

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

А. И. Голембиевский

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию для студентов
специальностей: 1-36 01 01 «Технология машиностроения»,
1-36 01 03 «Технологическое оборудование
машиностроительного производства»

Новополоцк
ПГУ
2012

УДК 621.9.06(075.8)
ББК 34.63-5я73

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией
машиностроительного факультета (протокол № 9 от 28.09.2011)

Кафедра технологии и оборудования машиностроительного производства

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

ген. директор «ГП НТП ПГУ» Л. Е. КУЗЬМИЧ;
д-р техн. наук, проф. каф. технологии и оборудования
машиностроительного производства В. А. ДАНИЛОВ

ВВЕДЕНИЕ

В учебном процессе развитие навыков практического использования основополагающих закономерностей теории кинематической структуры металлорежущих станков до недавнего времени обеспечивался лабораторными работами. Цель такого практикума – ограничена изучением станков различных технологических групп через анализ и настройку их кинематической структуры. Такой подход в условиях инновационного образования в высшей школе явно недостаточен так как, по существу, исключает поиск новых технических решений при изучении названных дисциплин. Именно поэтому впервые образовательными стандартами ОСРБ 1-36 01 01 – 2008 и ОСРБ 1-36 01 03 – 2008 для специальностей соответственно 1-36 01 01 и 1-36 01 03 введена курсовая работа по дисциплинам «Металлорежущие станки» и «Технологическое оборудование».

Таким образом, курсовая работа является заключительным этапом изучения дисциплин «Металлорежущие станки» и «Технологическое оборудование» по специальностям машиностроительного направления. Ее выполнение осуществляется после изучения дисциплин, выполнения лабораторных работ и сдачи соответствующего экзамена.

Предлагаемое учебно-методическое пособие представляет вариант организации курсового проектирования по указанным дисциплинам и является логическим продолжением УМК [1, 2]. При этом обязательным условием при выполнении курсовой работы является использование логико-математического языка, позволяющего раскрыть основную функцию – физическую сущность функционирования технологической машины (металлорежущего станка). Этот язык изложен в указанных УМК и используется при анализе металлорежущих станков различного уровня сложности, как в конспекте лекций, так и в лабораторном практикуме.

Цель выполнения курсовой работы – развитие практических навыков использования фундаментальных основ станковедения как при анализе кинематических схем известных станков, так и при синтезе структурных кинематических схем станков, реализующих известные, преимущественно по патентным источникам, способы формообразующей обработки.

Основные задачи, решаемые студентами при выполнении курсовой работы:

- освоение системного подхода при анализе кинематической структуры станочного оборудования;
- развитие навыков синтеза (проектирования) структурных схем станочного оборудования;
- освоение практических навыков настройки станочного оборудования различных кинематических групп.

При решении названных задач предполагается максимальное использование инновационных технических решений, опубликованных в периодических научно-технических изданиях и в описаниях изобретений, защищенных патентами.

При оригинальном техническом решении задачи, в том числе предложенной студентом, подпадающим под понятие «изобретение», курсовая работа может быть дополнена составлением заявки на выдачу патента. По действующему законодательству изобретение – это техническое решение, являющееся новым, имеющее изобретательский уровень и промышленное применение.

В учебно-методическом пособии предложены два алгоритма выполнения курсовой работы, одно из которых посвящено анализу (первое техническое задание) кинематической схемы (кинематической структуры) известного станка, а второе – синтезу структурной схемы станка (второе техническое задание) по известному способу формообразующей обработки. Подробно рассмотрено практическое использование обоих алгоритмов на конкретных примерах анализа и синтеза кинематической структуры. Приведены индивидуальные технические задания.

1. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ, ЕГО СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В учебно-методическом пособии рассматривается два вида технических заданий на курсовую работу. Первый вид задания является основным для студентов специальности 1-36 01 01, а второй – для студентов специальности 1-36 01 03. Техническое задание выдается каждому студенту индивидуально.

В техническом задании первого вида указывается модель известного станка для его анализа и график выполнения курсовой работы. Пример темы курсовой работы при выполнении задания: «Выполнить кинематический анализ и настройку зубодолбежного станка модели ВС-122».

Объем курсовой работы: пояснительная записка – 15–20 страниц компьютерного (машинописного) текста, включая необходимые иллюстрации, в том числе ксерокопию внешнего вида станка и его краткое описание, кинематическую схему станка с анализом ее выполнения в соответствии с действующими стандартами для условного обозначения ее элементов, возможные модификации структурной схемы анализируемого станка.

Графическая часть работы (1 лист формата А1) включает:

- полную кинематическую схему станка, исправленную в соответствии с действующими стандартами для условного обозначения элементов кинематических схем;
- обобщенную или одну из частных структурных схем анализируемого станка.

В техническом задании второго вида указывается способ формообразующей обработки для разработки структурной схемы станка и график выполнения курсовой работы. Пример темы курсовой работы при выполнении задания: «Разработать структурную схему зубофрезерного станка для обработки цилиндрических зубчатых колес с наклонными по делительной окружности зубьями по патенту 6134 (ВУ)».

Объем курсовой работы: пояснительная записка – 15–20 страниц компьютерного (машинописного) текста, включая необходимые иллюстрации и возможные модификации разрабатываемой структурной схемы.

Графическая часть работы (1 лист формата А1) включает:

- схему способа по заданию и ее описание в символах логико-математического языка [1, 2];
- структурную схему станка, выполненную в соответствии с принятыми в станковедении условными обозначениями элементов структурных схем.

Дополнительно по рекомендации преподавателя при выполнении курсовой работы может быть проведен патентный поиск (например, по интернету) технических решений, соответствующих решаемой задаче.

Примерное время выполнения курсовой работы – 40 часов.

2. АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

2.1. Методика кинематического анализа

Кинематическую (структурную) схему любого металлорежущего станка можно проанализировать, пользуясь общими теоретическими положениями, изложенными в [1, 2].

Примерный план анализа:

1. Кинематическую схему анализируют по частям, а не целиком, и, прежде всего, рассматривают кинематические группы, создающие движения формообразования, деления и врезания. В заключение рассматривают группы управления и вспомогательных движений.

2. Анализ схемы начинают не с источников движения (двигателей), а с поиска исполнительных звеньев и внутренних связей, обеспечивающих траектории исполнительных движений. Только после этого определяют внешние связи привода от двигателей.

3. При структурном анализе рассматривают структурные цепи, а при кинематической настройке станка – расчетные кинематические цепи. Структурные и расчетные цепи – это не одно и то же. Структурные цепи – это реальные цепи, обеспечивающие кинематические связи, необходимые для получения заданных параметров создаваемого исполнительного движения, а расчетные кинематические цепи состояются искусственно с целью определения неизвестных параметров органов настройки. Поэтому расчетные цепи могут отличаться от структурных цепей как по своему составу, так и по количеству.

В общем случае анализ кинематической схемы станка выполняется в такой последовательности:

1. Исходя из формы образуемой поверхности и режущего инструмента, а также из схемы формообразования, определяют количество и характер кинематических групп для движений формообразования, деления и врезания. После этого кинематическую схему разделяют на столько же частей.

2. Зная характер исполнительных движений, анализируют структуру каждой кинематической группы в отдельности. В группе находят внутреннюю и внешнюю кинематические связи и органы настройки для регулируемых параметров исполнительного движения.

3. Рассматривают остальную часть кинематической схемы, состоящую обычно из групп управления и вспомогательных движений.

4. Выводят формулы настройки (ФН) гитар и некоторых других настраиваемых органов.

Для вывода ФН по кинематической схеме намечают расчетную кинематическую цепь, связывающую исполнительные звенья или между собой, или с источником движения. По этой цепи определяют расчетные перемещения (РП) ее конечных звеньев. Под РП понимают исходное перемещение ведущего звена расчетной цепи в совокупности с результирующим перемещением ведомого звена этой цепи.

Наметить расчетные цепи для органов настройки, расположенных во внутренних связях, достаточно просто, так как структурные и расчетные для этих связей, как правило, имеют один и тот же состав. В случае когда внутренняя связь содержит более одного органа настройки, в ней для каждого из этих органов намечают отдельную расчетную цепь. Расчетные и структурные цепи для внешних связей обычно отличаются друг от друга.

При определении РП конечных звеньев внутренних расчетных цепей можно руководствоваться тем, что режущий инструмент, который для образования заданной поверхности совершает сложное исполнительное движение, всегда является звеном какой-либо механической передачи. Следовательно, передаточное отношение этой передачи должно быть использовано при определении РП инструмента и заготовки. На рисунке 2.1 показаны схемы механических передач, звенья которых используются в качестве режущего инструмента и образуемой поверхности, с указанием исполнительных движений, которые они совершают. Их РП приведены в таблице 2.1.

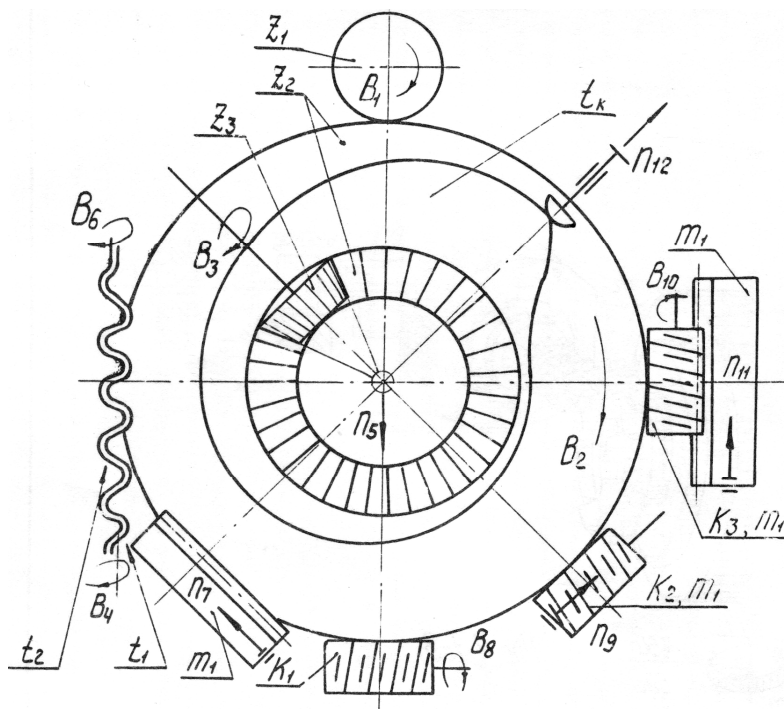


Рисунок 2.1 – Схемы передач для определения РП конечных звеньев внутренних связей

Для расчетных цепей деления РП зависят от способа соединения кинематических групп формообразования и деления.

При параллельном и последовательном соединении групп формообразования и деления РП имеют вид

$$n \text{ оборотов отсчетного звена} \rightarrow \frac{1}{z_3} \text{ оборота заготовки.}$$

Таблица 2.1 – Расчетные перемещения конечных звеньев внутренних кинематических (структурных) цепей

Зацепление	Исполнительное движение	Расчетные перемещения конечных звеньев
Цилиндрических зубчатых колес	$\Phi_1(B_1B_2)$	1 об. колеса $z_1 \rightarrow 1 \frac{z_1}{z_2}$ об. колеса z_2
Конических зубчатых колес	$\Phi_2(B_2B_3)$	1 об. колеса $z_3 \rightarrow 1 \frac{z_3}{z_2}$ об. колеса z_2
Ходового винта t_1 и гайки (колесо z_2)	$\Phi_3(B_4B_5)$	1 об. ходового винта $t_1 \rightarrow t_1$ мм продольного перемещения колеса z_2
Ходовых винтов t_1 и t_2	$\Phi_4(B_4B_6)$	1 об. ходового винта $t_1 \rightarrow 1$ об. ходового винта t_2
Рейки с колесом z_2	$\Phi_5(B_7B_2)$	L_7 мм перемещения рейки $\rightarrow \frac{L_7}{\pi m_1 z_2}$ об. колеса z_2
Червяка k_1 с червячным колесом z_2	$\Phi_6(B_8B_2)$	1 об. червяка $k_1 \rightarrow 1 \frac{k_1}{z_2}$ об. колеса z_2
Червяка k_2 с червячным колесом z_2	$\Phi_7(B_9B_2)$	L_2 мм перемещения червяка $\rightarrow \frac{L_2}{\pi m_1 z_7}$ об. колеса z_2
Червяка k_3 с гайкой (колесо z_2)	$\Phi_8(B_{10}B_5)$	1 об. червяка $k_1 \rightarrow \pi k_3 m_1$ мм перемещения колеса z_2
Червяка k_3 с рейкой	$\Phi_9(B_{10}B_{11})$	1 об. червяка $k_3 \rightarrow \pi k_3 m_1$ мм перемещения рейки
Кулачка t_k с толкателем	$\Phi_{10}(B_2B_{12})$	1 об. кулачка $\rightarrow t_k$ мм перемещения толкателя

При смешанном соединении групп формообразования и деления РП имеют вид

$$1 \text{ оборот распределительного вала (РВ)} \rightarrow \frac{z_i}{z_3} \text{ оборота заготовки,}$$

где z_3 – число нарезаемых зубьев;

z_i – целое число без общих множителей с z_3 .

Для органов настройки, расположенных в расчетных цепях подач, РП конечных звеньев (табл. 2.2) зависят от характера оценки скорости подачи (минутная, оборотная, цикловая) и от формы траектории движения подачи (линейная, круговая).

Цикловая подача характерна для станков автоматов и полуавтоматов, оснащенных временной механической системой управления. Такая система содержит распределительный вал (РВ), несущий кулачки (жесткие программоносители), управляющие циклом обработки и параметрами «путь» и «скорость» исполнительных (формообразующих) движений.

Таблица 2.2 – Расчетные перемещения конечных звеньев расчетных цепей подач

Вид подачи	Линейная	Круговая
Минутная	$n_m \text{ мин}^{-1}$ двигателя $\rightarrow s$ мм перемещения исполнительного звена подачи (например, стола фрезерного станка)	$n_m \text{ мин}^{-1}$ двигателя $\rightarrow n_u \text{ мин}^{-1}$ исполнительного звена подачи (например, шпинделя заготовки круглошлифовального станка)
Оборотная	1 оборот исполнительного звена группы резания $\rightarrow s$ мм перемещения исполнительного звена подачи (например, суппорта токарного станка)	1 оборот исполнительного звена группы резания $\rightarrow s_\delta$ мм дуговое перемещение исполнительного звена подачи (например, шпинделя заготовки станка)
Цикловая	<p>Для станков с временными системами управления 1, 3, 4 групп $\frac{n_m t_c}{60}$ оборотов двигателя \rightarrow 1 обороту распределительного вала.</p> <p>Для станков с временными системами управления 2 группы $\frac{n_m t_p}{60}$ оборотов двигателя $\rightarrow \frac{a_p^0}{360}$ оборота распределительного вала.</p> <p>Здесь t_c и t_p – соответственно, время выполнения цикла и время выполнения рабочих переходов; a_p^0 – угол поворота распределительного вала для выполнения рабочих переходов</p>	

Согласно РП составляют уравнение кинематической цепи (УКЦ), устанавливающее кинематическую связь между перемещениями исполнительных звеньев рассматриваемой цепи. Решая УКЦ относительно передаточного отношения органа настройки, получают ФН. Следует отметить, что ФН для каждого конкретного станка постоянна.

2.2. Пример анализа кинематической схемы станка

Рассмотрим использование методики анализа кинематической структуры на примере шлицефрезерного станка модели 5350. Основное назначение станка – фрезерование шлицевых валов. Возможно также фрезерование вал-шестерен. На рисунке 2.2 приведен общий вид станка. компоновка станка горизонтальная. В направляющих станины 1 перемещается задняя бабка 2, которую можно перемещать вдоль станины и закреплять в необходимом положении соответственно с размерами обрабатываемой детали. Деталь устанавливается в центрах передней 3 и задней 2 бабки. Фрезерная головка 4 несет шпиндель 5 червячной фрезы. Фрезерная головка смонтирована с возможностью поворота в вертикальной плоскости для установки оси червячной фрезы относительно детали под углом λ . При фрезеровании прямых шлицев этот угол равен углу β_ϕ подъема винтовой нарезки червячной фрезы. При нарезании винтовых шлицев и цилиндрических колес с винтовыми (косыми) зубьями ось червячной фрезы устанавливают в зависимости от углов наклона винтовых нарезок фрезы и обрабатываемой детали следующим образом:

– если углы наклона винтовых нарезок червячной фрезы β_ϕ и нарезаемой детали β_∂ одноименны (оба левые или оба правые), то угол установки оси фрезы равен $\lambda = \beta_\partial - \beta_\phi$;

– если углы наклона винтовых нарезок червячной фрезы β_ϕ и нарезаемой детали β_∂ разноименны (фреза левая, а деталь правая, и наоборот), то угол установки оси фрезы равен $\lambda = \beta_\partial + \beta_\phi$.

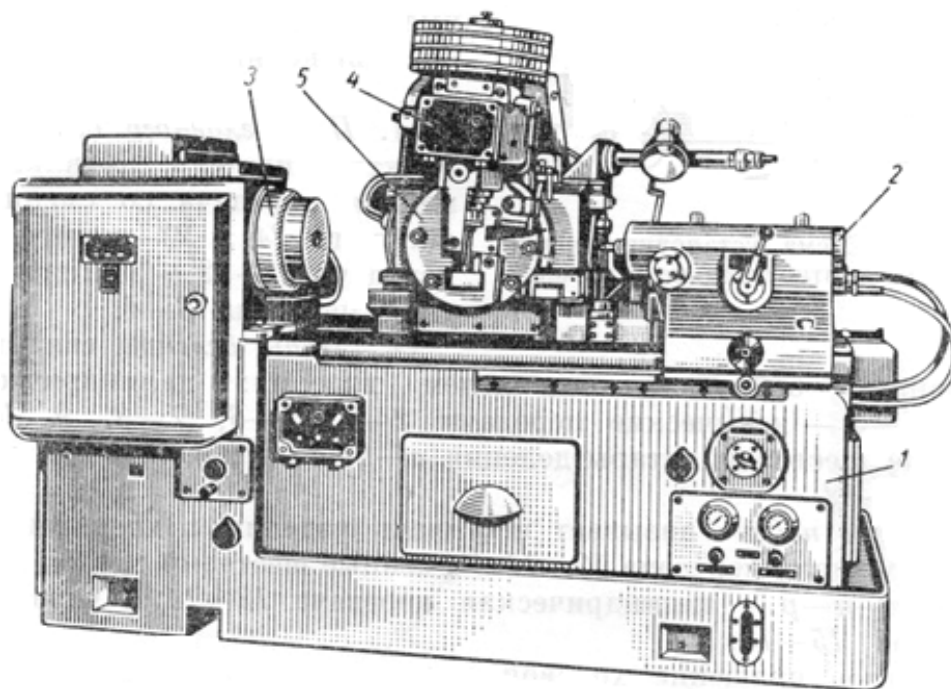


Рисунок 2.2 – Общий вид шлицефрезерного станка модели 5350

При обработке обрабатываемая заготовка (вал или вал-шестерня) вращается, а фрезерная головка перемещается относительно заготовки, параллельно линии центров станка (рис. 2.3).

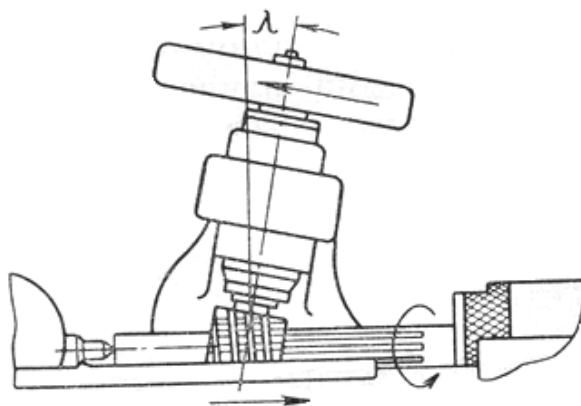


Рисунок 2.3 – Угол установки фрезы относительно оси обрабатываемой заготовки (вала)

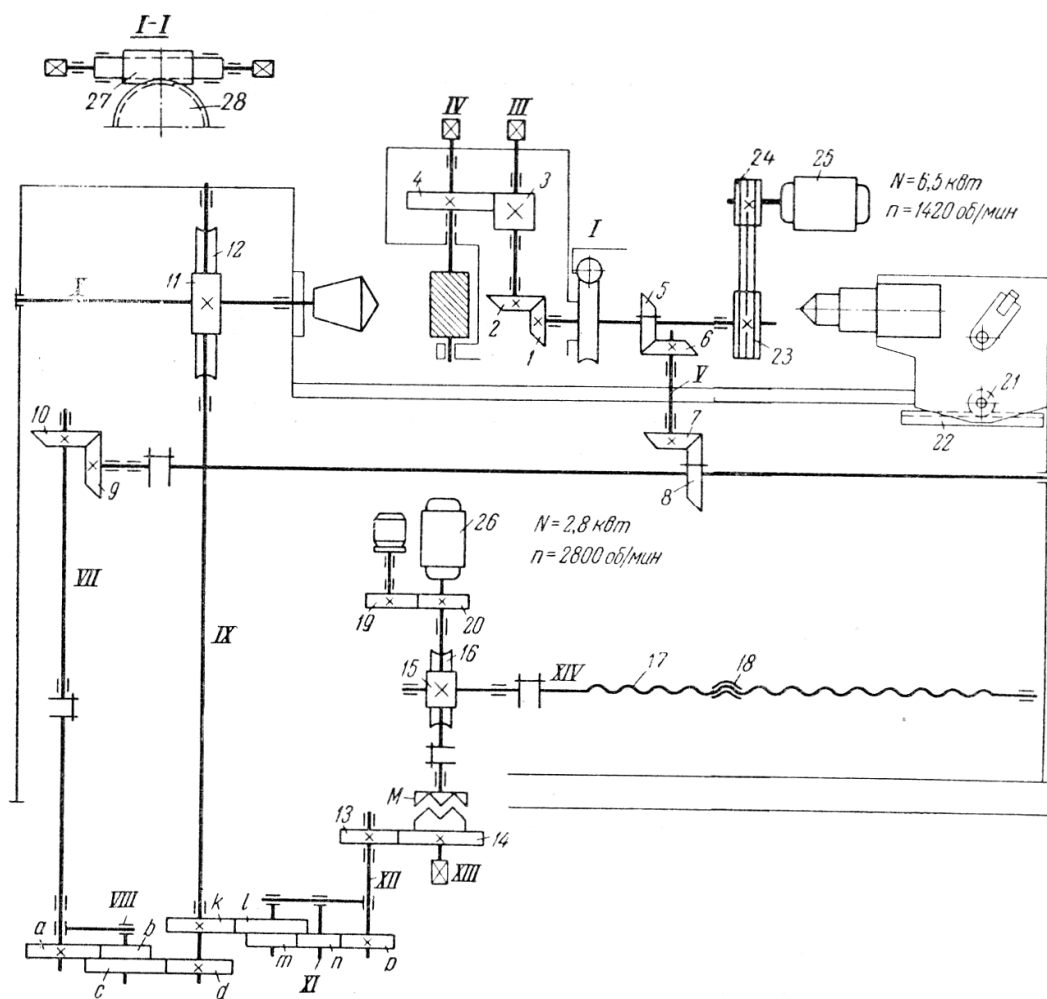


Рисунок 2.4 – Кинематическая схема станка модели 5350 по библиографическому источнику [3]

На рисунке 2.4 приведена кинематическая схема станка по библиографическому источнику [3]. В этой схеме допущены следующие существенные отклонения от требований ГОСТ 2.703 – 200 (Межгосударственный стандарт):

- позиции элементов схемы (зубчатые и червячные колеса, червяки и валы) показаны неверно;
- не приведены числа зубьев зубчатых и червячных колес, число заходов червяков и шаг передачи винт-гайка;
- неверно показаны электродвигатели и не соответствуют последней редакции стандарта обозначения их круговых частот;
- неправильно обозначены позиции зубчатых колес гитар сменных зубчатых колес.

На рисунке 2.5 приведена эта же схема, исправленная в соответствии с требованиями указанного выше стандарта.

Боковые поверхности прямобочных шлицев очерчены отрезками прямой, а боковые поверхности эвольвентных шлицев – отрезками левой и правой эвольвент. Линия прямобочных и эвольвентных шлицев по длине может быть как прямой, так и винтовой.

На анализируемом станке можно фрезеровать червячными шлицевыми и модульными фрезами прямобочные и эвольвентные шлицы и вал-шестерни с прямым и винтовым зубом. Следовательно, станок должен содержать две частные кинематические структуры, из которых одна предназначена для обработки прямых шлицев и цилиндрических прямозубых колес, а другая – для обработки винтовых шлицев и винтовых (косозубых) колес.

Рассмотрим частную кинематическую структуру для нарезания валов с винтовыми шлицами и винтовых (косозубых) колес.

Червячная фреза представляет собой совокупность исходных режущих реек, расположенных на цилиндре и смещенных одна относительно другой по винтовой линии. Режущий контур зубьев, каждый из которых имеет правую и левую режущие кромки в виде материальных линий, очерчен отрезками прямых для прямобочного шлица и отрезками левой и правой эвольвент для эвольвентного шлица (зуба колеса). Размеры режущих зубьев обычно соответствуют размерам впадин между нарезаемыми шлицами (зубьями), а их геометрическое взаимное положение обусловлено необходимостью выполнения делительного процесса и определяется окружным шагом нарезаемого шлицевого вала (зубчатого колеса). Форма режущей кромки червячной фрезы и форма профиля зуба или шлица нарезаемого вала различаются между собой. Поэтому профили шлицев (зубьев) можно получить только методом обката.

Воспроизводящая винтовая линия по длине шлица (зуба) образуется методом касания, так как образуемая винтовая линия является касательной к ряду дополнительных окружностей, создаваемых вращающимися материальными точками воспроизводящего режущего контура. Таким образом, образование боковой поверхности винтового шлица (зуба) будет осуществляться сочетанием обката (профиль шлица или зуба) и касания (линия шлица или зуба по длине).

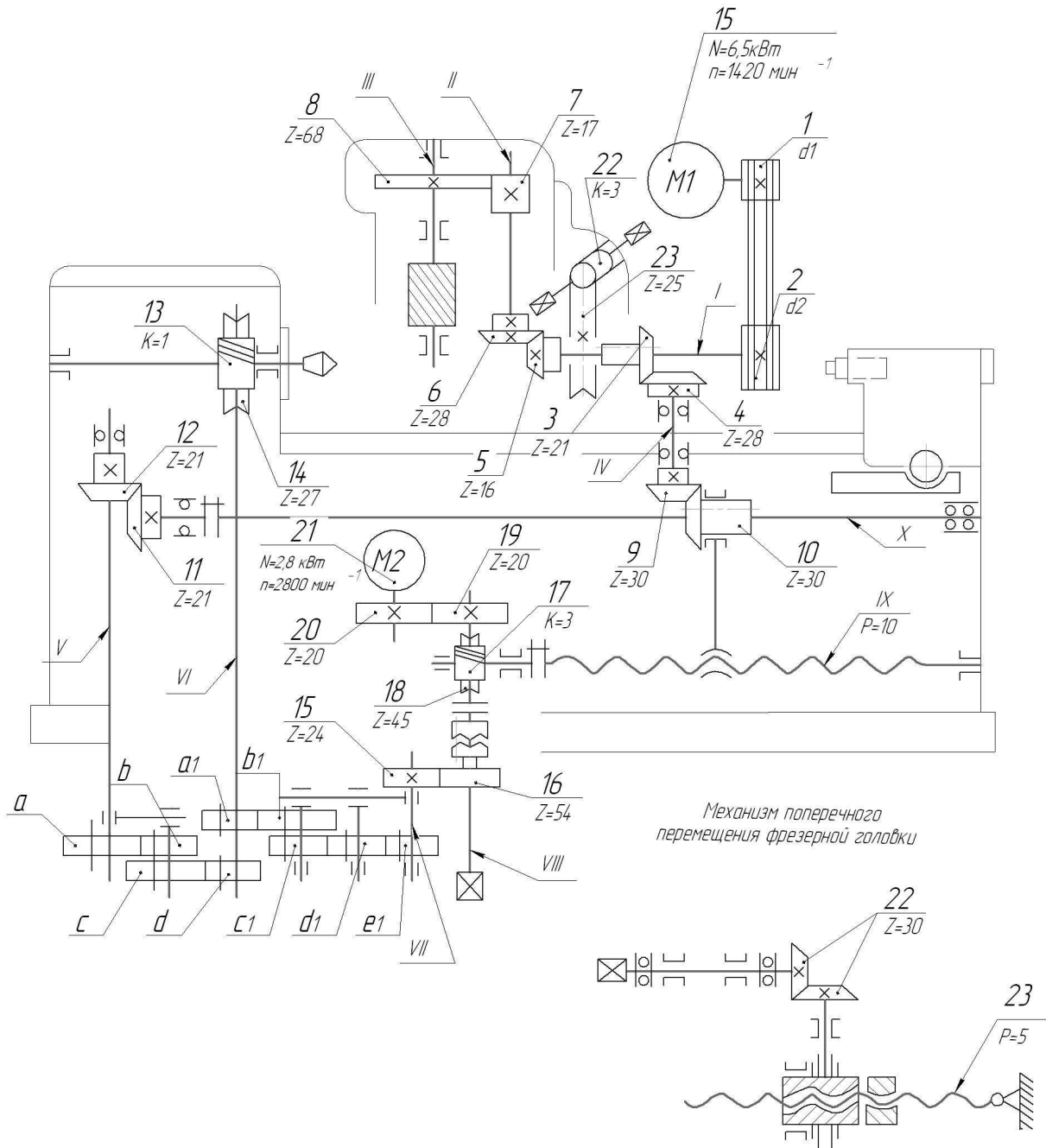


Рисунок 2.5 – Кинематическая схема станка модели 5350, исправленная по ГОСТ 2.703 – 200

По методу образования поверхности устанавливаем количество движений формообразования. Для воспроизведения профиля обкатом требуется одно сложное движение формообразования, состоящее из двух функционально связанных элементарных (простых) движений, а для воспроизведения линии по длине касанием – составное движение, состоящее из двух простых движений формообразования.

При фрезеровании червячными фрезами процессы деления и врезания осуществляются попутно в процессе формообразования. Следовательно, основная часть структуры станка должна состоять только из формообразующих групп.

По форме производящих геометрических линий образуемой поверхности и форме режущей кромки инструмента определяем состав каждого исполнительного движения и составляем условную запись этих движений. При формообразовании винтового шлица (зуба) червячной фрезой кинематическая структура станка должна воспроизводить два сложных движения формообразования: движение обката (скорости резания) $\Phi_v(B_1B_2)$ и винторезное движение (подачи) $\Phi_s(P_3B_4)$.

По условной записи исполнительных движений находим исполнительные звенья, совершающие соответствующие элементарные движения. В анализируемом станке такими звеньями являются шпиндель 1 фрезы, шпиндель 2 заготовки и фрезерная головка 3. Таким образом, четыре элементарных движения осуществляют только три подвижных звена. Следовательно, общему исполнительному звену (шпинделю 2) приходится совершать два элементарных движения B_1 и B_4 .

Два элементарных движения на одном звене физически суммируются с помощью дифференциала. Однако в кинематике станка он отсутствует. Слагаемые движения имеют одинаковую скоростную характеристику, продолжительность их одинакова и создаются они одним источником движения. Следовательно, эти движения суммируются математически без дифференциала. В этом случае запись исполнительных движений будет иной – $\Phi_v(B_1B_2 \pm B_4)$ и $\Phi_s(P_3)$. При этом между кинематическими группами обязательно должна быть кинематическая связь.

Анализируем состав кинематических групп. Группа формообразования, создающая движение обката $\Phi_v(B_1B_2 \pm B_4)$. Движение сложное, двух-элементарное, замкнутое, воспроизводит зацепление червячной передачи.

Внутренняя связь группы:

$$B_1 \rightarrow \frac{68}{17} \rightarrow \frac{24}{16} \rightarrow \frac{21}{28} \rightarrow \frac{30}{30} \rightarrow \frac{21}{21} \rightarrow \left[i_x = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \right] \rightarrow \frac{1}{27} \rightarrow B_2 \pm B_4.$$

Внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow \left[i_v = \frac{d_1}{d_2} \right] \rightarrow z_{21} \text{ (звено соединения связей).}$$

Группа настраивается по двум параметрам: на траекторию гитарой сменных зубчатых колес i_x и скорость резания сменными шкивами i_v .

Группа формообразования, создающая движение подачи $\Phi_s(\Pi_3)$. Движение подачи элементарное, незамкнутое.

Внутренняя связь группы – поступательная пара:

суппорт фрезерной головки → направляющие станины.

Внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow \left[i_v = \frac{d_1}{d_2} \right] \rightarrow \frac{21}{28} \rightarrow \frac{30}{30} \rightarrow \frac{21}{21} \rightarrow \left[i_x = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \right] \rightarrow \\ \rightarrow \left[i_s = \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{d_1}{e_1} \right] \rightarrow \frac{24}{54} \rightarrow \frac{3}{45} \rightarrow TB \rightarrow \Pi_3.$$

Группа настраивается по четырем параметрам: на скорость (подачу) гитарой i_s , на путь и исходную точку упорами системы управления, на направление реверсом, совмещенным с гитарой i_s .

Из приведенного анализа формообразующих групп $\Phi_v(B_1B_2 \pm B_4)$ и $\Phi_s(\Pi_3)$ следует, что часть внутренней связи группы Φ_v является также частью внешней связи группы Φ_s . Это обстоятельство подтверждает наличие между формообразующими группами кинематической связи. Следовательно, рассмотренное выше математическое сложение двух вращательных движений $B_2 \pm B_4$ на одном исполнительном звене справедливо. Уместно отметить, что исключение из кинематической структуры дифференциала при прочих равных условиях повышает кинематическую точность внутренней связи сложной кинематической группы Φ_v . Следствием этого является повышение точности кинематического параметра детали – шага винтовой линии шлица или зуба колеса.

В схеме предусмотрена ненастраиваемая вспомогательная группа $Vc(\Pi_5)$ для ускоренного перемещения фрезерной головки при наладке станка с приводом от отдельного электродвигателя M_2 . Ее внутренняя связь совпадает с внутренней связью группы $\Phi_s(\Pi_3)$.

Внешняя связь этой группы имеет вид:

$$M_2 \rightarrow \frac{3}{5} \rightarrow TB \rightarrow \Pi_5.$$

В кинематической структуре станка предусмотрены также группы $Bc(П_6)$ и $Bc(П_7)$ с ручным приводом для наладочных перемещений, соответственно, фрезерной головки и задней бабки.

Для нарезания прямых шлицев и прямозубых колес из сложного движения $\Phi_v(B_1B_2 \pm B_4)$ исключается элементарное движение B_4 шпинделя заготовки. Формально это не изменяет кинематическую структуру группы Φ_v . Однако ее настройка изменяется, так как отпадает необходимость в винторезном движении заготовки относительно инструмента. Таким образом, обе выше названные структуры различаются только настройкой формообразующей группы скорости резания Φ_v .

Вывод ФН для органов настройки i_x, i_v, i_s .

Орган настройки i_x . Внутренняя связь группы Φ_v содержит один орган настройки. Поэтому расчетная цепь для этого органа настройки совпадает с внутренней связью.

При нарезании прямых шлицев за один оборот заготовки (движение B_2) фреза делает $\frac{z}{k}$ оборотов (движение B_1) и перемещается по образующей цилиндра на величину s мм. Для получения винтовых шлицев при перемещении фрезы на величину s заготовка должна дополнительно повернуться на $\frac{s}{T}$ оборота (движение B_4), что соответствует дополнительному повороту фрезы на $\pm(\frac{z}{k}) \cdot (\frac{s}{T})$.

Следовательно, РП при нарезании винтовых шлицев и косозубых (винтовых) колес имеет вид:

$$1 \text{ об. заготовки } (B_2 \pm B_4) \rightarrow \frac{z}{k} \cdot (1 \pm \frac{s}{T}) \text{ об. фрезы } (B_1),$$

где k – число заходов фрезы;

z – число нарезаемых шлицев или зубьев колеса;

T – шаг винтовой линии шлицев или зубьев колеса;

s – подача, мм/об. заготовки.

УКЦ:

$$\frac{z}{k} \cdot (1 \pm \frac{s}{T}) = 1 \frac{27}{1} \cdot \frac{1}{i_x} \cdot \frac{21}{21} \cdot \frac{30}{30} \cdot \frac{28}{21} \cdot \frac{16}{24} \cdot \frac{17}{68}$$

ФН:

$$\left[i_x = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \right] = \frac{6k}{z(1 \pm \frac{s}{T})}$$

При нарезании прямых шлицев и прямозубых колес РП имеют вид:

$$1 \text{ об. заготовки } (B_2) \rightarrow \frac{z}{k} \text{ об. фрезы } (B_1).$$

УКЦ:

$$\frac{z}{k} = 1 \cdot \frac{27}{1} \cdot \frac{1}{i_x} \cdot \frac{21}{21} \cdot \frac{30}{30} \cdot \frac{28}{21} \cdot \frac{16}{24} \cdot \frac{17}{68}.$$

ФН:

$$\left[i_x = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \right] = \frac{6k}{z}.$$

Орган настройки i_v . Согласно нормативам резания при фрезеровании скорость резания принимается по круговой частоте фрезы. Поэтому расчетная цепь для i_v – это кинематическая цепь, связывающая электродвигатель M_1 с фрезой.

Следовательно, РП:

$$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{фр} \text{ мин}^{-1}(B_1).$$

Тогда УКЦ:

$$n_{фр} = [n_{M1} = 1420] i_v \cdot \frac{16}{24} \cdot \frac{17}{68}.$$

ФН:

$$\left[i_v = \frac{d_1}{d_2} \right] \cong \frac{n_{фр}}{240}.$$

Орган настройки i_s . Расчетная цепь – это кинематическая цепь, связывающая шпиндель заготовки с тяговым валом фрезерной головки. Поэтому РП:

$$1 \text{ об. заготовки} \rightarrow s \text{ мм продольного перемещения фрезы}.$$

УКЦ:

$$s = 1 \cdot \frac{1}{27} \cdot \left[i_s = \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{d_1}{e_1} \right] \cdot \frac{25}{54} \cdot \frac{3}{45} [P_{ТВ} = 10].$$

ФН:

$$i_s \cong \frac{s}{90}.$$

Ускоренное перемещение фрезерной головки при наладке станка осуществляется вспомогательной ненастраиваемой группой $Bc(II_5)$. Подача ускоренного перемещения определяется по ФН:

$$i_s = [M_2 = 2800] \cdot \frac{3}{45} \cdot [P_{ТВ} = 10] \cong 1,86 \text{ м/мин}.$$

Для изображения структурных схем металлорежущих станков в станковедении используется ряд условных обозначений конструктивных элементов этих схем (табл. 2.3).

На основе проведенного анализа кинематической схемы станка 5350 на рисунке 2.6 представлена его структурная схема. Приведем логико-математическое описание кинематических групп станка в общем виде по этой схеме.

Таблица 2.3 – Условные обозначения элементов структурных схем

Элемент	Название элемента	Элемент	Название элемента
	Суммирующий механизм	-----	Механическая кинематическая связь между элементами структурной схемы
	Реверсивный механизм	----->	Немеханическая связь между элементами структурной схемы
	Переключающий механизм		Орган настройки с постоянным передаточным отношением
	Соединительная муфта		Орган настройки с переменным передаточным отношением

Группа формообразования, создающая сложное, двухэлементарное, замкнутое движение обката $\Phi_v(B_1B_2 \pm B_4)$.

Внутренняя связь группы имеет вид:

$$B_1 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow i_x \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow B_2.$$

Внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow 5 \rightarrow i_v \rightarrow 3.$$

Группа настраивается по двум параметрам: на траекторию и скорость резания органами настройки, соответственно, i_v и i_s .

Группа формообразования, создающая простое, незамкнутое движение подачи $\Phi_s(P_3)$.

Внутренняя связь группы – поступательная пара:

суппорт фрезерной головки 3 → направляющие станины.

Внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow 5 \rightarrow i_v \rightarrow 3 \rightarrow i_x \rightarrow 2 \rightarrow i_s \rightarrow R_2 \rightarrow \text{муфта } 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow TB \rightarrow P_3.$$

Группа настраивается на скорость (подачу) органом настройки i_s , на путь и исходную точку упорами системы управления, на направление реверсом R .

Ненастраиваемая вспомогательная группа $Bc(П_4)$ для ускоренного перемещения суппорта фрезерной головки при наладке станка с приводом от отдельного электродвигателя M_2 . Ее внутренняя связь совпадает с внутренней связью группы Φ_s , а внешняя связь имеет вид:

$$M_2 \rightarrow 9 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow TB \rightarrow П_4.$$

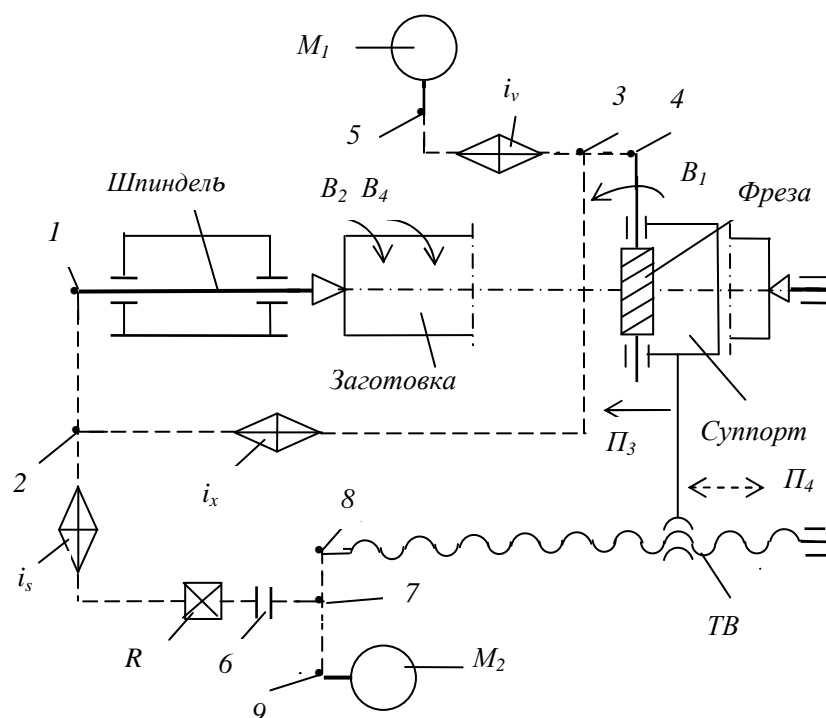


Рисунок 2.6 – Структурная схема шлицефрезерного станка модели 5350

Формообразующие группы имеют общий электродвигатель, и дополнительно часть внутренней связи группы Φ_v является также частью внешней связи группы Φ_s .

Вывод ФН для органов настройки i_x , i_v , i_s .

Орган настройки i_x .

РП имеют вид:

$$1 \text{ об. заготовки } (B_2 \pm B_4) \rightarrow \frac{z}{k} \cdot \left(1 \pm \frac{s}{T}\right) \text{ об. фрезы } (B_1),$$

где k – число заходов фрезы;

z – число нарезаемых шлицев;

T – шаг винтовой линии шлицев;

s – подача, мм/мин.

Тогда УКЦ:

$$\frac{z}{k} \cdot \left(1 \pm \frac{s}{T}\right) = 1 \cdot i_{01} \cdot \frac{1}{i_x}$$

ФН:

$$i_x = \frac{k \cdot c_1}{z \cdot (T \pm s)},$$

где $c_1 = i_{01}$ – константа конкретной модели станка, равная произведению передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

Орган настройки i_v .

РП имеют вид:

$$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{\text{фр}} \text{ мин}^{-1}(B_1).$$

Тогда УКЦ:

$$n_{\text{фр}} = n_{M1} \cdot i_{02} \cdot i_v.$$

ФН:

$$i_v = \frac{n_{\text{фр}}}{c_2},$$

где i_{02} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;

$c_2 = n_{M1} \cdot i_{02}$ – константа.

Орган настройки i_s .

РП имеют вид:

1 об. заготовки \rightarrow *s мм продольного перемещения фрезы.*

Тогда УКЦ:

$$s = 1 \cdot i_{03} \cdot i_s \cdot P_{TB}.$$

ФН:

$$i_s = \frac{s}{c_3},$$

где i_{03} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;

P_{TB} – шаг тягового вала;

$$c_3 = i_{03} \cdot P_{TB}.$$

Рассмотренный станок является базовой (исходной) моделью для шлицефрезерных станков различных типоразмеров, в том числе оснащенных системами ЧПУ.

2.3. Возможные модификации базовой структурной схемы шлицефрезерного станка

Современная тенденция в области станкостроения – использование отдельных приводов в формообразующих группах. На рисунке 2.7 приведена структурная схема шлицефрезерного станка, в котором формообразующие группы оснащены отдельными электродвигателями. Данная схема – это модификация кинематической структуры рассмотренного базового станка модели 5350. Как и базовая модель, она обеспечивает возможность обработки шлицевых валов как с прямыми, так и с винтовыми шлицами. Принципиальным отличием рассматриваемой схемы является необходимость использования суммирующего механизма для сложения двух движений на одном исполнительном органе.

Обе частные кинематические структуры анализируемой схемы включают общую сложную формообразующую группу скорости резания $\Phi_v(B_1B_2)$, воспроизводящую образующую – профиль шлицев (зубьев колес). Внутренняя связь этой группы имеет вид:

$$B_1 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow i_x \rightarrow 6 \rightarrow \Sigma \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow B_2.$$

Внешняя связь группы, соединяющая электродвигатель M_1 со звеном соединения связей 3, имеет вид:

$$M_1 \rightarrow 5 \rightarrow i_v \rightarrow 3.$$

Группа настраивается на траекторию и скорость резания органами настройки, соответственно, i_x и i_v .

Для воспроизведения направляющей – винтовой линии фрезеруемой поверхности (винтовых шлицев или винтовых и косозубых колес) – используется сложная формообразующая группа подачи $\Phi_s(P_3 B_4)$. Ее внутренняя связь имеет вид:

$$P_3 \rightarrow TV \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow \text{муфта } 9 \rightarrow R \rightarrow i_y \rightarrow 10 \rightarrow \Sigma \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow B_4.$$

Внешняя связь группы соединяет электродвигатель M_3 со звеном соединения связей 8 и имеет вид:

$$M_3 \rightarrow 11 \rightarrow i_s \rightarrow \text{муфта } 12 \rightarrow 8.$$

Группа настраивается по всем пяти параметрам: на траекторию органом настройки i_y , на скорость (подачу) органом настройки i_s , на направление реверсом R , на путь и исходную точку упорами системы управления.

Формообразующие группы $\Phi_v(B_1B_2)$ и $\Phi_s(P_3B_4)$ соединены суммирующим механизмом Σ и имеют общий участок во внутренних связях, соединяющий суммирующий механизм Σ со шпинделем станка.

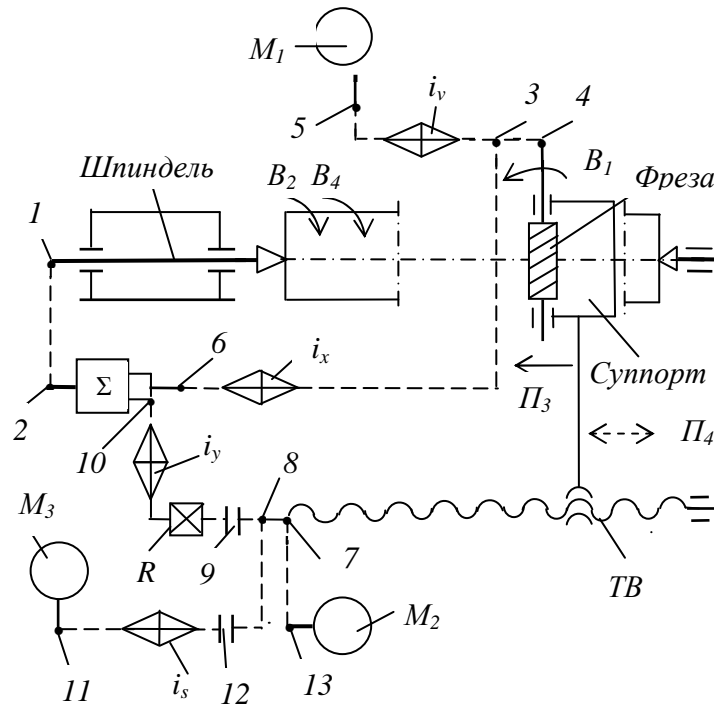


Рисунок 2.7 – Структурная схема шлицефрезерного станка с раздельным приводом

Для воспроизведения направляющей – прямой линии фрезеруемой поверхности (прямых шлицев или прямозубых колес) – используется простая формообразующая группа подачи $\Phi_s(\Pi_3)$. Ее внутренняя связь – поступательная пара суппорт фрезерной головки 3 → направляющие станины.

Внешняя связь:

$$M_3 \rightarrow 11 \rightarrow i_s \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow ТВ \rightarrow \Pi_3.$$

Группа настраивается на скорость (подачу) органом настройки i_s , на путь и исходную точку упорами системы управления.

Формообразующие группы $\Phi_v(B_1B_2)$ и $\Phi_s(\Pi_3)$ не имеют кинематической связи и соединены между собой через общее неподвижное исполнительное звено – станину станка.

Ненастраиваемая вспомогательная группа $Vc(\Pi_4)$ для ускоренного перемещения суппорта фрезерной головки при наладке станка с приводом от электродвигателя M_2 . Ее внутренняя связь совпадает с внутренней связью группы Φ_s , а внешняя связь имеет вид:

$$M_2 \rightarrow 13 \rightarrow 7 \rightarrow ТВ \rightarrow \Pi_4.$$

Вывод ФН для органов настройки i_x, i_y, i_v, i_s .

Орган настройки i_x .

РП имеют вид:

$$1 \text{ об. заготовки } (B_2) \rightarrow \frac{z}{k} \text{ об. фрезы } (B_1),$$

где k – число заходов фрезы;
 z – число нарезаемых шлицев.
Тогда УКЦ:

$$\frac{z}{k} = 1 \cdot i_{01} \cdot i_{\Sigma} \cdot \frac{1}{i_x},$$

где i_{Σ} – передаточное отношение суммирующего механизма при одном остановленном звене.

ФН:

$$i_x = k \cdot \frac{c_1}{z},$$

где $c_1 = i_{01} \cdot i_{\Sigma}$ – константа.

Орган настройки i_y . Расчетная цепь для этого органа настройки совпадает с внутренней связью группы $\Phi_s(P_3B_4)$, воспроизводящей винтовую направляющую. Поэтому РП для расчетной цепи, обеспечивающей согласование перемещения червячной фрезы вдоль заготовки с ее дополнительным вращением, имеют вид:

$$T \text{ мм перемещения фрезы } (P_3) \rightarrow 1 \text{ об. заготовки } (B_4),$$

где T – шаг винтовой линии нарезаемых шлицев (зубьев колес).
Тогда УКЦ:

$$1 = T / P_{TB} \cdot i_y \cdot i_{\Sigma} \cdot i_{02}.$$

ФН:

$$i_y = \frac{c_2}{T},$$

где $c_2 = P_{TB} \cdot i_{\Sigma} \cdot i_{02}$ – константа.

При нарезании колес с винтовыми зубьями в полученном выражении для ФН заменим T его значением. Из развертки зубчатого колеса с винтовым зубом

$$T = \frac{\pi m_s z}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{\pi m_n z}{\cos \beta} = \frac{\pi m_n z}{\sin \beta},$$

где m_s – модуль осевой;
 m_n – модуль нормальный;
 z – число зубьев нарезаемого колеса;
 β – угол наклона винтового зуба нарезаемого колеса.

После замены окончательно получим:

$$i_y = \frac{c_2 \sin \beta}{\pi m_n z}.$$

По полученной ФН передаточное отношение i_y вычисляют с точностью до пятого знака после запятой.

Орган настройки i_v .

РП имеют вид:

$$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{\phi p} \text{ мин}^{-1}(B_1).$$

Тогда УКЦ:

$$n_{\phi p} = n_{M1} \cdot i_{03} \cdot i_v.$$

ФН:

$$i_v = \frac{n_{\phi p}}{c_3},$$

где i_{03} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;

$c_3 = n_{M1} \cdot i_{03}$ – константа.

Орган настройки i_s . Обе частные структуры анализируемой схемы имеют одинаковую расчетную цепь, соединяющую электродвигатель M_3 с суппортом фрезерной головки. При использовании отдельного электродвигателя в группе подач величина скорости подачи определяется в мм/мин. Поэтому для органа настройки i_s РП имеют вид:

$$n_{M3} \text{ мин}^{-1} \text{ об.} \rightarrow s \text{ мм/мин продольного перемещения суппорта } (P_3).$$

Тогда УКЦ:

$$s = n_{M3} \cdot i_{04} \cdot i_s \cdot P_{TB}.$$

ФН:

$$i_s = \frac{s}{c_4},$$

где i_{04} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;

P_{TB} – шаг тягового вала;

$c_4 = n_{M3} \cdot i_{04} \cdot P_{TB}$ – константа.

Современная тенденция – использование в формообразующих группах регулируемых электродвигателей. Применение регулируемого электродвигателя в структурной схеме на рисунке 2.6, т. е. в станке модели 5350, позволяет отказаться от механического органа настройки i_v , а его функцию передать электродвигателю. Применение регулируемых электродвигателей

в формообразующих группах обеих частных структур схемы на рисунке 2.7 позволяет передать функции органов настройки i_v и i_s соответствующим электродвигателям. При применении регулируемых электродвигателей целесообразно также вместо механической (путевой) системы управления использовать программируемый контроллер.

Использование программируемого контроллера в кинематической структуре шлицефрезерного станка на рисунке 2.5 позволяет исключить из его схемы электродвигатель M_2 ускоренных перемещений (движение $П_4$). В этом случае функцию источника механической энергии во вспомогательной группе $Вс(П_4)$ будет выполнять электродвигатель M_3 , обеспечивающий функционирование формообразующих групп. При этом выбор параметра «скорость» (рабочая подача или позиционирование) будет осуществляться алгоритмом работы программируемого контроллера.

В станках с механическими связями основным органом настройки, обеспечивающим синхронное движение исполнительных органов при заданном передаточном отношении инструмент – заготовка, является гитара сменных зубчатых колес, расположенная во внутренней связи сложной формообразующей группы. В частной структуре шлицефрезерного станка для обработки винтовых шлицев (винтовых и косозубых колес) таких связей две, а в частной структуре для обработки прямых шлицев (прямозубых колес) – одна. Механические передачи этих связей являются основным источником погрешностей в первом случае – профиля и линии шлица (зуба), а во втором случае – профиля. Поэтому на шлице- и зубообрабатывающих станках с механическими связями при использовании червячных фрез обработка деталей более точных, чем 6-й квалитет точности, весьма проблематична. Это обстоятельство стало причиной поиска нетрадиционных технических решений на основе управляемых электродвигателей. Возможное техническое решение в этом направлении – замена механической внутренней связи системой синхронизации, выполненной из типовых интегральных схем с использованием высокомоментных электродвигателей постоянного тока. Рассмотрим одну из модификаций такого решения на примере фрезерования винтовых поверхностей – винтовых шлицев и косозубых колес (рис. 2.8).

Сложная формообразующая группа $\Phi_v(B_1B_2)$, воспроизводящая образующую – профиль винтовой поверхности. Ее внутренняя связь – станочное зацепление, воспроизводящее движение обката (аналог передачи червяк – червячное колесо):

$B_1 \rightarrow$ шпиндель червячной фрезы \rightarrow управляемый электродвигатель $M_1 \rightarrow$
 \rightarrow управляемый электродвигатель $M_2 \rightarrow$ шпиндель заготовки $\rightarrow B_2$.

Внешних связей, обеспечивающих внутреннюю связь энергией движения, две.

Первая внешняя связь:

управляемый электродвигатель $M_1 \rightarrow$ шпиндель червячной фрезы (B_1).

Вторая внешняя связь:

управляемый электродвигатель $M_2 \rightarrow$ шпиндель заготовки (B_2).

Сложная формообразующая группа $\Phi_s(P_3B_4)$, воспроизводящая направляющую – винтовую линию по длине винтовой поверхности. Ее внутренняя связь – станочное зацепление, воспроизводящее винтовое движение (аналог передачи винт – гайка):

$P_3 \rightarrow$ тяговый вал $TB \rightarrow$ управляемый электродвигатель $M_3 \rightarrow$ управляемый электродвигатель $M_2 \rightarrow$ шпиндель заготовки B_4 .

Внешних связей, обеспечивающих внутреннюю связь энергией движения, две.

Первая внешняя связь:

управляемый электродвигатель $M_3 \rightarrow$ тяговый вал TB суппорта червячной фрезы (P_3).

Вторая внешняя связь:

управляемый электродвигатель $M_2 \rightarrow$ шпиндель заготовки (P_4).

Регулирование круговых частот управляемых электродвигателей M_1 , M_2 , M_3 осуществляется электронной системой синхронизации. Конструктивно эта система входит в структуру устройства ЧПУ. Органы настройки параметров обработки – траектории обката и траектории винтового движения, а также скорость воспроизведения этих движений – скорость резания и скорость подачи – расположены в системе синхронизации.

Общим задатчиком для управляемых электродвигателей является эталонный генератор I , вырабатывающий задающий импульсный сигнал, частота которого превышает частоту импульсных сигналов – аналогов частот вращения шпинделя червячной фрезы, шпинделя заготовки и тягового вала суппорта. Эталонный генератор соединен с входами делителей частоты 2, 3, 4, 5. Делители частоты выполнены в виде счетчиков и соединенных с ними блоков установки коэффициентов деления соответственно. Функция этих блоков – установка передаточных отношений при настройке режимов обработки.

Выход делителя частоты 2 соединен с входом блока 6 круговой частоты шпинделя фрезы и первыми входами знакового 7 и фазового 8 дискриминаторов, вторые входы которых соединены с импульсным измерительным преобразователем 9, установленным на шпинделе фрезы. Выход фазового дискриминатора 8 соединен с входом импульсно-аналогового преобразователя 10, соединенного своим выходом с аналоговыми входами аналогового ключа 11, управляемого отрицательным потенциалом, и аналогового ключа 12, управляемого положительным потенциалом. Управляющие входы ключей 11 и 12 соединены с выходом знакового дискриминатора 7. Выход блока 6 круговой частоты шпинделя фрезы соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 13, у которого второй вход сложения и вход вычитания соединены, соответственно, с выходом аналогового ключа 11, управляемого отрицательным потенциалом, и с выходом аналогового ключа 12, управляемого положительным потенциалом. Выход параллельного сумматора 13 через усилитель мощности 14 соединен с управляемым электродвигателем M_1 .

Выход делителя частоты 3 соединен с входом блока 15 круговой частоты шпинделя заготовки в движении B_2 , выход которого соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 16. Выход делителя частоты 4 соединен с входом блока 17 круговой частоты шпинделя заготовки в движении B_4 , у которого выход соединен с входами ключей 18 и 19, управляемых положительным потенциалом. Выходы этих ключей соединены, соответственно, со вторым входом сложения и входом вычитания параллельного сумматора 16. Выход параллельного сумматора 16 соединен с входом аналого-импульсного преобразователя 20 и с первым входом сложения параллельного сумматора 21. Выход аналого-импульсного преобразователя 20 соединен с первыми входами знакового 22 и фазового 23 дискриминаторов, вторые входы которых соединены с импульсным измерительным преобразователем 24, установленным на шпинделе заготовки. Выход фазового дискриминатора 23 соединен с входом импульсно-аналогового преобразователя 25, соединенного своим выходом с аналоговыми входами аналогового ключа 26, управляемого отрицательным потенциалом, и аналогового ключа 27, управляемого положительным потенциалом. Управляющие входы ключей 26 и 27 соединены с выходом знакового дискриминатора 22. Выходы ключей 26 и 27 соединены, соответственно, со вторым входом сложения и входом вычитания параллельного сумматора 21. Выход этого сумматора через усилитель мощности 28 соединен с управляемым электродвигателем M_2 .

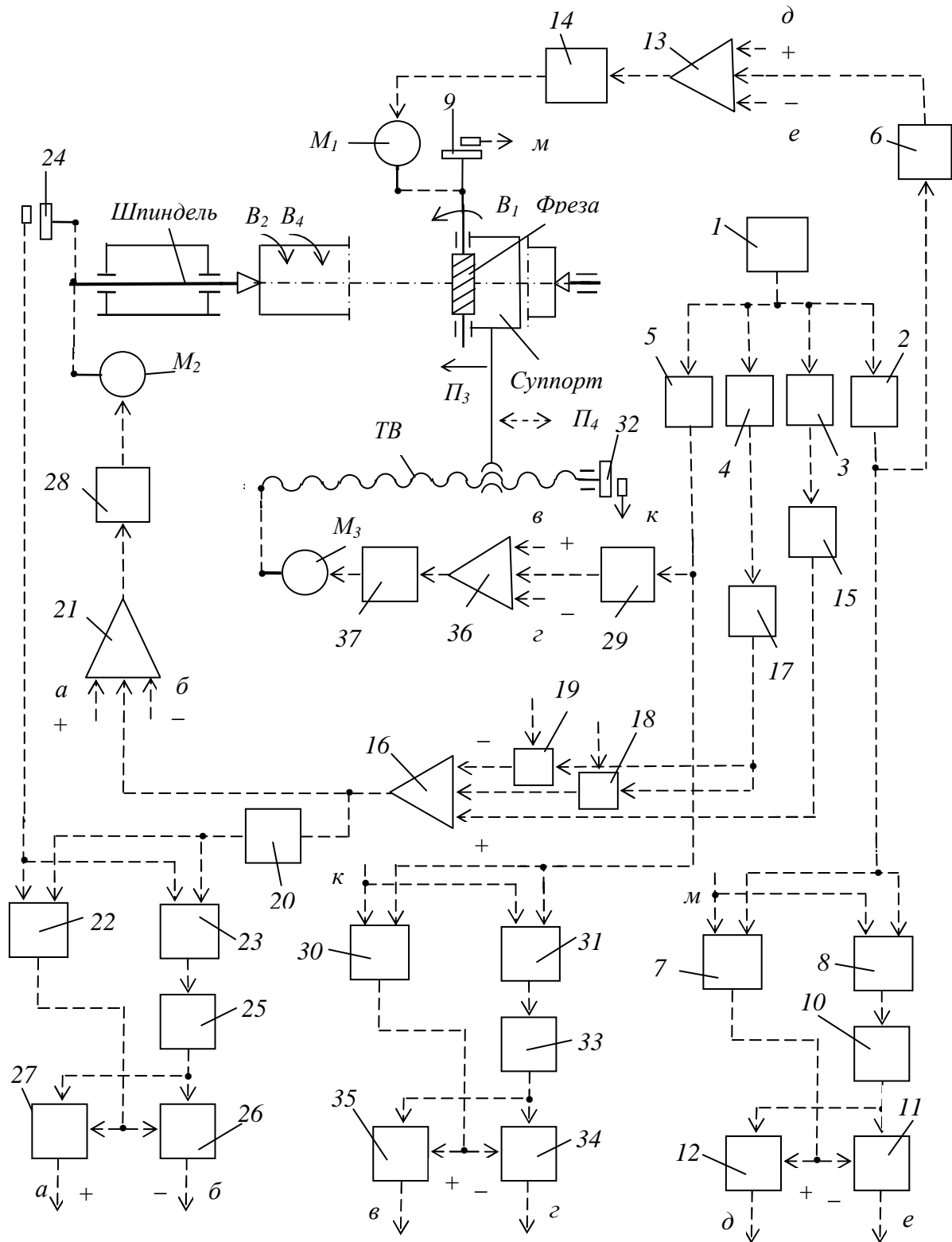


Рисунок 2.8 – Структурная схема шлицефрезерного станка с электронной системой синхронизации исполнительных органов

Выход делителя частоты 5 соединен с входом блока 29 круговой частоты вращения винта *ТВ*, преобразующего вращательное движение в продольную

подачу суппорта, и первыми входами знакового 30 и фазового 31 дискриминаторов, вторые входы которых соединены с импульсным измерительным преобразователем 32, установленным на винте TB . Выход фазового дискриминатора 31 соединен с входом импульсно-аналогового преобразователя 33, соединенного своим выходом с аналоговыми входами аналогового ключа 34, управляемого отрицательным потенциалом, и аналогового ключа 35, управляемого положительным потенциалом. Управляющие входы ключей 34 и 35 соединены с выходом знакового дискриминатора 30. Выход блока 29 круговой частоты винта TB соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 36, у которого второй вход сложения и вход вычитания соединены, соответственно, с выходом аналогового ключа 34, управляемого отрицательным потенциалом, и с выходом аналогового ключа 35, управляемого положительным потенциалом. Выход параллельного сумматора 36 через усилитель мощности 37 соединен с управляемым электродвигателем M_3 .

Блоки 6, 15, 17, 29 круговых частот, соответственно, шпинделя фрезы, шпинделя заготовки, винта TB тягового вала выполнены одинаково по схеме частота-напряжение. В этих блоках импульсные сигналы преобразуются в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. Функциональное назначение в устройстве – задание скорости резания в движении B_1 шпинделя червячной фрезы, суммарной круговой подачи шпинделя заготовки в движении $B_2 \pm B_4$, продольной подачи в движении Π_3 суппорта червячной фрезы.

Согласно нормативам резания, при шлице- и зубофрезеровании червячными фрезами скорость резания принимается по круговой частоте фрезы (движение B_1), а подача по ее перемещению – параллельно оси заготовки (движение Π_3). При настройке станка блоком установки коэффициента деления на выходе делителя частоты 2 задается частота импульсного сигнала, соответствующая напряжению постоянного тока на электродвигателе M_1 , при котором шпиндель червячной фрезы в движении B_1 вращается со скоростью, соответствующей заданной скорости резания. Аналогично блоком установки коэффициента деления задается частота импульсного сигнала на выходе делителя частоты 5, соответствующая напряжению постоянного тока на электродвигателе M_3 , при котором суппорт в движении Π_3 движется со скоростью, соответствующей заданной продольной подаче.

Расчетные перемещения для исполнительных органов станочного зацепления, воспроизводящего движение обката:

$$1 \text{ об. шпинделя фрезы } (B_1) \rightarrow \frac{k}{z} \text{ об. шпинделя заготовки } (B_2),$$

где k – число заходов червячной фрезы;

z – число нарезаемых шлицев или зубьев колеса.

Уравнение кинематической связи станочного зацепления:

$$\frac{k}{z} = 1 \cdot c_1 \cdot \frac{n_1}{n_2},$$

где c_1 – произведение передаточных отношений постоянных механических передач кинематической связи;

n_1 – круговая частота электродвигателя M_1 , соответствующая заданной скорости резания, мин⁻¹;

n_2 – круговая частота электродвигателя M_2 , которую необходимо установить при наладке, мин⁻¹.

В уравнении кинематической связи отношение круговых частот целесообразно заменить отношением коэффициентов деления:

$$\frac{k}{z} = 1 \cdot c_1 \cdot \frac{k_2}{k_3}.$$

По этому выражению определяется коэффициент деления, устанавливаемый на выходе делителя частоты 3:

$$k_3 = (c_1 \frac{z}{k}) \cdot k_2,$$

где k_2 – коэффициент деления, установленный на выходе делителя частоты 2, соответствующий заданной круговой частоте электродвигателя M_1 (скорости резания);

k_3 – коэффициент деления, который необходимо установить на выходе делителя частоты 3 для обеспечения функциональной связи шпинделя червячной фрезы и шпинделя заготовки.

Аналогично выводится коэффициент деления для установки на выходе делителя частоты 4. Расчетные перемещения для исполнительных органов станочного зацепления, воспроизводящего винтовое движение:

T мм перемещения суппорта ($П_3$) → 1 об. шпинделя заготовки (B_4),

где T – шаг винтовой линии нарезаемых шлицев или зубьев колеса.

Уравнение кинематической связи станочного зацепления:

$$1 = \frac{T}{P} \cdot \frac{n_3}{n_2} \cdot c_2,$$

где P – шаг тягового вала TB ;

c_2 – произведение передаточных отношений постоянных механических передач кинематической связи;

n_3 – круговая частота электродвигателя M_3 , соответствующая заданной подаче суппорта, мм/мин;

n_2 – круговая частота электродвигателя M_2 , которую необходимо установить при наладке, мм/мин.

После замены в уравнении кинематической связи отношения круговых частот коэффициентами деления это уравнение приобретает вид:

$$1 = \frac{T}{P} \cdot \frac{k_5}{k_4} \cdot c_2.$$

По этому выражению определяется коэффициент деления, устанавливаемый на выходе делителя частоты 4:

$$k_4 = \left(c_2 \frac{T}{P}\right) k_5,$$

где k_4 – коэффициент деления, который необходимо установить на выходе делителя частоты 4 для обеспечения функциональной связи суппорта червячной фрезы и шпинделя заготовки;

k_5 – коэффициент деления, установленный на выходе делителя частоты 5, соответствующий заданной круговой частоте электродвигателя M_3 , преобразуемой посредством ТВ в продольную подачу суппорта.

Шпиндель заготовки является исполнительным органом обоих станочных зацеплений. При работе устройства результирующая круговая частота шпинделя представляет собой математическую сумму $B_2 \pm B_4$ двух движений B_2 и B_4 , образующих совместно, соответственно, с движениями B_1 и Π_3 движение обката B_1B_2 и винтовое движение Π_3B_4 . Выбор знака в математической сумме движений зависит от направления винтовых линий обрабатываемой винтовой поверхности и червячной фрезы. Знак «+» соответствует условию, когда винтовые линии одноименны, например, обе левые, знак «-» соответствует условию, когда винтовые линии разноименны, например, одна правая, а другая левая. Необходимый знак устанавливается при наладке станка посредством подачи управляющего потенциала на потенциальный вход ключа 18 или ключа 19.

Станок работает следующим образом. Эталонный генератор 1 вырабатывает задающий высокочастотный импульсный сигнал. Этот сигнал поступает на вход делителей частоты 2, 3, 4, 5, в которых происходит деление задающего сигнала в соответствии с коэффициентами деления, установленными на делителях частоты.

Импульсный сигнал с выхода делителя частоты 2 поступает на вход блока 6 круговой частоты шпинделя червячной фрезы, где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. С выхода блока 6 сигнал через первый вход сложения – выход параллельного сумматора 13 – и усилитель мощности 14 поступает на управляемый

электродвигатель M_1 , который сообщает вращательное движение B_1 шпинделю червячной фрезы с круговой частотой, пропорциональной частоте сигнала на выходе делителя частоты 2. Синхронно с выхода делителя частоты 3 импульсный сигнал поступает на вход блока 15 круговой подачи шпинделя заготовки в движении B_2 , где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте. Выходной сигнал с блока 15 поступает на первый вход сложения параллельного сумматора 16. Синхронно с выхода делителя частоты 4 импульсный сигнал поступает на вход блока 17 круговой подачи шпинделя заготовки в движении B_4 , где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте. Выходной сигнал с блока 17 поступает в зависимости от знака математического сложения движений B_2 и B_4 на одном исполнительном органе или через ключ 18 на второй вход сложения параллельного сумматора 16, или через ключ 19 на вход вычитания этого параллельного сумматора. С выхода параллельного сумматора 16 результирующий сигнал через первый вход сложения – выход параллельного сумматора 21 – и усилитель мощности 28 сообщается управляемому электродвигателю M_2 , который сообщает вращательное движение $B_2 \pm B_4$ круговой подачи шпинделю заготовки с круговой частотой, согласованной с движениями B_1 и P_3 червячной фрезы. Синхронно с выхода делителя частоты 5 импульсный сигнал поступает на вход блока 29 продольной подачи суппорта червячной фрезы в движении P_3 , где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. Выходной сигнал с блока 29 через первый вход сложения – выход параллельного сумматора 36 – и усилитель мощности 37 сообщается управляемому электродвигателю M_3 , который посредством тягового вала TB (передача винт – гайка) сообщает движение P_3 суппорту червячной фрезы, пропорциональное частоте сигнала на выходе делителя частоты 5.

В итоге описанного прохождения сигнала от общего задатчика – эталонного генератора 1 к трем исполнительным органам – шпинделю червячной фрезы, шпинделю заготовки, суппорту червячной фрезы, образующим два станочных зацепления: обката шпиндель червячной фрезы – шпиндель заготовки и винтовое суппорт червячной фрезы – шпиндель заготовки, происходит воспроизведение профиля и винтовой линии по длине винтовой поверхности, т. е. винтовых шлицев или зубьев косозубого (винтового) колеса. При этом параллельный сумматор 16 выполняет ту же функцию, что и механический суммирующий механизм в структурной схеме станка на рисунке 2.7.

Одновременно с целью повышения точности обработки осуществляется устранение девиации механики исполнительных органов посредством коррекции сигналов управления электродвигателями, действующих на выходах параллельных сумматоров 13, 21, 35.

На первых входах фазового 8 и знакового 7 дискриминаторов постоянно действует импульсный сигнал с выхода делителя частоты 2. На вторые входы этих дискриминаторов поступает вырабатываемый импульсным измерительным преобразователем 9 импульсный сигнал, соответствующий мгновенному значению действительной круговой частоты шпинделя червячной фрезы. В обоих дискриминаторах непрерывно происходит сравнение задающего сигнала с сигналом о действительном мгновенном положении шпинделя. В результате на выходе фазового дискриминатора 8 непрерывно образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в импульсно-аналоговом преобразователе 10 поступает на аналоговые входы аналогового ключа 11, управляемого отрицательным потенциалом, и аналогового ключа 12, управляемого положительным потенциалом. На выходе знакового дискриминатора 7 образуется отрицательный потенциал при отставании шпинделя червячной фрезы от заданного значения и положительный потенциал при опережении. Этот сигнал поступает на управляющие входы аналоговых ключей 11 и 12 и открывает один из них. При открывании аналогового ключа 11, управляемого отрицательным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на второй вход сложения параллельного сумматора 13, а при открывании аналогового ключа 12, управляемого положительным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на вход вычитания параллельного сумматора 13. В этом параллельном сумматоре в зависимости от знака погрешности происходит увеличение или уменьшение сигнала, действующего на его первом входе сложения, т. е. происходит его двухсторонняя автоматическая коррекция (регулирование) относительно заданного номинального значения.

Одновременно результирующий аналоговый сигнал с выхода параллельного сумматора 16 поступает на вход аналого-импульсного преобразователя 20, где он преобразуется в импульсный сигнал, пропорциональный напряжению входного сигнала. С выхода этого преобразователя импульсный сигнал непрерывно поступает на первые входы знакового 22 и фазового 23 дискриминаторов. На вторые входы этих дискриминаторов непрерывно поступает вырабатываемый импульсным измерительным преобразователем 24 импульсный сигнал, соответствующий мгновенному значению действительной суммарной круговой частоты шпинделя заготовки. В обоих дискриминаторах непрерывно происходит сравнение задающего сигнала с сигналом о действительном мгновенном положении шпинделя. В результате на выходе фазового дискриминатора 23 непрерывно образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в импульсно-аналоговом преобразователе 25 поступает на аналоговые входы ключа 26, управляемого отрицательным потенциалом, и ключа 27, управляемого положительным потенциалом. На выходе

знакового дискриминатора 22 образуется отрицательный потенциал при отставании шпинделя заготовки от заданного значения и положительный потенциал при опережении. Этот сигнал поступает на управляющие входы аналоговых ключей 26 и 27 и открывает один из них. При открывании аналогового ключа 26, управляемого отрицательным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на второй вход сложения параллельного сумматора 21, а при открывании аналогового ключа 27, управляемого положительным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на вход вычитания параллельного сумматора 21. В параллельном сумматоре 21 в зависимости от знака погрешности происходит увеличение или уменьшение сигнала, действующего на его первом входе сложения, т. е. происходит его двухсторонняя автоматическая коррекция относительно заданного номинального значения.

На первых входах фазового 31 и знакового 30 дискриминаторов постоянно действует импульсный сигнал с выхода делителя частоты 5. На вторые входы этих дискриминаторов поступает вырабатываемый импульсным измерительным преобразователем 32 импульсный сигнал, соответствующий мгновенному значению действительной продольной подачи суппорта червячной фрезы. В обоих дискриминаторах непрерывно происходит сравнение задающего сигнала с сигналом о действительном мгновенном положении суппорта. В результате на выходе фазового дискриминатора 31 образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в импульсно-аналоговом преобразователе 33 поступает на аналоговые входы ключа 34, управляемого отрицательным потенциалом, и ключа 35, управляемого положительным потенциалом. На выходе знакового дискриминатора 30 образуется отрицательный потенциал при отставании суппорта от заданного значения и положительный потенциал при опережении. Этот сигнал поступает на управляющие входы аналоговых ключей 30 и 31 и открывает один из них. При открывании аналогового ключа 34, управляемого отрицательным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на второй вход сложения параллельного сумматора 36, а при открывании аналогового ключа 35, управляемого положительным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на вход вычитания параллельного сумматора 36. В этом параллельном сумматоре в зависимости от знака погрешности непрерывно происходит увеличение или уменьшение сигнала, действующего на его первом входе сложения, т. е. происходит его двухсторонняя автоматическая коррекция относительно заданного номинального (эталонного) значения.

Рассмотренную автоматическую коррекцию управляющего сигнала в настоящее время принято называть адаптивным предельным двухсторонним регулированием (управлением). В данном примере параметром, по которому осуществляется адаптация, является девиация круговой частоты механических приводов исполнительных органов.

Образец оформления титульного листа

Министерство образования Республики Беларусь

УО «Полоцкий государственный университет»

Кафедра ТиОМП

Курсовая работа

по дисциплине «Металлорежущие станки»

Тема:

Анализ кинематической схемы шлицефрезерного станка модели 5350

Выполнил:

(Фамилия И. О. студента, группа)

Руководитель:

(Фамилия И. О. преподавателя)

Новополоцк

2011

Образец задания к курсовой работе

УО «Полоцкий государственный университет»

Факультет *машиностроительный*

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ТиОМП профессор

Попок Н.Н.

«___» _____ 2011

ВАРИАНТ 1

по дисциплине «Металлорежущие станки»

Студенту группы

1. Тема: *Анализ кинематической схемы шлицефрезерного станка модели 5350*

2. Исходные данные: *Кинематическая схема шлицефрезерного станка модели 5350 по библиографическому источнику*

3. Срок сдачи законченной работы _____

4. Содержание расчетно-пояснительной записки
Введение.

1. Ксерокопия общего вида станка и его описание.

2. Ксерокопия кинематической схемы станка по библиографическому источнику. Проверка соответствия выполнения кинематической схемы требованиям ГОСТ 2.703 – 75 и ГОСТ 2.703 – 200 (Межгосударственный стандарт).

3. Определение на основе формы образуемой поверхности, характеристического образа инструмента и схемы формообразования количества групп для движений формообразования, деления и врезания.

4. Логико-математическое описание кинематических групп, образующих частные кинематические структуры станка.

5. *Выявление органов настройки параметров исполнительных движений и их характеристика.*
6. *Вывод формул настройки параметров исполнительных движений.*
7. *Характеристика связей между частными кинематическими структурами и отдельными кинематическими группами.*
8. *Составление на основе анализа кинематической схемы станка его структурной схемы и ее логико-математическое описание в общем виде.*
9. *Логическое описание обобщенной структурной схемы.*
10. *Патентный поиск технических решений по тематике курсовой работы.*
11. *На основе патентных и литературных источников отобразить тенденцию развития технических решений по тематике курсовой работы.*
12. *Библиографический список используемых источников.*

5. Перечень графического материала (1 лист формата А1).

1. *Кинематическая схема станка, оформленная по ГОСТ 2.703 – 75 и ГОСТ 2.703 – 200 (Межгосударственный стандарт).*
2. *Обобщенная структурная схема анализируемого станка.*
3. *Одна-две модификации обобщенной структурной схемы станка по материалам патентных и литературных источников.*

6. Календарный график выполнения курсовой работы.

7. Дата выдачи задания: _____

Руководитель _____
(подпись, Фамилия И. О.)

Задание принял к исполнению _____
(подпись студента, дата)

*Индивидуальные задания для выполнения
курсовой работы по анализу кинематической схемы*

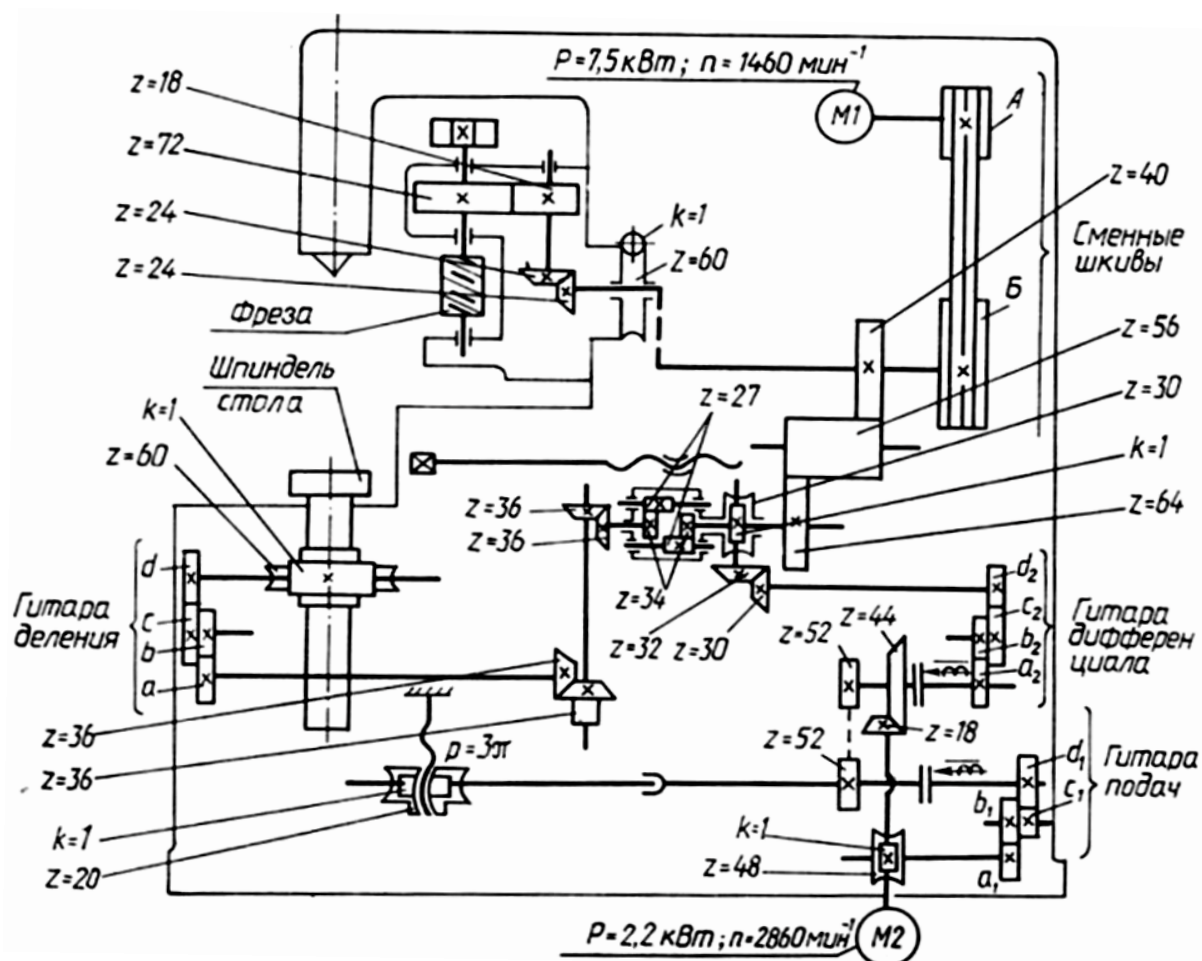
- 2.1. Токарно-винторезный станок модели 1К62 [6, с. 26].
- 2.2. Токарно-револьверный станок модели 1П325 [6, с. 40].
- 2.3. Токарно-карусельный станок модели 1508 [6, с. 46-47].
- 2.4. Вертикально-сверлильный станок модели 2А150 [6, с. 49].
- 2.5. Горизонтально-расточной станок модели 2625 [6, с. 54-55].
- 2.6. Координатно-расточной станок модели 2А45 [6, с. 57].
- 2.7. Горизонтально-фрезерный станок модели 6М82 [6, с. 62].
- 2.8. Внутришлифовальный станок модели 3А228 [6, с. 95].
- 2.9. Станок для фрезерования сверл модели 6793У [7, с. 193].
- 2.10. Токарно-винторезный станок с ЧПУ модели 16К20Ф3 [8, с. 77].
- 2.11. Вертикально-фрезерный станок с ЧПУ модели 6Р13РФ3 [8, с. 88].
- 2.12. Токарно-револьверный автомат модели 1Б140 [5, с. 18].
- 2.13. Радиально-сверлильный станок модели 2А55 [5, с. 32].
- 2.14. Координатно-расточной станок модели 2А450 [5, с. 37].
- 2.15. Токарный многолезцовый полуавтомат модели 1А730 [5, с. 22].
- 2.16. Токарно-револьверный станок модели 1341 [5, с. 14].
- 2.17. Круглошлифовальный станок модели 3М151 [7, с. 251].
- 2.18. Зубофрезерный полуавтомат модели 5К32А [5, с. 69].
- 2.19. Зубодолбежный полуавтомат модели 5140 [5, с. 71].
- 2.20. Токарно-затыловочный станок модели 1Е811 [7, с. 169].
- 2.21. Полуавтомат для фрезерования сверл модели 6793 [7, с. 193].
- 2.22. Резьбофрезерный полуавтомат модели 5Б63Г [7, с. 202].
- 2.23. Резьбошлифовальный станок модели 5К822В [7, с. 271].
- 2.24. Резьбошлифовальный полуавтомат модели МВ-13 [7, с. 275].
- 2.25. Зубошлифовальный полуавтомат модели 5А893С [7, с. 291].
- 2.26. Токарно-карусельный станок модели 1512 [9, с. 52].
- 2.27. Токарно-револьверный станок 1А365 [9, с. 58].
- 2.28. Токарный вертикальный восьми шпиндельный полуавтомат модели 1К282 [9, с. 78].
- 2.29. Лоботокарный станок с ЧПУ модели РТ 725Ф301 [9, с. 93].
- 2.30. Токарный патронный вертикальный станок с ЧПУ модели 1734Ф3 [9, с. 101].

2.31. Вертикально-сверлильный станок с ЧПУ модели 2Р135РФ2 [9, с. 121].

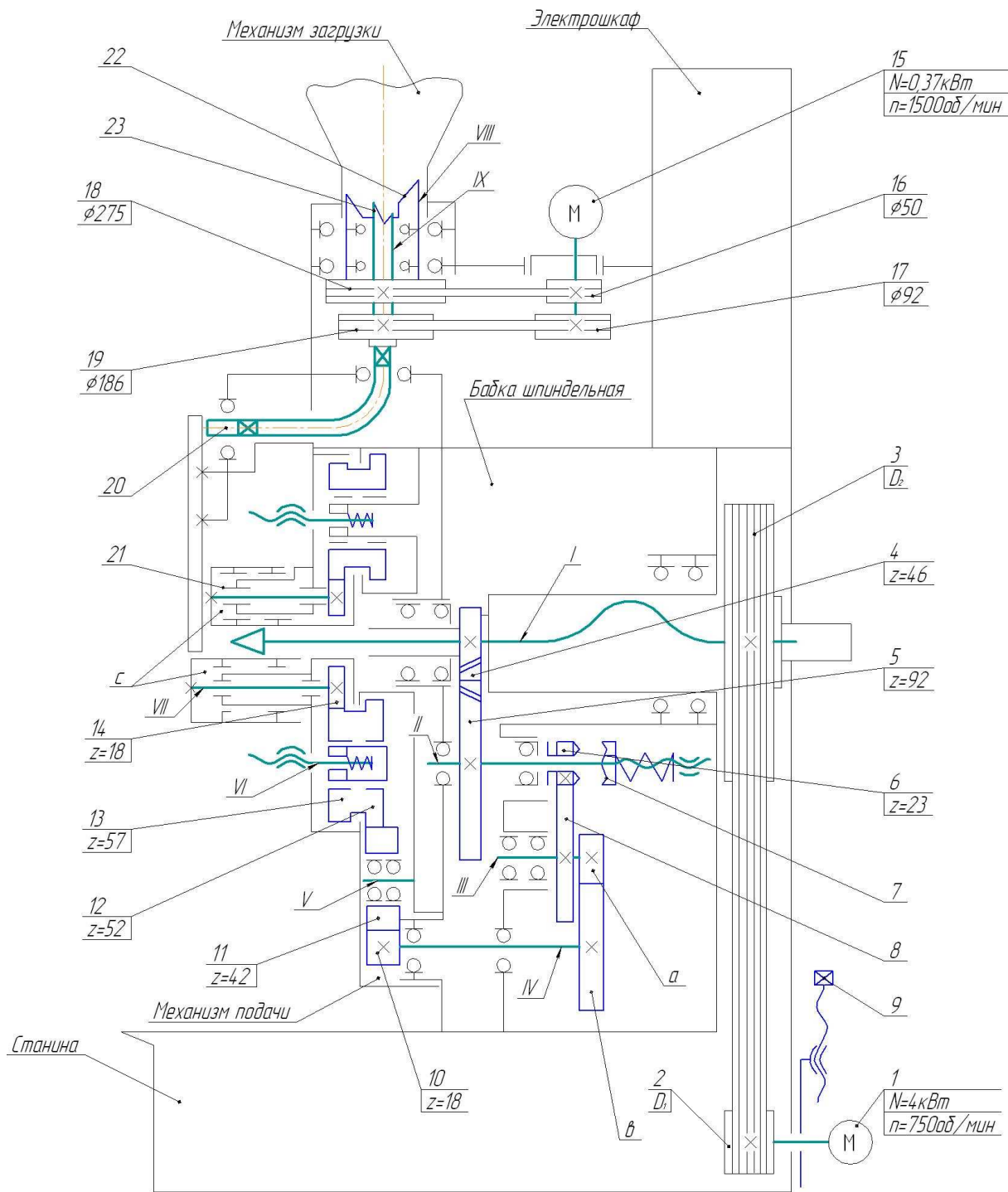
2.32. Вертикально-фрезерный станок с крестовым столом модели 6560 [9, с. 135].

2.33. Вертикально-фрезерный консольный станок с ЧПУ модели 6Р13РФ3 [9, с. 150].

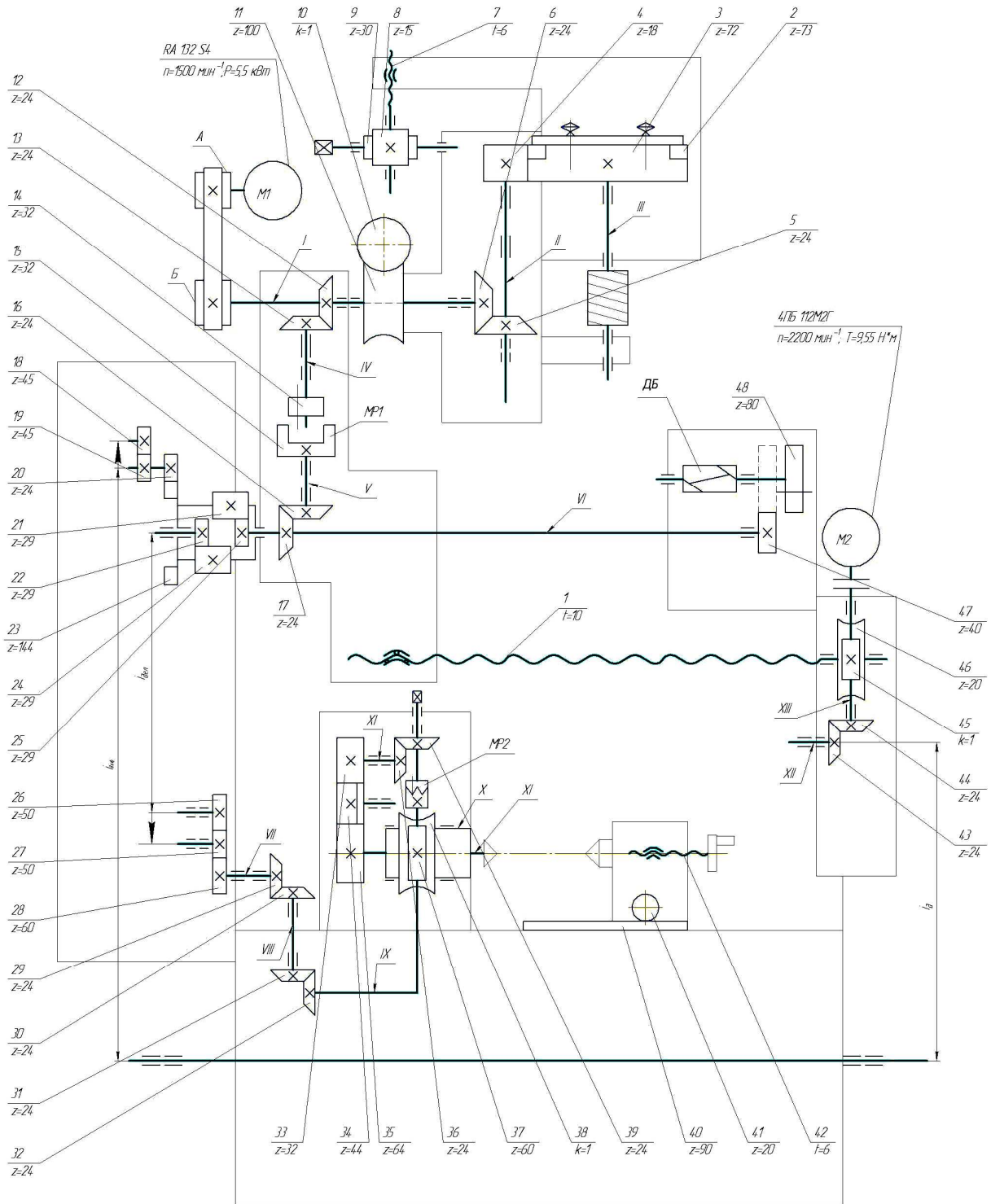
При выполнении курсовой работы возможно также использование кинематических схем новейших металлорежущих станков, выпускаемых в настоящее время. Кинематические схемы этих станков и их описание приводится в рабочих проектах и паспортах станков, а также в текущих периодических изданиях.



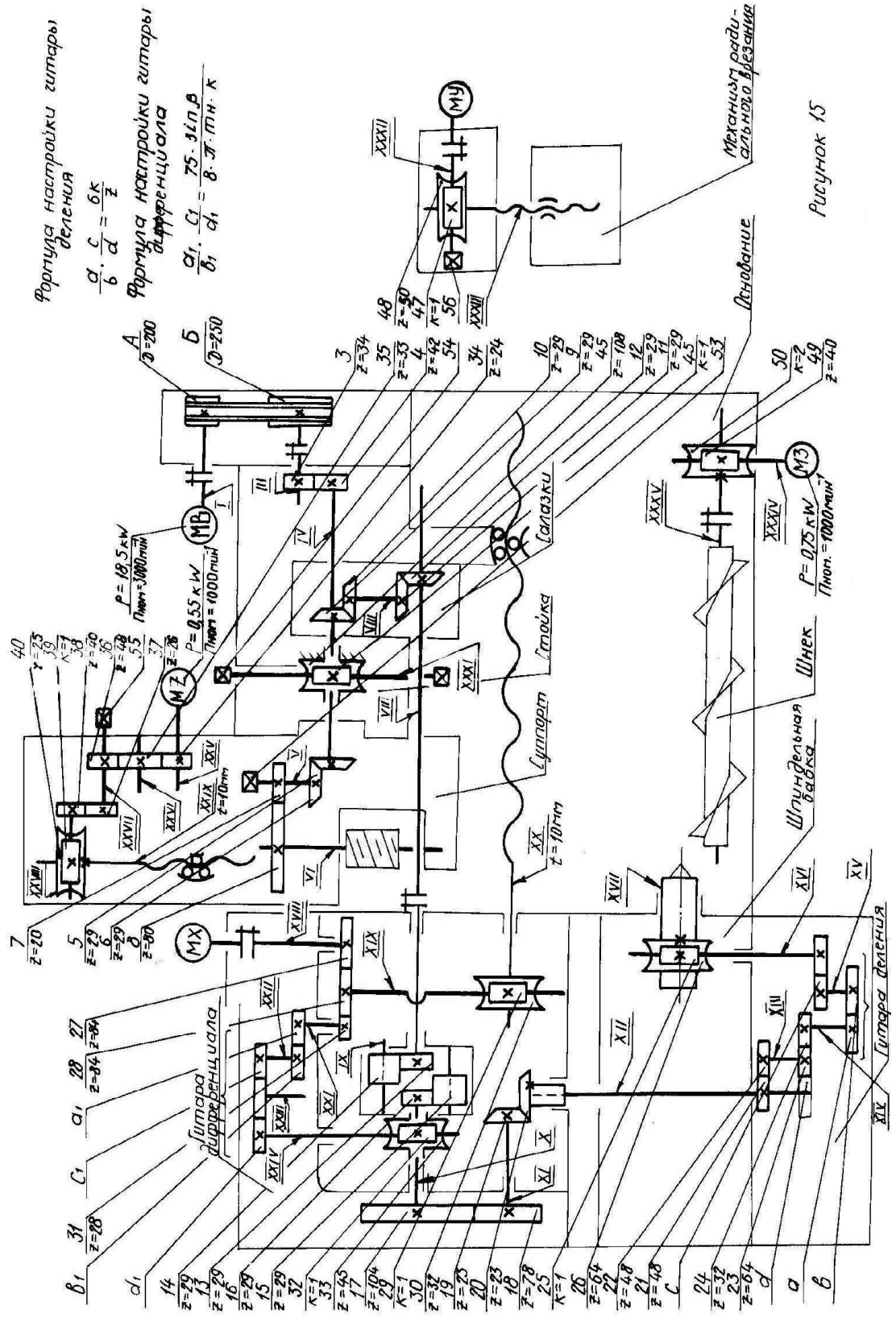
2.34. Кинематическая схема универсального зубофрезерного станка модели 5В12 («ВИСТАН», г. Витебск)



2.35. Кинематическая схема гайконарезного автомата модели 2А063 (Станкозавод г. Молодечно)



2.36. Кинематическая схема широкоуниверсального зубошлицефрезерного станка модели ВС-50 («ВИСТАН», г. Витебск)



2.37. Кинематическая схема полуавтомата шлицефрезерного с ЧПУ модели 5B352PF2 («ВИСТАН», г. Витебск)

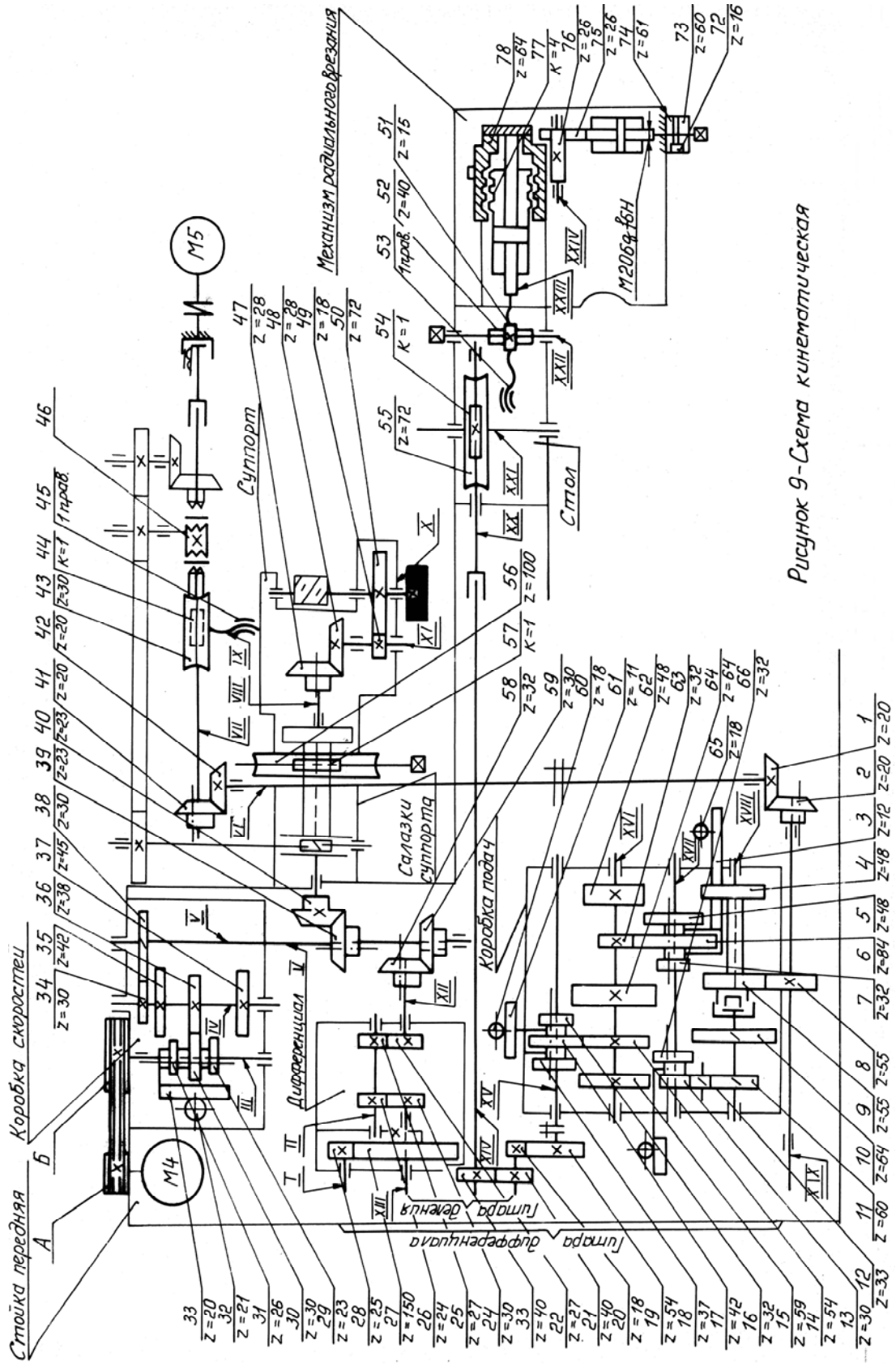


Рисунок 9 - Схема кинематическая

2.38. Кинематическая схема универсального зубофрезерного полуавтомата модели 53В30П («ВИСТАН», г. Витебск)

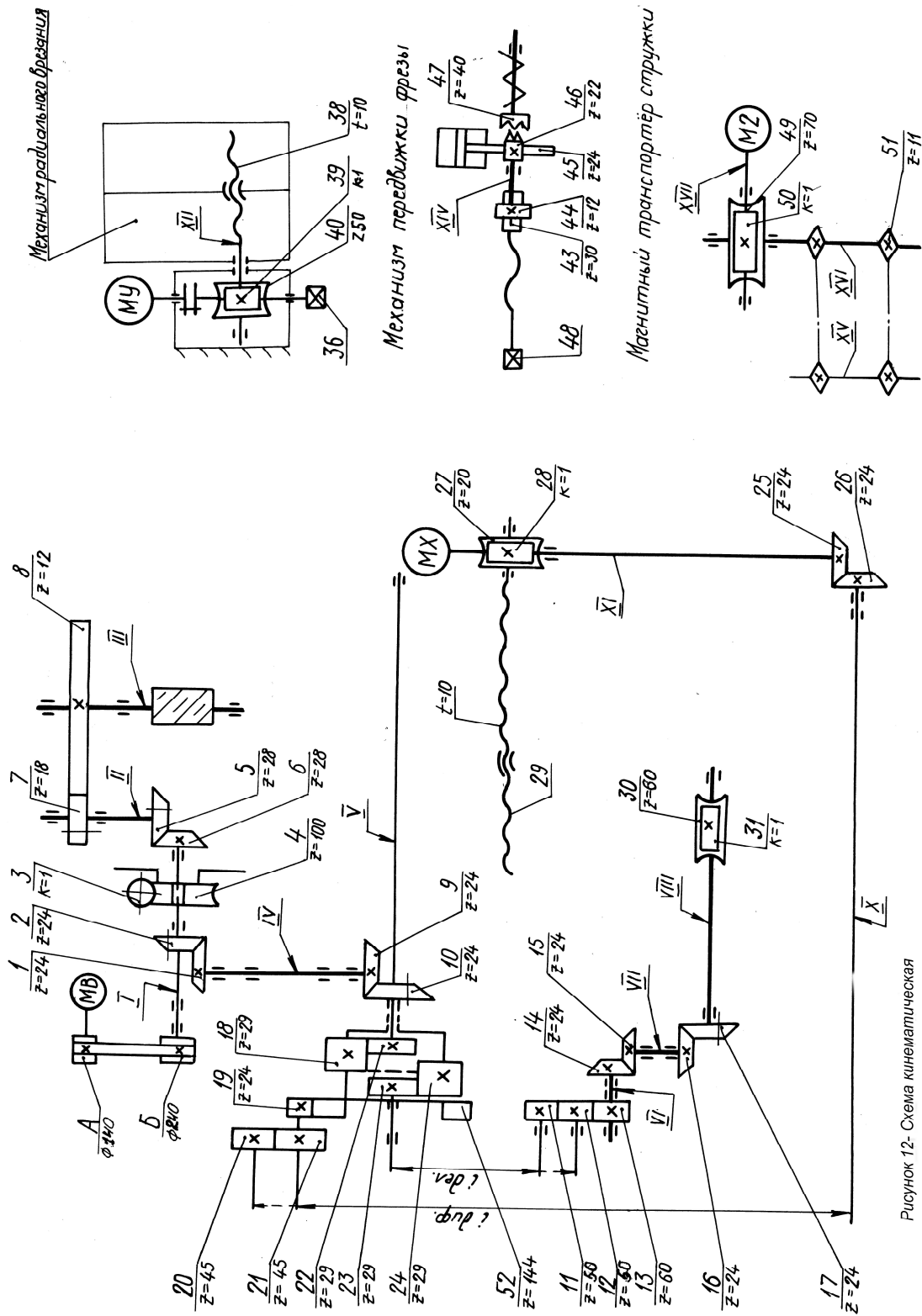
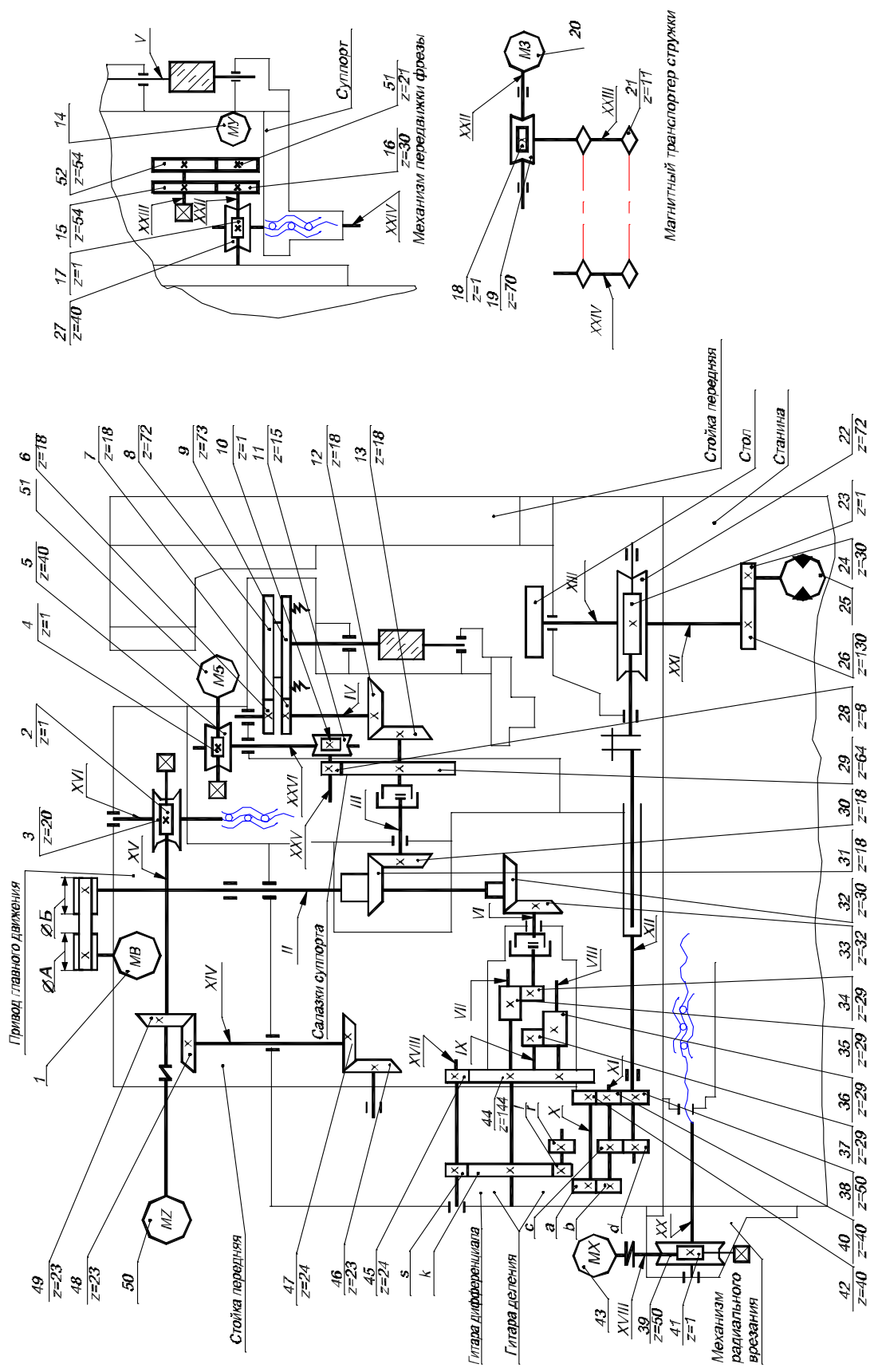
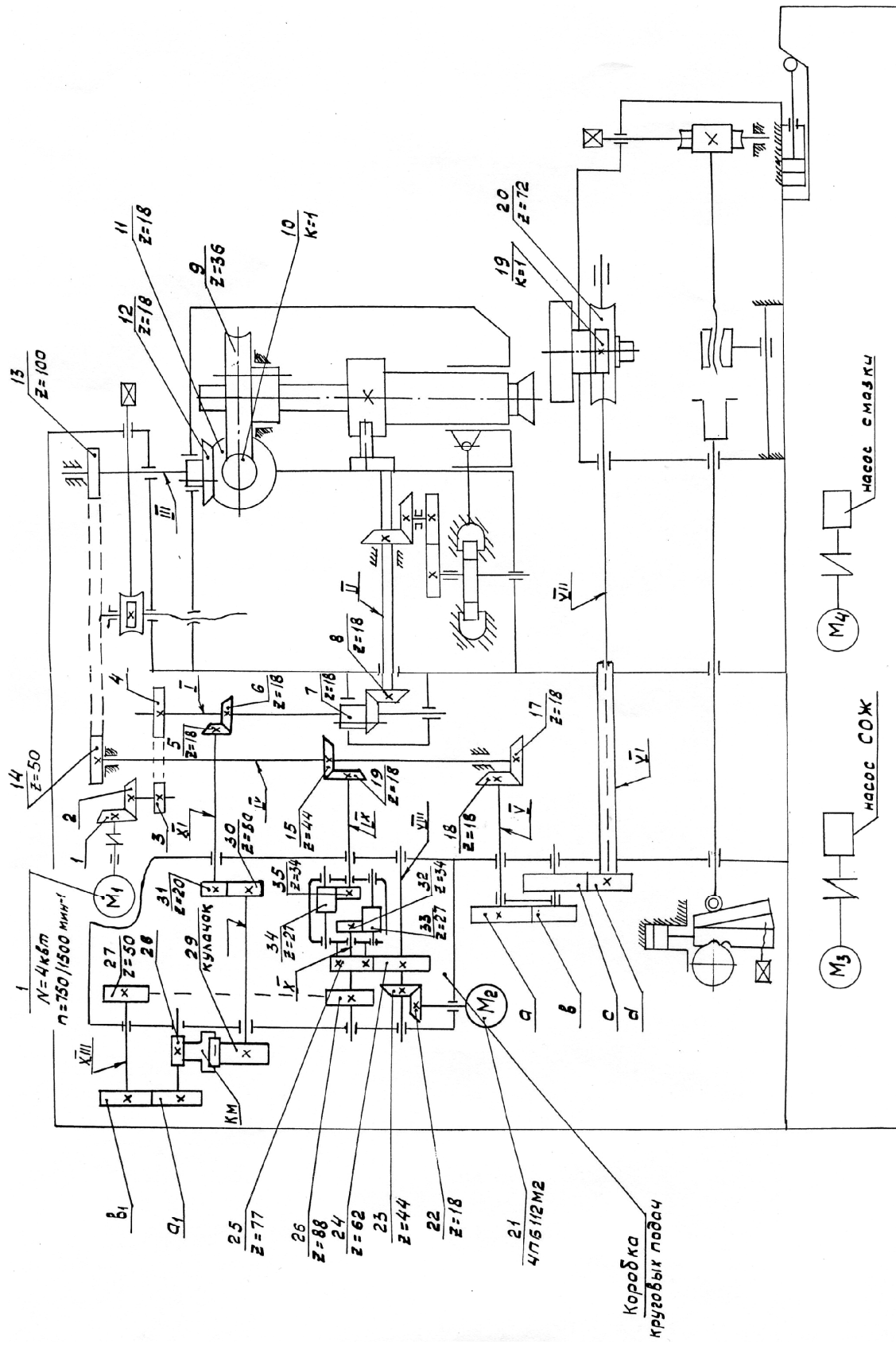


Рисунок 12- Схема кинематическая

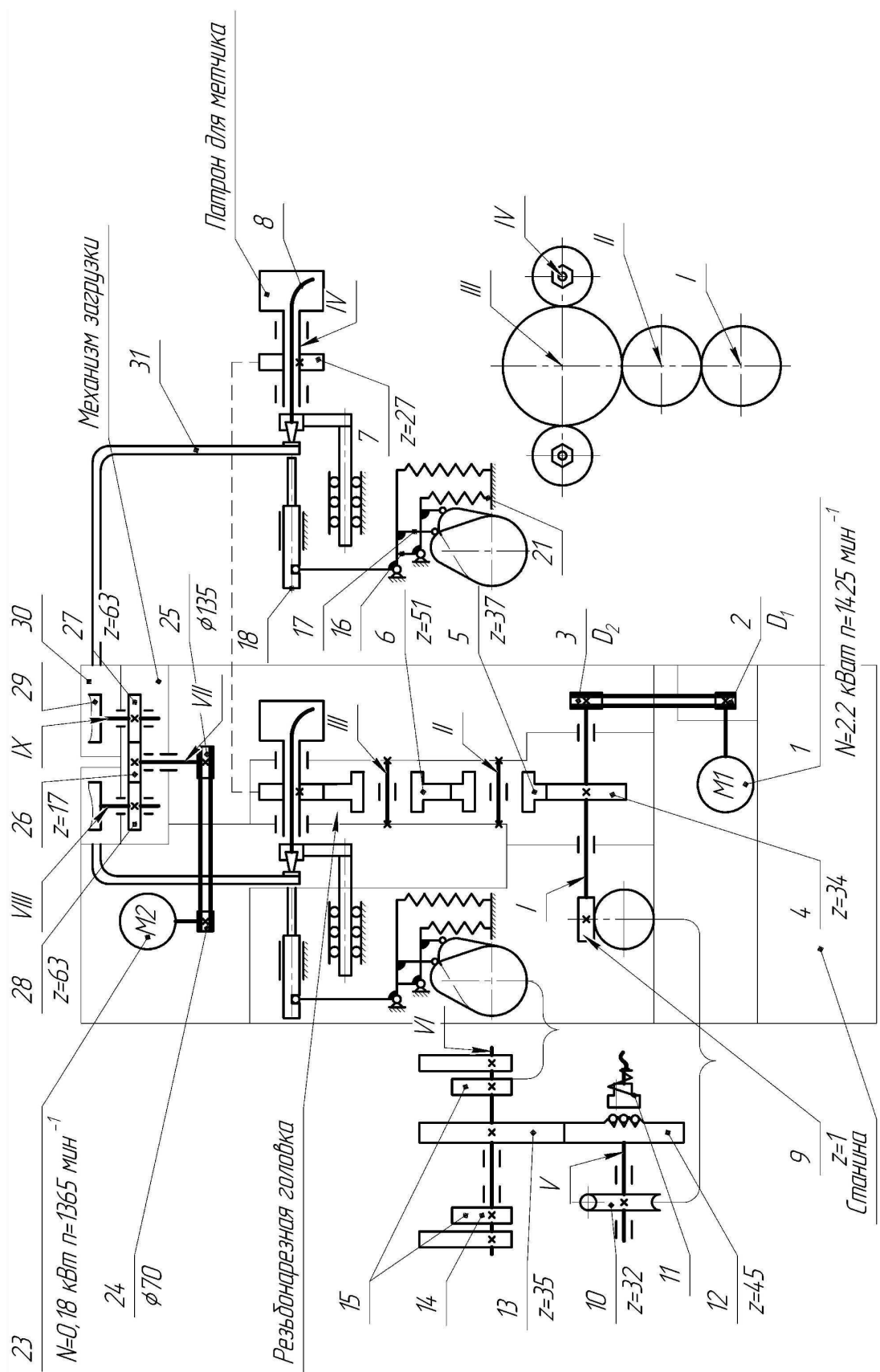
2.39. Кинематическая схема горизонтального зубошлицефрезерного полуавтомата модели ВС – 51ПФ2 («ВИСТАН», г. Витебск)



2.40. Кинематическая схема зубофрезерного полуавтомата модели ВС-Б35ПФ2 («ВИСТАН», г. Витебск)



2.41. Кинематическая схема модернизированного зубодолбежного станка модели ВС-122 (ШУ)



2.42. Кинематическая схема двухшпиндельного резьбонарезного автомата модели 2A062 (станкостроительный завод г. Молодечно)

3. СИНТЕЗ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

3.1. Методика разработки структурной схемы станка

Структурную схему металлорежущего станка можно разработать, пользуясь общими теоретическими положениями [4], относящимися к кинематике станков. В общем случае синтез структурной схемы складывается из ряда этапов.

Изделия, изготовленные на станках, редко имеют одну непрерывную поверхность. В большинстве случаев они ограничены несколькими элементарными вполне определенно ориентированными поверхностями. Поэтому, прежде всего, разделяют воспроизводимую поверхность на составляющие ее элементарные поверхности. Этот этап всегда связан с двумя противоречивыми моментами.

Элементарные поверхности по протяженности меньше всей заданной поверхности, и поэтому для них легко изготовить режущий инструмент. Вместе с тем это вызывает необходимость в делительном процессе, осуществление которого связано с обязательным введением отдельного движения деления, а следовательно, и более или менее развитой группы деления, что усложняет конструкцию станка и его эксплуатацию. При отказе от группы деления следует предусмотреть такую геометрическую форму инструмента, при которой делительный процесс осуществляется либо одним из движений, либо копированием формы инструмента. Однако это приводит к усложнению режущего инструмента. Характерным примером такого положения является обработка долблением цилиндрического прямозубого колеса.

Поверхность зубьев цилиндрического прямозубого колеса можно представить как два счетных множества одинаковых цилиндрических поверхностей с эвольвентной или иной направляющей. При долблении колеса одним профильным резцом после обработки каждой впадины необходимо производить деление. Для этого в станке должна быть предусмотрена точно настраиваемая группа деления. Это усложняет станок по сравнению со станком того же назначения, но без группы деления. Однако инструмент, в этом случае выполняемый в виде фасонного резца, довольно прост. Для осуществления деления необходимо дополнительное вспомогательное время, и поэтому рассматриваемый процесс зубодолбления малопроизводителен.

При совмещении движения деления с одним из формообразующих движений необходим более сложный инструмент – зуборезный долбяк. В этом случае при той же универсальности станка производительность его возрастает.

При отказе от движения деления боковые поверхности всех зубьев колеса удобнее рассматривать как единую поверхность. В этом случае конструкция зубодолбежного станка будет очень простой, а режущий инструмент (резцовая головка) еще более усложнится, так как потребуется столько фасонных резцов, сколько нарезается зубьев. Такой инструмент очень дорог и не универсален. Однако производительность станка будет очень высокой.

В практике станкостроения решение вопроса о выборе того или иного варианта осуществляется на основе технико-экономических расчетов.

По результатам оценки возможных вариантов получения поверхности выбирают образующую из двух геометрических производящих линий на обрабатываемой поверхности. При этом желательно реализовать ее в виде материальной линии – режущей кромки инструмента – с тем, чтобы использовать метод копирования, который в сочетании с методом следа приводит к минимальному количеству движений формообразования, следовательно, к простому в производстве станку. Однако этому препятствует неудовлетворительная работа режущей кромки при значительной ее протяженности и большой кривизне. Поэтому в качестве образующей выбирают более короткую и пологую линию (желательно, чтобы она была прямой). Затем подбирают форму вспомогательного производящего элемента (линию или точку) и его геометрическое положение относительно обрабатываемой поверхности. В общем случае это зависит от многих технологических факторов и прежде всего от требований, предъявляемых к точности и чистоте обрабатываемой поверхности и производительности.

При выборе образующей из двух геометрических производящих линий в ряде случаев необходимо учитывать размеры и массу обрабатываемой заготовки. На рисунке 3.1 приведены четыре кинематические схемы (кинематические подсистемы четырех способов точения цилиндрической поверхности), полученные посредством перераспределения двух элементарных – вращательного и поступательного – формообразующих движений между двумя взаимодействующими объектами – заготовкой и токарным резцом – или двумя исполнительными органами токарного станка – передней бабкой и суппортом. Обработка цилиндрической поверхности осуществляется двумя формообразующими движениями: вращательным движением скорости резания $\Phi_v(B)$ и движением подачи $\Phi_s(П)$.

По первой пионерной схеме (рис. 3.1, *a*), движение скорости резания $\Phi_v(B)$ сообщается заготовке 1, а движение подачи $\Phi_s(П)$ – резцу 2. Эта схема используется в токарно-винторезных и токарно-револьверных станках, токарно-револьверных и многошпиндельных токарных автоматах.

По второй схеме (рис. 3.1, б) оба формообразующих движения сообщаются заготовке 1. Область применения – обработка тонких, длинных деталей. В частности эта схема используется в продольно-отрезных токарных автоматах с подвижной в осевом направлении передней бабкой.

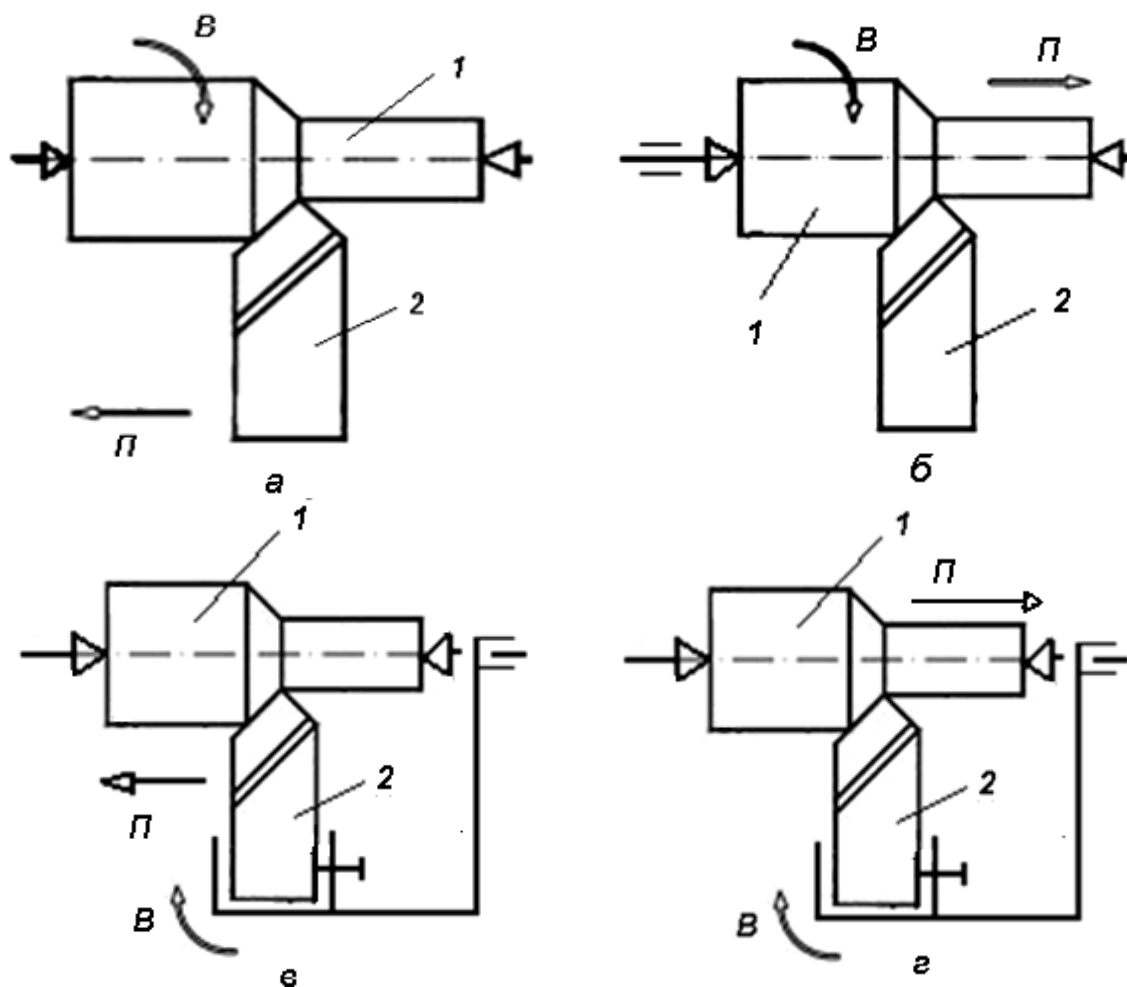


Рисунок 3.1 – Схемы способов токарной обработки цилиндрических поверхностей

По третьей схеме (рис. 3.1, в), обрабатываемая заготовка 1 неподвижна, а оба формообразующих движения сообщаются инструменту – резцу. Рациональная область применения – крупногабаритные заготовки большого диаметра.

По четвертой схеме (рис. 3.1, г), обрабатываемой заготовке 1 сообщают движение продольной подачи $\Phi_s(\Pi)$, а резцу 2 – движение скорости резания $\Phi_v(V)$. Известная область применения – модификация токарно-винторезных станков с большой высотой линии центров и длинной станиной для обработки баллера руля крупнотоннажных судов.

Формообразующая составляющая кинематической подсистемы способа обработки и, следовательно, кинематика соответствующего станка зависят

от структуры исполнительных движений. Оптимизация структуры этих движений имеет существенное значение при проектировании кинематики станочного оборудования. Обычно оптимизация исполнительных движений сводится к совмещению формообразующих движений на одном исполнительном звене. Общее количество формообразующих движений однозначно зависит от количества совмещенных элементарных движений и определяется по формуле

$$N_{\Phi} = N_O + N_H - \frac{N_C}{2},$$

где N_{Φ} – количество формообразующих движений, необходимых для воспроизведения геометрической поверхности;

N_O – количество формообразующих движений, необходимых для воспроизведения образующей геометрической поверхности;

N_H – количество формообразующих движений, необходимых для воспроизведения направляющей геометрической поверхности;

N_C – количество совмещенных элементарных формообразующих движений.

Примером использования принципа совмещения формообразующих движений является фрезерование червячной фрезой винтового шлицевого вала (см. рис. 2.6). В этом случае класс образования винтовой шлицевой поверхности – «обкат + касание». Теоретически для воспроизведения поверхности необходимо $N_{\Phi \text{ теор.}} = 2 + 2 = 4$ элементарных движения (три вращательных и одно поступательное). В действительности $N_{\Phi} = 2 + 1 = 3$, так как на шпинделе заготовки, т. е. на одном исполнительном звене, математически суммируются два элементарных движения – B_2 и B_4 .

Выбирают методы геометрического образования образующей и направляющей воспроизводимой поверхности. При этом учитывают в каждом конкретном случае влияние способа образования поверхности на ее качество. И если технологические условия выбора способа геометрического образования поверхности не являются решающими, то отдают предпочтение способам, требующим минимального количества исполнительных движений, обеспечивающих геометрическое образование поверхности, что позволяет создать относительно простой станок. Следует отметить, что исполнительные формообразующие движения могут быть как простыми одноэлементарными, так и сложными, состоящими из двух и более элементарных движений.

Каждое исполнительное движение воспроизводится отдельной кинематической группой, содержащей внутреннюю кинематическую связь, обеспечивающую траекторию исполнительного движения, и внешнюю связь,

передающую энергию от двигателя во внутреннюю связь через звено соединения связей и обеспечивающую необходимую скорость исполнительного движения.

Кинематические группы, у которых внутренняя связь содержит не менее одной кинематической цепи, называют сложными. В этих группах количество элементарных кинематических пар (вращательных и поступательных), обеспечивающих получение простых одноэлементарных движений, составляющих сложное исполнительное движение, всегда на единицу больше числа кинематических цепей внутренней связи. Следует также отметить, что возможны сложные кинематические группы, воспроизводящие простые исполнительные движения. Например, в токарных станках с ЧПУ направляющая конической поверхности (прямая линия) воспроизводится сложной кинематической группой, обеспечивающей два элементарных функционально связанных прямолинейных движения. При этом функциональная связь этих движений обеспечивается посредством интерполятора системы управления, который можно рассматривать как орган настройки на траекторию формообразующего движения.

Кинематические группы, у которых внутренняя связь выполнена в виде кинематической пары, называют простыми. Эти группы воспроизводят как простые, так и сложные исполнительные движения. Траектория исполнительного движения, воспроизводимого такими группами, однозначно определяется конструкцией кинематических пар, выполняющих функцию внутренних связей. В качестве примера можно привести винтовую кинематическую пару, выполняющую функцию внутренней связи в группе скорости резания в частной кинематической структуре зубодолбежного станка для нарезания косозубых колес. Названная кинематическая пара обеспечивает в простой кинематической группе сложное формообразующее (винтовое) движение.

Исходя из выбранного способа геометрического образования обрабатываемой поверхности и из технологического назначения станка, для каждого исполнительного движения проектируют кинематическую группу.

Кинематическая структура станка может состоять из одной кинематической группы, создающей одно исполнительное движение формообразования – движение скорости резания. В этом случае кинематическая структура станка – это структура кинематической группы. В качестве примера можно указать на протяжные станки, в которых одним исполнительным движением осуществляется несколько процессов: процессы формообразования, врезания и в некоторых случаях деления. Чаще всего в станках создается несколько исполнительных движений, при этом кинематическая

структура станка составляется из нескольких кинематических групп и зависит, прежде всего, от числа этих групп, их характера и назначения.

Основная часть кинематической структуры станка, содержащая группы формообразования, деления и врезания, обычно не является простой суммой нескольких кинематических групп. Большое влияние на нее оказывает также способ соединения групп между собой. Существуют следующие способы кинематического соединения групп в общей структуре станка:

- через общее неподвижное исполнительное звено;
- через общую исполнительную кинематическую пару;
- через общий двигатель;
- через внутригрупповые, внутреннюю и внешнюю кинематические связи (параллельное, последовательное и смешанное соединения);
- через межгрупповую кинематическую связь.

В рассмотренном выше шлицефрезерном станке (см. рис. 2.6) формообразующие группы соединены через общую исполнительную кинематическую пару – шпиндель заготовки, общий электродвигатель – и межгрупповую кинематическую связь.

Схема соединения кинематических групп оказывает значительное влияние не только на кинематическую структуру станка, но и на его конструктивное оформление.

Выбор схемы соединения кинематических групп в общую структуру станка является сложной многовариантной задачей. Для ее решения обычно используют принцип поиска, в основе которого лежит интуиция, опирающаяся на опыт, и известные аналогичные ситуации, сложившиеся в той или иной области станкостроения.

В заключение на общей структурной схеме станка размещают органы настройки, составляют РП, УКЦ и определяют ФН.

3.2. Последовательность разработки частных структурных схем станка

Станки общего назначения, как правило, включают несколько частных кинематических структур. Например, универсальные токарно-винторезные станки обычно содержат следующие кинематические структуры: для продольного точения (обработка цилиндрических поверхностей), для поперечного точения (обработка торцевых поверхностей) и нарезания резьбы. Каждая частная структура реализует вполне определенный способ формообразующей обработки.

Рассмотрим последовательность разработки частных структурных схем токарно-винторезного станка для обработки цилиндрических поверхностей и нарезания резьбы. Процесс разработки схемы носит итерационный характер, т. е. от этапа к этапу, начиная с анализа соответствующих способов формообразующей обработки, последовательно приближает к решению поставленной задачи.

На первом этапе анализируют способы формообразующей обработки, подлежащие реализации на разрабатываемом станке. При этом в первую очередь определяют формообразующие группы, а затем группы деления, врезания и вспомогательных перемещений.

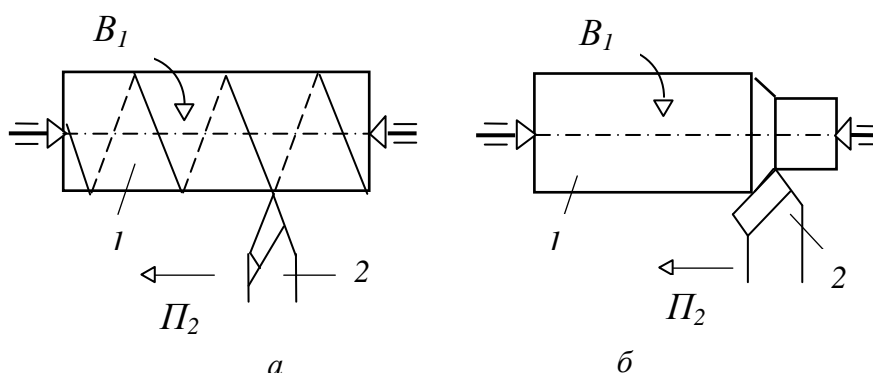


Рисунок 3.2 – Схемы способов формообразующей обработки: *а* – нарезание резьбы; *б* – точение цилиндрической поверхности

На рисунке 3.2, *а* показана схема классического способа нарезания резьбы резцом. По этой схеме, заготовке *1*, определенным образом ориентированной в пространстве, сообщают вращательное движение B_1 , а резцу *2*, профиль которого соответствует профилю нарезаемой резьбы, – поступательное движение P_2 , согласованное с движением B_1 заготовки. Класс образования винтовой поверхности (резьбы) – «копирование + след». Причем сложное исполнительное движение $\Phi_v(B_1P_2)$, состоящее из двух согласованных между собой элементарных движений – вращательного B_1 и поступательного P_2 – воспроизводит направляющую (винтовую линию) обрабатываемой поверхности. При нарезании многозаходной резьбы дополнительно необходимо движение деления. Перед нарезанием второго и последующих заходов это движение осуществляют или смещением резца на некоторую величину при неподвижной заготовке, или поворотом заготовки на некоторый угол при неподвижном резце. Следовательно, частная винторезная структура станка должна содержать только одну сложную формообразующую кинематическую группу $\Phi_v(B_1P_2)$.

На рисунке 3.2, б приведена схема пионерного способа механической обработки цилиндрической поверхности. По этой схеме, заготовке 1, ориентированной в пространстве так же, как в предыдущей схеме, сообщают вращательное движение B_1 , а резцу 2 поступательное движение Π_2 . Класс образования поверхности – «след + след». При этом элементарное движение $\Phi_v(B_1)$ воспроизводит образующую геометрической поверхности (окружность), а элементарное движение $\Phi_s(\Pi_2)$ – направляющую (прямую линию, параллельную оси заготовки). Следовательно, частная токарная структура станка должна содержать две простые формообразующие группы $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_s(\Pi_2)$.

Для обеих рассматриваемых схем характерно одинаковое относительное положение траекторий движений B_1 и Π_2 . Одинаково также абсолютное геометрическое положение взаимодействующих объектов в горизонтальной плоскости. На этом основании устанавливаем технологическую компоновку станка или расположение исполнительных органов (подвижных блоков). Такими органами являются блок шпинделя (передняя бабка), несущий заготовку, и инструментальный блок (суппорт), несущий резец.

На втором этапе осуществляют графическое оформление (рис. 3.3) исполнительных органов (подвижных блоков).

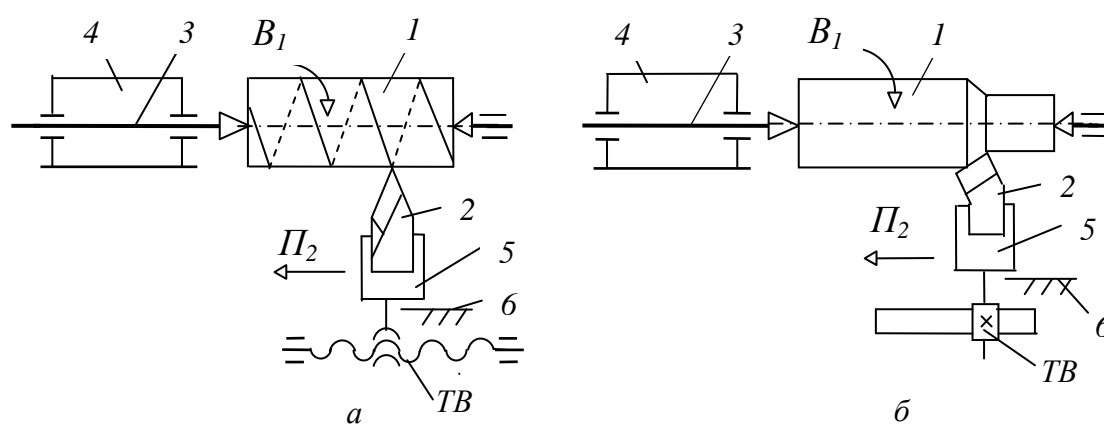


Рисунок 3.3 – Исполнительные органы (подвижные блоки) структурных схем: а – для нарезания резьбы; б – для точения цилиндрической поверхности

Для разрабатываемых структурных схем исполнительные органы, несущие заготовку 1 и резец 2, конструктивно одинаковы и, следовательно, взаимозаменяемы. Исполнительный орган, несущий заготовку 1, представляет собой шпиндель 3, смонтированный с возможностью вращения B_1 в стационарном блоке 4, называемом передней бабкой. Исполнительный орган, несущий резец 2, – это подвижный блок 5, называемый продольным суппортом (или кареткой), смонтированным с возможностью поступательного перемещения Π_2 по направляющим 6 параллельно линии центров станка.

Поступательное перемещение суппорта обеспечивается посредством тягового вала (TB). По сложившейся традиции в токарно-винторезных станках с механическими связями в частной кинематической структуре для нарезания резьбы (рис. 3.3, a) в качестве TB используют передачу винт – гайка. А в частной кинематической структуре для точения цилиндрической поверхности в качестве TB используют передачу зубчатое колесо – рейка. В современных токарно-винторезных станках с ЧПУ в обоих названных структурах используют передачу винт – гайка.

На третьем этапе выполняют графическое оформление внутренних и внешних связей, устанавливают органы настройки параметров исполнительных движений и выводят их ФН.

Для воспроизведения сложного винтового движения $\Phi_v(B_1\Pi_2)$, воспроизводящего направляющую – винтовую линию нарезаемой резьбы – необходимо соединить шпиндель 3 с TB каретки 5 посредством внутренней кинематической связи 7 – 8 (рис. 3.4). В этой связи размещают два органа настройки: i_x и R_1 . Посредством первого из них устанавливают шаг нарезаемой резьбы, а посредством второго – возможность нарезания левой или правой резьбы. Для сообщения движения исполнительным органам необходимо соединить посредством внешней связи 9 – 10 источник механической энергии – электродвигатель M с внутренней связью. В этой связи размещают орган настройки на скорость формообразования i_v и технологический реверс R_2 , предназначенный для реверсирования движения формообразования в исходное положение при предварительно отведенном от заготовки инструменте. Общее звено 10 называется звеном соединения связей. Расположение его во внутренней связи имеет принципиальное значение и зависит от расчетной цепи для органа настройки i_v .

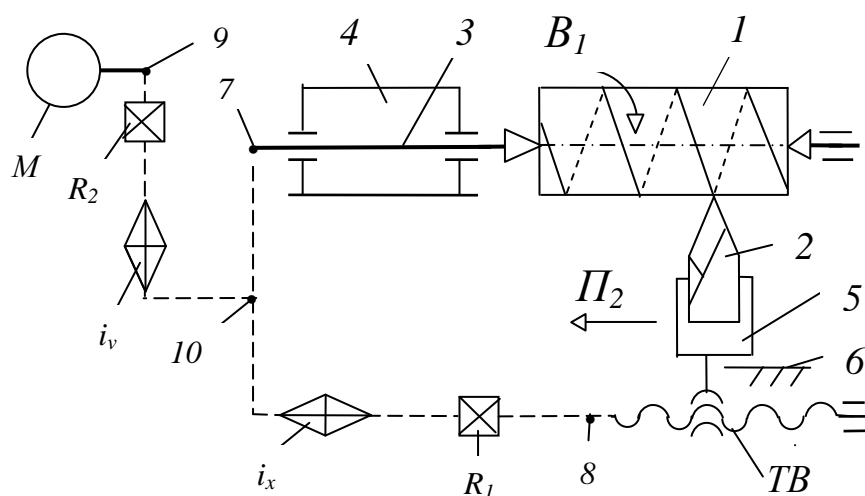


Рисунок 3.4 – Структурная схема станка для нарезания резьбы

Элементарные движения B_1 и Π_2 , образующие сложное движение $\Phi_v(B_1\Pi_2)$, всегда одновременны и одинаковы по продолжительности. Это позволяет оценивать скорость сложного исполнительного движения через скорость одного из входящих в него элементарных движений. Обычно это движение исполнительного органа, имеющего большую скорость и потребляющего большую мощность. В рассматриваемой структурной схеме это шпиндель 3. Следовательно, звено соединения связей 10 целесообразно располагать между шпинделем 3 и органом настройки на траекторию i_v .

Описание связей рассматриваемой структурной схемы винторезного станка, состоящего из одной кинематической группы, на языке символов.

Внутренняя связь – структурная цепь

$$B_1 \rightarrow 3 \rightarrow 7 \rightarrow 10 \rightarrow i_x \rightarrow R_1 \rightarrow 8 \rightarrow TB \rightarrow 5 \rightarrow \Pi_2.$$

Внешняя связь – структурная цепь

$$M \rightarrow 9 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 10.$$

Винтовое движение $\Phi_v(B_1\Pi_2)$ имеет незамкнутую траекторию и настраивается по всем пяти параметрам: на траекторию и скорость – органами настройки, соответственно, i_x и i_v ; на направление – реверсом R_1 ; на путь и исходную точку (исходное положение) – по упорам. В токарно-винторезных станках с ручным управлением под упорами понимается разметка, нанесенная на круговой линейке лимба каретки. В станках с ЧПУ упоры задаются на программноносителе, например, перфоленте или непосредственно на дисплее устройства ЧПУ в коде ISO-7 bit.

Вывод ФН для органов настройки i_x и i_v .

Орган настройки i_x . Внутренняя связь кинематической группы $\Phi_v(B_1\Pi_2)$ содержит один орган настройки. Поэтому расчетная цепь для этого органа настройки совпадает с внутренней связью. Следовательно, РП для органа настройки i_x имеют вид:

$$1 \text{ оборот заготовки } (B_1) \rightarrow P \text{ мм перемещения инструмента } (\Pi_2),$$

где P – шаг нарезаемой резьбы.

Тогда УКЦ:

$$P = 1 \cdot i_x \cdot i_{01} \cdot P_{TB},$$

где i_{01} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;

P_{TB} – шаг тягового вала.

ФН:

$$i_x = \frac{P}{c_1},$$

где $c_1 = i_{01} \cdot P_{TB}$ – константа.

Орган настройки i_v . Расчетная цепь связывает электродвигатель M со шпинделем 3 станка. Следовательно, РП для органа настройки i_v имеют вид:

$$n_M \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{ш} \text{ мин}^{-1} (B_1).$$

Тогда УКЦ:

$$n_{ш} = n_M \cdot i_v \cdot i_{02},$$

где i_{02} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

ФН:

$$i_v = \frac{n_{ш}}{c_2},$$

где $c_2 = n_M \cdot i_{02}$ – константа.

В универсальных станках с механическими связями орган настройки i_v выполняют в виде многоступенчатой шестеренчатой коробки скоростей. Для упрощения ее конструкции можно заменить традиционный односкоростной электродвигатель двух- или трехскоростным, что позволяет уменьшить количество групповых передач в коробке. В этом случае, например, при использовании трехскоростного электродвигателя, ФН будет иметь вид:

$$i_{v1} = \frac{n_{ш}}{c_{12}}; \quad i_{v2} = \frac{n_{ш}}{c_{22}}; \quad i_{v3} = \frac{n_{ш}}{c_{32}},$$

где $c_{12} = n_{1M} \cdot i_{02}$; $c_{22} = n_{2M} \cdot i_{02}$; $c_{32} = n_{3M} \cdot i_{02}$ – константы при соответствующем значении круговой частоты трехскоростного электродвигателя;

n_{1M}, n_{2M}, n_{3M} – соответственно, первая, вторая, третья круговые частоты электродвигателя.

Возможно также использование управляемого электродвигателя. В этом случае можно отказаться от шестеренчатой коробки, а ее функцию передать электродвигателю.

В частных резьбонарезных структурах универсальных токарно-винторезных станков с механическими связями орган настройки i_x – это четырехколесная гитара сменных зубчатых колес и развитая коробка подач. В современных станках с ЧПУ оба исполнительных органа формообразующей группы $\Phi_v(B_1\Pi_2)$ имеют отдельные управляемые электродвигатели. А функциональная связь элементарных движений B_1 и Π_2 осуществляется посредством электронной схемы синхронизации, выполненной из типовых интегральных схем. Вариант такого решения представлен на рисунке 3.5. В этом варианте используется синхронная следящая система, выполненная по схеме задающая – ведомая координаты по авт. свид. 1366360 (SU). Ведущей координатой является шпиндель 3 заготовки, ведомой – каретка 5 , несущая инструмент.

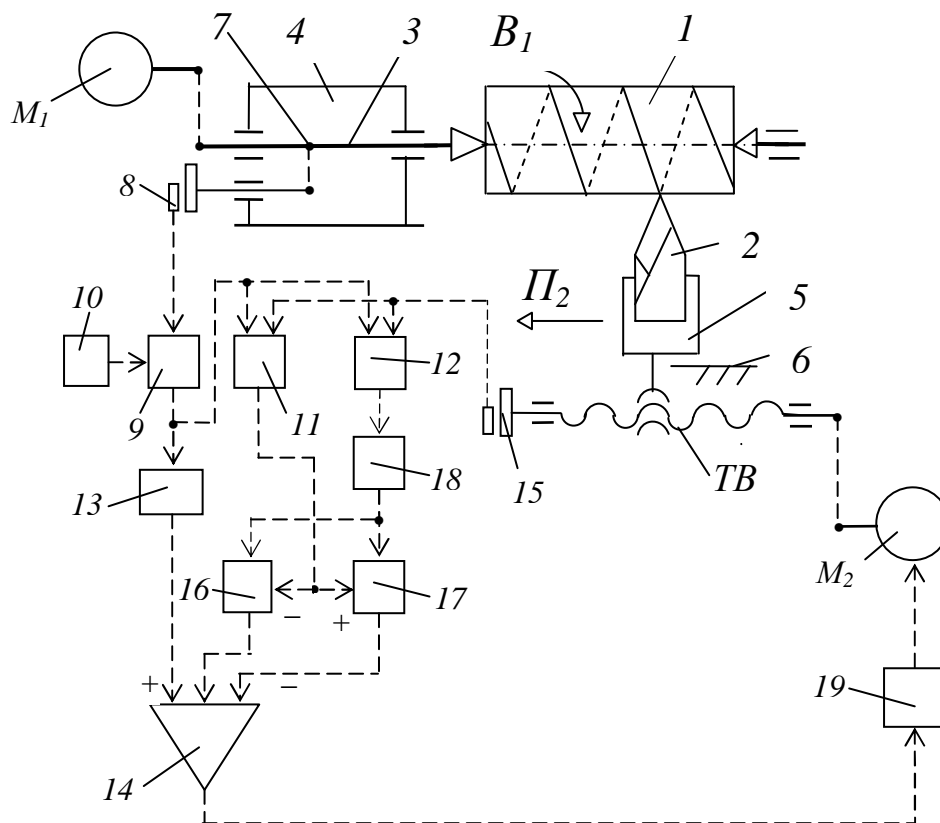


Рисунок 3.5 – Структура резьбонарезного станка с электронной системой синхронизации исполнительных органов по схеме задающая – ведомая координаты

Внутренняя связь данной структурной схемы имеет вид:

$B_1 \rightarrow 3 \rightarrow 7 \rightarrow \text{синхронная следящая система} \rightarrow M_2 \rightarrow TB \rightarrow 5 \rightarrow \Pi_2$.

Внешняя связь имеет вид:

$M_1 \rightarrow \text{звено соединения связей } 7$.

В качестве электродвигателя M_1 ведущей координаты может использоваться как высокомоментная машина постоянного тока, так и частотно регулируемая, например, синхронный электродвигатель. Источник питания для электродвигателя постоянного тока – делитель напряжения, для синхронного электродвигателя – частотный преобразователь (на схеме не показаны). Электродвигатель M_2 ведомой координаты – высокомоментная машина постоянного тока.

Схема синхронизации содержит импульсный измерительный преобразователь 8, кинематически связанный посредством передачи 7 со шпинделем 3. Выход этого преобразователя соединен с входом управляемого делителя частоты, выполненного в виде счетчика импульсов 9 и блока задания коэффициента деления 10. Выход счетчика 9 делителя частоты соединен

с первыми входами знакового 11 и фазового 12 дискриминаторов и со входом импульсно-аналогового преобразователя 13. Выход этого преобразователя соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 14. Вторые входы знакового 11 и фазового 12 дискриминаторов соединены с выходом импульсно-аналогового преобразователя 15, установленного на тяговом валу *ТВ*. Выход знакового дискриминатора 11 соединен с управляющими входами аналоговых ключей 16, управляемого отрицательным потенциалом, и 17, управляемого положительным потенциалом. Выход фазового дискриминатора 12 соединен с входом импульсно-аналогового преобразователя 18, соединенного своим выходом с ключами 16 и 17. Выход ключа 16, управляемого отрицательным потенциалом, соединен с вторым входом сложения параллельного сумматора 14, а выход ключа 17, управляемого положительным потенциалом, – со входом вычитания этого сумматора.

Импульсный измерительный преобразователь 8 выполняет функцию задатчика управляющего сигнала для электродвигателя M_2 ведомой координаты – каретки 5. Делитель частоты (счетчик 9 – блок установки коэффициента деления 10) является аналогом органа настройки i_x на траекторию (винтовую линию) в структурной схеме на рисунке 3.4.

Коэффициент деления определяется по формуле, аналогичной формуле для определения передаточного отношения органа настройки на траекторию в структурной схеме на рисунке 3.4.

$$k_x = \frac{P}{i_0 P_{ТВ}},$$

где k_x – коэффициент деления;

P – шаг нарезаемой резьбы;

i_0 – передаточное отношение передачи, связывающей электродвигатель M_2 с тяговым валом;

$P_{ТВ}$ – шаг тягового вала.

Круговая частота (параметр настройки – скорость) ведущей координаты устанавливается посредством задания величины напряжения при использовании электродвигателя постоянного тока или посредством задания частоты переменного тока при использовании синхронного электродвигателя на выходе источника энергии электродвигателя этой координаты.

Станок работает следующим образом. При включении управляемого электродвигателя M_1 ведущая координата – шпиндель 3 получает движение V_1 с круговой частотой, соответствующей скорости резания. Вращательное движение шпинделя непрерывно преобразуется в импульсно-измерительном преобразователе 8 в высокочастотный импульсный сигнал,

пропорциональный круговой частоте движения B_1 . Этот сигнал поступает в счетчик 9 делителя частоты, где происходит его деление в соответствии с заданным на блоке 10 коэффициентом деления. Импульсный сигнал с выхода делителя частоты преобразуется в импульсно-аналоговом преобразователе 13 в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала, и с его выхода поступает на первый вход сложения параллельного сумматора 14. С выхода этого сумматора задающий сигнал через усилитель мощности 19 поступает на управляемый электродвигатель M_2 , который посредством тягового вала TB сообщает движение Π_2 ведомой координате каретке 5, несущей резец. В результате такого прохождения сигнала от ведущей координаты к ведомой координате обеспечивается воспроизведение винтовой поверхности (резьбы) сложным двухэлементарным движением $\Phi_v(B_1\Pi_2)$.

Синхронно осуществляется коррекция задающего сигнала, действующего на выходе параллельного сумматора 14, обеспечивающая устранение девиации механики ведомой координаты. На первых входах знакового 11 и параллельного 12 дискриминаторов постоянно действует задающий импульсный сигнал с выхода счетчика 9 делителя частоты. На вторые входы обоих дискриминаторов непрерывно с импульсно-аналогового преобразователя 15 поступает импульсный сигнал – аналог скорости движения Π_2 каретки 5. В результате сравнения сигналов на выходе знакового дискриминатора образуется отрицательный потенциал при отставании ведомой координаты от заданного значения и положительный потенциал при его опережении. Этот потенциал поступает на управляющие входы ключей 16 и 17. Одновременно на выходе фазового дискриминатора 12 образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в аналоговую форму в импульсно-аналоговом преобразователе 18 поступает на аналоговые входы ключей 16 и 17. Этот сигнал поступает на параллельный сумматор 14 через один из ключей в зависимости от знака управляющего воздействия. При отставании ведомой координаты сигнал абсолютной погрешности поступает через ключ 16, управляемый отрицательным потенциалом, на второй вход сложения параллельного сумматора 14, а при опережении этот сигнал поступает через ключ 17, управляемый положительным потенциалом, на вход вычитания этого сумматора. В итоге в параллельном сумматоре 14 происходит в зависимости от знака погрешности увеличение или уменьшение управляющего сигнала ведомой координаты, т. е. происходит его непрерывная двухсторонняя коррекция относительно номинального значения.

В приведенном примере ведомая координата – суппорт режущего инструмента – «отслеживает» движение ведущей координаты – шпинделя заготовки – и, следовательно, «отслеживает» девиацию механики этой координаты. Этот недостаток устраняется при использовании более сложной системы синхронизации по патенту 8621 (ВУ), выполненной по схеме равнозначных координат (рис. 3.6).

Внутренняя связь группы $\Phi_v(B_1\Pi_2)$ в этом техническом решении имеет вид:

$B_1 \rightarrow \text{шпиндель } 3 \rightarrow M_1 \rightarrow \text{схема синхронизации} \rightarrow ТВ \rightarrow \text{каретка } 5 \rightarrow \Pi_2.$

Первая внешняя связь:

$M_1 \rightarrow \text{шпиндель } 3 \text{ заготовки } (B).$

Вторая внешняя связь:

$M_2 \rightarrow \text{тяговый вал } ТВ \rightarrow \text{каретка } 5 \text{ инструмента } (\Pi_2).$

На обеих координатах (исполнительных органах станка) установлены импульсные измерительные преобразователи 8 и 9. Привод исполнительных органов осуществляется управляемыми высокомоментными электродвигателями постоянного тока.

В схеме синхронизации электродвигателей обоих исполнительных органов общим задатчиком является высокочастотный импульсный эталонный генератор 10. Его выход соединен с входами счетчиков 11 и 12, образующими делители частоты совместно с блоками, соответственно, 13 и 14 установки коэффициентов деления. Выход счетчика 11 соединен со входом импульсно-аналогового преобразователя 15 и с первыми входами знакового 16 и фазового 17 дискриминаторов. Вторые входы этих дискриминаторов соединены с импульсным измерительным преобразователем 8. Выход импульсно-аналогового преобразователя 15 соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 18. Выход фазового дискриминатора 17 через импульсно-аналоговый преобразователь 19 соединен с аналоговым входом ключа 20, управляемого отрицательным потенциалом, и с аналоговым входом ключа 21, управляемого положительным потенциалом. Управляющие входы ключей 20 и 21 соединены с выходом знакового дискриминатора 16. Выход ключа 20 соединен со вторым входом сложения параллельного сумматора 18, а выход ключа 21 соединен со входом вычитания этого сумматора. Выход параллельного сумматора 18 соединен через усилитель мощности 22 с управляемым электродвигателем M_1 шпинделя 3 заготовки.

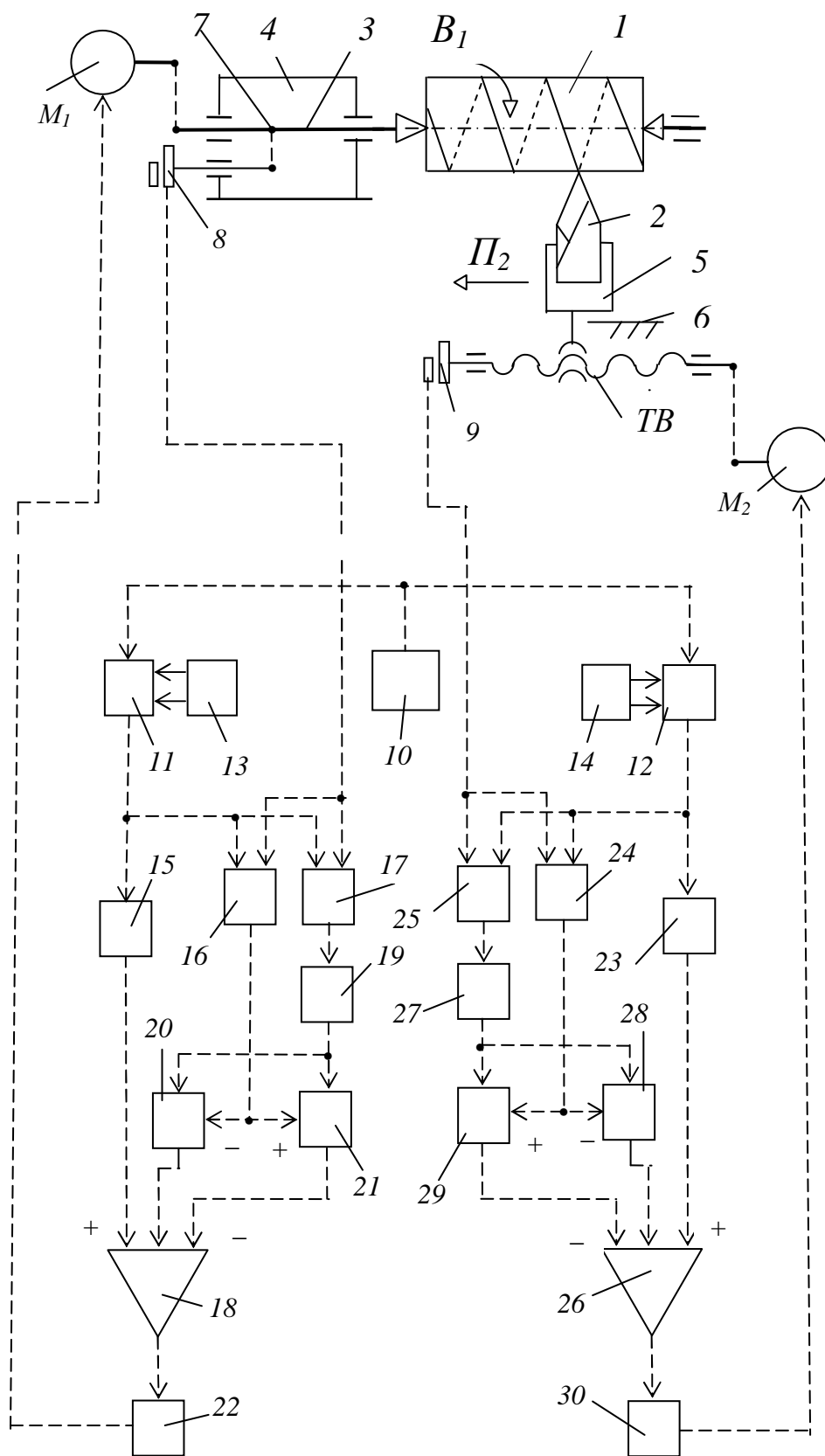


Рисунок 3.6 – Структура резонансного станка с системой синхронизации исполнительных органов по схеме равнозначных координат

Выход счетчика 12 соединен с входом импульсно-аналогового преобразователя 23 и с первыми входами знакового 24 и фазового 25 дискриминаторов. Вторые входы этих дискриминаторов соединены с импульсным измерительным преобразователем 9. Выход импульсно-аналогового преобразователя 23 соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 26. Выход фазового дискриминатора 25 через импульсно-аналоговый преобразователь 27 соединен с аналоговым входом ключа 28, управляемого отрицательным потенциалом, и с аналоговым входом ключа 29, управляемого положительным потенциалом. Управляющие входы ключей 28 и 29 соединены с выходом знакового дискриминатора 24. Выход ключа 28 соединен с вторым входом сложения параллельного сумматора 26, а выход ключа 29 соединен со входом вычитания этого сумматора. Выход параллельного сумматора 26 соединен через усилитель мощности 30 с управляемым электродвигателем M_2 каретки режущего инструмента.

Нормируемым технологическим параметром при нарезании резьбы является скорость резания. При настройке станка по общеизвестной зависимости, связывающей скорость резания, диаметр заготовки и ее круговую частоту при обработке, определяют круговую частоту шпинделя 3 (параметр настройки скорость). Посредством блока 13 устанавливают коэффициент деления k_v , при котором на выходе счетчика 11 при функционировании схемы синхронизации образуется импульсный сигнал – аналог напряжения постоянного тока, соответствующий круговой частоте шпинделя 3.

Для вывода коэффициента деления, устанавливаемого на делителе частоты счетчик 12 – блок 14 установки коэффициента деления, воспользуемся известными РП:

$$1 \text{ оборот заготовки } (B_1) \rightarrow P \text{ мм перемещения инструмента } (П_2),$$

где P – шаг нарезаемой резьбы.

Тогда УКЦ для расчетной цепи, совпадающей с внутренней связью:

$$P = 1 i_{01} \cdot \frac{n_{M1}}{n_{M2}} \cdot P_{TB},$$

где i_{01} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

Круговые частоты электродвигателей M_1 и M_2 однозначно зависят от задающего сигнала на выходе счетчиков 11 и 12 соответственно. Поэтому в УКЦ круговые частоты электродвигателей можно заменить коэффициентами деления. Тогда:

$$P = 1 i_{01} \cdot \frac{k_v}{k_x} \cdot P_{TB}.$$

Из полученного выражения выводится ФН:

$$k_x = c \frac{k_y}{P},$$

где $c \cdot P_{ТВ}$ – константа механики конкретного станка.

Функционирование станка с описанной системой синхронизации исполнительных органов осуществляется следующим образом. Генератор 10 вырабатывает эталонный высокочастотный сигнал. Этот сигнал поступает на счетчики 11 и 12 делителей частоты, в которых происходит деление этого сигнала в соответствии с коэффициентами деления, установленными на блоках 13 и 14. Сигнал с выхода счетчика 11 преобразуется в импульсно-аналоговом преобразователе 15 в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала, и с его выхода через первый вход сложения – выход параллельного сумматора 18 и усилитель напряжения 22 поступает на управляемый электродвигатель M_1 , сообщающий шпинделю 3, несущему заготовку, движение B_1 . Синхронно импульсный сигнал с выхода счетчика 12 преобразуется в импульсно-аналоговом преобразователе 23 в напряжение, пропорциональное частоте на его входе, и через первый вход сложения – выход параллельного сумматора 26 и усилитель мощности 30 поступает на управляемый электродвигатель M_2 , который сообщает движение Π_2 каретке 5, несущей инструмент. В итоге такого прохождения задающего сигнала от общего задатчика (генератора 10) к обеим координатам (исполнительным органам винторезной группы) осуществляется воспроизведение винтовой линии сложным формообразующим движением $\Phi_v(B_1\Pi_2)$.

Одновременно следующим образом обеспечивается устранение девиации механических систем обоих исполнительных органов посредством коррекции управляющих сигналов на выходах параллельных сумматоров.

На первых входах знакового 16 и фазового 17 дискриминаторов постоянно действует эталонный импульсный сигнал с выхода счетчика 11. На вторые входы этих дискриминаторов поступает сигнал с импульсного измерительного преобразователя 8, соответствующий значению действительной круговой подачи шпинделя 3. В дискриминаторах оба сигнала непрерывно сравниваются. В результате на выходе знакового дискриминатора 16 появляется отрицательный или положительный потенциал, соответственно, при отставании или при опережении шпинделем номинального значения круговой частоты. Этот сигнал поступает на управляющие входы ключей 20 и 21. Параллельно на аналоговые входы этих ключей поступает сигнал абсолютной погрешности с фазового дискриминатора 17 через импульсно-аналоговый преобразователь 19. Сигнал абсолютной погрешности

поступает на второй вход сложения параллельного сумматора 18 через ключ 20 при отставании шпинделя или на вход вычитания этого сумматора через ключ 21 при опережении шпинделем номинального значения. В итоге в параллельном сумматоре происходит коррекция задающего сигнала, действующего на его первом входе сложения, т.е. происходит предельная двухсторонняя адаптация задающего сигнала по параметру девиации механики исполнительного органа – шпинделя 3.

Аналогично в знаковом 24 и фазовом 25 дискриминаторах сравнивается эталонный задающий импульсный сигнал с выхода счетчика 12 с сигналом – аналогом действительной скорости каретки 5, поступающим с импульсного измерительного преобразователя 9. Сигнал абсолютной погрешности преобразуется в аналоговую форму в импульсно-аналоговом преобразователе 27 и поступает через ключи 28 или 29 в параллельный сумматор 26 для коррекции задающего сигнала, действующего на его первом входе сложения. В итоге осуществляется предельная двухсторонняя адаптация задающего сигнала по параметру девиации механики исполнительного органа – каретки 5.

Таким образом, использование общего задатчика для обоих исполнительных органов, непрерывный контроль их мгновенного положения и внесение соответствующих поправок в управляющие сигналы обеспечивает повышение точности функционирования винторезной связи станка.

Выше было показано, что токарная структура станка для обработки цилиндрической поверхности должна содержать две простые формообразующие группы $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_s(\Pi_2)$. Оформим на основе исполнительных органов на рисунке 3.3, б соответствующие формообразующие группы и объединим их в структурную схему токарного станка для продольного точения (рис. 3.7). Обычно внутренняя связь простой кинематической группы – это вращательная или поступательная кинематическая пара.

Группа $\Phi_v(B_1)$. Внутренняя связь этой группы – вращательная кинематическая пара *корпус передней бабки 4* \rightarrow *шпиндель 3* (B_1).

Соединим вращающееся звено внутренней связи (шпиндель 3) посредством внешней связи с электродвигателем M_1 . Вращательное движение B_1 имеет замкнутую траекторию и настраивается по двум параметрам – на скорость и направление. Поэтому установим во внешней связи соответствующие органы настройки i_v и R_2 .

Таким образом, внешняя связь группы $\Phi_v(B_1)$ имеет вид:

$$M_1 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 10 \rightarrow \text{шпиндель 3 } (B_1).$$

Группа $\Phi_s(\Pi_2)$. Внутренняя связь этой группы – поступательная кинематическая пара *направляющие б станины станка* \rightarrow *каретка 5* (Π_2).

Соединим TB , преобразующий вращательное движение ведущего звена – реечного колеса – в поступательное движение каретки посредством внешней связи с электродвигателем M_1 . Поступательное движение Π_2 каретки 5 имеет незамкнутую траекторию и настраивается по четырем параметрам: на скорость – органом настройки i_s , на направление – реверсом R_1 , на путь и исходную точку (исходное положение) – так же, как в винторезной структуре по упорам.

В токарных станках принято скорость подачи задавать относительно одного оборота шпинделя. Поэтому органы настройки i_s и R_1 размещают в кинематической структуре между шпинделем 3 и TB каретки 5.

Таким образом, внешняя связь группы $\Phi_s(\Pi_2)$ имеет вид:

$$M_1 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 10 \rightarrow R_1 \rightarrow i_s \rightarrow 11 \rightarrow TB \rightarrow \text{каетка } 5 (\Pi_2).$$

В структуре токарного станка обе формообразующие группы соединены через общий электродвигатель и внешнюю связь группы $\Phi_v(B_1)$, одновременно являющуюся частью внешней связи группы $\Phi_s(\Pi_2)$.

Вывод ФН для органов настройки i_v и i_s .

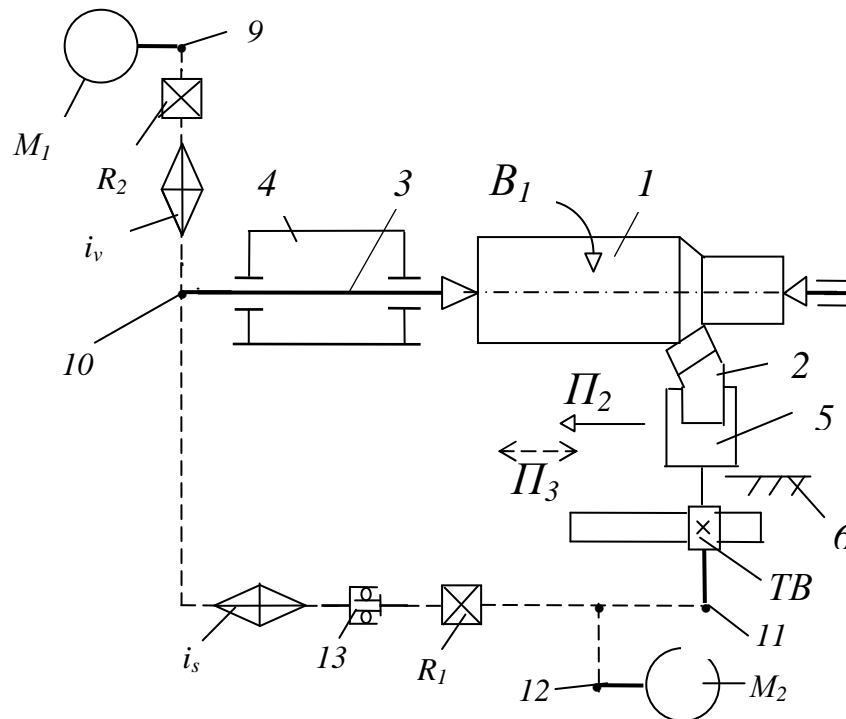


Рисунок 3.7 – Структурная схема станка для обработки цилиндрической поверхности

Орган настройки i_v . Расчетная цепь совпадает с внешней связью. Следовательно, РП для этого органа настройки имеют вид:

$$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{ш} \text{ мин}^{-1} (B_1),$$

Тогда УКЦ:

$$n_{ш} = n_{M1} \cdot i_v \cdot i_{03},$$

где i_{03} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

ФН:

$$i_v = \frac{n_{ш}}{c_3},$$

где $c_3 = n_{M1} \cdot i_{03}$ – константа.

Орган настройки i_s . Расчетная цепь связывает шпиндель 3 с кареткой 5. Следовательно, РП для органа настройки i_s имеют вид:

1 оборот шпинделя 3 → s мм перемещения каретки 5 (П₂).

Тогда УКЦ:

$$s = 1 \cdot i_s \cdot i_{04} \cdot [P_{TB} = \pi m z],$$

где P_{TB} – шаг тягового вала;

m и z = модуль и число зубьев колеса зубчато-реечной передачи, выполняющей функцию TB ;

i_{04} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

ФН:

$$i_s = \frac{s}{c_4},$$

где $c_4 = i_{04} \cdot \pi m z$ – константа.

В кинематической структуре современных токарных станков для ускоренного перемещения (позиционирования) каретки используется ненастраиваемая вспомогательная группа $Vc(П_3)$ с приводом от отдельного электродвигателя. Встроим такую группу в разрабатываемую структурную схему. Для этого электродвигатель M_2 соединим с TB и во внешнюю связь группы $\Phi_s(П_2)$ между органом настройки i_s и реверсом R_l установим обгонную муфту $I3$. При этих условиях внутренняя связь вспомогательной группы будет совпадать с внутренней связью группы подачи. Внешняя связь вспомогательной группы будет иметь вид:

$M_2 \rightarrow 12 \rightarrow 11 \rightarrow TB \rightarrow$ каретка 5 (П₃).

Таким образом, группа $Vc(П_3)$ соединена с группой $\Phi_s(П_2)$ посредством общего исполнительного органа – каретки 5. Вспомогательная группа настраивается только на направление. В современных станках управление

вспомогательной группой осуществляется мнемонической рукояткой, совмещающей управление реверсом R_1 , имеющим нейтральное положение, и включение электродвигателя M_2 .

Кинематическая структура токарно-винторезных станков включает также кинематическую группу для торцевого точения. Эта группа используется для проточки торцов при обработке деталей типа фланцев, при проточке канавок, снятии фасок и отрезке. Схема соответствующего способа обработки приведена на рисунке 3.8, *а*. По этой схеме заготовке 1 , ориентированной в пространстве так же как при нарезании резьбы и при продольном точении, сообщают вращательное движение B_1 , а резцу 2 поступательное движение Π_2 , перпендикулярно оси заготовки. Класс образования поверхности «след+ след». При этом элементарное движение $\Phi_v(B_1)$ воспроизводит образующую геометрической поверхности (окружность), а элементарное движение $\Phi_s(\Pi_2)$ – направляющую (прямую линию, перпендикулярную оси заготовки). Следовательно, частная токарная структура станка должна содержать две простые формообразующие группы $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_s(\Pi_2)$.

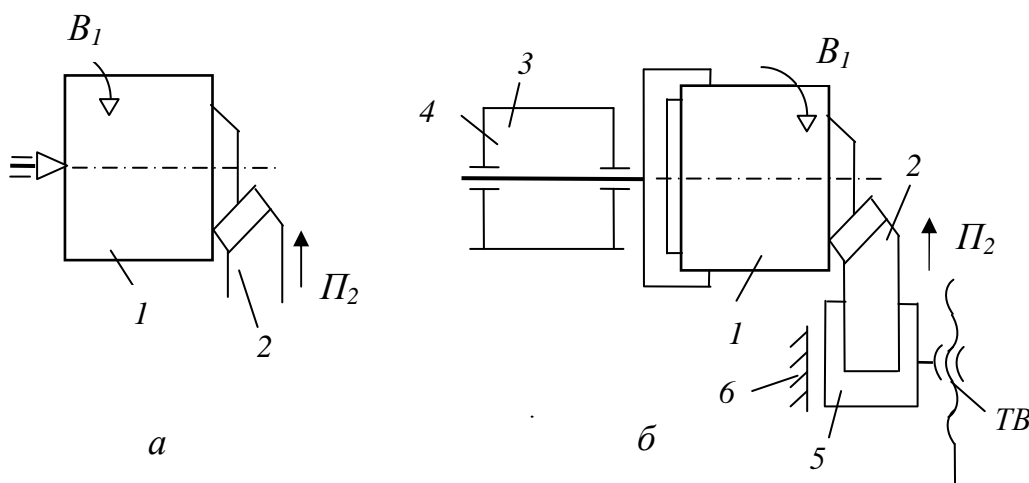


Рисунок 3.8 – Механическая обработка торцевой поверхности:
а – схема способа обработки; *б* – исполнительные органы структурной схемы

Для разрабатываемой структурной схемы исполнительный орган, несущий заготовку 1 , представляет собой шпиндель 3 , смонтированный с возможностью вращения B_1 в стационарном блоке 4 , называемом передней бабкой (рис. 3.8, *б*), т. е. взаимозаменяем с подобным блоком в рассмотренных выше схемах – винторезной и для продольного точения. Исполнительный орган, несущий резец 2 , – это подвижный блок 5 , называемый поперечным суппортом, смонтированным с возможностью поступательного перемещения Π_2 по направляющим продольного суппорта (каретки) 6

перпендикулярно линии центров станка. Поступательное перемещение Π_2 поперечного суппорта обеспечивается посредством тягового вала TB – передачи винт – гайка.

Оформим на основе приведенных исполнительных органов формообразующие группы $\Phi_v(B_1)$ и $\Phi_s(\Pi_2)$ и объединим их в структурную схему токарного станка для поперечного точения (рис. 3.9).

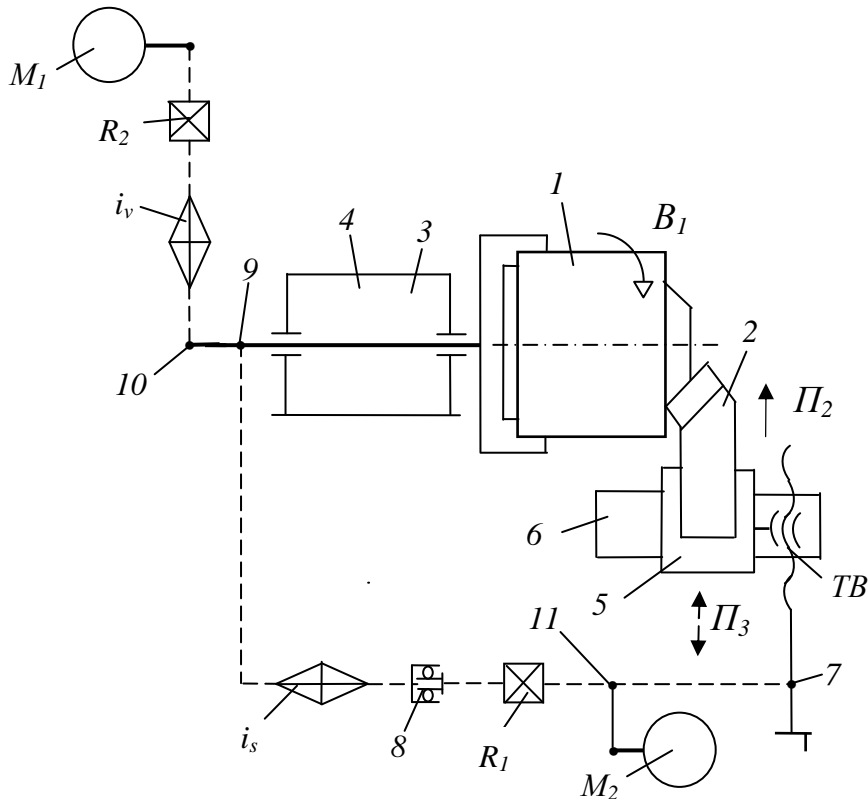


Рисунок 3.9 – Структурная схема станка для обработки торцевой поверхности

Кинематическая структура группы $\Phi_v(B_1)$ совпадает с кинематической структурой такой же группы станка для продольного точения (см. рис. 3.7). Следовательно, внутренняя связь группы:

корпус передней бабки 4 → шпиндель 3 (B_1).

А внешняя связь имеет вид:

$M_1 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 10 \rightarrow$ шпиндель 3 (B_1).

Вращательное движение B_1 имеет замкнутую траекторию и настраивается по двум параметрам – на скорость и направление, соответственно, органами настройки i_v и R_2 .

Группа $\Phi_s(\Pi_2)$. Внутренняя связь этой группы – поступательная кинематическая пара

направляющие продольного суппорта 6 → поперечный суппорт 5 (Π_2).

Соединим TB , преобразующий вращательное движение ведущего звена – винта – в поступательное движение поперечного суппорта посредством внешней связи с электродвигателем M_1 . Поступательное движение Π_2 поперечного суппорта 5 имеет незамкнутую траекторию и настраивается по четырем параметрам: на скорость – органом настройки i_s , на направление – реверсом R_1 , на путь и исходную точку (исходное положение) – так же, как и в структуре для продольного течения по упорам.

Таким образом, внешняя связь группы $\Phi_s(\Pi_2)$ имеет вид:

$$M_1 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 10 \rightarrow 9 \rightarrow i_s \rightarrow 8 \rightarrow R_1 \rightarrow 11 \rightarrow 7 \rightarrow TB \rightarrow \\ \rightarrow \text{поперечный суппорт 5 } (\Pi_2).$$

В структуре станка обе формообразующие группы соединены через общий электродвигатель M_1 и внешнюю связь группы $\Phi_v(B_1)$, одновременно являющуюся частью внешней связи группы $\Phi_s(\Pi_2)$.

Расчетная цепь для органа настройки i_s связывает шпиндель 3 с поперечным суппортом 5. Следовательно, РП для этого органа настройки имеют вид:

$$1 \text{ оборот шпинделя } 3 \rightarrow s \text{ мм перемещения поперечного суппорта } 5 (\Pi_2).$$

Тогда УКЦ:

$$s = 1 \cdot i_s \cdot i_{05} \cdot P_{TB},$$

где P_{TB} – шаг тягового вала;

i_{05} – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

ФН:

$$i_s = \frac{s}{c_5},$$

где $c_5 = i_{04} \cdot P_{TB}$ – константа.

Встроим в разрабатываемую структурную схему вспомогательную группу $Vc(\Pi_3)$ с приводом от отдельного электродвигателя. Для этого электродвигатель M_2 соединим с TB и во внешнюю связь группы поперечной подачи $\Phi_s(\Pi_2)$ между органом настройки i_s и реверсом R_1 установим обгонную муфту 8. При этих условиях внутренняя связь вспомогательной группы будет совпадать с внутренней связью группы поперечной подачи. Внешняя связь вспомогательной группы будет иметь вид:

$$M_2 \rightarrow 11 \rightarrow 7 \rightarrow TB \rightarrow \text{поперечный суппорт } 5 (\Pi_3).$$

Таким образом, группа $Vc(\Pi_3)$ соединена с группой $\Phi_s(\Pi_2)$ посредством общего исполнительного органа – поперечного суппорта 5. Вспомогательная

группа настраивается только на направление. В современных станках управление вспомогательной группой осуществляется мнемонической рукояткой, совмещающей управление реверсом R_1 , имеющим нейтральное положение, и включение – выключение электродвигателя M_2 .

Сравнение кинематической структуры станка для продольного точения с кинематической структурой станка для поперечного точения показывает, что они имеют одинаковую структуру группы $\Phi_v(B_1)$, а их группы $\Phi_s(\Pi_2)$ и $Vc(\Pi_3)$ отличаются только исполнительными органами, несущими инструмент, и тяговыми валами. Следовательно, при объединении сравниваемых частных структурных схем в общую структуру токарного станка группа $\Phi_v(B_1)$ будет общей для обеих частных схем. Будет общим также участок структурной связи, включающий орган настройки i_s , обгонную муфту, реверс R_1 и электродвигатель M_2 .

3.3. Объединение частных структурных схем в обобщенную структурную схему станка

На четвертом заключительном этапе объединяют частные структурные схемы с механическими связями в общую структурную схему токарно-винторезного станка. На этом этапе с целью уменьшения «длины» кинематических связей необходимо максимально использовать межгрупповые связи, рационально размещать органы настройки и переключающие механизмы. С учетом этого на рисунке 3.10 представлена структурная схема токарно-винторезного станка, объединяющая частные структурные схемы: резьбонарезную (рис. 3.4), для продольного точения (рис. 3.7) и для поперечного точения (рис. 3.9). При этом учтен также современный уровень развития кинематической структуры универсальных токарно-винторезных станков. В частности, органы настройки i_x и i_s объединены в общий орган настройки $(i_x; i_s)$. Этот орган настройки разделен на два – $(i_{x1}; i_{s1})$ и $(i_{x2}; i_{s2})$, расположенных последовательно. Первый орган настройки – это четырехколесная гитара сменных зубчатых колес, используемая для установки метрического (дюймового) или модульного (питчевого) исчисления и для настройки шага (параметр настройки «траектория») при нарезании точной и нестандартной резьбы. Второй орган настройки – это развитая коробка скоростей, используемая для настройки на стандартные шаги нарезаемой резьбы (параметр настройки «траектория») и на подачу (параметр настройки «скорость») при продольном и поперечном точении. При этом коммутация кинематических связей обеспечивается сцепными муфтами.

Обобщенная структурная схема токарно-винторезного станка включает две частные винторезные структурные схемы, структурную схему для продольного точения и структурную схему для поперечного точения.

Первая винторезная структурная схема $\Phi_{v1}(B_1\Pi_2)$ предназначена для нарезания точных и нестандартных резьб. Ее внутренняя связь:

$$B_1 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow i_{x1} \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow TB \rightarrow \text{каретка } 7 \rightarrow \Pi_2.$$

Внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow 11 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 3.$$

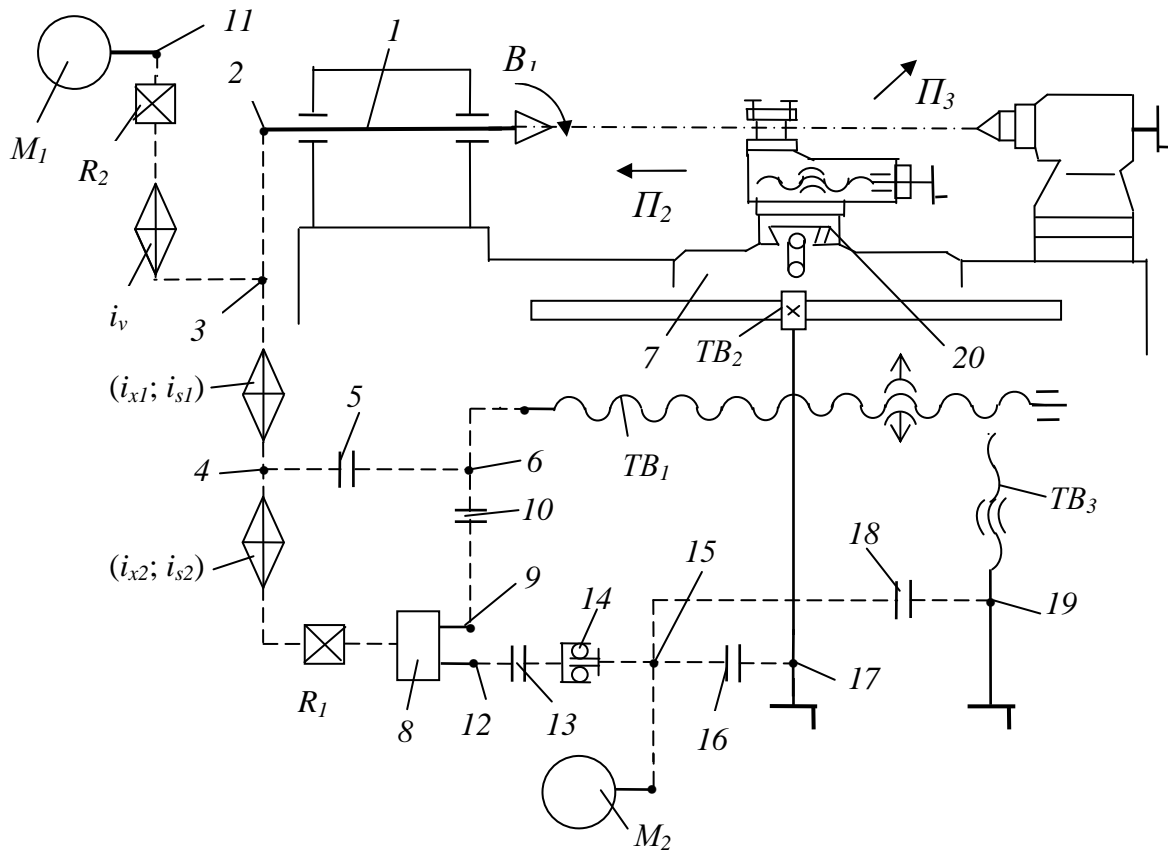


Рисунок 3.10 – Структурная схема токарно-винторезного станка

Схема настраивается на траекторию органом настройки i_{x1} , на направление реверсом, совмещенным с органом настройки на траекторию, на скорость органом настройки i_v , на путь и исходную точку по упорам.

Вторая винторезная структурная схема $\Phi_{v2}(B_1\Pi_2)$ предназначена для нарезания стандартных резьб. Ее внутренняя связь:

$$B_1 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow i_{x1} \rightarrow i_{x2} \rightarrow R_1 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 6 \rightarrow TB \rightarrow \text{каретка } 7 \rightarrow \Pi_2.$$

Внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow 11 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 3.$$

Схема настраивается на траекторию органом настройки i_{x2} , на направление реверсом R_1 , на скорость органом настройки i_v , на путь и исходную точку по упорам.

Частная структурная схема для продольного точения состоит из группы скорости резания $\Phi_v(B_1)$ и группы продольной подачи $\Phi_s(P_2)$.

Внутренняя связь группы скорости резания $\Phi_v(B_1)$ имеет вид:

подшипниковые опоры передней бабки \rightarrow *шпиндель 1* $\rightarrow B_1$.

Внешняя связь этой группы:

$$M_1 \rightarrow 11 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 (B_1).$$

Группа настраивается на скорость резания органом настройки i_v , на направление реверсом R_2 .

Внутренняя связь группы продольной подачи $\Phi_s(P_2)$ имеет вид:

направляющие станины \rightarrow *каретка 7* $\rightarrow P_2$.

Внешняя связь группы:

$$M_1 \rightarrow 11 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 3 \rightarrow i_{s1} \rightarrow 4 \rightarrow i_{s2} \rightarrow R_1 \rightarrow 8 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow \\ \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow TB_2 \rightarrow \text{каретка 7} (P_2).$$

Группа настраивается на подачу органом настройки i_{s2} , на направление реверсом R_1 , на путь и исходную точку по упорам. При этом орган настройки i_{s1} рассматривается как механизм с постоянным передаточным отношением.

Частная структурная схема для поперечного точения состоит из группы скорости резания $\Phi_v(B_1)$ и группы поперечной подачи $\Phi_s(P_3)$.

Группа скорости резания данной структурной схемы совпадает с группой скорости резания структурной схемы для продольного точения.

Внутренняя связь группы поперечной подачи $\Phi_s(P_3)$ имеет вид:

направляющие каретки 7 \rightarrow *поперечный суппорт 20* $\rightarrow P_3$.

Внешняя связь группы:

$$M_1 \rightarrow 11 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 3 \rightarrow i_{s1} \rightarrow 4 \rightarrow i_{s2} \rightarrow R_1 \rightarrow 8 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow \\ \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow 18 \rightarrow 19 \rightarrow TB_3 \rightarrow \text{поперечный суппорт 20} (P_3).$$

Группа настраивается теми же органами настройки, что и группа продольной подачи, рассмотренная выше.

Обобщенная структурная схема содержит также две вспомогательные группы $Vc_1(P_2)$ и $Vc_2(P_3)$ для ускоренных перемещений (позиционирования), соответственно, каретки 7 и поперечного суппорта 20.

Внутренняя связь формообразующей группы $\Phi_s(\Pi_2)$ является также внутренней связью группы $Vc_1(\Pi_2)$. Внешняя связь вспомогательной группы $Vc_1(\Pi_2)$ имеет вид:

$$M_2 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow TB_2 \rightarrow \text{каретка } 7.$$

Аналогично внутренняя связь формообразующей группы $\Phi_s(\Pi_3)$ является также внутренней связью группы $Vc_2(\Pi_3)$. Внешняя связь вспомогательной группы $Vc_2(\Pi_3)$ имеет вид:

$$M_2 \rightarrow 15 \rightarrow 18 \rightarrow 19 \rightarrow TB_3 \rightarrow \text{поперечный суппорт } 20.$$

Привод обеих вспомогательных групп осуществляется от общего электродвигателя. Часть внешних связей этих групп одновременно является частью соответствующих групп подач. В современных токарно-винторезных станках включение-выключение формообразующих групп подач и вспомогательных групп ускоренных перемещений осуществляется общей мнемонической рукояткой, переключающей двухсторонние сцепные муфты 16 и 18, имеющие нейтральное положение. По существу, данные муфты являются элементами реверсивных механизмов. Электрическая кнопка, встроенная в мнемоническую рукоятку, используется для включения-выключения электродвигателя M_2 ускоренных перемещений исполнительных органов – каретки 7 и поперечного суппорта 20.

Образец оформления титульного листа

Министерство образования Республики Беларусь

УО «Полоцкий государственный университет»

Кафедра ТиОМП

Курсовая работа

по дисциплине «Технологическое оборудование»

Тема:

Разработка структурной схемы токарно-винторезного станка

Выполнил:

(Ф. И. О. студента, группа)

Руководитель:

(Ф. И. О. преподавателя)

Новополоцк

2011

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Образец задания к курсовой работе

УО «Полоцкий государственный университет»

Факультет машиностроительный

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ТиОМП, профессор

Попок Н. Н.

«___» _____ 2011

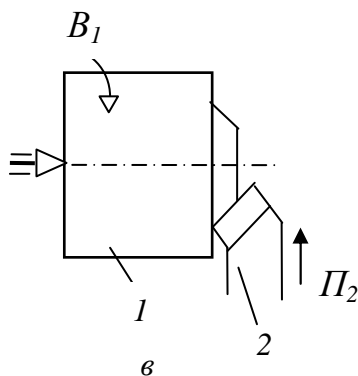
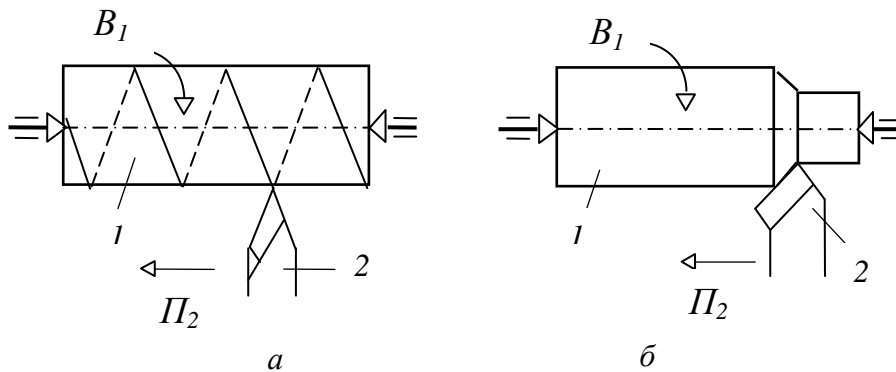
ВАРИАНТ 3.3.3

по дисциплине «Технологическое оборудование»

Студенту группы _____

1. Тема: *Разработка структурной схемы токарно-винторезного станка*

2. Исходные данные: *Способы токарной обработки*



Вариант 3.3.3

Способы токарной обработки: *а* - нарезание резьбы;

б - продольное точение; *в* - поперечное точение.

1 - заготовка; *2* - резец.

а: $\Phi_v(B_1\Pi_2)$; *б*: $\Phi_v(B_1), \Phi_s(\Pi_2)$; *в*: $\Phi_v(B_1), \Phi_s(\Pi_2)$.

3. Срок сдачи законченной работы _____

4. Содержание расчетно-пояснительной записки

Введение.

1. Анализ способов обработки, представленных в задании.

2. Графическое оформление исполнительных органов станка.

3. Формирование внутренних и внешних связей частных структурных схем.

4. Обоснование и расстановка органов настройки параметров исполнительных движений.

5. Логическое описание полученных частных структурных схем.

6. Вывод формул настройки параметров исполнительных движений.

7. Объединение частных структурных схем в обобщенную структурную схему станка.

8. Обоснование принятых межгрупповых связей в обобщенной структурной схеме.

9. Логическое описание обобщенной структурной схемы.

10. Вывод формул настройки параметров исполнительных движений по обобщенной структурной схеме.

11. Патентный поиск технических решений по тематике курсовой работы.

12. На основе патентных и литературных источников проследить тенденцию развития технических решений (способы обработки и кинематическая структура) по тематике курсовой работы.

13. Библиографический список используемых источников.

5. Перечень графического материала (1 лист формата А1).

1. Способы обработки по заданию.

2. Частные структурные схемы и обобщенная структурная схема разрабатываемого станка.

3. Одна-две модификации структурной схемы разработанного станка по материалам патентных и литературных источников.

6. Календарный график выполнения курсовой работы.

7. Дата выдачи задания: _____

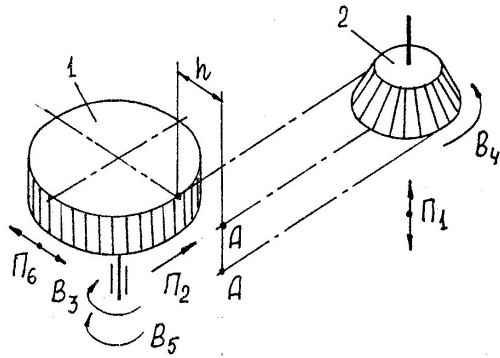
Руководитель _____

(подпись, Фамилия И.О.)

Задание принял к исполнению _____

(подпись студента, дата)

Индивидуальные задания для выполнения курсовой работы по синтезу кинематической структуры станка



Вариант 3.1

Способ зубодолбления с касательным врезанием по патенту 475761 (SU):

1 – нарезаемая заготовка; 2 – долбяк.

$$\Phi_v \uparrow (P_1); \Phi_s (B_4 B_5); V_p (P_2 B_3); V_c \uparrow (P_6).$$

Движения P_1 и P_6 выполняются синхронно.

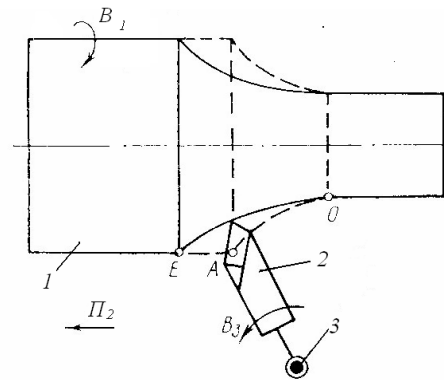
Вариант 3.2

Способ прерывистого точения (фрезоточение) по авт. свид. 228463 (SU):

1 – заготовка; 2 – резец; 3 – ось вращения резца.

$$\Phi_v (B_3); \Phi_{s1} (B_1); \Phi_{s2} (P_2).$$

Обосновать целесообразность замены резца резцовой головкой (фрезой).



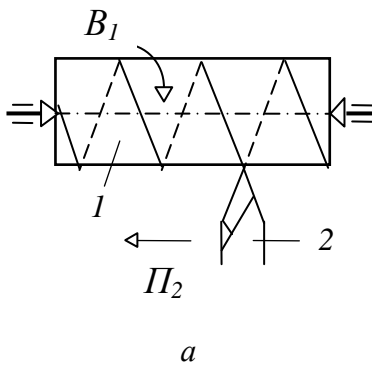
Вариант 3.3

Способы токарной обработки:
а – нарезание резьбы; б – продольное точение; в – поперечное точение.

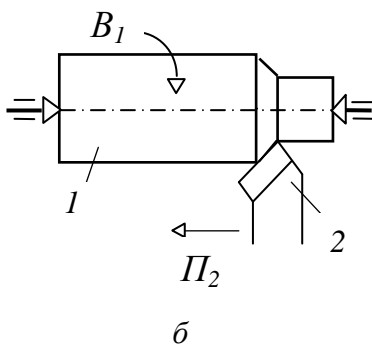
1 – заготовка; 2 – резец.

$$a) \Phi_v (B_1 P_2); б) \Phi_v (B_1), \Phi_s (P_2);$$

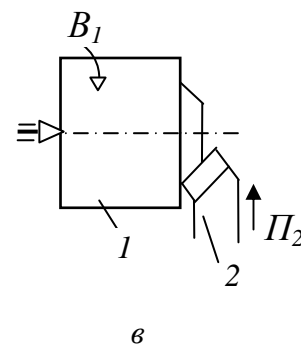
$$в) \Phi_v (B_1), \Phi_s (P_2).$$



а



б



в

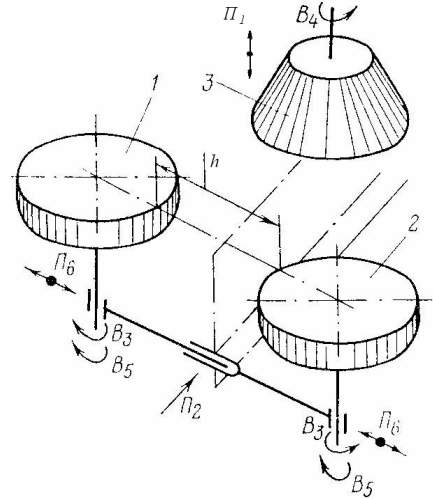
Вариант 3.4

Способ одновременной (параллельной) обработки двух зубчатых колес одним долбяком по авт. свид. 574283 (SU):

1 и 2 – заготовки; 3 – зуборезный долбяк.

$$\Phi_v \uparrow (\Pi_1); \Phi_s (B_4 B_5); Vp (\Pi_2 B_3); Vc \uparrow (\Pi_6).$$

Движения Π_1 и Π_6 выполняются синхронно.



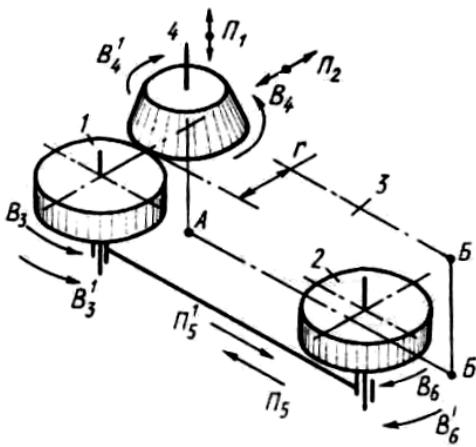
Вариант 3.5

Способ последовательного нарезания двух зубчатых колес одним долбяком по авт. свид. 1641533 (SU):

1 и 2 – нарезаемые заготовки; 3 – плоскость касательного врезания; 4 – зуборезный долбяк.

Заготовка 1: $\Phi_v \uparrow (\Pi_1); Vc \uparrow (\Pi_2); \Pi_3 (\Pi_5); Vp (\Pi_5 B_6); \Phi_s (B_4 B_6^1)$.

Заготовка 2: $\Phi_v \uparrow (\Pi_1); Vc \uparrow (\Pi_2); \Pi_3 (\Pi_5^1); Vp (\Pi_5^1 B_3^1); \Phi_s (B_4^1 B_3)$.

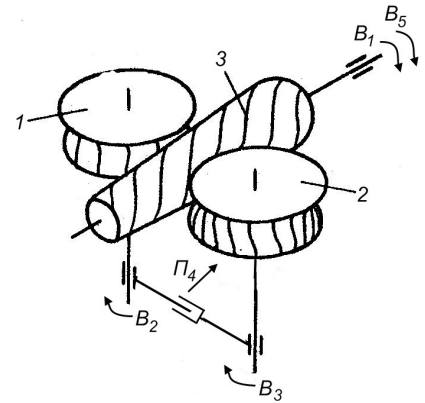
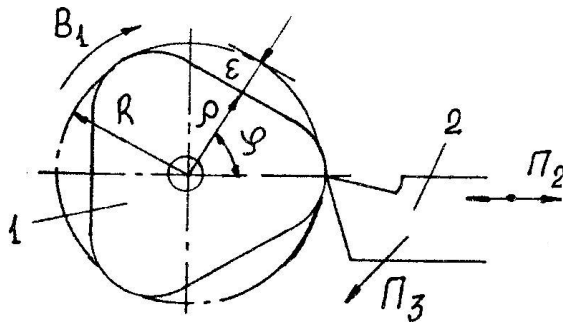


Вариант 3.6

Способ одновременной (параллельной) обработки двух червячных колес одной червячной фрезой по авт. свид. 971596 (SU):

1 и 2 – заготовки; 3 – «длинная» червячная фреза с заборным конусом.

$$\Phi_v (B_1 B_2) \text{ и } \Phi_v (B_1 B_3); Vp (\Pi_4 B_5).$$

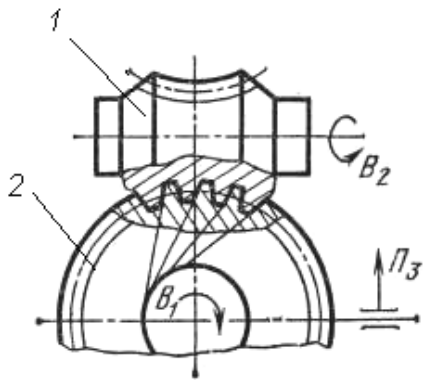


Вариант 3.7

Способ точения поверхностей синусоидального профиля: 1 – заготовка; 2 – резец.

Радиус-вектор профиля описывается выражением $\rho = R - \varepsilon (1 - \text{Cos}n\varphi)$, где ρ – радиус-вектор образующей; R – радиус выступов; n – количество выступов; φ – угловой параметр.

$$\Phi_v (B_1 \uparrow \Pi_2); \Phi_s (\Pi_3).$$



Вариант 3.8

Способ нарезания глобоидного червяка:
1 – нарезаемая заготовка; 2 – обкаточный инструмент типа долбяка.

$$\Phi_v(B_1 B_2); B_p(\Pi_3).$$

Дополнительно предусмотреть нарезание цилиндрического червяка.

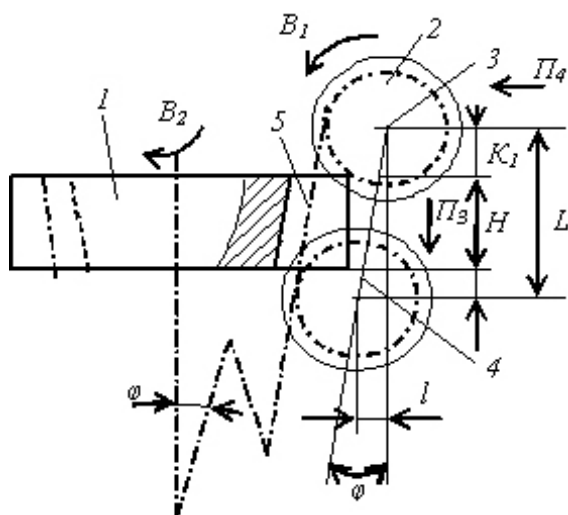
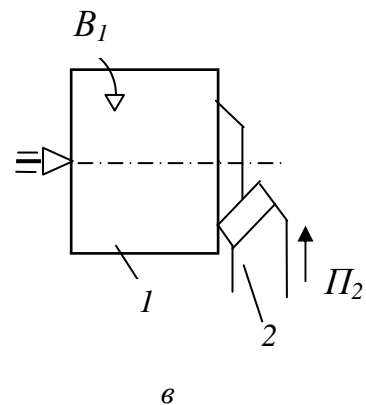
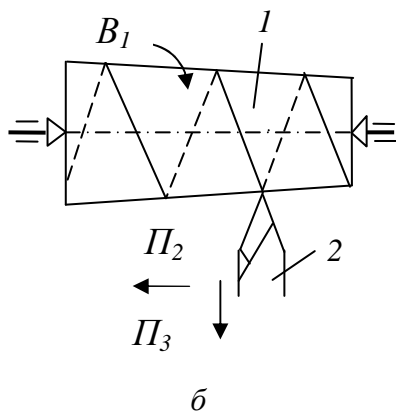
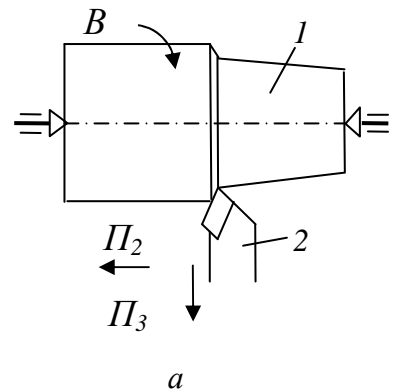
Вариант 3.9

Способы токарной обработки:

a – точение конической поверхности;
б – нарезание конической резьбы; *в* – поперечное точение.

1 – заготовка; 2 – резец.

a) $\Phi_v(B_1), \Phi_s(\Pi_2 \Pi_3)$; *б)* $\Phi_v(B_1 \Pi_2 \Pi_3)$;
в) $\Phi_v(B_1), \Phi_s(\Pi_2)$.



Вариант 3.10

Способ нарезания цилиндрических прямозубых колес с наклонными зубьями по патенту 6134 (ВУ):

1 – нарезаемая заготовка; 2 – червячная фреза; 3 – ось фрезы; 4 – эквидистанта; 5 – делительный конус.

$$\Phi_v(B_1 B_2); \Phi_s(\Pi_3 \Pi_4).$$

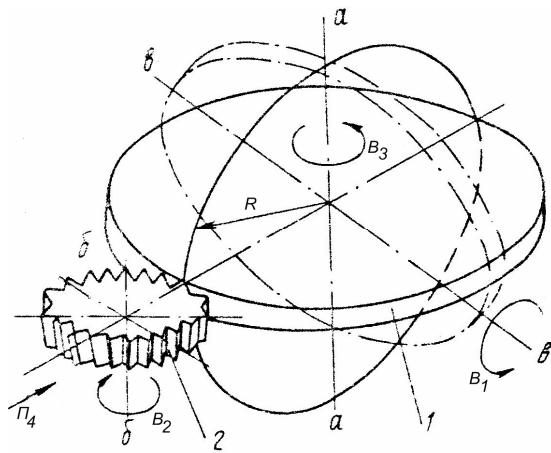
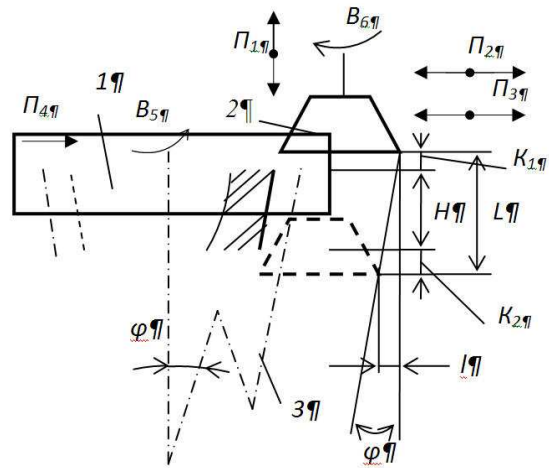
Вариант 3.11

Способ долбления цилиндрических прямозубых колес с наклонными зубьями по патенту 3343 (ВУ):

1 – нарезаемая заготовка; 2 – зуборезный долбяк; 3 – делительный конус.

$$\Phi_v(\Pi_1\Pi_2); \Phi_s(B_5B_6); Vp(\Pi_4); Vc(\Pi_3).$$

Движения Π_1, Π_2, Π_3 выполняются синхронно.



Вариант 3.12

Способ нарезания зубчатых колес долбяком по авт. свид. 1034857 (SU):

1 – нарезаемая заготовка; 2 – долбяк.

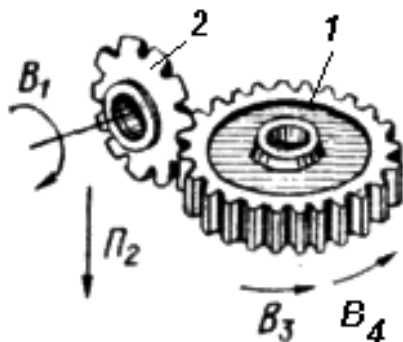
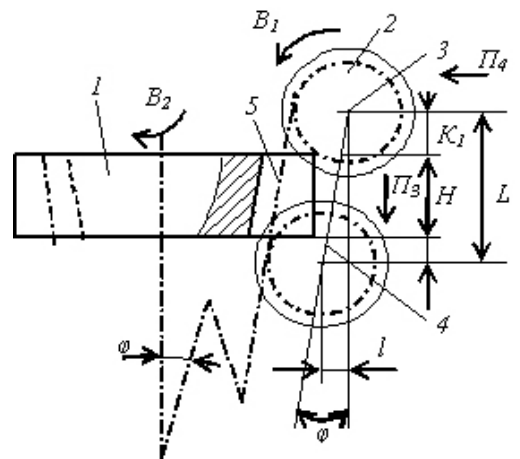
$$\Phi_v(B_1); \Phi_s(B_2B_3); Vp(\Pi_4).$$

Вариант 3.13

Способ фрезерования цилиндрических косозубых колес с наклонными зубьями:

1 – нарезаемая заготовка; 2 – червячная фреза; 3 – ось фрезы; 4 – эквидистанта; 5 – делительный конус.

$$\Phi_v(B_1B_2), \Phi_{s1}(\Pi_3\Pi_4), \Phi_{s2}(\Pi_3B_5)$$



Вариант 3.14

Способ зубофрезерования цилиндрических зубчатых колес:

1 – нарезаемая заготовка; 2 – модульная фреза.

Обработка прямозубого колеса:

$$\Phi_v(B_1), \Phi_s(\Pi_2), D(B_3).$$

Обработка косозубого колеса:

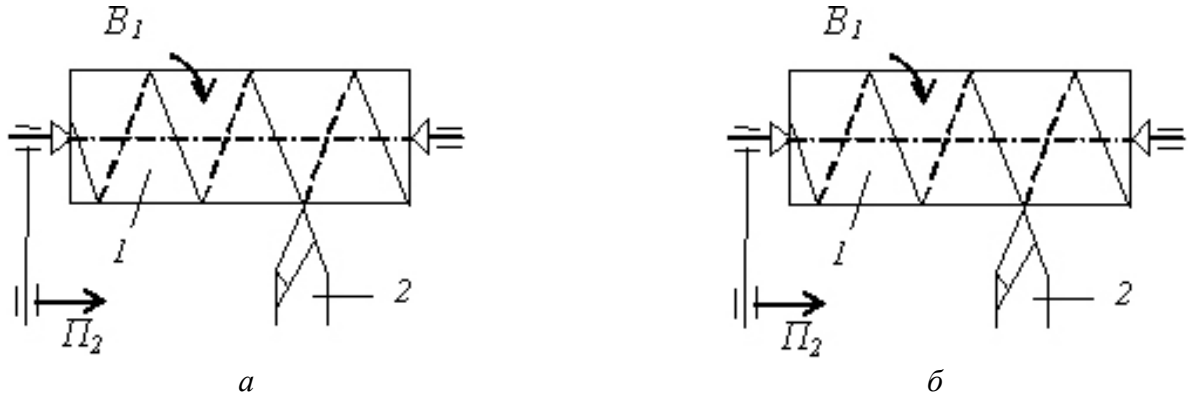
$$\Phi_v(B_1), \Phi_s(\Pi_2B_4), D(B_3).$$

Вариант 3.15

Способы токарной обработки:

a – нарезание резьбы; *б* – продольное точение: 1 – заготовка; 2 – резец.

Нарезание резьбы: $\Phi_v(B_1\Pi_2)$. Продольное точение: $\Phi_v(B_1)$, $\Phi_s(\Pi_2)$.

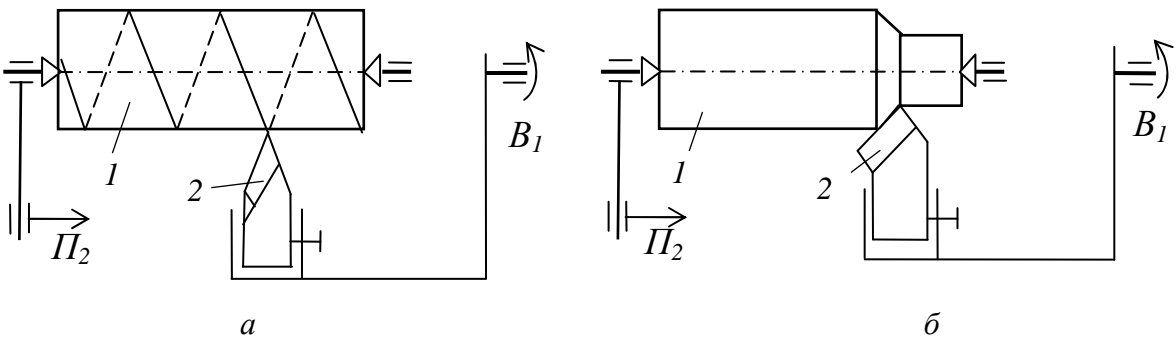


Вариант 3.16

Способы токарной обработки:

a – нарезание резьбы; *б* – продольное точение: 1 – заготовка; 2 – резец.

Нарезание резьбы: $\Phi_v(B_1\Pi_2)$. Продольное точение: $\Phi_v(B_1)$, $\Phi_s(\Pi_2)$.

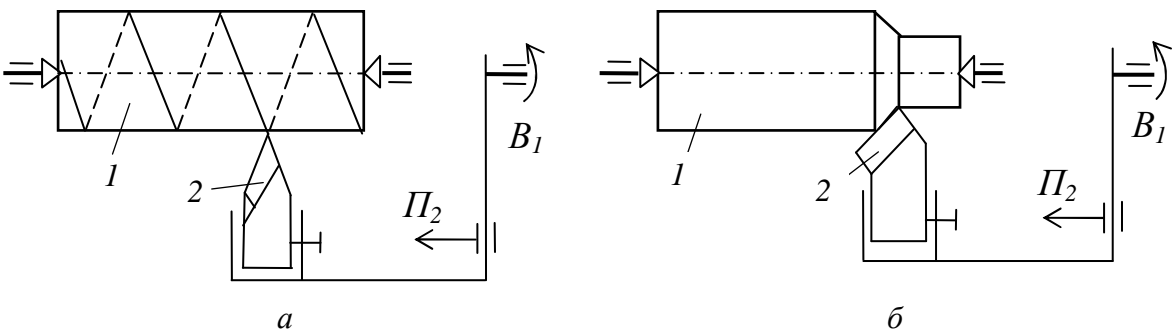


Вариант 3.17

Способы токарной обработки:

a – нарезание резьбы; *б* – продольное точение: 1 – заготовка; 2 – резец.

Нарезание резьбы: $\Phi_v(B_1\Pi_2)$. Продольное точение: $\Phi_v(B_1)$, $\Phi_s(\Pi_2)$.



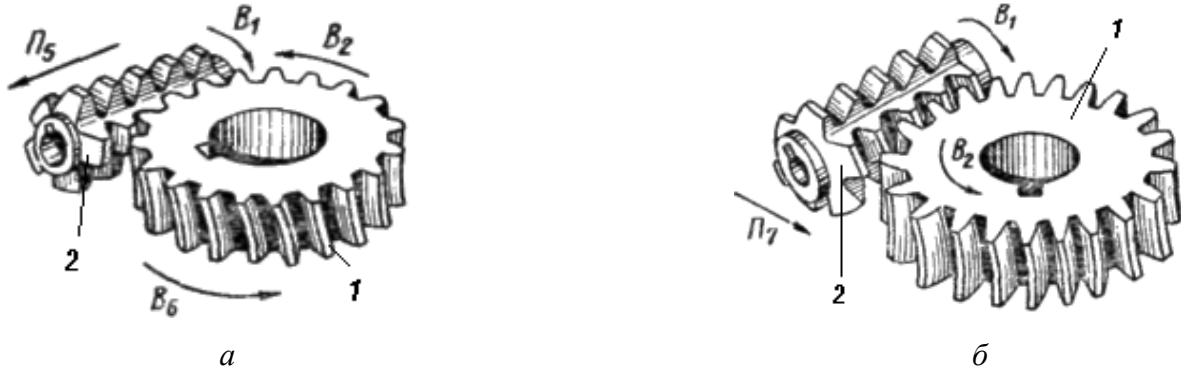
Вариант 3.18

Способы нарезания червячных колес:

a – при радиальном врезании; *б* – при осевом врезании:

1 – нарезаемое червячное колесо; 2 – червячная фреза.

Зубофрезерование при радиальном врезании: $\Phi_v(B_1B_2)$, $Vp(\Pi_7)$; при осевом врезании: $\Phi_v(B_1B_2)$, $Vp(\Pi_5B_6)$.

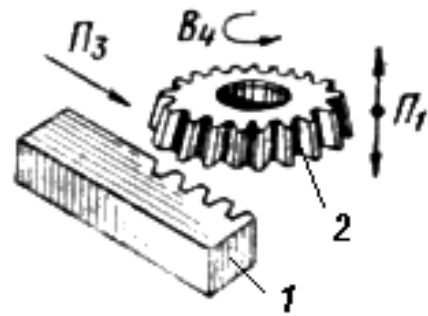


Вариант 3.19

Способ нарезания зубьев рейки зуборезным долбяком: 1 – нарезаемая рейка; 2 – долбяк.

$\Phi_v(\Pi_1)$, $\Phi_s(\Pi_3B_4)$, $Vc(\Pi_2)$.

Движение «отскока» Π_2 инструмента (или заготовки) не показано.



Вариант 3.20

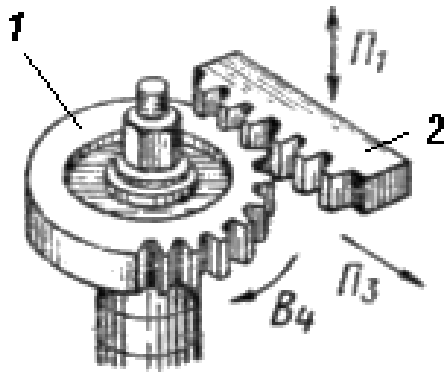
Способ нарезания зубчатого колеса зуборезной рейкой:

1 – нарезаемое колесо; 2 – зуборезная рейка.

Z рейки больше Z нарезаемого колеса.

$\Phi_v(\Pi_1)$, $\Phi_s(\Pi_3B_4)$, $Vc(\Pi_2)$.

Движение «отскока» Π_2 инструмента (или заготовки) не показано.

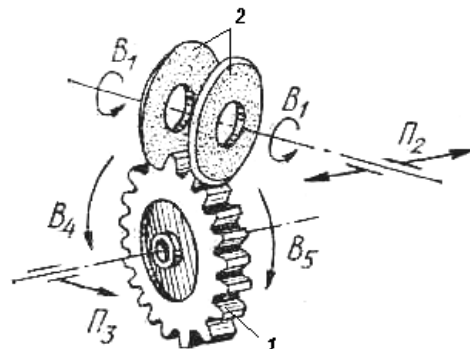


Вариант 3.21

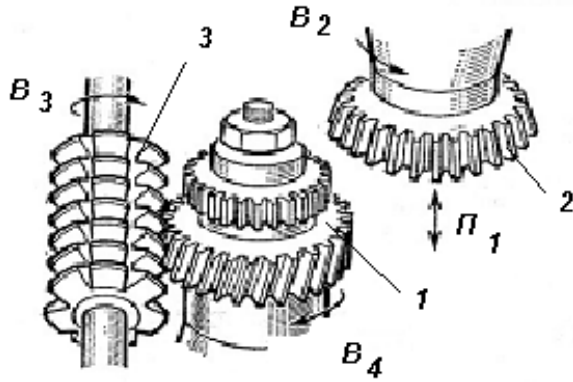
Способ шлифования цилиндрического зубчатого колеса двумя дисковыми кругами:

1 – шлифуемое колесо; 2 – тарельчатые шлифовальные круги.

$\Phi_v(B_1)$, $\Phi_{s1}(\Pi_2)$, $\Phi_{s2}(\Pi_3B_4)$, $D(B_5)$.



Вариант 3.22



Способ комбинированного нарезания блока зубчатых колес:

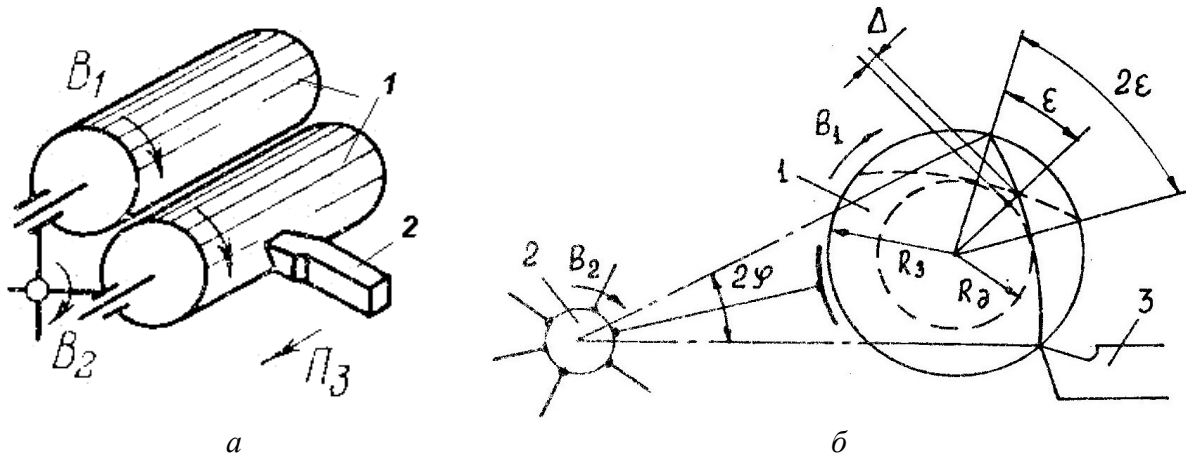
1 – нарезаемый блок колес; 2 – зуборезный долбяк; 3 – червячная фреза.

Способ используется в станках фирмы «Пфаутер» (ФРГ) для одновременного фрезерования и долбления различных по модулю и числу зубьев венцов блока зубчатых колес.

Вариант 3.23

Способ планетарного точения по авт. свид. 465274 (SU):

a – схема способа; *б* – схема воспроизведения образующей.



По этому способу несколько заготовок 1 устанавливают в шпиндели, размещенные по кругу относительно центрального шпинделя 2. Процесс обработки осуществляют, сообщая заготовкам вращение B_1 вокруг собственных осей и вращение B_2 вокруг центрального шпинделя 2, а резцу 3 – движение P_3 продольной подачи.

При планетарном точении образуется огранка, высота которой определяется по выражению

$$\Delta = t - R_3 \varepsilon \frac{H \sin \varphi}{\sqrt{R_3 - H^2 - \sin \varphi}},$$

где Δ – высота огранки;

R_3 – радиус заготовки;

t – припуск, снимаемый за проход;

H – расстояние между осями вращения заготовки и шпинделя.

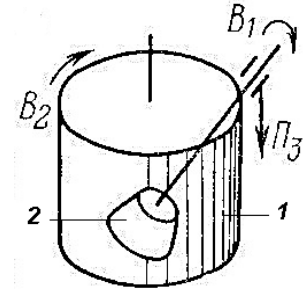
Для равномерного снятия припуска с заготовки необходимо задать (определить) такое соотношение круговых частот движений B_1 и B_2 в относительном и переносном движениях заготовок, при котором каждый последующий срез будет перекрывать предыдущий на угол 2ε .

Вариант 3.24

Способ зуботочения цилиндрических зубчатых колес:

1 – нарезаемая заготовка; 2 – обкатной зуборезный резец (или зуборезный долбяк).

$$\Phi_v(B_1 B_2), \Phi_s(\Pi_3 B_4).$$

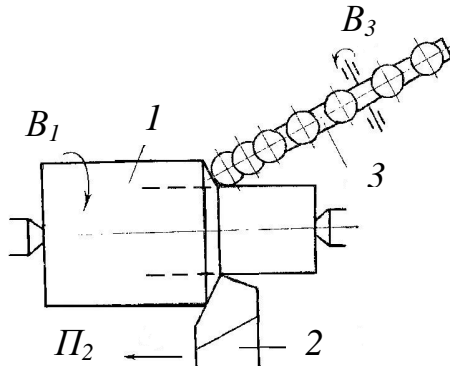


Вариант 3.25

Способ точения с опережающим пульсирующим пластическим деформированием:

1 – заготовка; 2 – резец; 3 – шариковый накатник.

$$\Phi_v(B_1), \Phi_s(\Pi_2) Bc(B_3).$$



Вариант 3.26

Способ ротационной обработки резанием по авт. свид. 1127690 (SU):

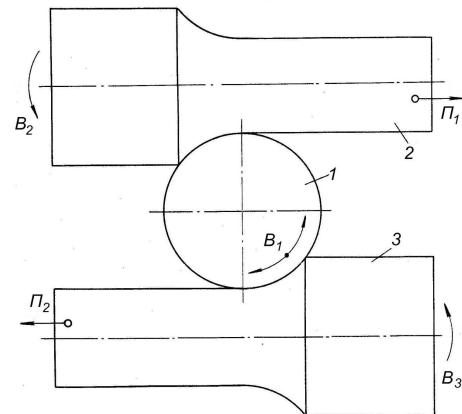
1 – круглый резец; 2 и 3 – обрабатываемые заготовки.

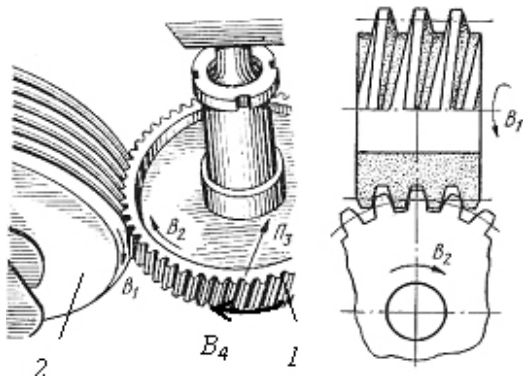
$$\text{Заготовка 2: } \Phi_v(B_2), \Phi_s(\Pi_1 B_1).$$

$$\text{Заготовка 3: } \Phi_v(B_3), \Phi_s(\Pi_2 B_1).$$

Срезание припуска с обеих заготовок осуществляется одновременно или от минимальной толщины срезаемого слоя к максимальной, или наоборот от максимальной толщины срезаемого слоя к минимальной в зависимости от направления вращения B_1 резца 1. Тем самым обеспечиваются одинаковые условия работы (силовая и тепловая нагрузка и т.п.) участвующих в резании участков режущей кромки круглого резца.

При чистовой обработке, когда снимаемый припуск небольшой, движение B_1 резца осуществляют против часовой стрелки, т.е. направление скорости вращения резца в его вершине направлено противоположно скорости подачи соответственно Π_1 и Π_2 заготовок. В этом случае стружка сходит в сторону обрабатываемой поверхности, не царапает ее, и тем самым повышается качество обработки. Кроме того, условия деформирования срезаемого слоя способствуют формированию качественно обработанной поверхности. При получистовой и черновой обработке, когда значение срезаемого припуска больше, вращение резца осуществляют по часовой стрелке, т.е. направление скорости вращения резца в его вершине задают одинаковым с направлением скоростей подачи заготовок. В этом случае резец как бы катится с проскальзыванием по поверхности заготовок. Это способствует уменьшению осевой силы резания и, следовательно, снижению мощности процесса резания. Качество обработки в данном случае не играет существенного значения, так как полученная деталь подлежит последующей обработке.



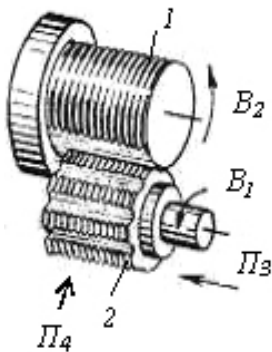


Вариант 3.28

Способ фрезерования многозаходной резьбы:

1 – заготовка; 2 – фасонная (профильная) фреза.

$$\Phi_v(B_1), \Phi_s(B_2П_3), Д(B_5).$$

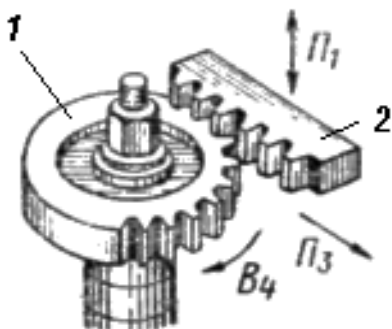


Вариант 3.30

Способ фрезерования резьбы червячной фрезой:

1 – заготовка; 2 – червячная резьбовая фреза.

$$\Phi_v(B_1B_2), \Phi_s(П_3B_4).$$



Вариант 3.27

Способ шлифования прямозубых и косо-зубых колес абразивным червячным кругом:

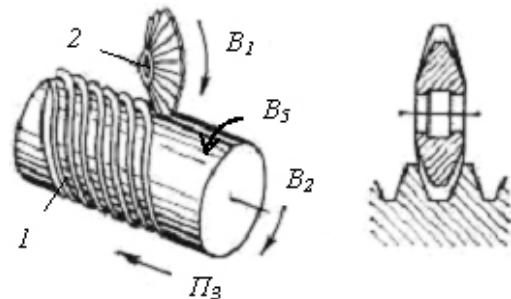
1 – шлифуемое колесо; 2 – абразивный червяк.

Шлифование прямозубого колеса:

$$\Phi_v(B_1B_2), \Phi_s(П_3).$$

Шлифование косо-зубого колеса:

$$\Phi_v(B_1B_2), \Phi_s(П_3B_4).$$

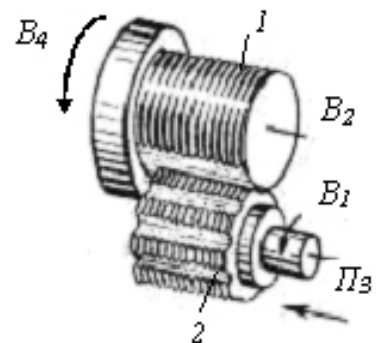


Вариант 3.29

Способ фрезерования резьбы много-ниточной гребенчатой фрезой:

1 – заготовка; 2 – много-ниточная гребенчатая фреза.

$$\Phi_v(B_1), \Phi_s(B_2П_3), B_p(П_4).$$



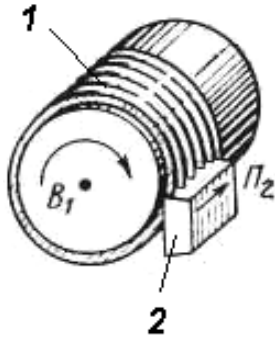
Вариант 3.31

Нарезание зубчатого колеса зуборезной рейкой:

1 – нарезаемое колесо; 2 – зуборезная рейка. Z рейки меньше Z нарезаемого колеса.

$$\Phi_v(П_1), \Phi_s(П_3B_4), Д(B_5), B_c(П_2).$$

Движение «отскока» $П_2$ инструмента (или заготовки) и движение деления не показаны.



Вариант 3.32

Нарезание резьбы резбовой гребенкой:

1 – нарезаемая заготовка; 2 – резбовая гребенка.

$$\Phi_v(B_1\Pi_2).$$

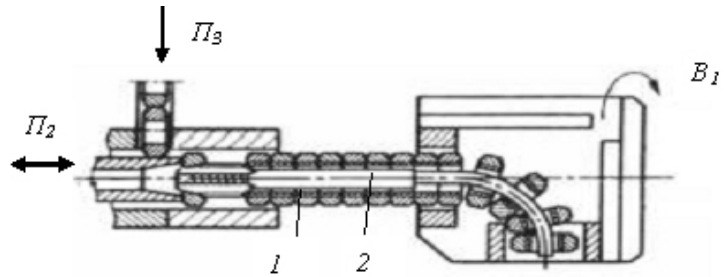
Вариант 3.33

Нарезание резьбы в гайках:

1 – нарезаемая гайка;

2 – Г-образный метчик.

$$\Phi_v(B_1\uparrow\Pi_2), Vc(\downarrow\Pi_2), Vc(\Pi_3).$$

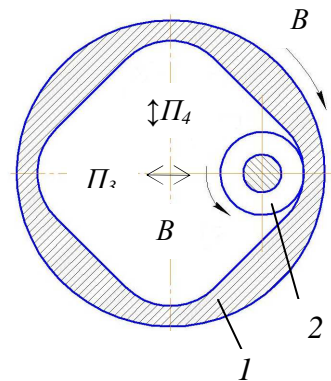
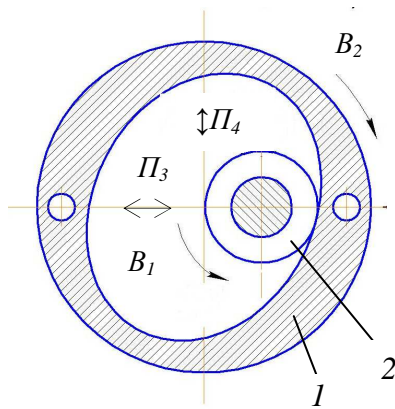


Вариант 3.34

Шлифование внутренних нецилиндрических поверхностей:

1 – обрабатываемая заготовка; 2 – абразивный инструмент.

$$\Phi_v(B_1), \Phi_{s1}(B_2\Pi_3), \Phi_{s2}(\Pi_4).$$



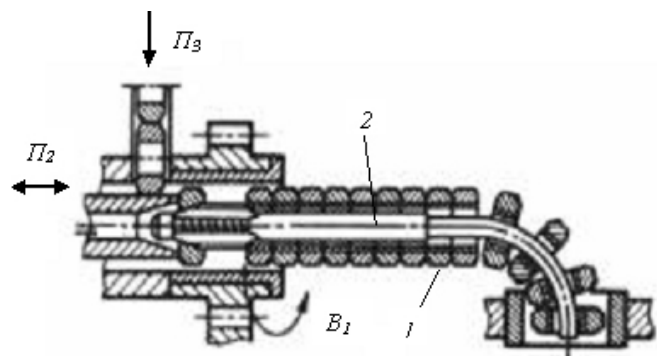
Примечание: $\uparrow\Pi_4$ – поступательно-возвратное движение подачи инструмента 2 параллельно оси заготовки 1.

Вариант 3.35

Нарезание резьбы в гайках:

1 – нарезаемая гайка; 2 – Г-образный метчик.

$$\Phi_v(B_1\uparrow\Pi_2), Vc(\downarrow\Pi_2), Vc(\Pi_3).$$

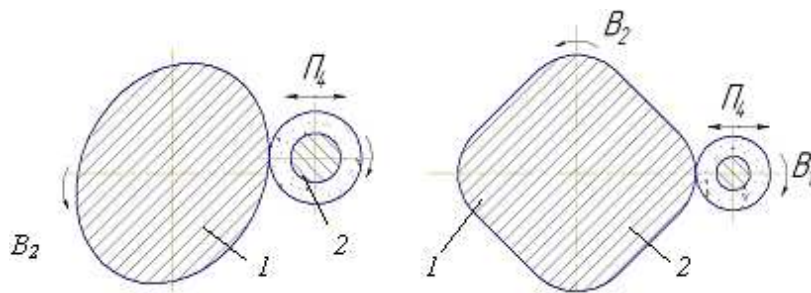


Вариант 3.36

Шлифование наружных нецилиндрических поверхностей:

1 – обрабатываемая заготовка; 2 – абразивный инструмент.

$\Phi_v(B_1)$, $\Phi_{s1}(B_2\Pi_4)$, $\Phi_{s2}(\downarrow\Pi_3)$.



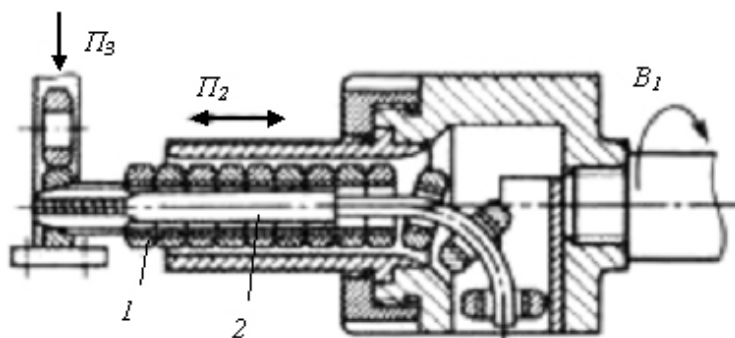
Примечание: $\downarrow\Pi_3$ – поступательно-возвратное движение подачи инструмента 2 параллельно оси заготовки 1 не показано.

Вариант 3.37

Нарезание резьбы в гайках:

1 – нарезаемая гайка; 2 – Г-образный метчик.

$\Phi_v(B_1\uparrow\Pi_2)$, $Vc(\downarrow\Pi_2)$, $Vc(\Pi_3)$.

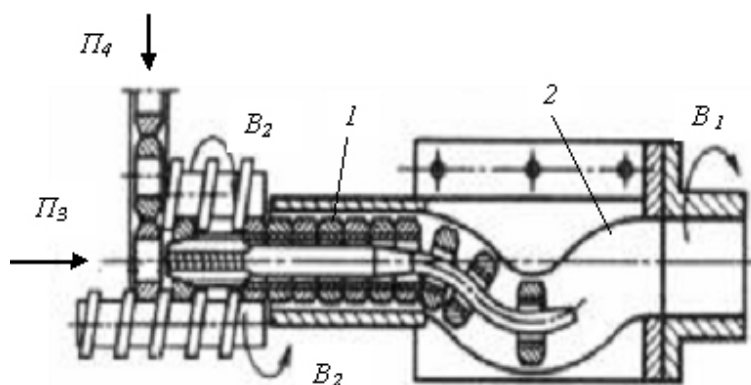


Вариант 3.38

Нарезание резьбы в гайках:

1 – нарезаемая гайка; 2 – S-образный метчик.

$\Phi_v(B_1\Pi_3)$, $Vc(B_2)$, $Vc(\Pi_3)$.



ЛИТЕРАТУРА

1. Голембиевский, А. И. Станочное оборудование : учеб.-метод. комплекс для студентов специальности 1-36 01 01, 1-36 01 03 / А. И. Голембиевский. – Новополюцк : ПГУ, 2006.
2. Голембиевский, А. И. Технологическое оборудование : учеб.-метод. комплекс для студентов специальности 1-36 01 04 / А. И. Голембиевский. – Новополюцк : ПГУ, 2007.
3. Тепинкичиев, В. К. Металлорежущие станки / В. К. Тепинкичиев [и др.]. – Ленинград : Машиностроение, 1970.
4. Федотенюк, А. А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А. А. Федотенюк. – М. : Машиностроение, 1970.
5. Трофимов, А. М. Металлорежущие станки: альбом с приложением / А. М. Трофимов – 2-е изд. – М. : Машиностроение, 1979.
6. Металлорежущие станки : учеб. / под ред. В. К. Тепинкичиева. –М. : Машиностроение, 1973.
7. Ермаков, Ю. М. Металлорежущие станки : учеб. / Ю. М. Ермаков, Б. А. Фролов. – М. : 1985.
8. Металлорежущие станки : учеб. / под ред. В. Э. Пуша. – М. : Машиностроение, 1985.
9. Локтева, С. Е. Станки с программным управлением : учеб. пособие / С. Е. Локтева. – М. : Машиностроение, 1979.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	1
1. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ, ЕГО СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	2
2. АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ	3
2.1. Методика кинематического анализа	3
2.2. Пример анализа кинематической схемы станка	7
2.3. Возможные модификации базовой структурной схемы шлицефрезерного станка	18
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Образец оформления титульного листа	32
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Образец задания к курсовой работе	33
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Индивидуальные задания для выполнения курсовой работы по анализу кинематической схемы	35
3. СИНТЕЗ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ	45
3.1. Методика разработки структурной схемы станка	45
3.2. Последовательность разработки частных структурных схем станка	50
3.3. Объединение частных структурных схем в обобщенную структурную схему станка	69
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Образец оформления титульного листа	73
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Образец задания к курсовой работе	74
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Индивидуальные задания для выполнения курсовой работы по синтезу кинематической структуры станка	75
ЛИТЕРАТУРА	87

Учебное издание

ГОЛЕМБИЕВСКИЙ Анатолий Иосифович

**МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию для студентов
специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения»,
1-36 01 03 «Технологическое оборудование
машиностроительного производства»

Редактор *В. В. Демиденко*

Подписано в печать 09.01.2012. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 5,35. Уч.-изд. л. 4,15. Тираж 60 экз. Заказ 13.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

ЛИ № 02330/0548568 от 26.06.2009 ЛП № 02330/0494256 от 27.05.2009

Ул. Блохина, 29, 211440, г. Новополоцк.