель курсового проекта	4
1.2. Задание на курсовой проект	5
1.3. Объем и содержание курсового проекта	5
1.4. Содержание расчетно-пояснительной записки	5
1.5. Содержание графической части	6
2 УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	7
2.1 Введение	7
2.2 Иерархическое описание технической системы.....	7
2.3 Применение морфологического анализа для структурного синтеза оборудования.....	10
2.4 Разработка рационального варианта компоновки станка на основе структурно-компоновочного синтеза	11
2.5 Описание компоновки станка с помощью структурных формул.....	15
2.6 Применение МПС в гибридной схеме многооперационного станка.	19
3 ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	30
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	31
ПРИЛОЖЕНИЕ А	33
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	34
ПРИЛОЖЕНИЕ В	35
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	37
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	40
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	44

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Цель курсового проекта

Цель проекта: систематизация и закрепление теоретических знаний о современном состоянии и перспективах развития технологических машин и систем, об особенностях технических и эксплуатационных требований, о методах оценки и эффективности их использования, а также – помощь студентам в проектировании структур и компоновок многооперационных станков, в том числе с механизмами параллельной структуры (МПС).

Задачи проекта – освоение метода морфологического анализа для структурного синтеза технологического оборудования; применение основ синтеза для гибких производственных модулей (ГПМ) на уровне структурно-компоновочной оптимизации многооперационного оборудования с ЧПУ; проведение системного анализа процессов конструирования нового оборудования; выполнение структурно-компоновочного синтеза многооперационного станка (устройств автоматической смены инструмента) на основе морфологического анализа его компоновок; разработка структурных формул для описания синтезированных компоновок технологического оборудования; оценка нового высокотехнологичного оборудования с помощью проектных критериев.

В процессе выполнения студент закрепляет, расширяет и обобщает знания, полученные в процессе обучения по общеинженерным и специальным дисциплинам, и приобретает практические навыки решения технологических задач, пользования технической и справочной литературой, стандартами.

При выполнении курсового проекта особое внимание уделяется самостоятельности работы студента и обоснованности принимаемых им решений.

1.2 Задание на курсовой проект

Исходные данные для разработки по вариантам приведены в Приложении А. Номер варианта назначается преподавателем.

Исходными данными для разработки является базовая модель станка.

Форма листа задания приведена в Приложении Б.

1.3 Объем и содержание курсового проекта

В курсовой проект входят расчетно-пояснительная записка и графическая часть.

Расчетно-пояснительная записка для курсового проекта содержит 30 - 50 сшитых страниц машинописного текста на листах формата А4.

Все сведения, заимствованные из литературы (типовые решения, расчетные формулы и т.д.), должны иметь ссылки на источники.

Содержание расчетно-пояснительной записки приведено в п. 1.4 настоящих указаний, а содержание графической части курсового проекта – в п. 1.5.

1.4 Содержание расчетно-пояснительной записки

Текстовая часть проекта оформляется в виде расчетно-пояснительной записки, выполняемой на одной стороне листа формата А4 машинописным текстом в текстовом редакторе MS WORD в среде Windows шрифтом Times New Roman с размером 14 пт, с полями: слева – 30 мм; сверху и снизу – 20 мм; справа – 15 мм. Интервал между строчками – полуторный. Нумерация страниц по центру внизу. Все основные разделы записки следует набирать с нового листа. Заголовки и подзаголовки в записке отделяются от основного текста сверху и снизу одним интервалом. Абзацы начинаются отступом, равным 12,5 мм. Расчетно-пояснительная записка

выполняется по ГОСТ 2.102-68, ГОСТ Р 2.105-2019, ГОСТ 2.106-96. Формулы должны быть напечатаны в редакторе формул. Расчеты, помещаемые в тексте, должны быть выполнены в системе единиц СИ.

Содержание расчетно-пояснительной записки должно быть представлено в следующей последовательности:

1. Титульный лист.
2. Бланк задания на курсовой проект.
3. Содержание.
4. Введение.
5. Иерархическое описание технической системы.
6. Применение морфологического анализа для структурного синтеза оборудования.
7. Разработка рационального варианта компоновки станка на основе структурно-компоновочного синтеза.
8. Описание компоновки станка с помощью структурных формул.
9. Применение МПС в гибридной схеме многооперационного станка.
10. Заключение.
11. Библиографический список.

1.5 Содержание графической части

Графическая часть проекта выполняется с использованием доступных систем САПР. Форматы, масштабы изображений и общие требования к графической части должны соответствовать стандартам ЕСКД.

Графическая часть включает наличие обязательных чертежей:

1. Схема базовой компоновки и кинематики заданного станка.
2. Варианты компоновок станка со структурными формулами.
3. Общий вид гибридной компоновки многооперационного станка с элементами МПС.
4. 3D-модель узла с МПС.

2 УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

2.1 Введение

Во введении к курсовому проекту обосновывается актуальность разрабатываемой темы с учетом основных тенденций научно-технического прогресса. Формируются основные задачи, решаемые в курсовом проекте.

2.2 Иерархическое описание технической системы

Проектирование технических систем является сложной, комплексной задачей. Основное технологическое оборудование технических систем — это станок, являющийся объектом при проектировании и модернизации технических систем (рис. 1).

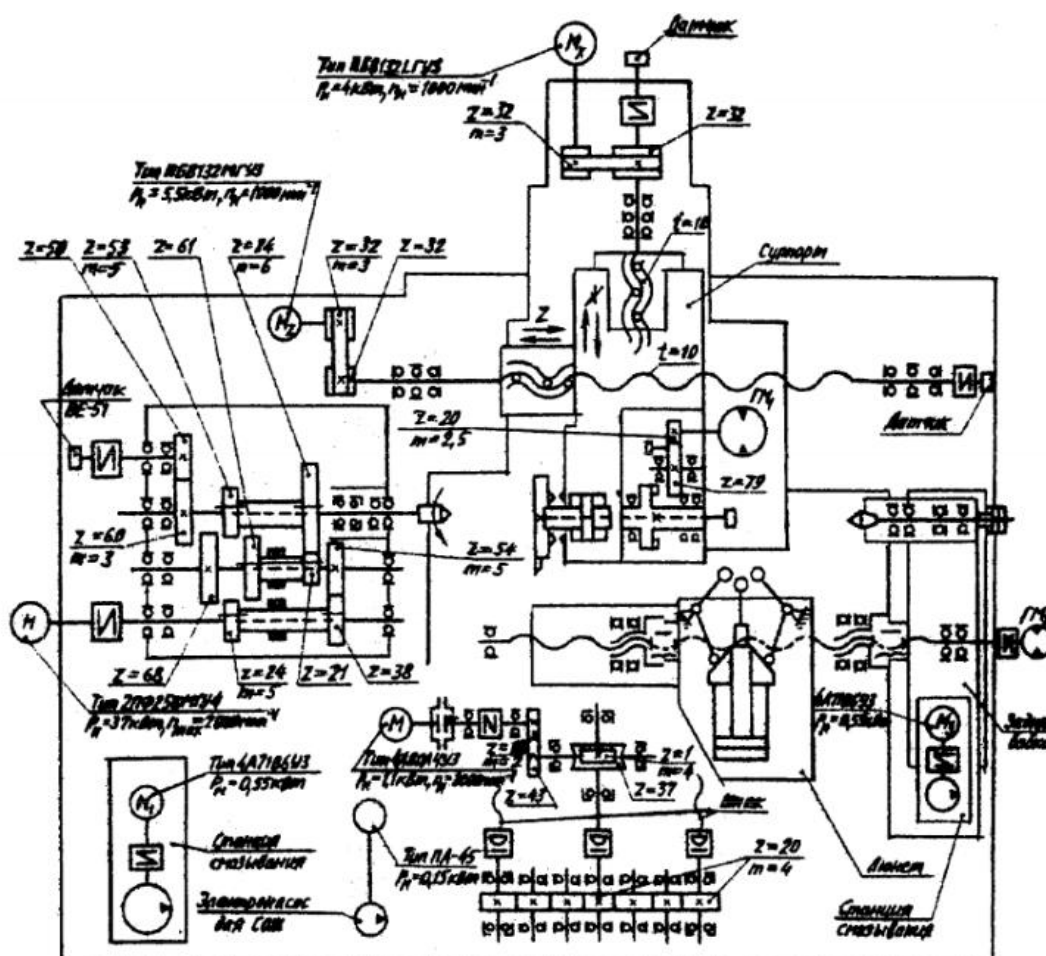


Рисунок 1 – Пример кинематической схемы базового станка 1740P3

Для дальнейшей оптимизации конструкции рекомендовано воспользоваться деревом поиска рационального технического решения (рис. 2).

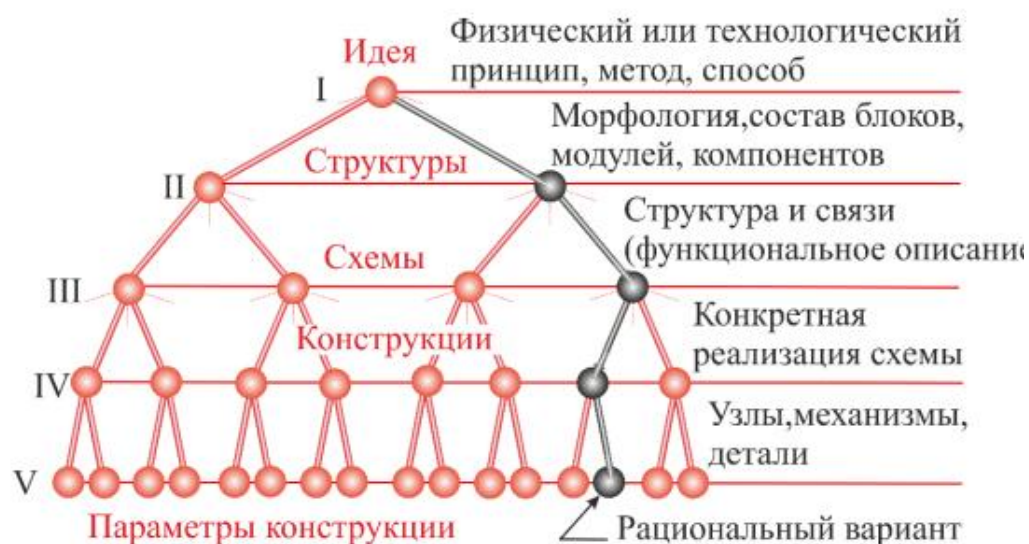
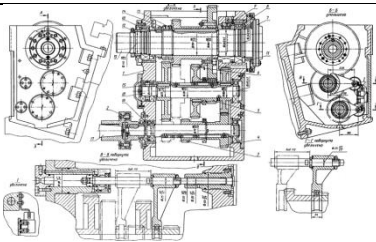
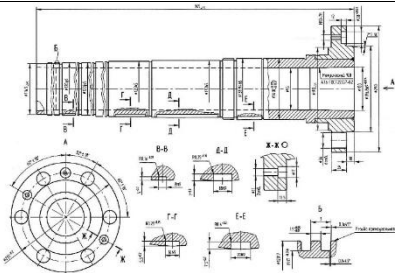


Рисунок 2 – Пример дерева поиска рационального решения

В пояснительной записке необходимо:

- представить изображение и паспортные данные выбранной модели станка;
- разработать дерево поиска рационального решения;
- описать жизненный цикл технической системы и противоречия, возникшие в ходе анализа (например, 1) станок должен быть достаточно жёстким, обеспечивая заданные качества точности обработки и при этом лёгким и простым в транспортировке; 2) технологичным и при этом обладать невысокой стоимостью; 3) должен быть производительным, и при этом экономичным в вопросе электропотребления);
- представить иерархию технической системы (пример – таблица 1).

Таблица 1 – Пример иерархического представления технической системы заданного варианта

Название	Общий вид представления	Уровень
Завод		Надсистема III порядка
Цех		Надсистема II порядка
Участок		Надсистема I порядка
Станок		Система
Устройства и механизмы		Подсистема I порядка
Узел (Шпиндельный узел)		Подсистема II порядка
Детали (Вал шпинделя)		Подсистема III порядка

2.3 Применение морфологического анализа для структурного синтеза оборудования

Существует 5 последовательных этапов морфологического анализа:

1) Формулировка задачи, отражающая основное требование к объекту (способу или устройству) для выяснения направления доработки, модернизации и т.п.;

2) Разделение объекта на функциональные элементы с составлением списка всех морфологических признаков и требований к ним, т.е. наиболее важных характеристик (параметров) объекта, от которых зависит решение проблемы и достижение основной цели;

3) Независимое рассмотрение всех элементов и выбор для каждого различных вариантов реализации, т.е. составление возможных вариантов по каждой характеристике независимо от построения морфологической модели;

4) Анализ решений, возникающих из матрицы с определением ценности всех полученных вариантов, т.е. синтез всех вариантов объекта;

5) Выбор наиболее рациональных вариантов конкретных решений, т.е. выбор лучших сочетаний по заданному критерию.

Для выбора наиболее рационального варианта обработки заданного изделия необходимо составить морфологическую матрицу и выявить наиболее эффективный вариант обработки. В данном разделе требуется представить эскиз обрабатываемого изделия и выполнить описание жизненного цикла технологической системы с учетом ее фаз, привести описание процессов рекуперации технической системы и рассмотреть возможности применения новой конструкции в других типах и моделях станков.

Пример морфологической матрицы показан в таблице 2.

Таблица 2 – Пример морфологической матрицы технологического процесса

Заготовка		Рабочий процесс		Режущий инструмент	
1. Вид	2. Движение	3. Характер взаимодействия	4. Состояние	5. Кол-во режущих инструментальных кромок и тип	6. Движение
1.1. Круглый прут	2.1. Поступательное	3.1. Точечный	4.1. Холодное твердое	5.1. Один резец	6.1. Поступательное
1.2. Профильный прут	2.2. Поступательное и вращательное	3.2. Линейный	4.2. Горячее	5.2. Несколько резцов	6.2. Поступательное и вращательное
1.3. Одна штучная заготовка	2.3. Вращательное	3.3. Поверхностный	4.3. Холодное и горячее	5.3. Фреза	6.3. Вращательное
1.4. Две штучные заготовки	2.4. Нет	3.4. Объемный	4.4. Тягучее	5.4. Нет	6.4. Нет

2.4 Разработка рационального варианта компоновки станка на основе структурно-компоновочного синтеза

Противоречия между растущими требованиями к производительности и мобильности технологического оборудования можно устранить путем создания машин, сочетающих высокую производительность с широкими технологическими возможностями, короткими сроками проектирования и освоения. Это достигается в том случае, если новые станки не проектируются каждый раз заново, а компонуются на базе типовых механизмов и устройств, которые можно унифицировать. В последние годы широко применяются многооперационные агрегатные станки, которые компонуют из различных функциональных узлов. На рисунке 3 представлена укрупненная блок-

схема последовательности решения задачи синтеза, выявления «слабых» мест (элементов и узлов, существенно снижающих надежность и переналаживаемость системы) и совершенствования элементов технологической системы оборудования.

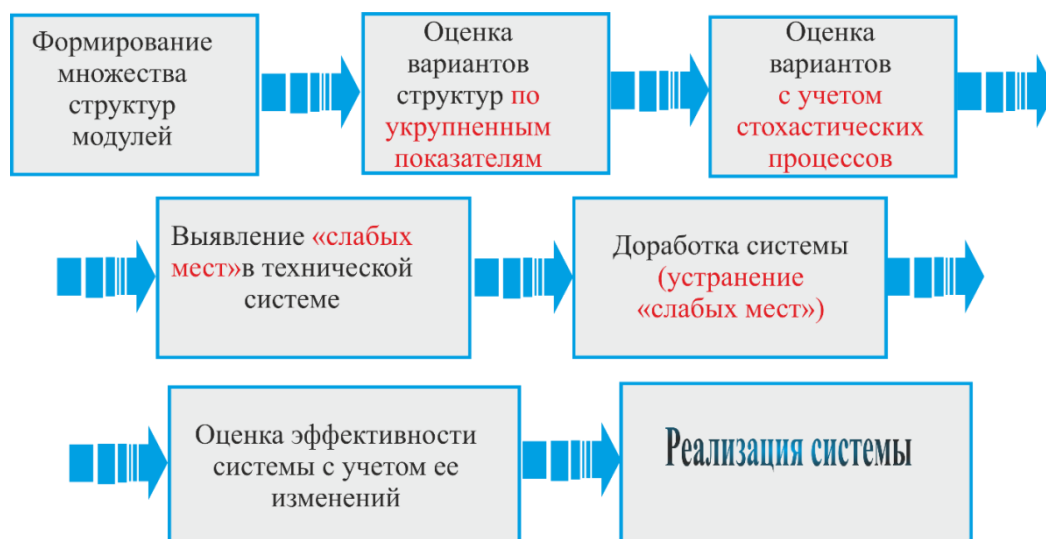


Рисунок 3 – Укрупненная блок-схема последовательности решения задач синтеза модуля технологического оборудования

Создание многофункционального (многоцелевого) оборудования для реализации комбинированных и разнохарактерных методов обработки основано на агрегатно-модульном принципе его построения с использованием унифицированных узлов – модулей (рис. 4).

Каждая ТС проходит жизненный цикл, состоящий из цепочки фаз (табл. 3).

Основные состояния формы машин (материальные уровни конструирования) следующие:

- концептуальное (понятийное, текстовое, документальное);
- имитационное (числовое, записанное на машинный носитель);
- визуально-графическое;
- материальное воплощение.

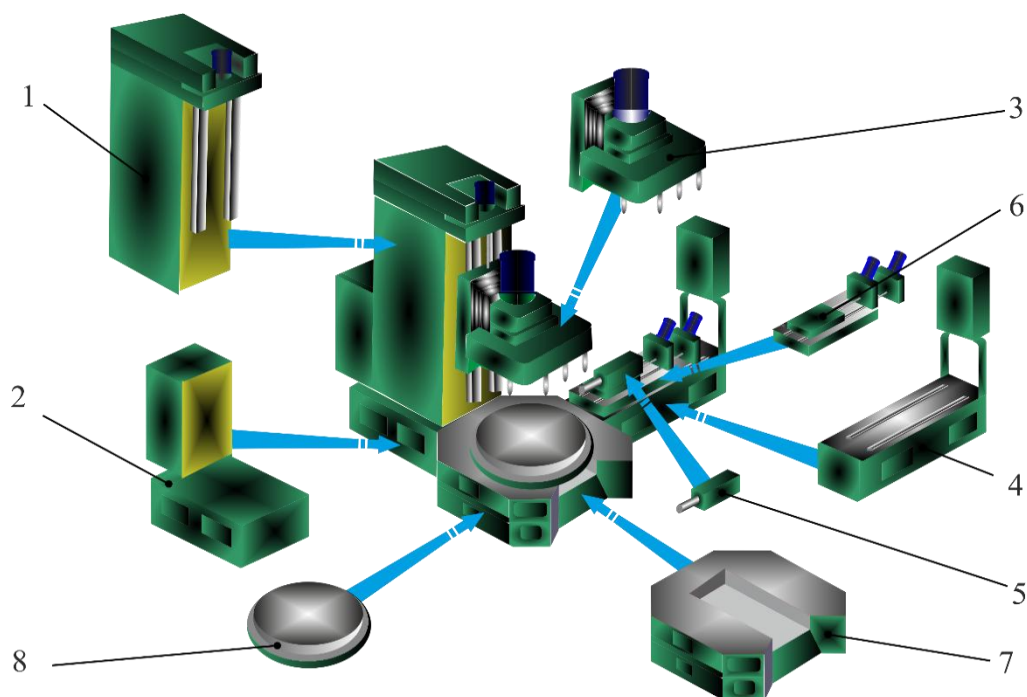


Рисунок 4 – Пример многооперационного агрегатного станка: 1 – стойка; 2 – тумба; 3 – силовая многошпиндельная головка; 4 – боковая станина; 5 – одношпиндельная расточная головка; 6 – силовой стол; 7 – опорная плита; 8 – поворотный делительный стол

Таблица 3 – Фазы жизненного цикла технической системы

Фаза	Содержание фазы
Ф1	Постановка цели при формировании задачи
Ф2	Разработка замысла ТС (ГПМ, станка, механизмов)
Ф3	Проведение целевых исследований в рамках программ
Ф4	Опытно-конструкторские работы (ОКР)
Ф5	Создание и исследование опытного образца
Ф6	Выпуск в экономическую сферу – внедрение (подготовка) производства, собственно производство, эксплуатация)
Ф7	Прекращение выпуска и эксплуатации
Ф8	Уничтожение (утилизация)

На всех фазах жизненного цикла происходит непрерывное приобретение новых знаний и постоянное их применение не только в конструкции машин, но и в технологии, регламентах и технологической документации, патентных, научных публикациях и т.д.

Все фазы жизненного цикла образца (кроме фазы промышленной эксплуатации машин) убыточны. На всех фазах наблюдаются немалые затраты и лишь на одной из них происходит возврат вложенных средств при получении прибыли (рис. 5): кривая 1 – при своевременном внедрении образца; 2 – при преждевременном; 3 – при запоздалом.

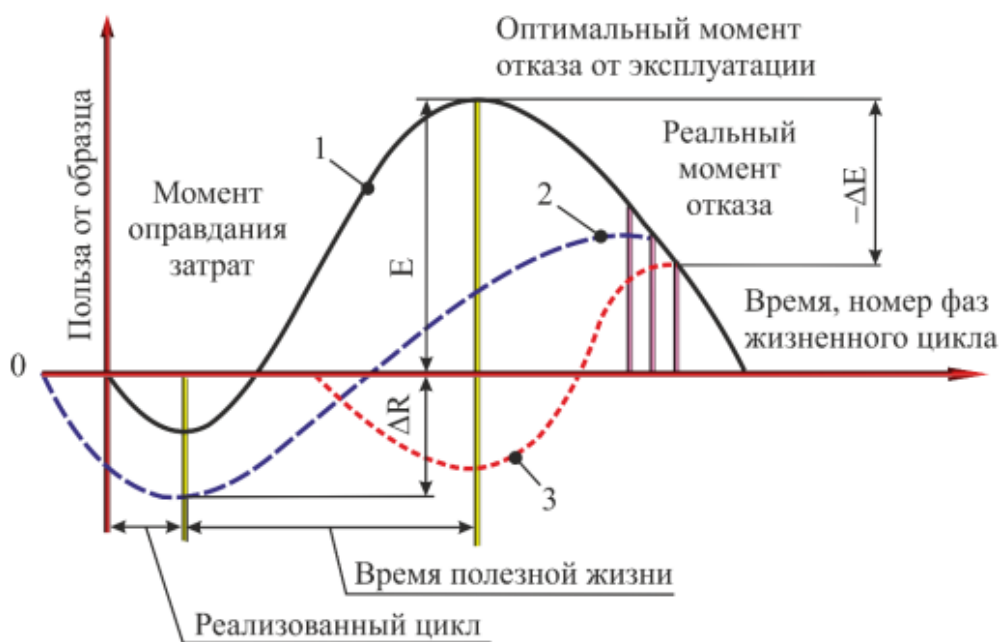


Рисунок 5 – График жизненного цикла образца ТС

Для построения эскизов вариантов компоновки станка необходимо составить таблицу из условных обозначений элементов многооперационного станка, разделить согласно принципам компоновки многооперационный станок на блоки и их элементарные движения (конструктивные признаки), составить морфологическую матрицу с учётом и добавлением оптимальных элементов конструкции, которые могли бы усовершенствовать механизм и принцип работы станка. После разработки эскизов компоновок станка требуется произвести сравнительный анализ на основании предъявляемых требований (точность,

жесткость, производительность и т.д.) и определить наиболее рациональный вариант компоновки.

2.5 Описание компоновки станка с помощью структурных формул

Структурная формула – это определенная последовательность символов, обозначающих блоки компоновки, раскрывающая координатную принадлежность и способ сочетания блоков. Для технологического оборудования с ЧПУ применяется система обозначения осей координат ISO.

В данном разделе необходимо разработать структурные формулы для компоновок станка, представленных в п. 2.4.

Для технологического оборудования с ЧПУ применяется система обозначения осей координат ISO (рис. 6, а). Особенность ее в том, что ось координат Z принимают всегда параллельной оси главного движения станка независимо от того, как она расположена – вертикально или горизонтально. Эта особенность позволяет системе ЧПУ для наиболее распространенной плоской обработки использовать в программах обозначение координат через X и Y независимо от расположения оси шпинделя (рис. 6, б, в). При положительном направлении оси принимают направление от заготовки к инструменту. Ось X – всегда горизонтальна. Дополнительные движения, параллельные осям X , Y , Z , обозначают соответственно U , V , W (вторичные) и P , Q , R (третичные). Вращательные движения вокруг осей X , Y , Z обозначают соответственно A , B , C , а дополнительные – D и E . Вращение главного шпинделя обозначают буквой C (иногда через S – spindle). Если в компоновке одновременно есть шпиндели заготовки и инструмента, то первый считают главным (C), а вращения второго – A (ось X), B (ось Y), D (ось Z). Главное движение

помечают знаком $\wedge$ над соответствующей буквой, например, $C^\wedge$ или $D^\wedge$. Стационарный блок помечают знаком 0 (отсутствует движение).

Основное правило записи расположения блоков: от заготовки (крайний слева) – к инструменту (крайний справа). Индексами h и v обозначают соответственно горизонтальную и вертикальную оси, горизонтальную ось можно обозначить подчеркиванием знака блока ($\underline{Z}$ или $\underline{C}$). Нижний индекс v/h при знаке шпиндельного блока проставляют, если ось шпинделя поворотная. Если ось имеет только два крайних положения, то обозначают – v , h . При последовательном соединении блоков (рис. 7, а, в) используется знак « $\times$ », который для упрощения записи опускается или заменяется точкой « $\cdot$ », параллельно соединенные блоки (см. рис. 7, г) записывают в кавычках со знаками «+», если блоки одинаковы, то вместо скобок их число записывают цифрой перед соответствующим обозначением.

Структурные формулы компоновок могут иметь разнообразные степени уточнения: K_1 – координатная; K_2 – базовая; K_3 – конструкционная.

Например, для фрезерного модуля (см. рис. 7, а) с общей формулой структуры $XYZ0C$, чаще всего пользуются обозначением координатной компоновки $K_1 - XYZ0C_v$.

Агрегатное построение компоновки может быть отображено в формуле взятием в квадратные скобки конструкционных модулей, которые представляют собой агрегатные узлы и другие единицы унификации, и включают один, два или более блоков компоновки. Конструкционными модулями могут быть, например, стол и станина продольно фрезерного станка, шпиндельные бабки, агрегатные силовые головки и т.д. Разделение компоновки на конструкционные модули в отличие от деления на координатные блоки может проходить не только по направляющим, но и по разъемам частей блоков.

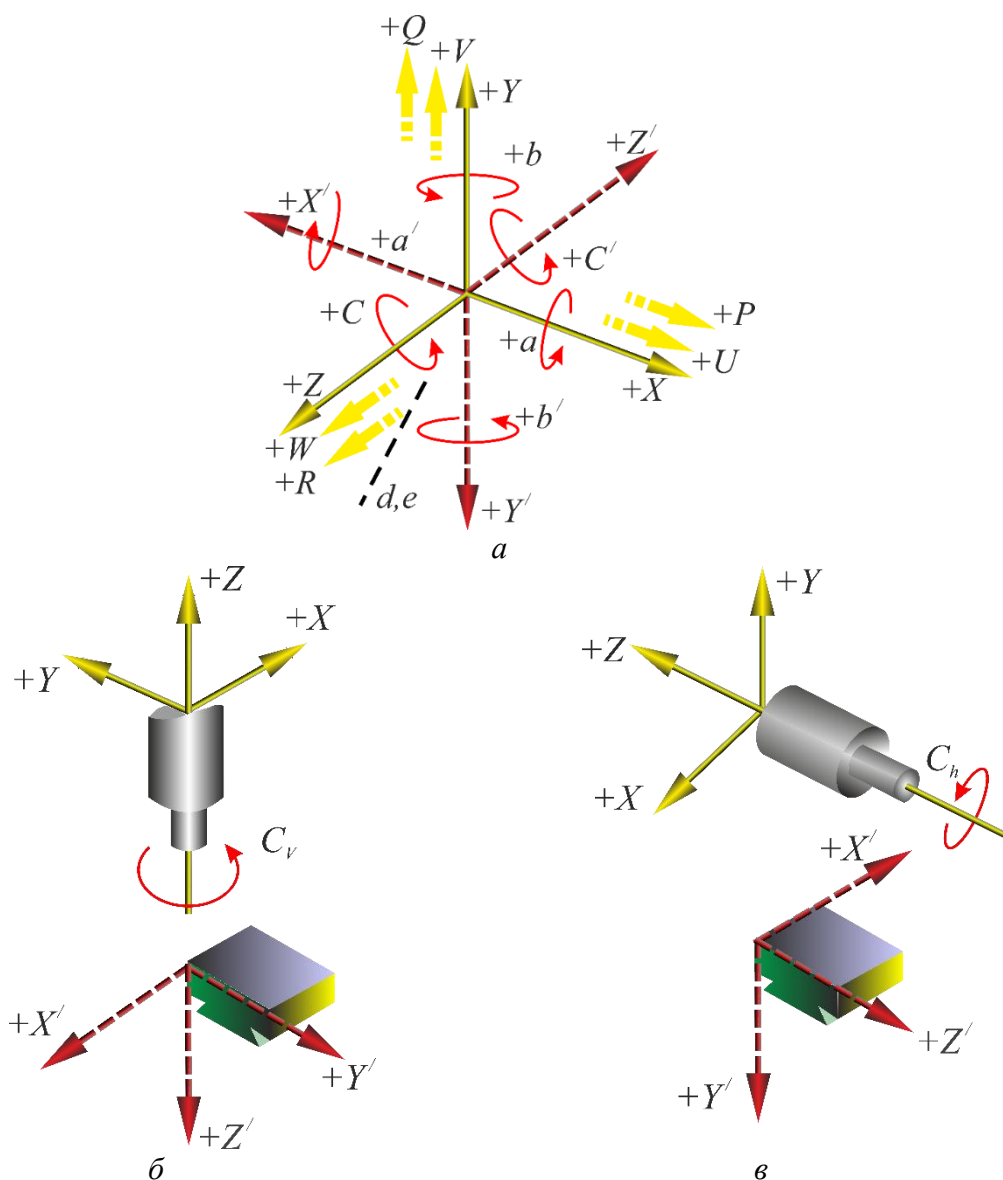


Рисунок 6 – Обозначения координатных осей и движений
многооперационных станков:
 a – поступательных и вращательных; b и $в$ – направления осей
для компонок с горизонтальным и вертикальным шпинделем

Следовательно, части одного блока, например, стационарного, могут принадлежать разным модулям. Например, если формула координатной компоновки агрегатного сверлильного станка (см. рис. 7, $з$) $d_v 0(Z4\hat{C}_v + Y4\hat{B}_h + X2\hat{A}_h)$, то формула базовой компоновки с обозначением конструктивных модулей будет:

$$d_v 0 \left[0Z4\hat{C}_v \right] + \left[0Y4\hat{B}_h \right] + \left[0X3\hat{A}_h \right] .$$

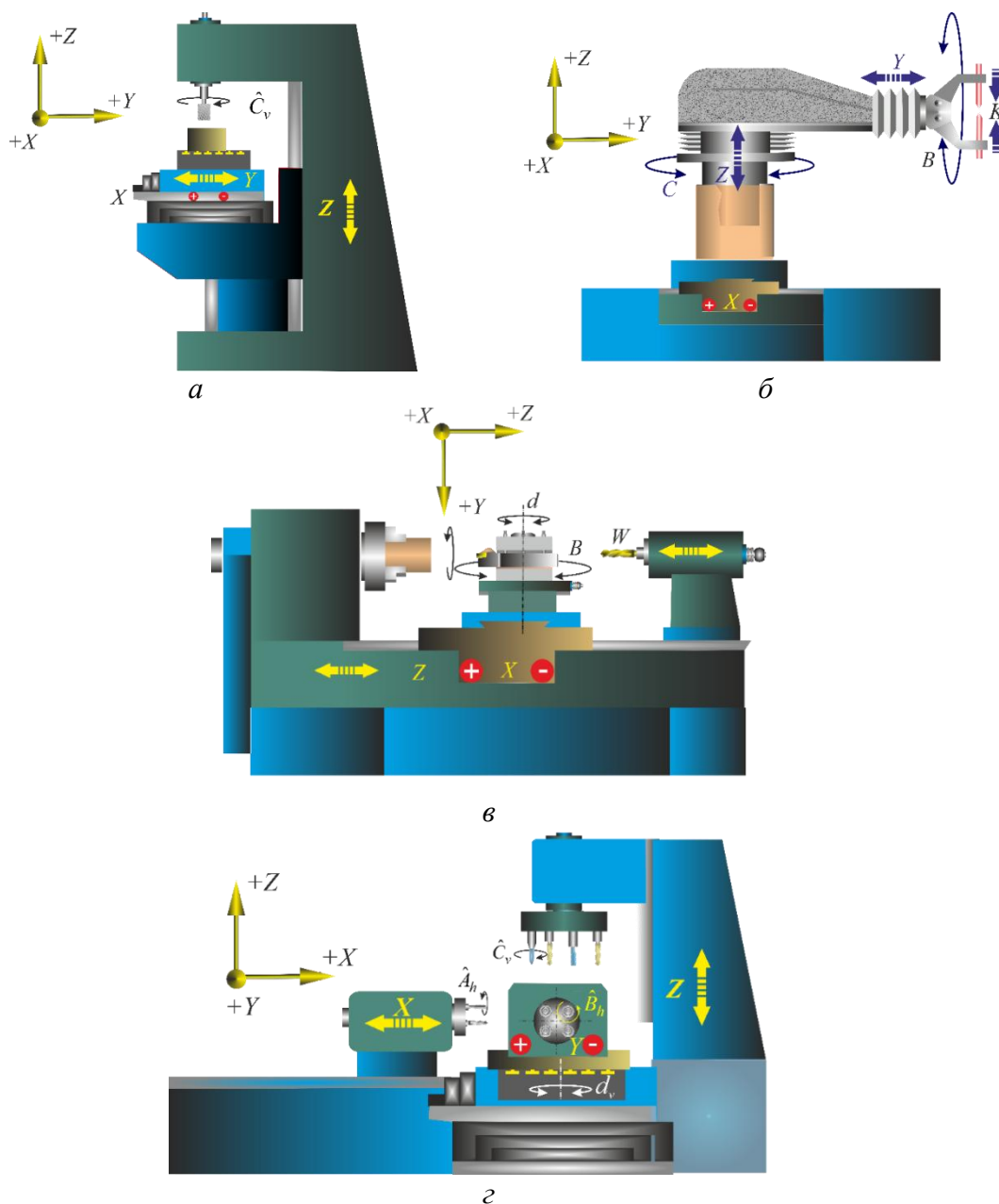


Рисунок 7 – Компоновка технологического оборудования с указанием координатных осей и движений: *a* – фрезерного станка; *б* – промышленного робота; *в* – токарного станка; *г* – агрегатно-сверлильного станка

Съемную оснастку, которая развивает кинематическую структуру обрабатывающего модуля, такую, как накладные головки и столы, делительные устройства, можно рассматривать как конструкционные модули и в случае необходимости записывать в квадратных скобках на соответствующем конце формулы компоновки.

2.6 Применение МПС в гибридной схеме многооперационного станка

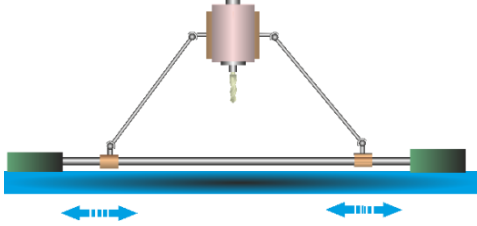
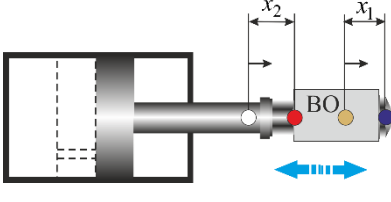
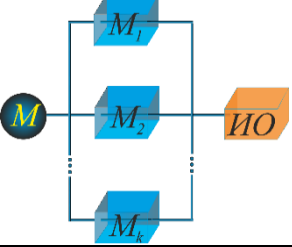
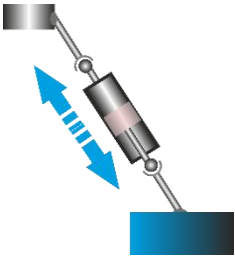
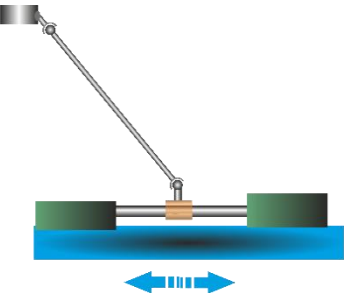
В данном разделе необходимо провести сравнительный анализ традиционных механизмов и МПС, описать современные компоновочные подходы, используемые при создании новых вариантов станка, привести изображение станка с элементами МПС и 3D-модель узла с МПС.

Механизм параллельной структуры (МПС) – это механизм, в котором подвижный исполнительный орган (ИО) шарнирно связан с неподвижным элементом кинематическими цепями, каждая из которых имеет индивидуальный привод или накладывает определенное количество связей на перемещение ИО (табл. 4).

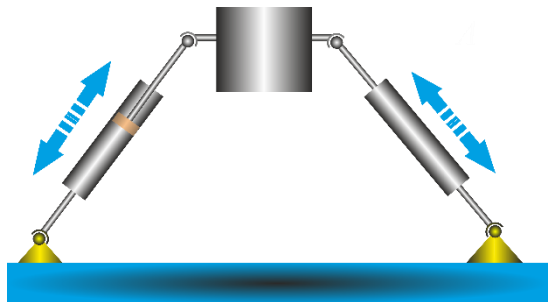
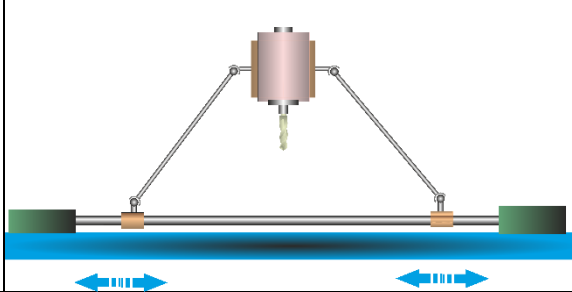
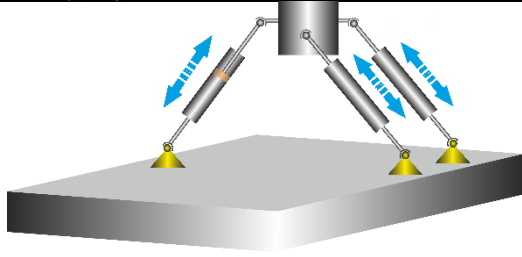
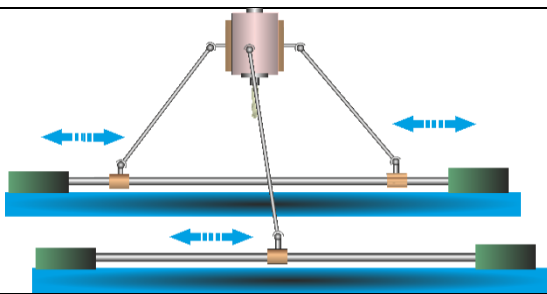
Таблица 4 – Основные термины и определения МПС

Термин	Определение	Схема
Технологическое оборудование с параллельной кинематикой	Технологическое оборудование, построенное на основе МПС	—
Опорный шарнир	Пространственная кинематическая вращательная пара, которая соединяет неподвижный элемент механизма с кинематическим звеном	—
Сферический шарнир	Пространственная кинематическая вращательная пара, элементы которой выполнены в виде сферы	—
Универсальный шарнир	Приспособление для передачи вращательного движения между штангой и неподвижным элементом механизма, оси которого не лежат на одной прямой и имеют относительное перемещение	—

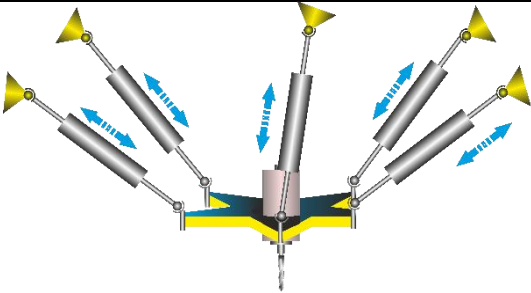
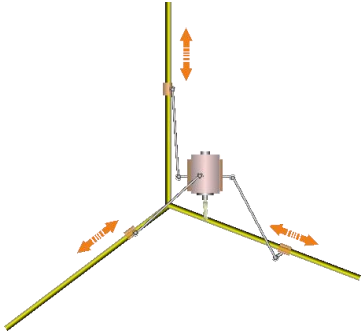
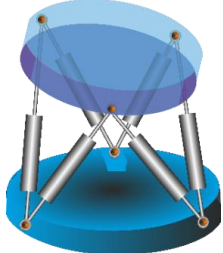
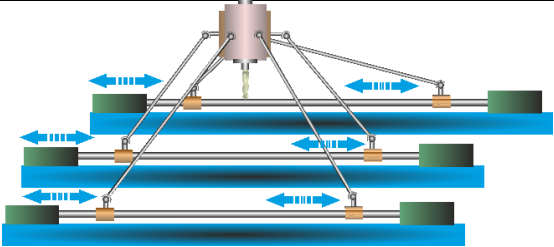
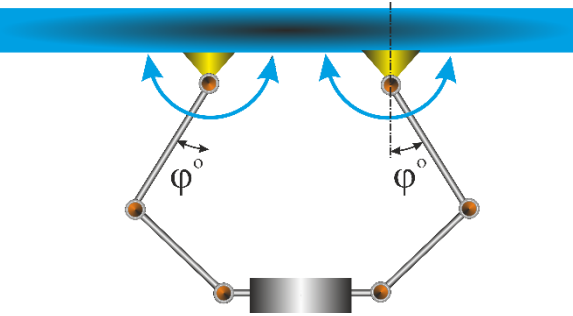
Продолжение таблицы 4

Замкнутая кинематическая цепь	Кинематическая цепь, каждое звено которой соединено с двумя кинематическими парами и образует замкнутый контур	
Незамкнутая кинематическая цепь	Система соединенных кинематическими парами звеньев, которые не образуют замкнутый контур	
Параллельное соединение механизмов (звеньев)	Совокупность механизмов (кинематических звеньев), входящие и выходные звенья которых соединены	
Последовательное соединение механизмов (кинематических звеньев)	Совокупность механизмов (кинематических звеньев), в которых каждое выходное звено предыдущего механизма соединено с входным следующим механизмом	
Штанга	Стержень, который в МПС является основным кинематическим звеном для передачи движений и нагрузок: а) переменной длины –	
	б) постоянной длины –	

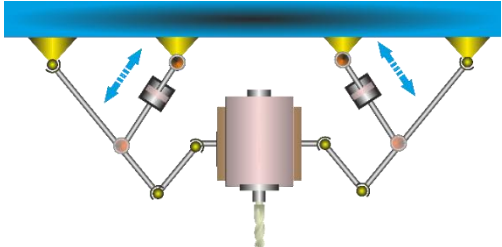
Продолжение таблицы 4

Сферический механизм параллельной структуры	Механизм, в котором все постоянные и мгновенные оси вращения звеньев пересекаются в одной точке	—
Метод преобразования координат опорных шарниров МПС	Определение положения звеньев и ИО МПС путем использования зависимостей аналитической геометрии (переноса начала координат и поворота осей) с учетом размеров звеньев, вида и относительного положения элементов кинематических пар	—
Бипод	Технологическое оборудование с параллельной кинематикой, построенное на основе кинематического соединения двух штанг переменной длины	
Биглайд	Технологическое оборудование с параллельной кинематикой, построенное на основе кинематического соединения двух штанг постоянной длины	
Трипод	Технологическое оборудование с параллельной кинематикой, построенное на основе кинематического соединения трех штанг переменной длины	
Триаглайд	Технологическое оборудование с параллельной кинематикой, построенное на основе кинематического соединения трех штанг постоянной длины	

Продолжение таблицы 4

Пентапод	Технологическое оборудование с параллельной кинематикой, построенное на основе кинематического соединения трех основных и двух дополнительных штанг переменной длины	
Ортоглайд	Технологическое оборудование с параллельной кинематикой, построенное на основе кинематического соединения трех штанг постоянной длины с ортогональным расположением направляющих	
Гексапод	Технологическое оборудование с параллельной кинематикой, построенное на основе кинематического соединения шести штанг переменной длины	
Гексаглайд	Технологическое оборудование с параллельной кинематикой, построенное на основе кинематического соединения шести штанг постоянной длины	
Дельта	Технологическое оборудование с параллельной кинематикой, построенное на основе кинематического соединения штанг, выполненных в виде параллелограммного механизма, а преобразование движения реализуется принудительным вращением опорных шарниров, смонтированных на неподвижном стационарном блоке	

Продолжение таблицы 4

Ножницы	Технологическое оборудование с параллельной кинематикой, построенное на основе кинематического V-образного соединения двух прямоугольных пластин, а преобразование движения реализуется путем использования дополнительных кинематических звеньев со штангами переменной длины, шарнирно соединенных с подвижными и неподвижными элементами механизма	
----------------	--	--

2.6.1 Особенности новой концепции компоновок станков с МПС

Среди современных станков с параллельной кинематикой коммерчески предлагаемых в настоящее время можно выделить две основных группы: 1) пространственные механизмы с телескопическими штангами управляемо-переменной длины (бипод, трипод, линапод, пентапод, гексапод) (рис. 8, а); 2) механизмы со штангами (стержнями) постоянной длины шарнирно связанными с подвижными каретками, которые расположены на направляющих станины (биглайд, триаглайд, гексаглайд) (см. рис. 8, б).

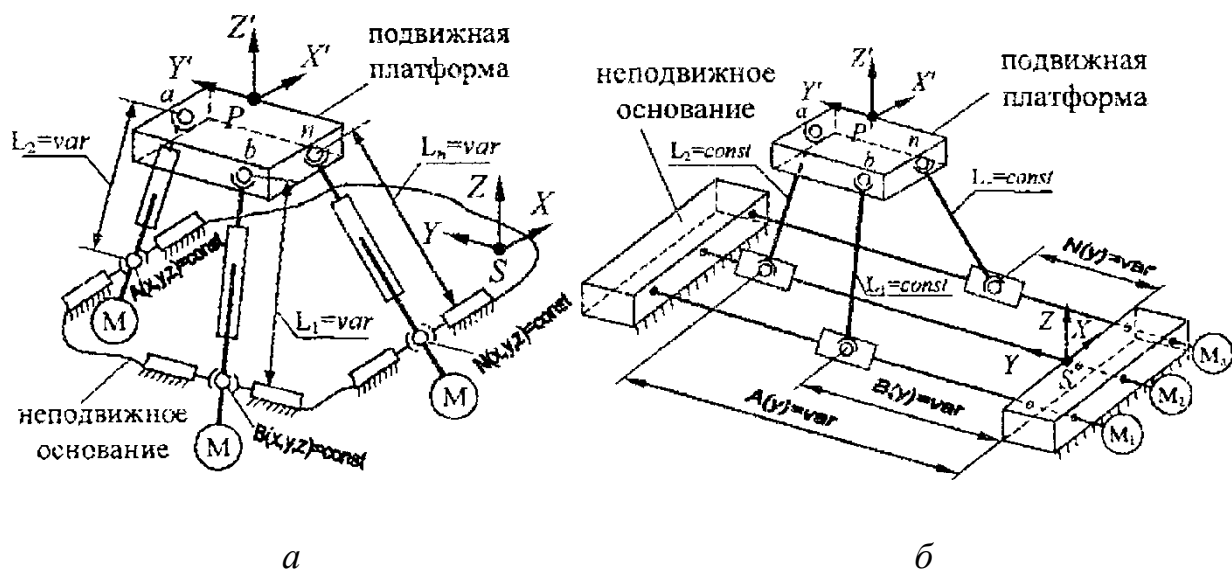


Рисунок 8 – Структура пространственных механизмов со штангами управляемо-переменной (а) и постоянной (б) длины

В станках второй группы механизмы приводов и двигатели расположены на станине, а основные нагрузки воспринимают направляющие станка. Данное обстоятельство позволяет уменьшить подвижные массы стержней, обеспечить высокие скорости перемещений и точность обработки.

Для развития параллельных структур в станкостроении, расширения и углубления отраслей их использования существуют требования, которые предъявляются к этому оборудованию в металлообработке:

1. Обеспечение высокой точности обработки и позиционирования инструмента и детали.
2. Обеспечение повышенной жесткости подвижных звеньев.
3. Многофункциональность станков нового поколения.
4. Обеспечение необходимой степени свободы ИО для выполнения станком многофункциональных задач.
5. Увеличение размеров рабочего пространства ИО станка.
6. Обеспечение высокопроизводительной обработки.

7. Свободный доступ для загрузки (разгрузки) деталей, обслуживания, установки инструмента и оснастки.

Для реализации новой концепции гибридных компоновок на примере токарных многоцелевых станков и обеспечения выше перечисленных требований предложен комплекс методов, которые позволяют перейти от традиционной схемы металло- и деревообрабатывающего оборудования (рис. 9, *а*) к ряду новых компоновок многофункциональных и многоцелевых токарных станков [...] с параллельной кинематикой (см. рис. 9, *б*).

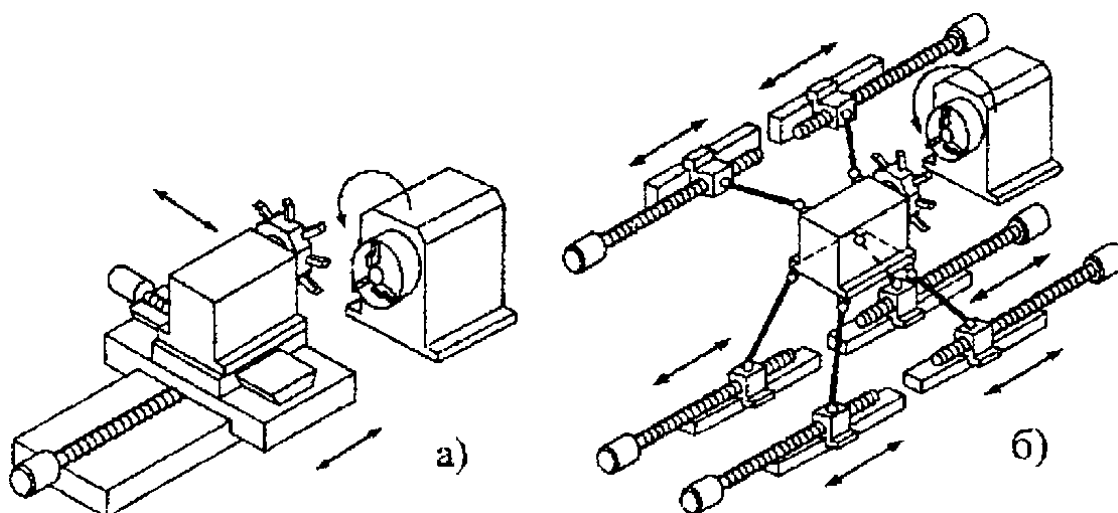


Рисунок 9 – Формообразующие движения при токарной обработке на станке:
а – традиционной компоновки; *б* – на основе шарнирно- стержневых систем с постоянной длиной штанг

Предложенная концепция проектирования многоцелевых станков гибридных компоновок на основе МПС включает основные этапы:

1. Определение заданной степени свободы ИО.
2. Обеспечение многовариантности принятой схемы МПС.
3. Сохранение жесткой на неподвижном основании шпиндельной бабки (или мотор-шпинделя) с зажимным патроном.

4. Распределение технологических движений МПС между традиционной и параллельной структурами.

5. Определение рабочего пространства МПС.

6. Создание компоновки станка, согласованной с технологическими задачами и обусловленной геометрией детали.

7. Оптимизация геометрических параметров МПС для принятой компоновки.

8. Дополнение основной компоновки станка вспомогательными средствами, которые расширяют технологические возможности, например, подвижным контршпинделем, поворотным устройством, инструментальной системы, работа двух и больше МПС в одной компоновке с пересечением рабочих зон и т. п.

9. Создание робототехнических комплексов и станочных систем на базе станков и промышленных роботов с МПС.

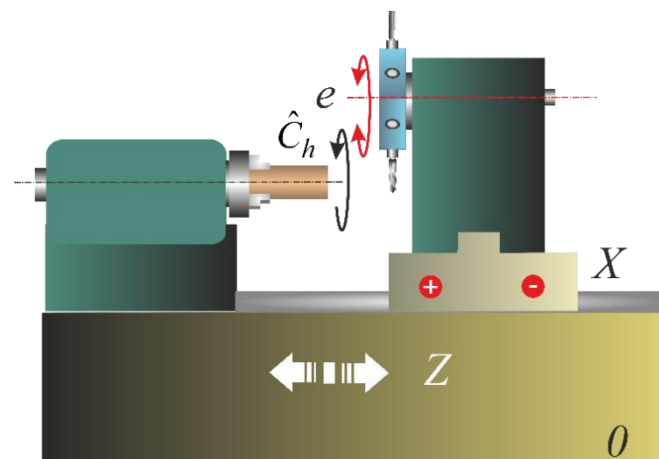
В настоящее время в практике станкостроения при создании новых станков параллельно существуют два подхода в компоновках: 1) традиционный – последовательное соединение блоков, механизмов и кинематических звеньев; 2) нетрадиционный – параллельное соединение блоков, механизмов и кинематических звеньев за счет применения МПС и, преимущественно, со штангами переменной длины [...].

Анализ конструкций и компоновочных схем предлагаемых станков с параллельной кинематикой показал, что станкостроительные фирмы отдали предпочтение первой группе станков (с переменнo управляемой длиной штанг), отказавшись от преимуществ традиционных компоновок. В то же время лучшие решения, по-видимому, находятся между традиционными компоновками и станками первой группы, где ИО в виде инструментальных систем размещены на платформе, шарнирно связанной с основанием через штанги постоянной длины, как это реализуется в

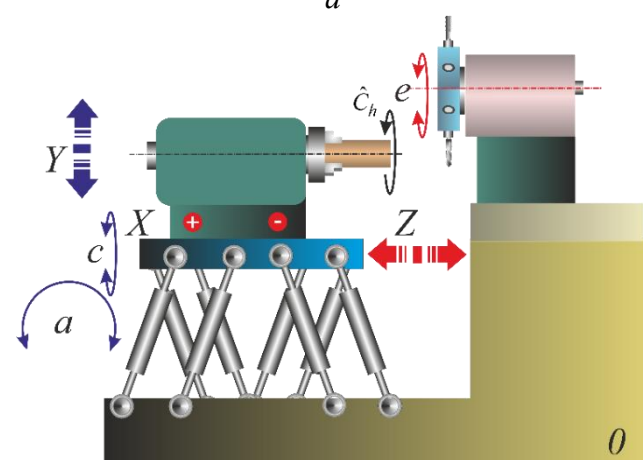
станках второй группы. Именно такой третий подход при агрегатно-модульном принципе построения компоновок и отдельных компонентов станков с МПС заложен в предлагаемую новую концепцию гибридных компоновок, которые по количеству управляемых координат не уступают станкам-гексаподам (рис. 10, 11).

На рисунках 10 и 11 для традиционных компоновок с указанием координатных движений блоков записаны структурные формулы компоновок для токарного станка горизонтального исполнения ($C_h O Z X e$) и фрезерного станка вертикального исполнения ($ca X O Y Z C_v$), для нетрадиционных компоновок на базе гексапода показана реализация с параллельными кинематическими цепями и штангами переменной длины. Как альтернативный вариант традиционным и нетрадиционным компоновкам показана реализация предлагаемого подхода с параллельными кинематическими цепями для токарного станка типа «паук» и штангами постоянной длины для сверлильно-фрезерного станка в виде трехгранной пирамиды и штангами постоянной длины. Предложенная новая концепция гибридных компоновок станков с МПС, которая наглядно представлена в сравнительных схемах (см. рис. 10, 11) для станков токарной и сверлильно-фрезерной групп, может быть использована при создании другого технологического оборудования с МПС (многоцелевые станки, гибкие производственные модули, станки для лазерной обработки, текстильные машины, и т.п.).

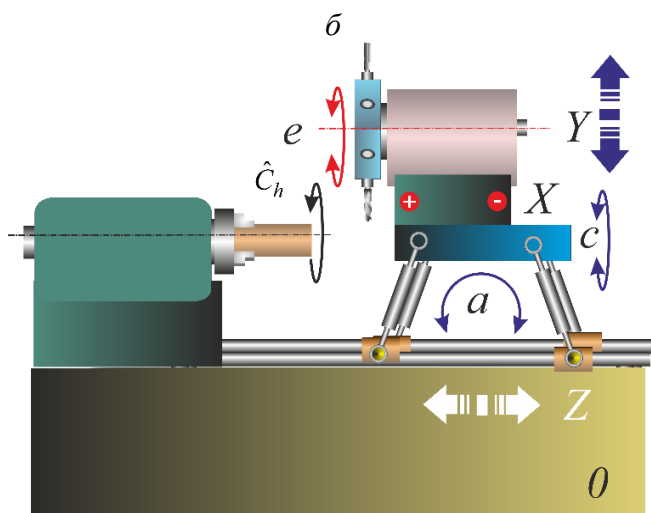
Обзор современного состояния многооперационных станков с МПС показывает, что оборудование этого класса активно производится многими ведущими российскими и иностранными компаниями и востребовано на мировом рынке, а его технические характеристики превосходят соответствующие характеристики станков традиционной компоновки.



a



б



в

Рисунок 10 – Примеры компоновок и схем традиционной (*a*), нетрадиционной (стержневой типа гексапод) (*б*) и гибридной (со штангами постоянной длины) (*в*) токарных станков с ЧПУ

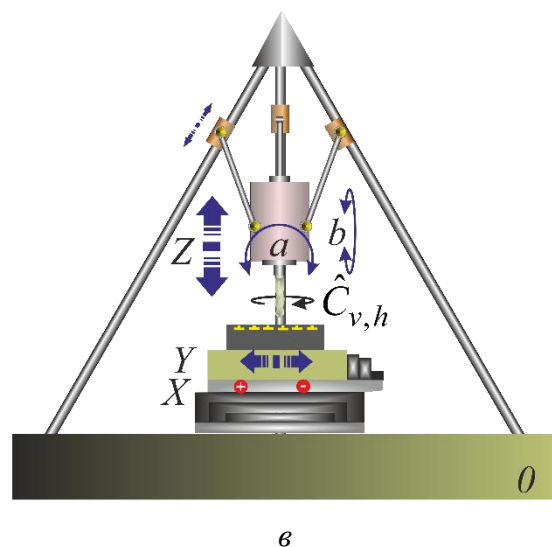
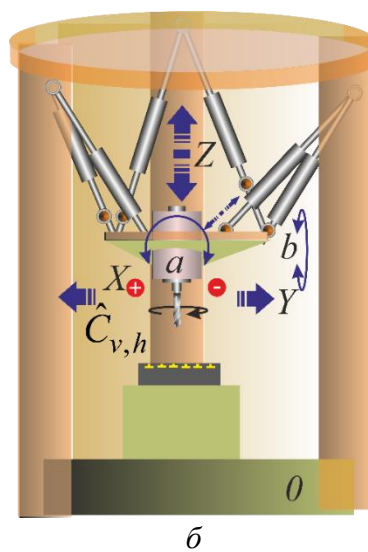
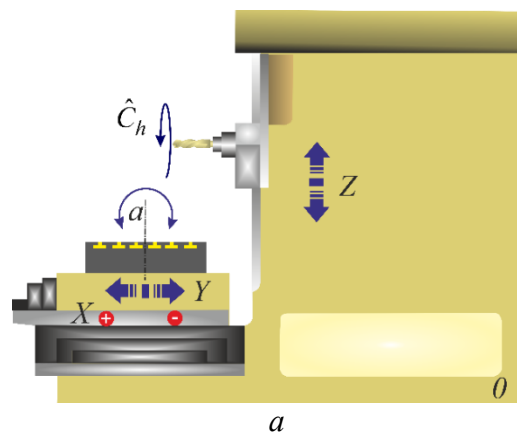


Рисунок 11 – Примеры компоновок и схем традиционной (а), нетрадиционной (стержневой типа гексапод) (б) и гибридной (со штангами постоянной длины) (в) сверлильно-фрезерных станков с ЧПУ

3 ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Проверенные руководителем и получившие допуск к защите курсовые проекты студенты защищают перед специальной комиссией. Защита проходит по утвержденному графику. Доклад должен быть сжатым и содержательным. Регламент доклада – 4 - 5 мин. В процессе доклада студент отмечает актуальность, цели и задачи курсового проекта; основные результаты; излагает выводы.

После доклада студент отвечает на вопросы членов комиссии. При оценке курсового проекта комиссия учитывает качество выполненной работы, соответствие ее содержания и оформления требованиям, изложенным в методических указаниях, результаты защиты и соблюдение графика представления работы.

В случаях, когда защита курсового проекта признается неудовлетворительной, комиссия устанавливает срок представления к повторной защите указанной работы после выполнения необходимых доработок и устранения замечаний.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кузнецов, Ю.Н. Теория технических систем: Учебник / Ю.Н. Кузнецов, Ю.К. Новоселов, И.В. Луцев. – Севастополь: Изд-во СевНТУ. – 2010. – 252 с.
2. Кузнецов, Ю.Н. Агрегатно-модульное технологическое оборудование нового поколения / Ю.Н. Кузнецов, В.А. Крыжановский – К.– Кировоград: ООО «ЗМОК»-ПП «ГНОЗИС», 2001. – 258 с.
3. Кузнецов, Ю.Н. Компоновка станков с механизмами параллельной структуры: Монография / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Дмитриев, Г.Е. Диневич. – Херсон: ЧП Вышемирский. – 2010. – 471 с.
4. Соломенцев, Ю.М. Роботизированные технологические комплексы и гибкие производственные системы в машиностроении: Альбом схем и чертежей / Ю.М. Соломенцев, К.П. Жуков, Ю.А. Павлов. – М.: Машиностроение, 1989. – 192 с.
5. Харченко А.О. Металлообрабатывающее оборудование машиностроительных производств: Учебн. пособие для студ. вузов/А.О.Харченко. — М.: ИД «Вузовский учебник»: ИНФРА-М, 2017. — 260 с. <http://znanium.com/catalog/product/1008749>
6. Харченко А.О. Станки с ЧПУ и оборудование гибких производственных систем: учебн. пособие для студ. вузов / А.О.Харченко. — К.: ИД Профессионал, 2004.— 304 с.
7. Харченко А.О. Анализ и синтез структур современных многооперационных станков. Практикум: учебн. пособие/ А.О. Харченко, С.М. Братан. Е.А. Владецкая, С.И. Рощупкин. – М.: Центркаталог, 2018. – 144 с. (Вузовский учебник). – ISBN 978-5-903268-06-01
8. Анализ и синтез структур современных многооперационных станков. Метод. указ. к провед. практ. занятий для студентов напр. 15.04.05 «Констр.-технол. обесп. машиностр. производств» / Сост. А.О. Харченко,

С.М. Братан, Е.А. Владецкая, С.И. Рощупкин. – Севастополь: СевГУ, 2018.
– 124 с. – (№46/18) <http://lib.sevsu.ru:8080/xmlui/handle/123456789/8497>

9. Харченко А.О. Практикум по научно-исследовательской деятельности в машиностроении: учебное пособие / А.О. Харченко, С.М. Братан, А.А. Харченко, Е.А. Владецкая. – М.: Центркаталог, 2022. – 288 с. – (Серия: Вузовский учебник). – ISBN 978-5-903268-66-5.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 – Исходные данные для разработки (модернизации) на основе механизмов параллельных структур (МПС) компоновки и кинематики многооперационного станка с ЧПУ для базовой модели

Вариант	Базовая модель станка	Источники исходных данных
1	16K20Ф3	[1, 2]
2	1720ПФ30	
3	1740РФ3	
4	1П756ДФ331	
5	АТПр-2М12СН	
6	АТ320МС	
7	ИРТ180ПМФ4	
8	МР315	
9	2Р135Ф2	
10	3М151Ф2	
11	6М13СН	
12	6Р13Ф3	
13	6906ВМФ2	
14	ФП-7МН	
15	2ФП-234	
16	РФП-6	
17	ФСМ-1	
18	СМ400Ф4.5	
19	ИР320ПМФ4	
20	ИР500ПМФ4	
21	ГЦ500ПМФ4	
22	МЦ800	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Кафедра «Автоматизация и технология машиностроения»

Задание на курсовой проект по дисциплине

«Анализ и синтез структур современных многооперационных станков» для магистрантов направлений подготовки 15.04.05 и 15.04.04

Студенту _____

В виде пояснительной записки и графических листов представить оформленные материалы курсового проекта по теме исследования **«Разработка (модернизация) на основе механизмов параллельных структур (МПС) компоновки и кинематики многооперационного станка с ЧПУ для базовой модели 16K20Ф3, 1720ПФ30, 1740РФ3, 1П756ДФ331, АТПр-2М12СН, АТ320МС, ИРТ180ПМФ4, МР315, 2Р135Ф2, 3М151Ф2, 6М13СН, 6Р13Ф3, 6906ВМФ2, ФП-7МН, 2ФП-234, РФП-6, ФСМ-1, СМ400Ф4.5, ИР320ПМФ4, ИР500ПМФ4, ГЦ500ПМФ4, МЦ800 (необходимую модель подчеркнуть)**

Содержание пояснительной записки (перечень вопросов, которые нужно разработать) _____

1. Введение; 2. Иерархическое описание технической системы; 3. Применение морфологического анализа для структурного синтеза оборудования; 4. Разработка рационального варианта компоновки станка на основе структурно-компоновочного синтеза 5. Описание компоновки станка с помощью структурных формул; 6. Применение МПС в гибридной схеме многооперационного станка 8. Заключение, 9. Список литературы.

Перечень иллюстративного (графического) материала 1. Схема базовой компоновки и кинематики заданного станка; 2. Варианты компоновок станка со структурными формулами; 3. Общий вид гибридной компоновки станка с элементами МПС; 4. 3D-модель узла с МПС.

Выдал: _____

(научная степень, должность)

кафедра АТМ «СевГУ»

(ФИО)

Дата выдачи _____

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Варианты модульного исполнения многооперационных станков

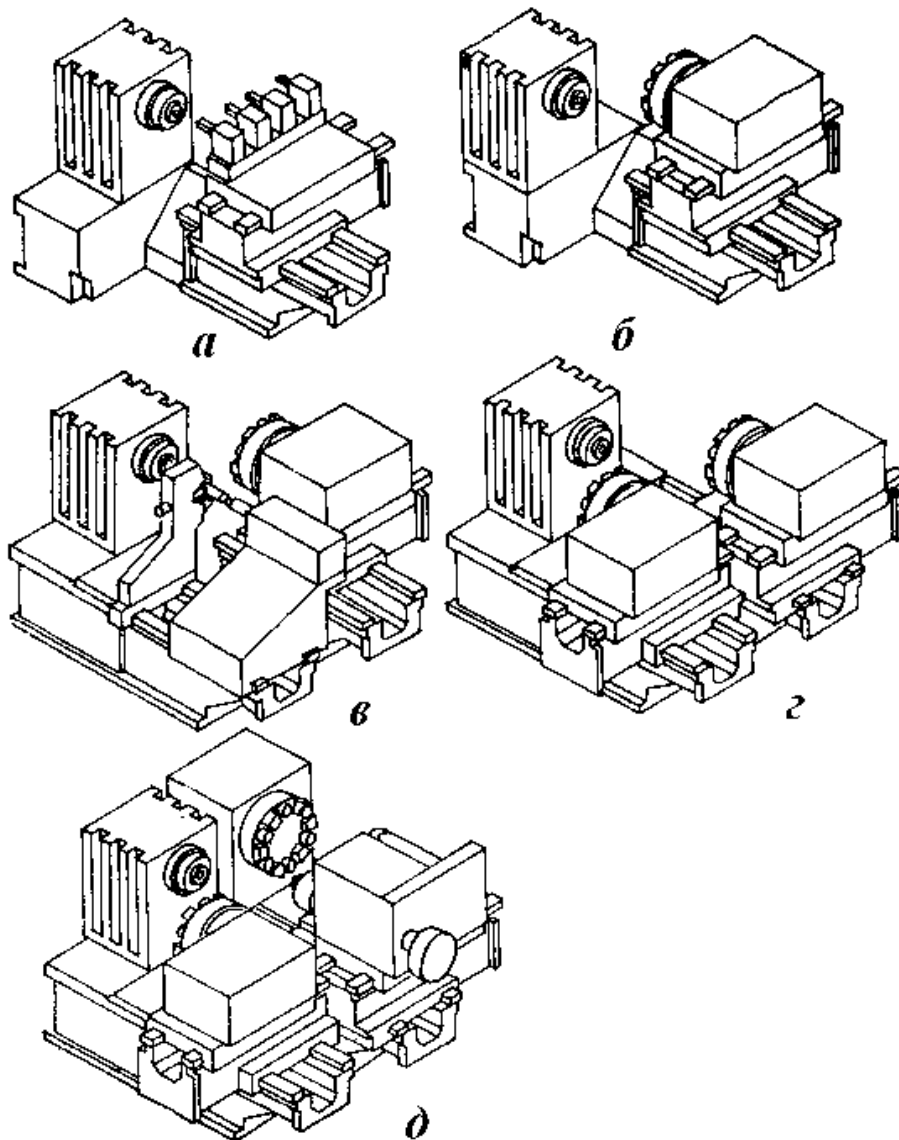


Рисунок В.1 – Токарные многооперационные станки фирмы «Boley»:
а – двухкоординатный с системой неврещающихся инструментов;
б – двухкоординатный с 12-позиционной револьверной головкой;
в – двухкоординатный с 12-позиционной револьверной головкой и задней бабкой;
г – четырехкоординатный с 12-позиционными револьверными головками и шпиндельной бабкой; д – четырехкоординатный с 12-позиционными револьверными головками и двумя шпиндельными бабками

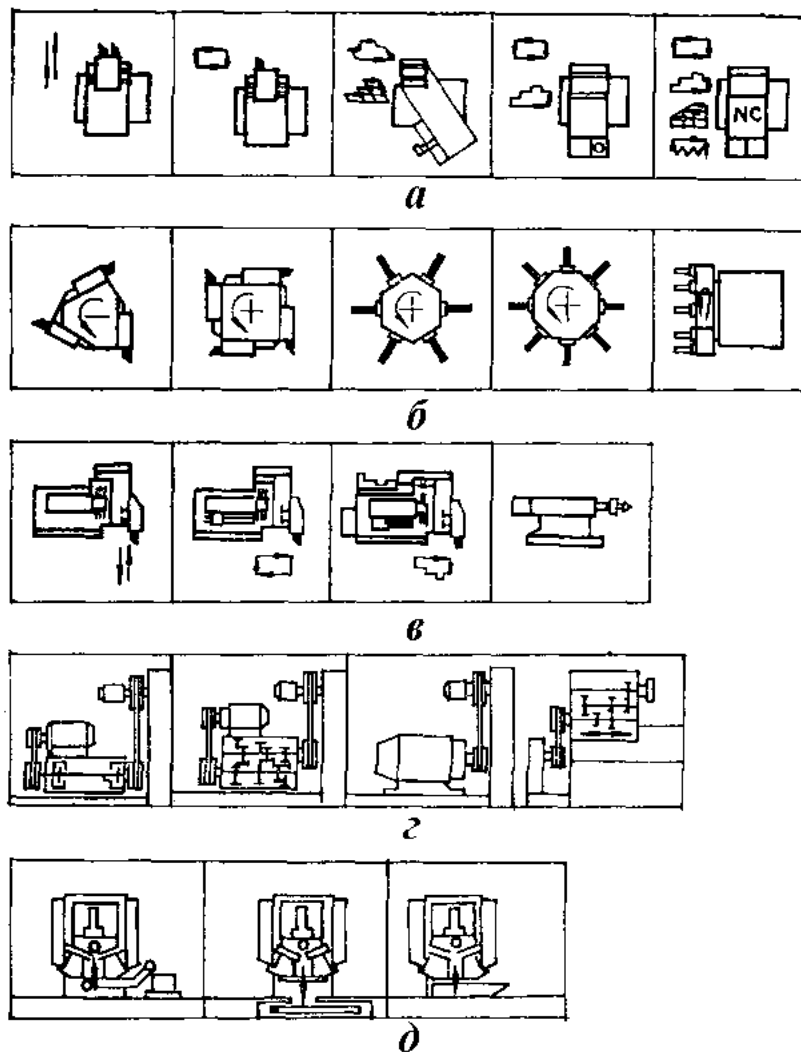


Рисунок В.2 – Унифицированные модули токарных автоматов с ЧПУ фирмы «Етаг»: *a* – нижние салазки; *б* – инструментальные системы; *в* – верхние салазки; *г* – приводы шпинделей изделий; *д* – стружкоуборочные устройства

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Примеры обозначения осей координат и направлений движений на схемах станков с ЧПУ

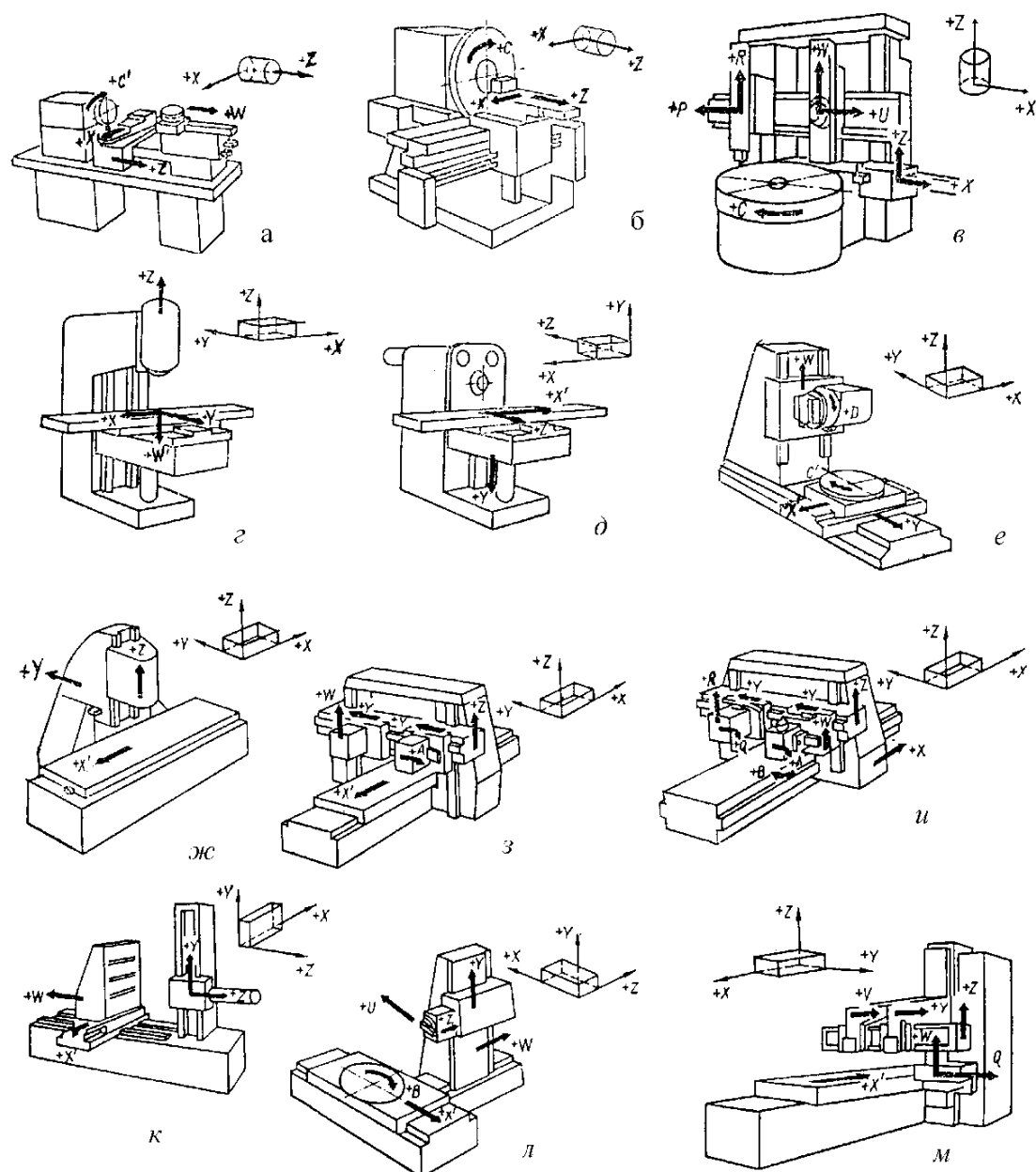


Рисунок Г.1 – Обозначение осей и направлений перемещений станков:
 а – токарно-револьверного; б – лоботокарного; в – токарно-карусельного;
 г – вертикально-фрезерного; д – горизонтального консольно-фрезерного;
 е – фрезерного с поворотным столом и поворотной бабкой; ж – вертикального
 портально-фрезерного; з – двухстоечного портально-фрезерного; и – двухстоечного
 с подвижным порталом; к – горизонтально-расточного с неподвижной передней
 бабкой; л – с продольно-подвижной передней бабкой; м – продольно-строгального

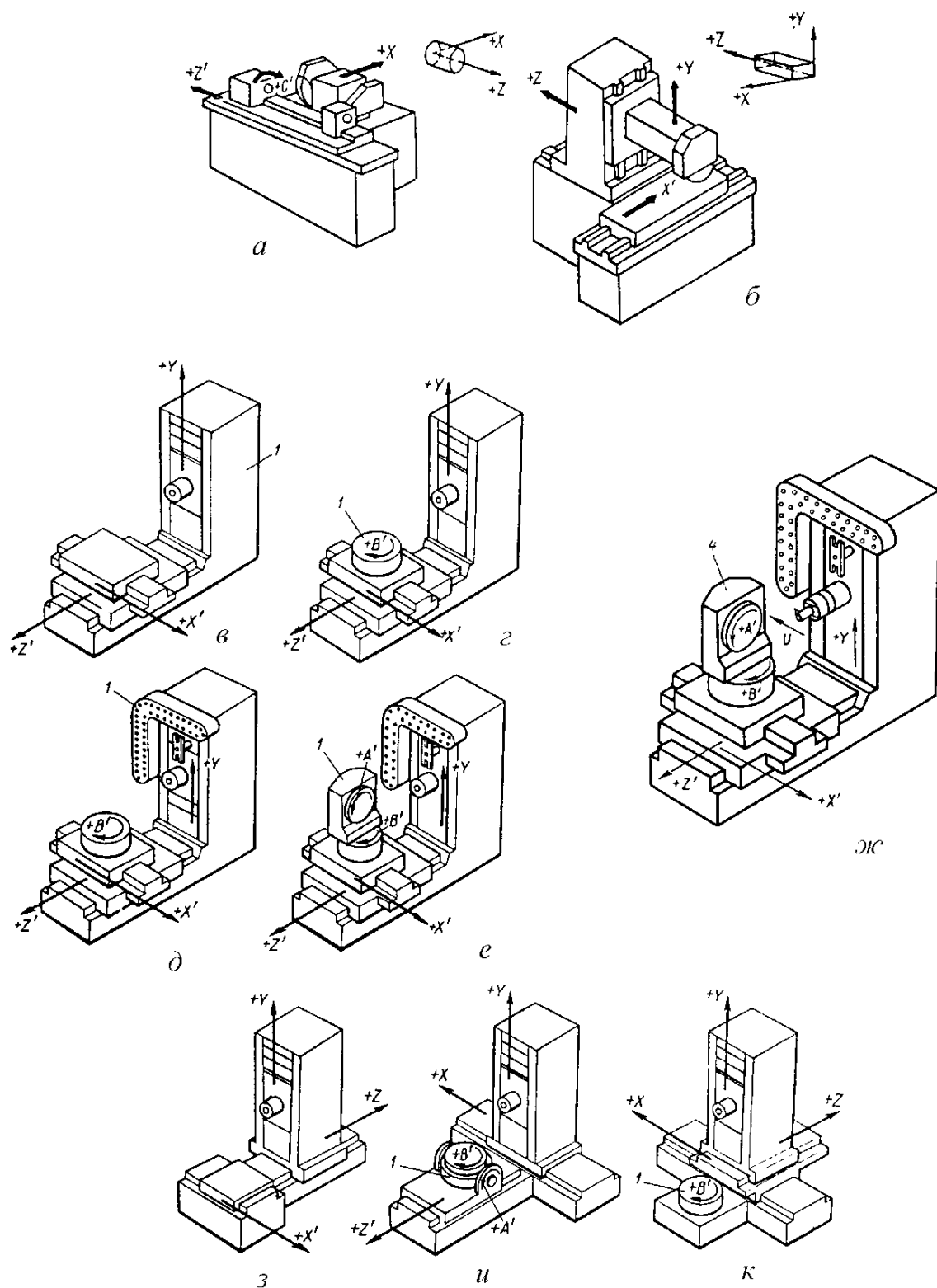


Рисунок Г.2 – Обозначение осей координат станков с ЧПУ:
а – круглошлифовального; *б* – плоскошлифовального;
в, г, д, е, ж – многооперационных станков средних габаритов;
з, и, к – многооперационных станков различных компоновок

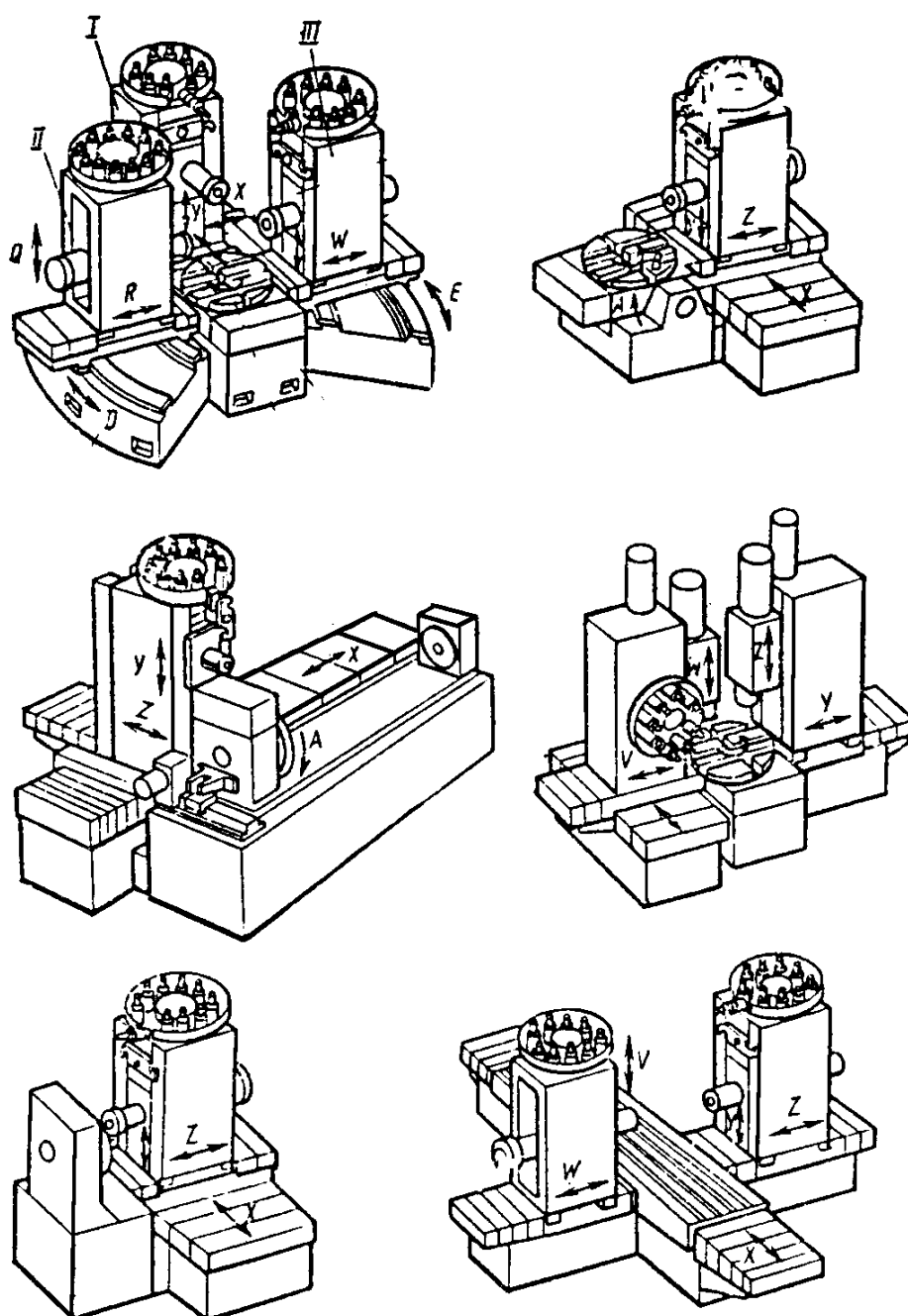


Рисунок Г.3 – Обозначение осей координат и направлений движений агрегатных станков с ЧПУ

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Примеры производителей многооперационных станков с МПС

Таблица Д.1 – Модели производителей многооперационных станков с МПС

№ п/п	Общий вид	Основные характеристики
1		Модель Variax Производитель: Giddings & Lewis (США) Шестикоординатный высокоточный обрабатывающий центр с МПС класса гексапод
2		Модель Hexapod HON-600 Производитель: Ingersoll Cutting Tools (Германия, США) Станок-гексапод для горизонтального пятикоординатного фрезерования
3		Модель Tornado Производитель: Hexel (США) Станок-гексапод для горизонтальной пятикоординатной обработки

Продолжение таблицы Д.1

4		Модель HexaM Производитель: Toyota Machine Works (Япония) Пятикоординатный вертикальный фрезерный станок-гексаглайд с несущим модулем в виде трехгранной пирамиды
5		Модель Ulysses Производитель: Fatronik Трехкоординатный многоцелевой станок с четырьмя кинематическими цепями в виде трипода и V-образного механизма
6		Модель Quickstap HS500 Производитель: Krauseco and Mauser (Австрия) Многооперационный станок с МПС на основе дельта-структуры
7		Модель SEYANKA Производитель: Tekniker Многооперационный станок-пентапод для пятикоординатной обработки

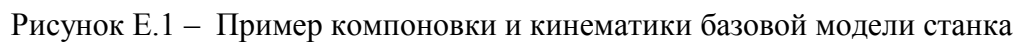
Продолжение таблицы Д.1

8		Модель Eclipse Производитель: Daeyong Mashine (Китай) Пятикоординатная обработка с помощью 8 рабочих элементов на основе RP-технологии (быстрое прототипирование)
9		Модель Cosmo center PM-600 Производитель: Okuma (Япония) Шестикоординатный станок-гексапод для обработки сложных объемных поверхностей штампов
10		Модель VerticalLine V100 Производитель: INDEX-Werke (Германия) Станок с МПС на основе дельта-робота для трехкоординатной обработки (токарной, фрезерной, лазерной заделки, лазерной сварки, шлифования, операции сборки)
11		Модель METROM Pentapod P 800 Производитель: METROM (Германия) Многооперационный станок с МПС типа пентапод на основе 3-х основных и 2-х дополнительных штанг переменной длины

Продолжение таблицы Д.1

12		Модель Delta Robot Производитель: Hitachi Seiki (Япония) Многооперационный станок для сверлильно-расточных операций
13		Модель ТМ-1000 Производитель: ООО «Ланик», г. Саратов (Россия). Многофункциональные технологические модули серии ТМ - это шестиосевое обрабатывающее оборудование, объединяющие возможность обработки и измерения детали на одном рабочем месте.
14		Модель ГЕКСАМЕХ-1 Производитель: ОАО «САВМА» г. Савеловск (Россия). Пятикоординатный обрабатывающий центр с МПС класса гексапод для многооперационной обработки изделий сложной пространственной формы (балки, рамы, нервюры, лонжероны, шпангоуты, панели, литейные модели, формообразующая оснастка)

Примеры графических листов по теме проекта



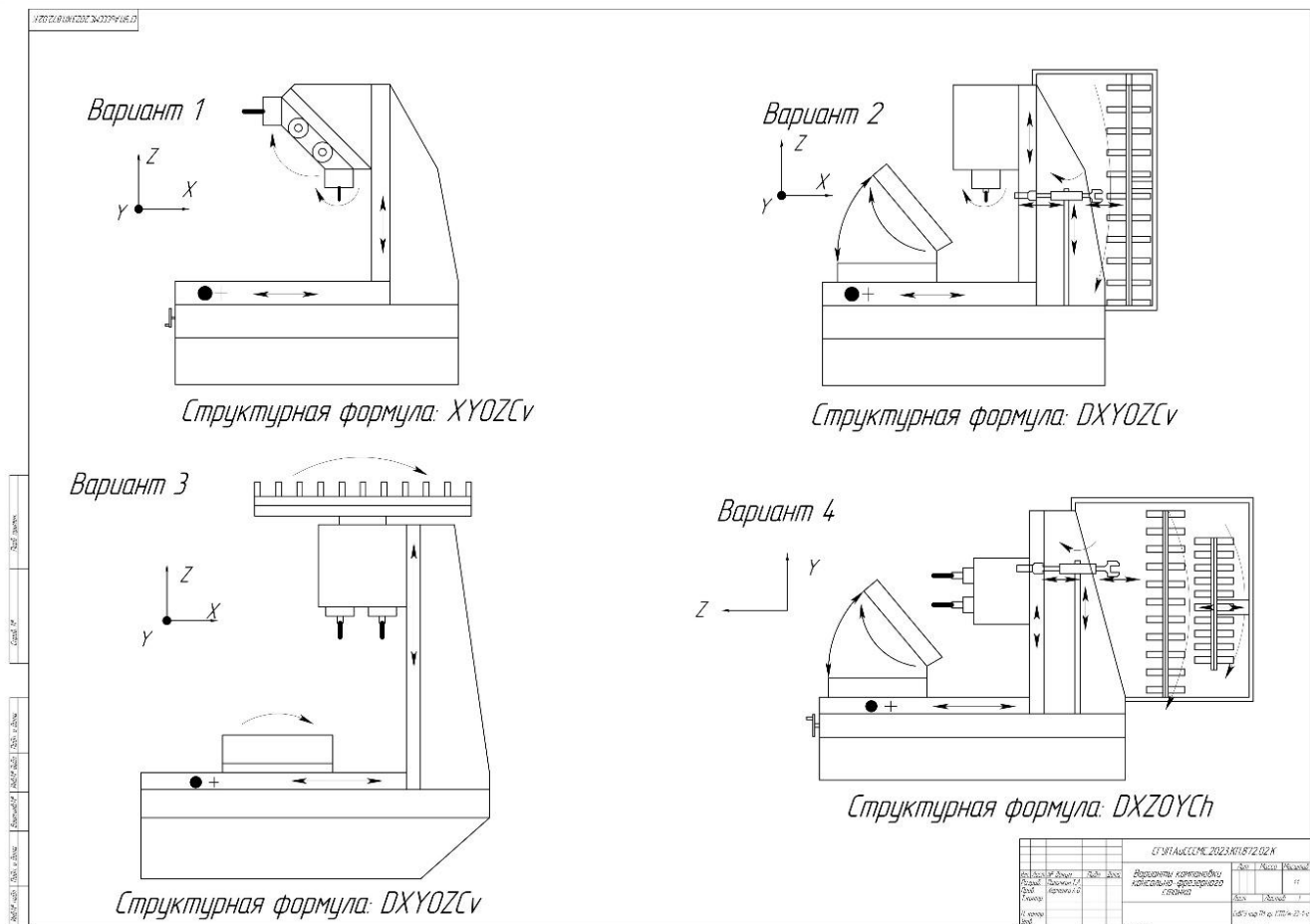


Рисунок Е.2 – Примеры синтезированных вариантов компоновки станка

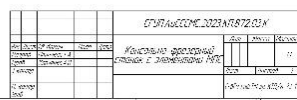


Рисунок Е.4 – Вариант синтезированной гибридной компоновки системы станка с элементами МПС

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СТРУКТУР СОВРЕМЕННЫХ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ СТАНКОВ

*Методические указания
к выполнению курсового проекта по дисциплине*

Составители: **Братан** Сергей Михайлович,
Харченко Александр Олегович, **Часовитина** Анастасия Сергеевна

Издается в авторской редакции

Изд. № 135/2025. Объем 3 п. л. Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,94.
Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»