



**СТАРОДУБОВ**

**Виктор Семенович**

кандидат технических наук,  
доцент  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

**STARODUBOV**

**Viktor Semenovich**

Candidate of Engineering  
Sciences, Assoc. Prof.  
(MSTU named  
after N.E. Bauman)

## Модульный принцип построения металлорежущих станков с числовым программным управлением

**В.С. Стародубов**

*Изложены основные положения модульного принципа построения металлорежущих станков с числовым программным управлением. Рассмотрены возможные варианты его применения для построения данных станков.*

**Ключевые слова:** металлорежущие станки с числовым программным управлением, модуль, модульная конструкция металлорежущего станка, унификация, стоимость, срок поставки.

## Modular principle of CNC machine tools

**V.S. Starodubov**

*The underlying principles of modular design of numerically controlled machine tools are stated. Possible versions of the modular design application on multi-purpose machine tools are considered.*

**Keywords:** numerically controlled machine tools, module, modular design of machine tool, unification, cost, contract date.

Одна из главных задач современного машиностроения и в первую очередь станкостроения — дальнейшая автоматизация изготовления деталей в среднесерийном и мелкосерийном производствах на основе применения различных типов металлорежущих станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Особенностью данных производств является постоянное расширение и обновление номенклатуры изготавливаемых деталей, необходимость производить обработку заготовок из новых материалов. Повышаются требования по точности и производительности обработки, появляется необходимость применять новые технологические процессы обработки, новые более прогрессивные режущие инструменты. Увеличивается концентрация выполняемых технологических операций на одном станке для изготовления деталей с одной установки с выполнением наряду с точением, сверлением, фрезерованием, расточкой, нарезанием резьбы также обработку шлифованием, сваркой лазером, давлением и др. При этом на одном станке выполняют и черновую и чистовую обработку.

В ряде случаев необходимо проводить очень сложную обработку заготовок с одновременным управлением по трем, четырем и пяти координатам одновременно при высоких требованиях по точности обработки.

Станки с ЧПУ применяются в разных отраслях промышленности: общего машиностроения, авиационной промышленности, в производстве различного электрооборудования, медицинской техники,

в приборостроении, в оборонной промышленности и др. Поэтому к современным станкам с ЧПУ предъявляются требования высокой производительности и точности в сочетании с широкой универсальностью и высокой мобильностью (гибкостью), позволяющих производить быстрый переход с изготовления одних деталей на изготовление других, часто в широком диапазоне их разновидностей.

Очевидно, что все эти условия требуют, чтобы станки с ЧПУ проектировались с учетом возможности их разной компоновки, конструкции, состава узлов и механизмов с целью получения требуемых заказчиком технических и технологических характеристик этих станков. Желательно также чтобы станки с ЧПУ имели много единых комплектующих узлов и механизмов и по-возможности аналогичных им с одинаковыми конструктивными решениями в виде отдельных модулей, что позволяло бы производить их централизованно как самими станкостроительными фирмами, так и специализированными. Это позволило бы сократить сроки разработки и стоимость разных типов и модификаций станков с ЧПУ с максимальным учетом требований заказчика, повысить их точность и надежность, облегчить их эксплуатацию и ремонт.

В прошлые годы сделать это было сложно, так как практически каждая станкостроительная фирма самостоятельно разрабатывала компоновку, а также конструкции разных узлов и механизмов, применяемых в станках с ЧПУ. Производимые ранее станки с ЧПУ имели достаточно сложные и разнообразные кинематические структуры их построения. Например, привода главного движения в этих станках строились с разными типами коробок скоростей, с передачей вращения от приводного электродвигателя через клиноременные передачи (одну или две), либо при непосредственном соединении с коробкой скоростей. Также по-разному часто индивидуально компоновались кинематические схемы и конструкции приводов подач, поворотных столов, револьверных головок, разнообразных направляющих и передач ходовой винт-гайка, других узлов и механизмов.

Конечно, в этих станках с ЧПУ уже широко использовались многие покупные детали и узлы общемашиностроительного назначения: электродвигатели, подшипники, муфты общего назначения, элементы гидравлики, пневматики, электрооборудования, ременные, зубчатые, червячные передачи, различные крепежные элементы (болты, винты, гайки, шайбы) и др.

Позднее были разработаны и централизованно выпускались уже специально для станков с ЧПУ: регулируемые электродвигатели для приводов главного движения и подач, дополнительно новые типы подшипников для опор шпинделей и ходовых винтов приводов подач, различные типы измерительных преобразователей для систем обратной связи, муфты, зажимные патроны и др. В последние годы разработаны новые более совершенные типы приводных электродвигателей и особенно мехатронные узлы (мотор-шпиндель, линейные и встраиваемые поворотные электродвигатели). Были отработаны и предложены унифицированные конструкции типовых направляющих качения, передач ходовой винт-гайка с трением качения, револьверные головки и др. Многие унифицированные узлы и механизмы для станков с ЧПУ разрабатывают и изготавливают специализированные фирмы, что позволило начать активно применять модульный принцип построения различных станков с ЧПУ.

Первоначально агрегатно-модульный принцип построения станков стал применяться при конструировании агрегатных станков и автоматических линий из агрегатных станков. В нашей стране в 1934 г. был разработан и внедрен первый агрегатный станок для сверления отверстий в заднем мосту грузового автомобиля. В головном НИИ в области станкостроения — ЭНИМСе была разработана система агрегатирования станков путем их компоновки из взаимозаменяемых, не связанных между собой кинематически функциональных узлов и агрегатов.

В качестве примера на рис. 1 показаны три варианта агрегатных станков, скомпонованных из тринадцати различных узлов.

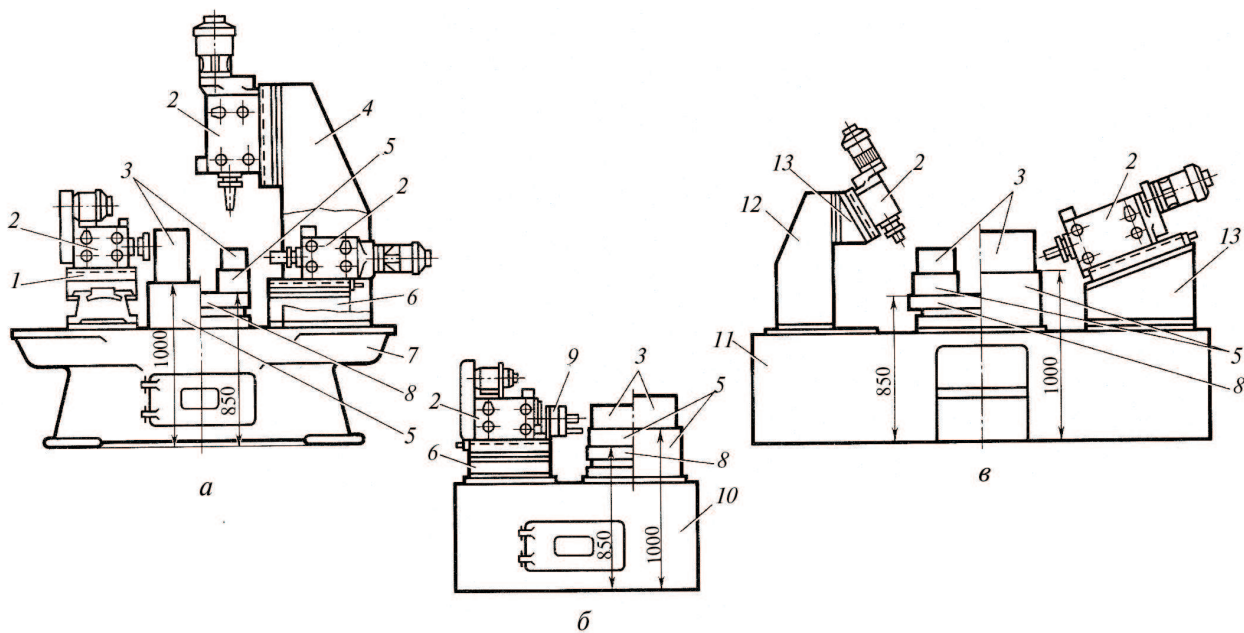


Рис. 1. Агрегатные станки:

*a* — с тремя головками; *б* — с одной головкой; *в* — с двумя головками; 1 — силовой стол; 2 — силовая головка; 3 — изготавливаемая деталь; 4 — вертикальная станина арочного типа; 5 — приспособление; 6 — прямая проставочная плита; 7 — круглая станина; 8 — поворотный делительный стол; 9 — многошпиндельная насадка; 10 — односторонняя станина; 11 — двухсторонняя станина; 12 — стойка; 13 — угловая проставочная плита

При всех имеющихся преимуществах данного способа он получил применение только для одной группы станков (агрегатных) для изготовления определенной группы деталей с использованием определенного набора унифицированных узлов. Поэтому при необходимости изготовления другой группы деталей может потребоваться разработка и изготовление новых унифицированных узлов.

Модульный принцип разработки и производства металлорежущих станков с ЧПУ, применяемый в настоящее время, основан на использовании унифицированных или нормализованных функционально и конструктивно законченных узлов и механизмов (модулей), выпускаемых либо станкостроительными фирмами (ограничено для своих моделей станков), либо производимых специализированными фирмами, выпускающими достаточно широкий ряд различных узлов и механизмов для различных типоразмеров станков с ЧПУ.

При применении модульного принципа конструктор, решая задачу разработки станка, выбирает нужные ему узлы и механизмы из каталогов и проектирует самостоятельно только, по сути, базовые узлы станка (станину, колон-

ну, другие корпусные детали). Это похоже на детскую игру «Лего», когда из отдельных модулей собирается желаемая компоновка и конструкция различных изделий.

Имея базовые узлы станка, станкостроительная фирма может, используя необходимые готовые покупные узлы и механизмы, изготавливать гамму различных станков с ЧПУ, каждый из которых в наибольшей степени приспособлен к требованиям заказчика.

В качестве основных положений, характеризующих модульный принцип построения и изготовления станков с ЧПУ, отмечают следующие [1]:

- ограниченная номенклатура модулей должна обеспечивать множество различных компоновок и конструкций станков путем многообразия типов, сочетаний и положений модулей;

- модульный принцип проектирования станков наиболее полно отвечает требованиям решения конкретной технологической задачи (созданные по модульному принципу станки не обладают избыточными функциями, и поэтому они должны быть экономичнее станков с широкоуниверсальными возможностями);

- сокращается время и трудоемкость проектирования станков, поскольку используются выполненные ранее разработки;
- увеличивается надежность работы станка за счет отработанности входящих в нее модулей и наибольшего соответствия данной конструкции модулей выполняемой задаче;
- уменьшается разнообразие конструкций модулей и составляющих их элементов, что улучшает условия эксплуатации и ремонтпригодность;
- возможность создания новых высокопроизводительных станков для выполнения наилучшим образом обработки заготовок, а не подгонка процесса под имеющееся станочное оборудование;
- возможность замены устаревших форм и методов проектирования новых конструкций станков и их систем.

На сегодняшний день можно выделить два способа реализации модульного принципа построения станков с ЧПУ:

1) каждая станкостроительная фирма самостоятельно разрабатывает ограниченную номенклатуру модулей основных узлов выпускаемого типоразмера станка, используя которые затем разрабатываются конкретные модификации по заказу потребителя;

2) станкостроительные фирмы проектируют необходимые модификации станков с ЧПУ на основе применения широкой номенклатуры различных готовых узлов и механизмов (в виде модулей) разрабатываемых и изготавливаемых специализированными фирмами.

Первый способ модульного принципа построения станков с ЧПУ может реализоваться в двух вариантах.

При первом варианте модульного построения станкостроительная фирма разрабатывает базовую модель соответствующего станка с ЧПУ с его полной возможной комплектацией и ограниченным комплектом основных модулей. Например, два или три варианта приводов главного движения, различные варианты револьверных головок и инструментальных магазинов разной емкости, наличие и варианты поворотных столов, наличие и варианты противопинделей в токарных станках с ЧПУ и др.

Тогда на основе базовой модели за счет дополнительной установки, снятия, замены или изменения взаимного расположения указанных модулей в зависимости от требований заказчика создаются необходимые модификации данного станка.

В качестве примера на рис. 2 показана базовая модель токарного многоцелевого станка с ЧПУ фирмы Schaublin (Швейцария) и возможный ряд модулей для создания различных модификаций данного станка: два варианта привода главного движения 2 и 3, четыре варианта верхних револьверных головок 4, 5, 6 и 7, два варианта противопинделей 8 и 9, задней бабки 10 и нижней револьверной головки 11.

Аналогичный вариант построения токарных многоцелевых станков серии E применяет фирма Romi (Бразилия), токарных многоцелевых станков мод. ВНЦ 500С и ВНЦ 700С фирма Voest Alpine (Австрия), токарного многоцелевого станка мод. S-191 фирма Vumotec (Швейцария), многоцелевых станков с ЧПУ с вертикальной (серия UX) и горизонтальной (серия НХ) компоновкой шпинделя фирмы Quaser (Тайвань), Стерлитамакский станкостроительный завод (Россия) и ряд других.

При втором варианте модульного построения станков с ЧПУ (в частности средних и тяжелых) фирма разрабатывает номенклатуру ог-

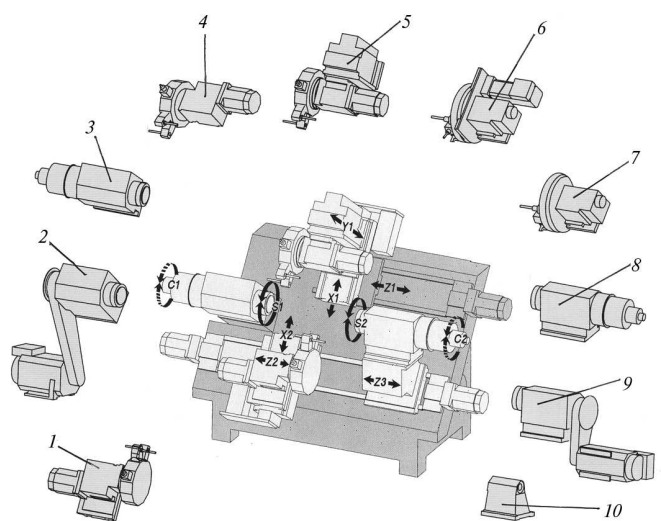


Рис. 2. Базовая компоновка и набор возможных модулей для токарного многоцелевого станка с ЧПУ фирмы Schaublin (Швейцария)

раниченного ряда модулей всех узлов и механизмов предлагаемого типа станков с ЧПУ, включая и их базовые узлы. Затем по желанию заказчика комплектуется соответствующая модификация станка с использованием имеющихся модулей.

В качестве такого примера на рис. 3 показан набор модулей фирмы Graffenstaden (Франция) для возможного компонования четырех модификаций многоцелевых станков с ЧПУ с горизонтальной компоновкой шпинделя: I — мод. CU100МК, II — мод. CU200Х, III — мод. CU300Х и IV — мод. CU300Х-S.

По мере увеличения централизованной разработки и изготовления разнообразных унифицированных и нормализованных узлов и механизмов для различных станков с ЧПУ специализированными фирмами более перспективным на наш взгляд становится второй способ реализации модульного принципа построения указанных станков. В этом случае станкостроительная фирма практически разра-

батывает только компоновки предлагаемых станков с ЧПУ и конструкции их базовых деталей и узлов (основания, станину, колонну корпуса отдельных узлов). Необходимые комплектующие узлы и механизмы, определяющие их технические и технологические характеристики, фирма покупает на рынке готовых модулей, исходя из пожеланий и требований заказчика.

В настоящее время существует уже большое количество специализированных фирм разных стран, предлагающих необходимый ряд типоразмеров разнообразных модулей (устройств, узлов, механизмов) для применения в станках с ЧПУ: мотор-шпинделя, револьверные головки, линейные и встраиваемые поворотные электродвигатели приводов подач, направляющие, передачи ходовой винт-гайка в комплекте с опорами, разного типа поворотные столы, устройства ЧПУ, измерительные преобразователи систем обратной связи, гидростанции, инструментальные магазины, инструментальные системы (оправки, резцедержавки, режущие

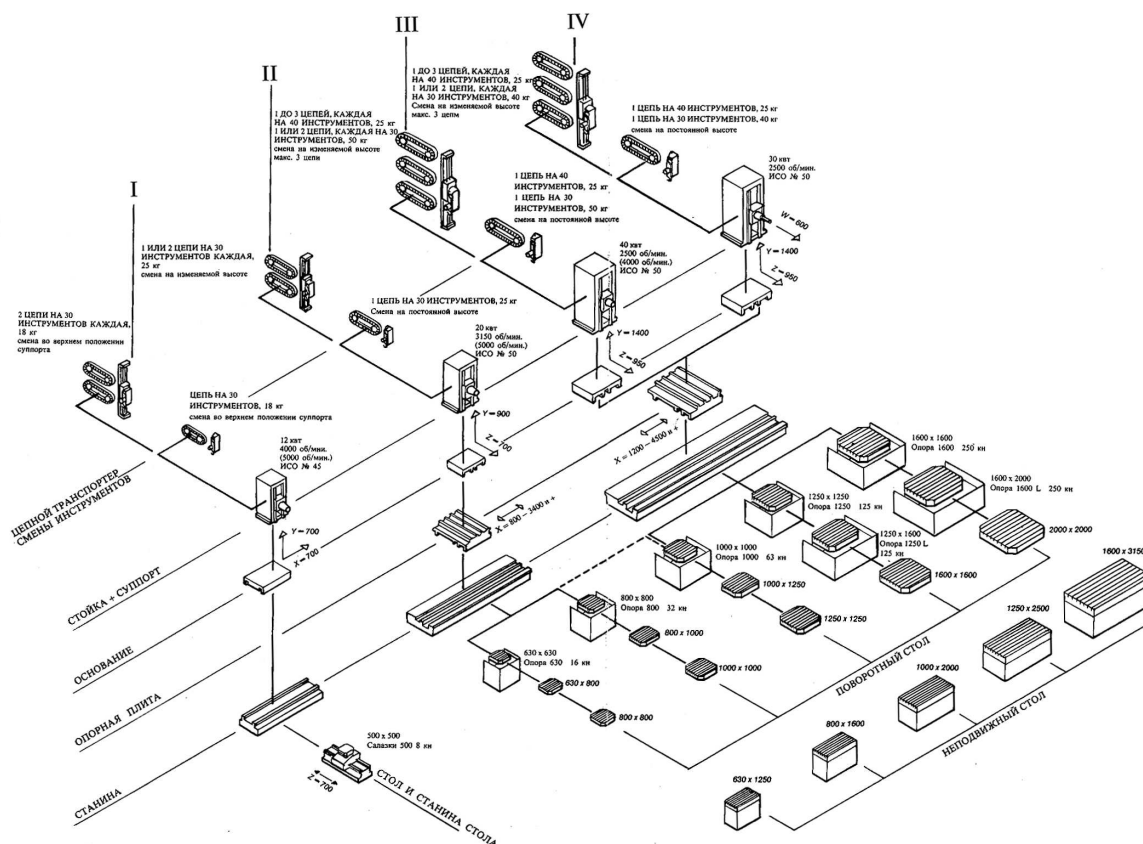









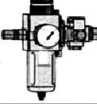



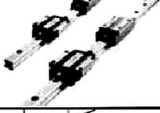



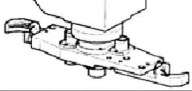
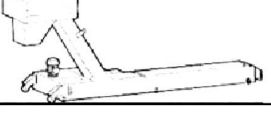



Рис. 3. Комплект модулей базовых деталей, узлов и механизмов для создания средних и тяжелых станков с ЧПУ фирмы Graffenstaden (Франция)

Пульт управления		<b>SIEMENS FANUC</b>
Шариковые винтовые пары		<b>HIWIN</b> ✦ <b>PMI</b>
Подшипники качения		 <b>SCHAEFFLER GROUP</b>
Главный шпиндель-двигатель		<b>SIEMENS FANUC</b>
Шпиндель		<b>DECKEL MAHO</b>
Зажимное устройство		 <b>Ott mechatik</b> <i>Werkzeug und Maschinenbau</i>
Распределительный шкаф		<b>SIEMENS FANUC</b>
Узлы пневматики		
Зубчатый ремень/шкиф		
Линейные направляющие		<b>Rexroth</b> Bosch Group
Защита направляющих		
Централизованная смазка		<b>VOGEL®</b>
Устройство смены инструмента		<b>PRAGATI</b>
Транспортер стружки		

Приводы с модулем оси и шпинделя		
Прямые измерительные системы		
Устройство измерения инструмента		
Устройство охлаждения для распределительного шкафа		
Устройства безопасности		

инструменты), устройства для автоматической смазки, теплообменники для электрошкафов станков с ЧПУ, масляные и водяные охладители, системы подачи СОЖ с распылительными системами, транспортеры для удаления стружки, промышленные светильники и др.

Например, фирма DMG (ФРГ) при рекламе производимых ею станков с ЧПУ модельного ряда СТХ ЕСО и DMC V ЕСО подчеркивает и показывает в проспектах этих станков возможность их укомплектованности многими покупными высококлассными модулями.

В таблице показан перечень модулей и производимых их специализированных фирм, которые могут использоваться в многоцелевых станках с ЧПУ с вертикальной компоновкой данной фирмы. Это обходится дешевле и быстрее, чем использование самостоятельных разработок, позволяет более гибко реагировать на меняющиеся запросы потребителей.

Отмечается, что станкостроительные фирмы уже соревнуются между собой в количестве и разнообразии создаваемых на единой базе модульных компоновок и конструкций станков

с ЧПУ, а не в изощренности их специальных исполнений.

В условиях значительного сокращения разработок и изготовления отечественных станков с ЧПУ модульный принцип их построения на наш взгляд может быть одним из эффективных путей подъема отечественного станкостроения.

#### Литература

1. *Аверьянов О.И.* Модульный принцип построения станков с ЧПУ. М.: Машиностроение, 1987. 232 с.
2. Каталоги фирм: Schaublin (Швейцария), Romi (Бразилия), DMG (ФРГ), Voest Alpine (Австрия), Bumotec (Швейцария), Quaser (Тайвань), Graffenstaden (Франция), Стерлитамакский станкостроительный завод (Россия).

#### References

1. Aver'ianov O.I. *Modul'nyi printsip postroeniia stankov s Ch-PU* [The modular principle of CNC machine tools]. Moscow, Machine building publ., 1987. 232 p.
2. *Katalogi firm: Schaublin (Shveitsariia), Romi (Braziliia), DMG (FRG), Voest Alpine (Avstraiia), Bumotec (Shveitsariia), Quaser (Taiwan'), Graffenstaden (Frantsiia), Sterlitamakskii stankostroitel'nyi zavod (Rossiia)* [List: Schaublin (Switzerland), Romi (Brazil), DMG (FRG), Voest Alpine (AUS), Bumotec (Switzerland), Quaser (Taiwan), Graffenstaden (France), Sterlitamak Machine Tool Plant (Russia)].

Статья поступила в редакцию 08.11.2012

#### Информация об авторе

**СТАРОДУБОВ Виктор Семенович** (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки». МГТУ им. Н.Э. Баумана (Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: utencov@bmstu.ru).

#### Information about the author

**STARODUBOV Viktor Semenovich** (Moscow) — Candidate of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of «Metal Cutting Machines» Department. MSTU named after N.E. Bauman (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya, 5, 105005, Moscow, Russia, e-mail: utencov@bmstu.ru).