

Лекция 7

Гибкие производственные системы (часть I)

Компоновки гибких производственных модулей (ГПМ)

Основные типы компоновок ГПМ приведены в государственном стандарте ГОСТ 27491—87 "Модули гибкие производственные и станки многоцелевые сверлильно-фрезерно-расточные. Основные параметры и размеры".

На рис. 7.1 показаны горизонтальные ГПМ для обработки корпусных деталей. Стойка 1 с перемещающейся по ней в вертикальном направлении шпиндельной бабкой 2 устанавливается либо неподвижно, либо перемещается по станине 3.

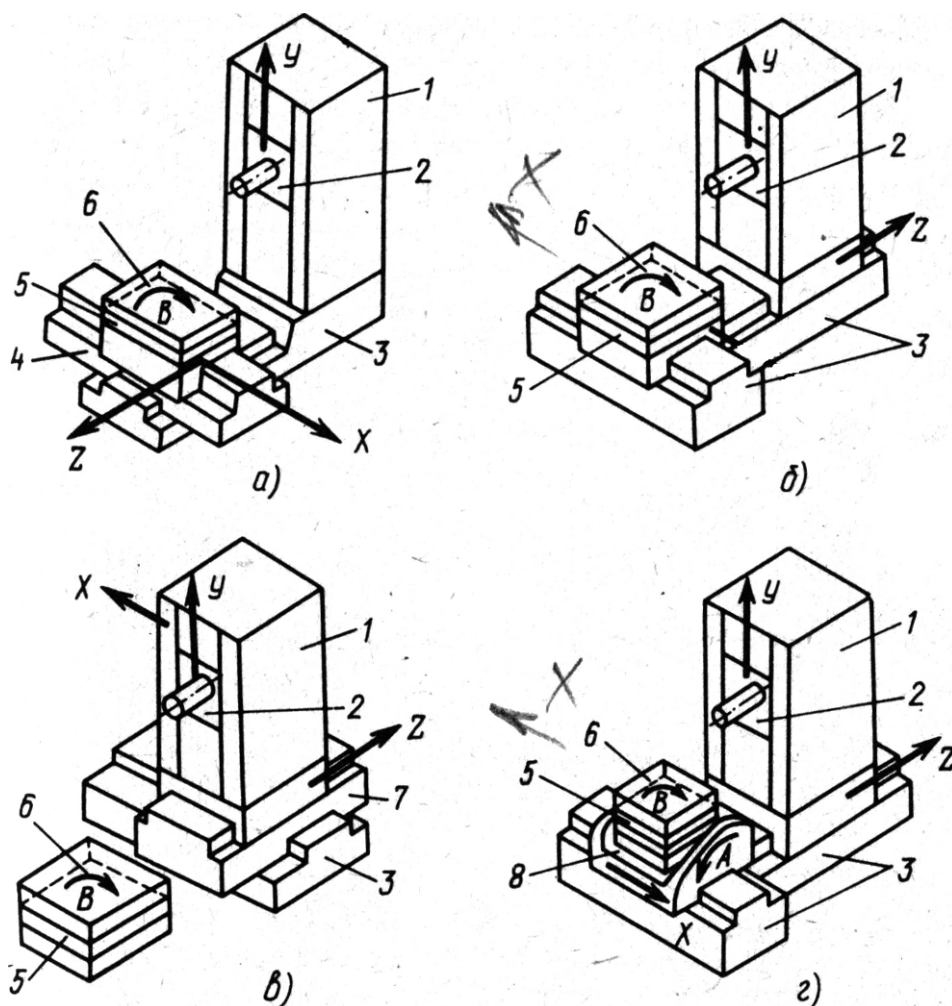


Рис. 7.1. Горизонтальные ГПМ для обработки корпусных деталей: *а* — с неподвижной стойкой и крестовым поворотным столом, *б* — с подвижными по одной оси координат поворотным столом и стойкой, *в* — с неподвижным поворотным столом и крестовой стойкой, *г* — с подвижным по одной линейной оси поворотно-наклонным столом

При неподвижной стойке 1 (рис. 7.1, а) поворотный стол 5 со столом-спутником 6 перемещаются по двум взаимно перпендикулярным осям координат с помощью промежуточных между ним и основанием салазок 4, снабженных крестообразно расположенными верхними и нижними направляющими.

При подвижной в одном направлении стойке 1 стол 5 также перемещается по одной линейной оси координат (рис. 7.1, б).

Если же стойка 1 с помощью промежуточных салазок 7 перемещается по двум взаимно перпендикулярным осям, то поворотный стол 5 выполняется неподвижным (рис. 7.1, в). Компоновки с неподвижным или перемещающимся только по одной оси координат столом 8 используется в станках и модулях, где стол 8 является поворотно-наклонным и на нем могут обрабатываться детали с пяти сторон и под различными углами (рис. 7.1, г).

На рис. 7.2 показан горизонтальный ГПМ для обработки деталей произвольной формы – корпусных или тел вращения. На неподвижной стойке 1 в вертикальном направлении перемещается бабка 2 с выдвижным шпинделем 3, а подвижный в перпендикулярном оси шпинделя направлении стол 5 перемещается по горизонтальной оси. Такой модуль служит для сверлильно-фрезерно-расточной обработки вращающимся инструментом и для токарной обработки деталей, закрепленных на столе-спутнике 4 невращающимся инструментом (установленным в тот же шпиндель 3 и зафиксированным относительно корпуса шпиндельной бабки).

На рис. 7.3 показан вертикальный ГПМ с неподвижной стойкой 2, вертикально перемещающейся шпиндельной бабкой 7 и крестовым столом 3 на салазках 4. Стол со столом-спутником 5 вертикальных ГПМ имеет, как правило, удлиненную форму, размеры которой соответствуют отношению длины к ширине плоских деталей. Кроме того, вертикальные станки удобны для обработки небольших удлиненных деталей произвольной формы (в том числе типа тел вращения), закрепляемых в накладных поворотных вокруг горизонтальной оси столах.

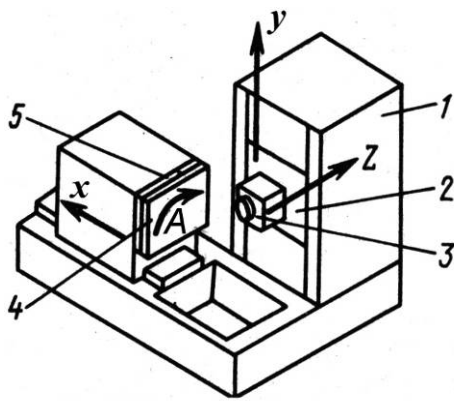


Рис. 7.2. ГПМ для обработки деталей произвольной формы с поворотным вокруг горизонтальной оси координат столом

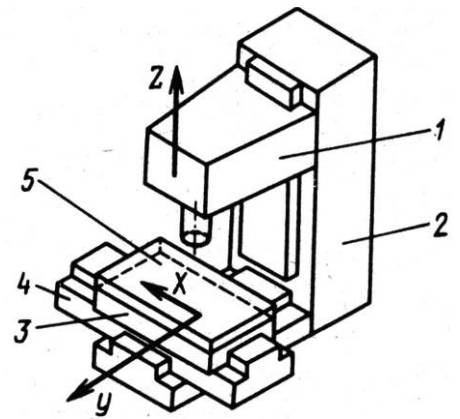


Рис. 7.3. Вертикальный ГПМ для обработки плоских деталей с неподвижной стойкой и крестовым столом

На рис. 7.4 показаны двухстоечные вертикальные ГПМ. Портал 1 может быть неподвижным (рис. 4, *a*) или подвижным вдоль неподвижной плиты-стенда 7 (рис. 4, *б*). При неподвижном портале (см. рис. 4, *a*) стол 3 перемещается по одной оси координат (вдоль длинной стороны), на нем может устанавливаться стол-спутник 4. Шпиндельная бабка 5 расположена на поперечине 2 и перемещается по ней в горизонтальном направлении, перпендикулярном направлению перемещения портала или стола. Поперечина 2 может быть неподвижной (при этом она является частью портала) или иметь установочное перемещение вдоль оси шпинделя. При неподвижной поперечине (см. рис. 7.4, *б*) по оси координат Z перемещается шпиндельная бабка 5 (или ползунковый шпиндель), расположенная на салазках 6, перемещающихся по поперечине 2.

На рис. 7.1—7.4 показаны принятые в нормативных документах направления осей координат, по которым перемещаются рабочие органы.

Значительная часть модулей имеет одностоечную компоновку с неподвижным бесконсольным столом, крестовым или продольно-подвижным (по координате X). При этом, как правило, используется стойка portalного типа, по которой вертикально перемещается шпиндельная бабка с жестким неподвижным шпинделем.

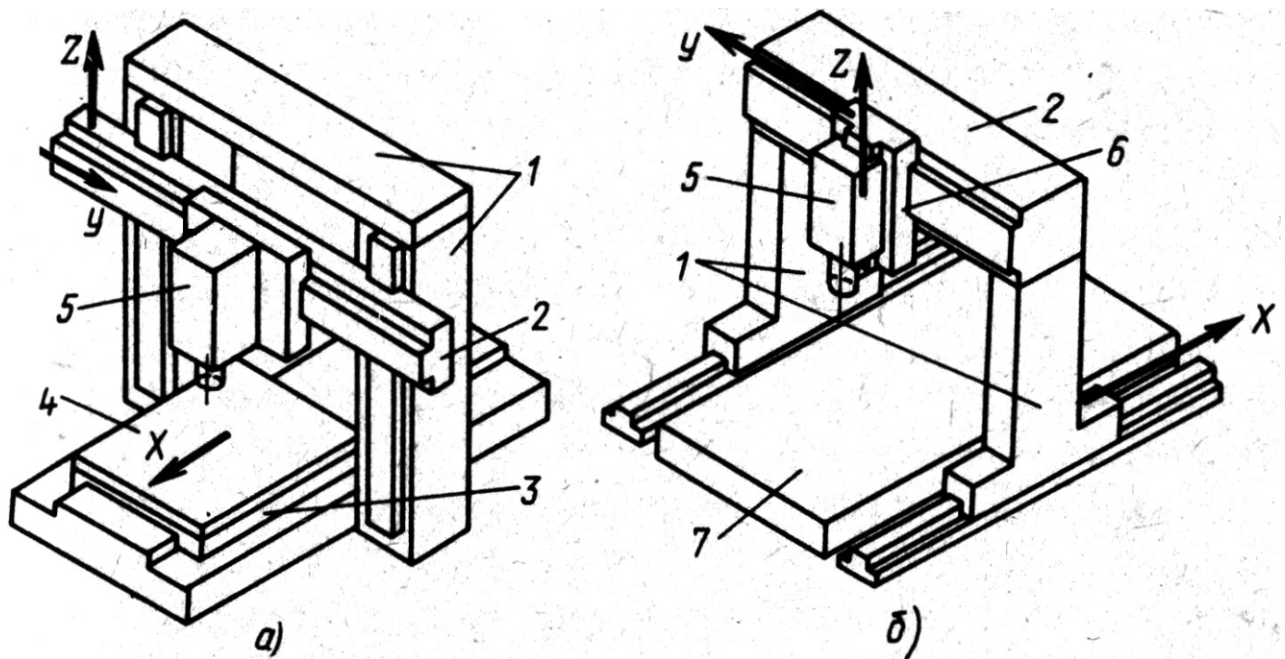


Рис. 7.4. Вертикальные двухстоечные ГПМ для обработки корпусных и плоских деталей:
а — с подвижными столом и поперечиной, *б* — с подвижным порталом

Разделение перемещений стола и стойки по одной линейной координате в станках способствует достижению высокой точности позиционирования, так как отсутствуют консольные участки и нет взаимного влияния подвижных по осям X и Z (Y) узлов. Появляется также возможность увеличения длины стола и его перемещения по координате X , что необходимо для обработки длинномерных деталей.

Уменьшение числа координат, по которым перемещается стол, приводит к улучшению условий сбора и отвода стружки, стыковки с устройствами автоматической смены обрабатываемых заготовок, т.е. облегчается встраиваемость модулей в ГПС. В связи с этим в последнее время шире стали применяться ГПМ с крестовой стойкой, даже при небольших размерах рабочей поверхности столов. Компоновки с неподвижным или перемещающимся по одной линейной координате столом, которые ранее применялись в основном только в двухстоечных порталных станках, в настоящее время используются и в большинстве горизонтальных модулях.

В малых модулях достаточно широко используется поворотный вокруг горизонтальной оси стол шириной до 400—500 мм (т.е. стол с вертикальной рабочей поверхностью). В таких модулях наиболее надежно решается вопрос

отвода стружки и СОЖ, что является весьма важным для работы в режиме "безлюдной" технологии.

Двухстоечные ГПМ со столом шириной 1000 мм и более применяют для обработки крупных деталей. Следует отметить, что станки с подвижным порталом при одинаковых размерах стола существенно легче, чем станки с подвижным столом.

Путем автоматизации вспомогательных операций станка и оснащения его целым рядом устройств работа модуля выполняется без постоянного присутствия оператора; это приводит к резкому повышению общей мощности установленного электрооборудования, вследствие чего на долю привода главного движения во многих случаях приходится не более 25÷30 % общей мощности.

Существенно возросла в последнее время наибольшая частота вращения шпинделя, что объясняется применением современного режущего инструмента с высокими скоростями резания и использованием станков из легких сплавов. Например, в станках для обработки корпусных деталей, оснащенных шпинделем с конусом 30, частота вращения шпинделя достигает 9000÷12000 об/мин; с конусом 40, который используется также в малых, а иногда средних станках, - 5000÷7000 об/мин; с конусом 50 в более крупных станках — 4000÷5000 об/мин. В отдельных случаях для сверхскоростной обработки применяются шпиндели с частотой вращения до 20 000 и даже до 40 000 об/мин.

Современные ГПМ отличаются высоким быстродействием механизмов. Скорость быстрых перемещений рабочих органов составляет 10÷15 м/мин и более. Собственное время смены инструментов в небольших станках равно 3÷5 с, а в средних и крупных — 5÷10 с; таким образом, с учетом высоких скоростей перемещения рабочих органов потери времени между резанием составляют не более 10÷15 с.

Быстродействие устройств автоматической смены заготовок имеет существенное значение для увеличения производительности; чем короче цикл обработки (что характерно для деталей плоских и типа тел вращения), тем

заметнее влияние на производительность. Время смены заготовок во многих случаях доведено до 15÷20 с, однако даже на достаточно крупных ГПМ оно составляет, как правило, не более 40÷60 с.

Значительно возросла точность позиционирования рабочих органов в результате как освоения точных измерительных средств (например, линейные и круговые фотоимпульсные измерительные преобразователи), так и возможности введения коррекции с помощью устройства ЧПУ. При этом для оценки точности позиционирования используется методика со статистической обработкой результатов измерений, с помощью которой гарантируется точность позиционирования при эксплуатации 0,97. В соответствии с этой методикой точность позиционирования устанавливается не по одному, а по нескольким параметрам: точность и стабильность при двустороннем подходе рабочих органов в заданные положения, зона нечувствительности при реверсировании. При необходимости определяется и точность позиционирования при одностороннем подходе.

Использование принципа агрегатирования при построении ГПМ

Агрегатирование в станкостроении — это метод компоновки станков из ряда унифицированных самодействующих узлов различных типоразмеров, которые обладают размерной или функциональной взаимозаменяемостью и снабжены приводом.

Унификация отличается от агрегатирования степенью использования одинаковых деталей, элементов, механизмов. Узлы одинакового функционального назначения в различных машинах могут быть унифицированы между собой в различной степени, и если унификация полная, то такие узлы становятся агрегатными.

Построение ГПМ по принципу агрегатирования позволяет из сравнительно ограниченного комплекта унифицированных узлов создавать без основательных дополнительных затрат разнообразные модификации станков, приспособленных к конкретным требованиям заказчиков по технологическим

возможностям, объему рабочего пространства, количеству и номенклатуре рабочих органов, уровню автоматизации, а также другим параметрам, например массе станка, занимаемой площади, однотипности электро- и гидрооборудования и т.д. При этом становится возможным ускорение проектирования модификаций, организация централизованного производства агрегатных узлов с увеличением серийности и непрерывное независимое совершенствование этих узлов, сокращение сроков и затрат на изготовление станков и увеличение их выпуска, улучшение условий эксплуатации за счет уменьшения номенклатуры комплектующих изделий, возможности централизованного ремонта и замены агрегатных узлов.

Качественный уровень агрегатирования оценивается степенью технологической приспособляемости системы к производственным задачам — так называемым уровнем агрегатирования. Существующие агрегатные станочные системы по уровню агрегатирования можно разделить на три вида: к первому относятся системы, позволяющие создавать станки для обработки деталей различных размеров с геометрически подобным расположением обрабатываемых поверхностей, из различных конструкционных материалов; системы второго вида более совершенны, отличаются более высоким уровнем агрегатирования и позволяют создавать оптимальные модификации станков для комплексной обработки деталей одного технологического класса, отличающиеся не только размерами, но числом и относительным расположением обрабатываемых поверхностей; к третьему виду относятся такие системы, которые помимо реализации первых двух возможностей, позволяют создавать станки, удовлетворяющие различным условиям производства с учетом сложности, номенклатуры, серийности и трудоемкости деталей.

По конструктивным признакам можно выделить следующие типы агрегатирования: параметрическое и размерное, модификационное, компоновочное. В табл. 7.1 приведены основные конструктивные признаки станков, входящие в ГПС, в зависимости от типа агрегатирования.

Основные конструктивные признаки МС и ГПМ при различных типах агрегатирования

Тип агрегатирования	Признаки модификаций
Параметрическое и размерное	<p>Объем рабочего пространства</p> <p>Форма и размеры элементов для крепления заготовок</p> <p>Мощность главного привода</p> <p>Диапазон частот вращения шпинделя</p> <p>Форма и размеры элементов для крепления инструментов</p> <p>Точность измерительной системы перемещения рабочих органов</p> <p>Емкость инструментальной системы</p> <p>Емкость накопительной системы заготовок</p>
Модификационное	<p>Функциональное назначение</p> <p>Уровень автоматизации</p> <p>Тип инструментальной системы</p> <p>Тип системы смены заготовок</p>
Компоновочное	<p>Расположение рабочих органов и элементов для крепления инструмента</p> <p>Расположение рабочих органов и элементов для крепления заготовок</p> <p>Количество рабочих органов одинакового или различного функционального назначения</p> <p>Компоновка агрегатных узлов</p>

При построении ГПМ по принципу агрегатирования следует руководствоваться двумя основными положениями:

1. Станки комплекса должны создаваться из отдельных самостоятельных узлов, имеющих четко определенные функции, кинематически автономных и независимых с точки зрения изготовления, сборки, испытаний и отладки. При этом в качестве отдельных агрегатированных узлов могут быть использованы несущие конструкции и детали.

2. Унифицированные узлы системы не должны выполнять функции смежных узлов, что существенно увеличивает их приспособляемость к

различным модификациям. Например, шпиндельная бабка должна быть отделена от направляющих и механизма ее перемещения, так как только в этом случае она может быть смонтирована на стойках с различными сечениями направляющих или даже на столе станка.

Критерием оценки правильности расчленения системы на агрегатированные узлы является возможность их независимого изготовления и отладки.

В качестве примера приведем агрегатированный комплекс для построения сверлильно-фрезерно-расточных станков, входящих в состав ГПМ для обработки корпусных или плоских деталей, созданный в основном по типу размерного и параметрического, но включающий при этом элементы модификационного и компоновочного агрегатирования (табл.7.2).

Столы, стойки и шпиндельные бабки комплекса могут применяться в различных сочетаниях, что позволяет создавать модификации станков для обработки малых отверстий и легкого фрезерования в крупногабаритных деталях, обработки с большими объемами стружки в небольших деталях и т.д.

Так, например, одна из основных компоновочных модификаций комплекса — вертикальный многоцелевой станок с крестовым столом может выполняться в девяти размерных вариантах, в которых применяется три типоразмера шпиндельных бабок и столов.

Компоновочная схема вертикального одношпиндельного станка показана на рис. 7.5. Станок имеет стойку 1, шпиндельную бабку 8 и крестовый стол 4. Подвижная каретка 9 перемещается в вертикальном направлении по направляющим стойки 1. Для жесткого соединения крестового стола 4 и стойки 1 служит промежуточная тумба 2 с боковыми и верхней приваленными плоскостями. Станок оснащен инструментальным магазином 7 с манипулятором 6, устройством 10 автоматической смены столов-спутников 5 и гидростанцией 3.

Состав узлов агрегатированного комплекса сверлильно-фрезерно-расточных ГПМ

Наименование узла	Параметры и другие признаки	Значение параметров
Шпиндельная бабка	Мощность, кВт	5; 8; 11; 14
	Конус шпинделя	40; 50
	Частота вращения шпинделя, об/мин	30 ... 3000
		40 ... 4000
		50 ... 5000
63 ... 6300		
Стол крестовый	Размеры столов-спутников, мм: для горизонтальных станков	320×320 (320×400)
		400×400 (400×500)
		500×500 (500×630)
	для вертикальных станков	320×500 (320×630)
		400×630 (400×800)
		500×1000
	Исполнения:	
для горизонтальных станков	Поворотный; поворотно-наклонный	
для вертикальных станков	Неповоротный	
Стойка с механизмом перемещения рабочего органа	Размеры сечения и направляющих для шпиндельных бабок различной мощности	3 типоразмера
	Величина перемещения шпиндельной бабки, мм	400 500 630
Основание (тумба)	Исполнение	Основные и дополнительные для каждого типоразмера стойки
Инструментальный магазин	Исполнения:	
	по расположению оси инструмента	Горизонтальное Вертикальное
	Конус хвостовика инструмента	40; 50
	Количество инструментов в магазине	16; 30; 40

Наименование узла	Параметры и другие признаки	Значение параметров
Устройство смены столов-спутников	Исполнения: без накопителя с накопителем	Двухместное 2 места и более по заказу
	По размерам столов-спутников	По три типоразмера для горизонтальных и вертикальных станков
Транспортеры отвода стружки	Ширина приемной ветви, мм	200; 280
	Длина приемной ветви, мм	1000; 1250; 1600

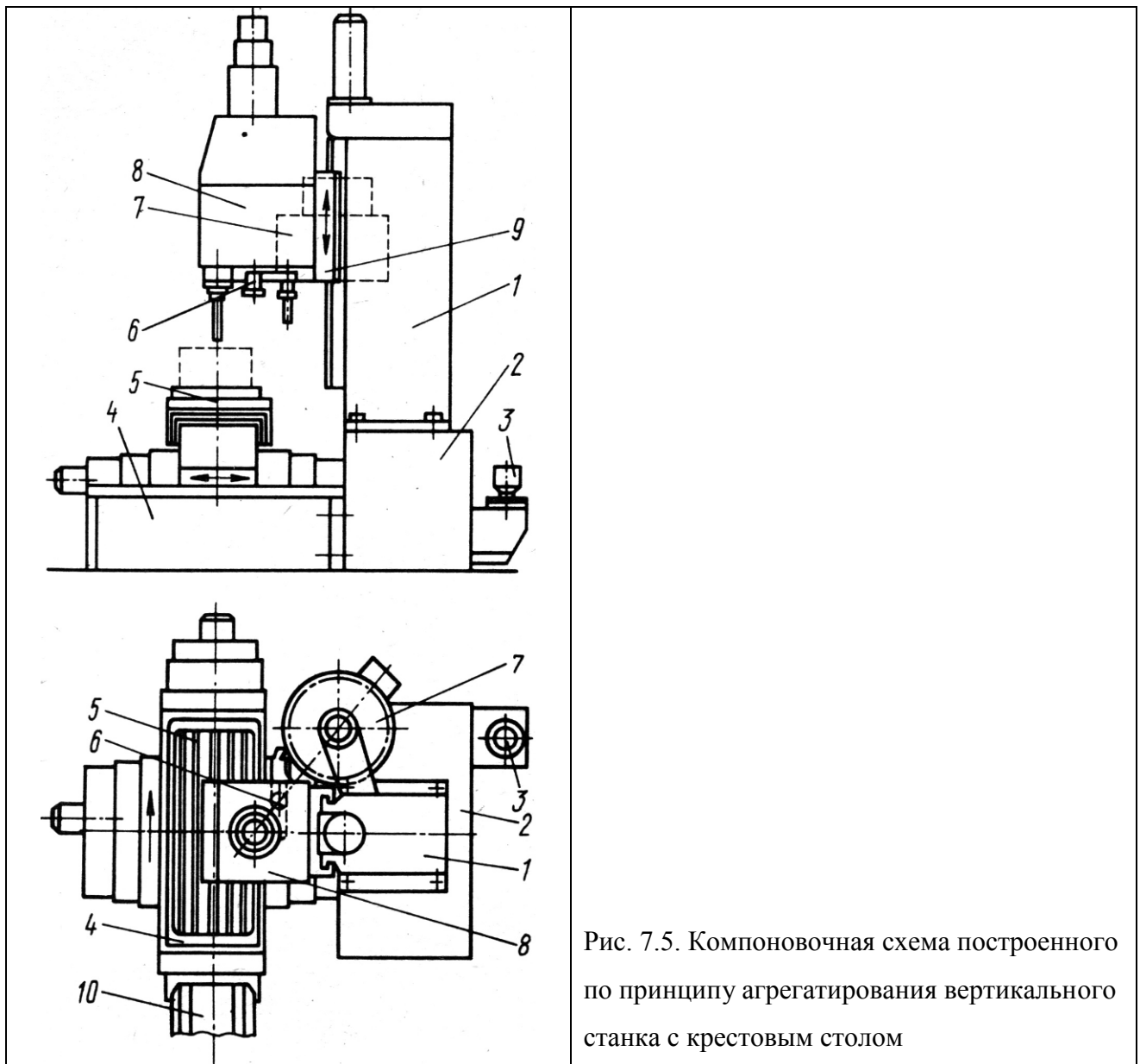


Рис. 7.5. Компонировочная схема построенного по принципу агрегатирования вертикального станка с крестовым столом

Контроль и регулирование процесса обработки

Основой функционирования столь сложной системы, какой является ГПМ, служит непрерывный автоматический контроль станка, обрабатываемых деталей, инструмента и производственных процессов, который проводится перед процессом, во время и после него.

На рис. 7.6 показана схема трехкоординатного контактного щупа. Измерительный блок 1 с измерительным наконечником 2 снабжен тремя штифтами 4, 4а и 4б, которые опираются на три соответствующие V-образные опоры, состоящие каждая из двух штифтов 5 и 3, 5а и 3а, 5б и 3б. В осевом направлении блок 1 пружиной 8 соединен с плавающей опорой 6, упирающейся в регулировочный винт 7, с помощью которого можно настраивать измерительное усилие. Опоры электрически связаны между собой проводниками тока, и при наличии контакта между штифтами 4, 4а и 4б измерительного блока V-образных опор образуется электрическая цепь, которая получает питание от какого-либо источника. Измерительный наконечник 2 при контакте с контролируемой поверхностью смещается вместе с блоком 1, тем самым размыкается цепь в какой-либо из V-образных опор, что является признаком контакта щупа с этой поверхностью для измерительного блока устройства ЧПУ. Стабильность измерений таким щупом с учетом погрешностей всей цепи измерения составляет $\pm (2 \dots 3)$ мкм.

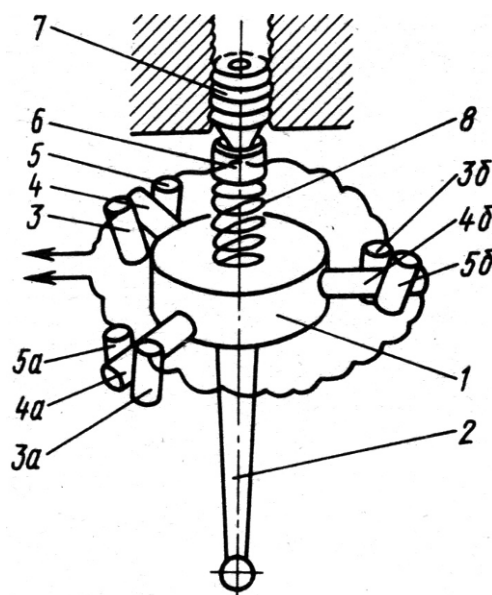
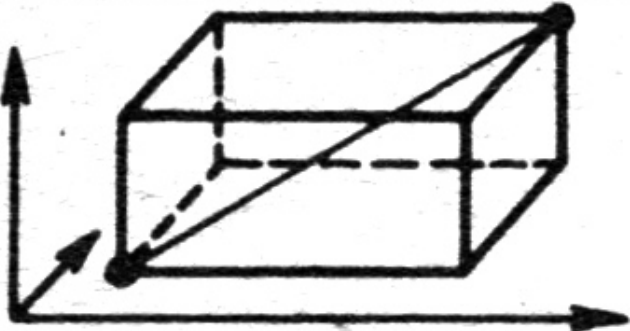



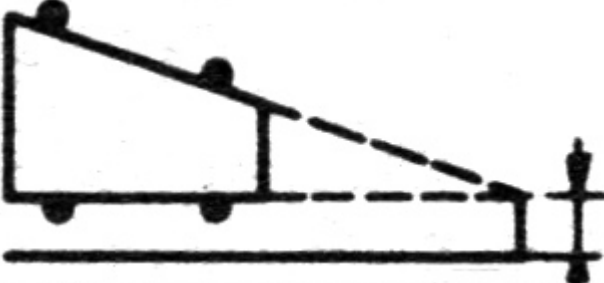



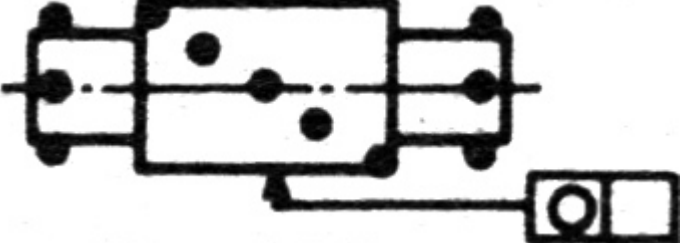


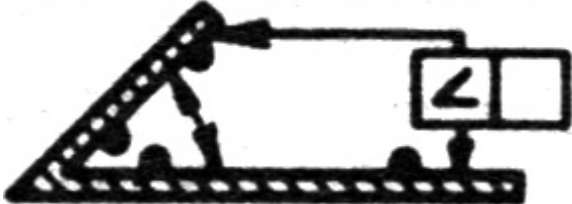
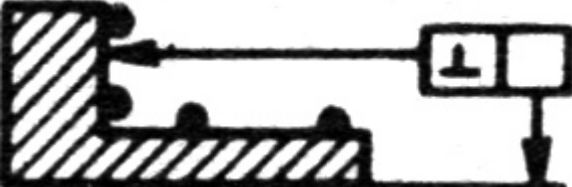
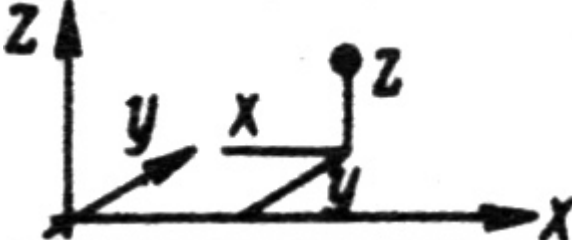


Рис. 7.6. Схема трехкоординатного контактного щупа

Таблица 7.3

Схемы определения размеров обрабатываемых поверхностей и их взаимное расположение

Измерительное задание	Изображение
Расстояние в координатном направлении	
Пространственное расстояние (длина)	
Центр круга	
Диаметр круга	
Точка сечения	
Прямая пересечения	

Измерительное задание	Изображение
Прямая	
Плоскость	
Округлость	
Плоскостность	
Параллельность	
Угол	
Перпендикулярность	
Точка пространства	

С помощью измерительного щупа можно проверить не только точность обрабатываемых деталей, но и точность расположения на станке столов-спутников и обрабатываемых деталей. Измерение производится на станке автоматически, подпрограммы измерений или данные о расположении обрабатываемых поверхностей вводятся в память устройства ЧПУ как стандартные циклы. Схемы определения размеров, отклонений от геометрической формы и взаимного расположения некоторых типов обрабатываемых поверхностей приведены в табл. 7.3. Следует добавить, что при программировании измерений обычно начинают с контроля положения базовой для данного измерения точки детали (или при необходимости нескольких точек), чтобы иметь возможность ввести коррекцию положения этой точки относительно нулевой точки станка.