

## АГРЕГАТИРОВАНИЕ ПРИ СОЗДАНИИ СЕМЕЙСТВА КОМПАКТНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

*Д.Н. Свирский*

Ранее была показана роль широкоуниверсальных компактных модулей, основанных на высоких технологиях, в реализации единичного и мелкосерийного производства наукоемкой продукции [1], а также специфика их группового проектирования [2]. Настоящая статья посвящена проблеме создания эффективного специализированного технологического оборудования для крупносерийного механосборочного производства.

Известно, что оптимальное техническое обеспечение технологической системы, функционирующей в таких производственных условиях, например, на авто- или тракторостроительном заводе, представляет собой переналаживаемую поточную линию, построенную по агрегатно-модульному принципу. Подобный специализированный комплекс в течение всего периода эксплуатации должен ритмично выполнять плановое задание по объему выпускаемой продукции при изменении ее номенклатуры в регламентированных пределах. Решение задачи проектирования такого оборудования носит компромиссный характер, обеспечивая требуемые значения показателей эффективности производительного функционирования и переналадки.

Компактный (ресурсосберегающий) подход к решению указанной проектной задачи основан на а) «свертывании» – своего рода упрощении – традиционной конфигурации объекта проектирования и б) выделении в нем инвариантной и адаптивной частей. Как было показано в работе [3], наряду с передачей части основных функций всего объекта какому-либо его компоненту (и непосредственно «идеальному» веществу) – путь (I) высоких технологий [1]; или совершенствования структурных составляющих объекта, например, посредством широкого использования мехатронных устройств [4] – путь (II), существует и путь (III) свертывания – повышения степени «идеальности» – за счет передачи части основных функций «надобъекту» – т.е. макросистеме, элементом которой наш объект рассматривается. С другой стороны, согласно принципу рекурсивной декомпозиции иерархической структуры компактной производственной системы по выражению (1) на каждом уровне ее детального анализа могут быть выделены инвариантные и адаптивные компоненты [3]:

$$St(KPC) = \bigcup_{i=1}^n Invi \cup AdpN. \quad (1)$$

Как первому, так и второму из упомянутых здесь аспектов компактного подхода соответствует агрегатно-модульный принцип построения станочного парка технологической системы серийного механосборочного производства. Модульный принцип проектирования станочного оборудования подробно разработан О.И. Аверьяновым в работе [5], где специально выделены следующие положения:

- модуль – это конструктивно и функционально законченная единица, являющаяся составной частью общей системы станков;
- модули характеризуются наименьшим возможным числом связей для присоединения к ним новых модулей (присоединительные элементы должны быть унифицированными);

- ограниченная номенклатура модулей должна обеспечивать множество различных компоновок станков путем многообразия сочетаний и положений модулей;
- модульный принцип проектирования станков наиболее полно отвечает требованиям решения конкретной технологической задачи (созданные на модульном принципе станки не обладают избыточными функциями, и поэтому они должны быть экономичнее станков с универсальными возможностями);
- сокращается время и трудоемкость проектирования станков, поскольку модульный принцип позволяет более полно использовать выполненные ранее разработки;
- увеличивается надежность работы станка за счет обработанности входящих в нее модулей и наибольшего соответствия данной конструкции модулей выполняемой задаче;
- уменьшение разнообразия конструкций модулей и составляющих их элементов улучшает условия эксплуатации и ремонтпригодность;
- модульное проектирование позволяет создавать новое высокопроизводительное оборудование для выполнения наилучшим образом обработки заготовок, а не подгонять процесс под возможности уже имеющегося оборудования;
- модульный принцип дает реальную возможность заменить устаревшие формы и методы проектирования новых конструкций станков и их систем.

Необходимо отметить легкость формализации компоновочных решений станочного оборудования, построенного на модульном принципе, что было проиллюстрировано в своё время в работах [6, 7].

Агрегирование (агрегатирование) этимологически значит присоединение (от лат. *aggrego* – присоединяю) одного объекта к другому. При конструировании технических объектов учитывается, что операциям присоединения могут быть подвергнуты: а) элементы составных частей изделия, выполняющие общую относительно самостоятельную функцию (двигатель внутреннего сгорания, компрессор и др.) – т.н. внутреннее агрегатирование; б) совокупность изделий, работающих в комплексе как единое целое (например, машинно-тракторный агрегат с навесными орудиями) – т.н. внешнее агрегатирование [8].

Расчленение конструкций на независимые элементы: агрегаты и узлы - и их последующая унификация в станкостроении создают предпосылки для формирования конструкций нового (агрегатного) оборудования различного вида путем различных сочетаний этих элементов. Агрегатные станки создаются из различных сочетаний стандартизованных агрегатов ограниченной номенклатуры. Эти агрегаты обладают свойствами многократного применения в новых компоновках, т.е. технологической приспособленностью к новым производственным условиям. Таким образом, в агрегатном принципе построения станочного оборудования заложена определенная технологическая универсальность/гибкость, что до сих пор, к сожалению, не удостоилось должного внимания разработчиков станочного оборудования не для номинально «массового», а действительно серийного машиностроительного производства.

Между тем, агрегатный станок, по сути, представляет собой компактный обрабатывающий модуль, в котором унифицированные узлы составляют инвариантную часть конструкции (рис. 1), а перенастраиваемые (сменные, оригинальные) узлы играют роль адаптера, довольно легко приспособляющего станок к относительно небольшим изменениям конфигурации изготавливаемых деталей.

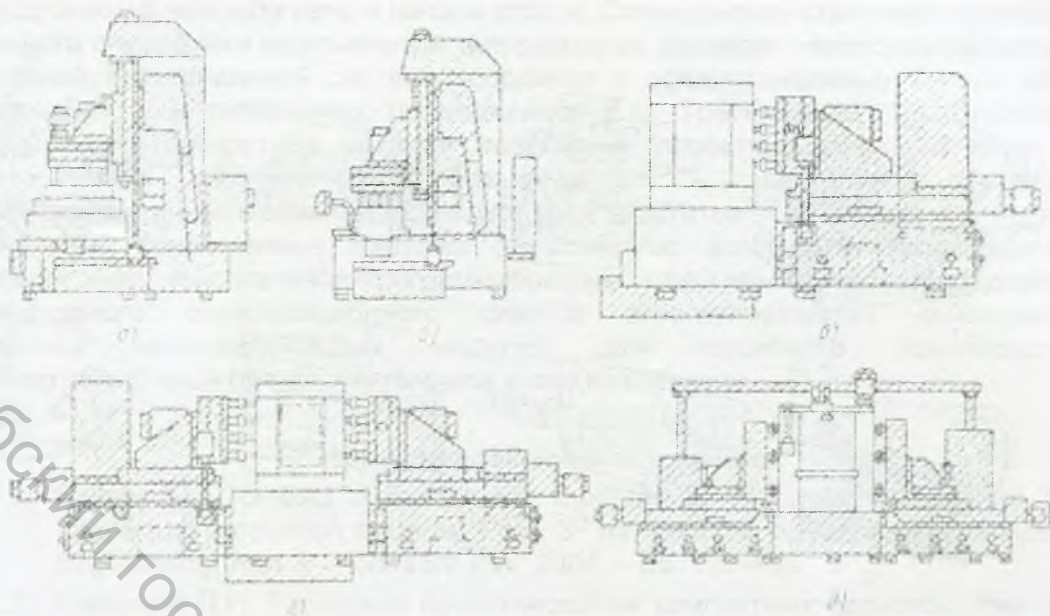


Рисунок 1 – Унифицированные узлы (заштрихованы) в типовых компоновках агрегатных станков: а – вертикальный с поворотным столом; б – вертикальный одностоечный; в – горизонтальный односторонний; г – горизонтальный двусторонний; д – горизонтальный барабанного типа [7]

В соответствии с формулой (1) на следующем уровне декомпозиции станка инвариантом нижнего уровня являются комплекты унифицированных деталей специальных узлов – многшпиндельных коробок и т.п. [9], а также переналаживаемые узлы агрегатных станков [10]. К последним относятся: регулируемые насадки, револьверные головки, силовые головки с планетарным суппортом и т. д. (рис. 2).

В этой связи следует отметить, что еще большей гибкостью обладают переналаживаемые агрегатные станки с системой ЧПУ. Общая схема компоновки агрегатного станка с ЧПУ аналогична схеме специального (обычного) агрегатного станка. Однако станок с ЧПУ позволяет перемещать каждую силовую головку по трем координатам, управляемым ЧПУ, что расширяет его технологические возможности. Кроме того, силовые агрегаты станка оснащены инструментальными магазинами и устройствами для автоматической замены инструмента (рис. 3). Агрегатный станок с ЧПУ состоит из следующих унифицированных элементов: поворотного стола 1, центральной станины 7, трех стоек 6 со шпиндельной бабкой 5, трех устройств для автоматической смены инструмента 4, крестового стола 3, двух крестово-поворотных столов 2. Заготовка, установленная на планшайбе поворотного стола 1, может обрабатываться одновременно с трех сторон тремя силовыми агрегатами, шпиндельные бабки которых перемещаются по направляющим стоек в вертикальном направлении (координаты  $Y$ ,  $Q$ ,  $V$ ). Стойка со шпиндельной бабкой установлена на агрегате I на крестовом столе и перемещается в направлениях оси шпинделя (координата  $Z$ ) и перпендикулярно этому направлению (координата  $X$ ). На агрегатах II и III стойки со шпиндельными бабками установлены на крестово-поворотных столах и перемещаются в направлении оси шпинделя (координаты  $R$  и  $W$ ) и по дуге, центр которой совпадает с осью планшайбы поворотного стола (координаты  $D$  и  $E$ ). Поворот по координатам  $D$  и  $E$  позволяет изменять угол между осями трех шпинделей и одновременно обрабатывать поверхности заготовки, расположенные под различными углами друг к другу [11].

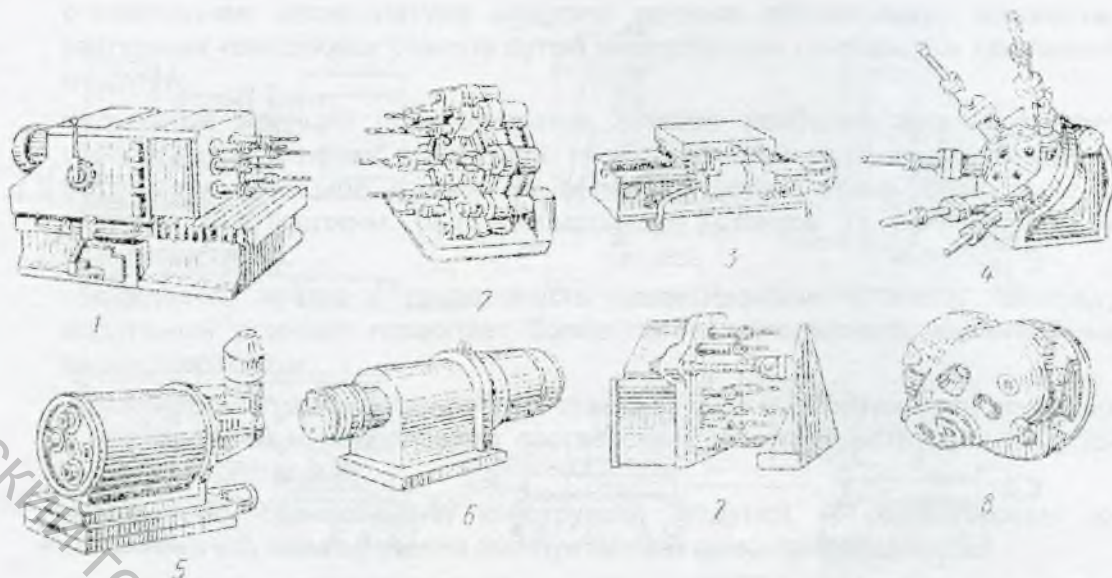


Рисунок 2 – Переналаживаемые узлы агрегатного станка:

1 – силовая переналаживаемая головка с быстрым переключением скоростей; 2 – переналаживаемая многошпиндельная сверлильная насадка с механизмом изменения взаимного расположения режущих инструментов; 3 – самодействующий агрегат подачи (стол) для взаимно перпендикулярных перемещений силовой головки; 4 – шестипозиционная револьверная головка, позволяющая последовательно менять режущий инструмент; 5 – поворотная четырехпозиционная револьверная головка со сменными шпинделями, оснащенными встроенными редукторами; 6 – переналаживаемая силовая головка с планетарным суппортом; 7 – сменная многошпиндельная сверлильная насадка; 8 – переналаживаемая фрезерная насадка с эксцентриковым механизмом поворота шпинделя

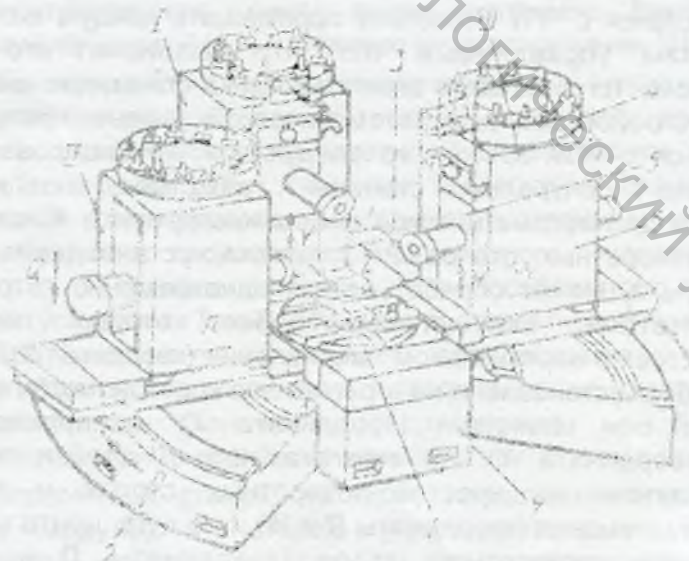


Рисунок 3 – Компоновка переналаживаемого агрегатного станка с ЧПУ

Унифицированные узлы агрегатных станков образуют элементную базу семейства (гаммы) данного вида станочного оборудования. Именно это семейство и рассматривается в качестве той макросистемы объекта, с помощью которой возможно осуществить свертывание конкретного экземпляра технологического

оборудования, о чем шла речь в начале статьи. Совокупность станочных агрегатов различного служебного назначения и типоразмеров занимает некоторую область в трехмерной ортогональной системе координат с осями (шкалами)  $T$  – тип,  $M$  – модификация,  $Z$  – типоразмер, предложенной В.М. Третьяковым [12]. Подобная структуризация дискретной области возможных проектных решений вкупе с использованием конструкторской базы данных – электронного каталога параметризованных геометрических моделей агрегатов – позволяет применять эффективные современные средства (генетические алгоритмы, эволюционное моделирование, нейросетевое программирование и т.п.) компьютерной поддержки комбинаторного оптимизационного синтеза агрегатированных конструкций компактных механосборочных модулей для серийного производства машиностроительной продукции того или иного назначения.

#### Список использованных источников

1. Svirsky D. Compact manufacturing modules as technological cells of the intellectual production systems, Proc. 3<sup>rd</sup> Int. conf. on Advances in Production Engineering, Part 3. – Warsaw: PW, 2004. – pp. 177-186.
2. Свирский Д.Н. Групповое проектирование компактных производственных модулей послойного синтеза // Моделирование интеллектуальных процессов проектирования, производства и управления. Вып. 1. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2003. – с. 219-225.
3. Свирский Д.Н. Компактная производственная система как объект автоматизированного проектирования. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2000. – 48 с.
4. Свирский Д.Н. Компьютеризированные манипуляционные станки параллельной кинематической структуры для компактных систем машиностроительного производства // Вестник ПГУ, 2005, № 10, с. 158-161.
5. Аверьянов О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 1987. – 232 с.
6. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков (Основы компонетики). – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
7. Пуш В.Э., Пигерт Р., Сосонкин В.Л. Автоматические станочные системы. – М.: Машиностроение, 1982. – 319 с.
8. Амиров Ю.Д. Основы конструирования. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 392 с.
9. Конюх А.И. и др. Справочник по наладке агрегатных станков и автоматических линий. – Минск: Беларусь, 1977. – 287 с.
10. Тарзиманов Г.А. Проектирование металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1972. – 312 с.
11. Вороненко В.П. и др. Проектирование производственных систем в машиностроении. – Тирасполь: РИО ПГУ, 2001. – 350 с.
12. Третьяков В.М. Основы проектирования семейства изделий. – М.: Машиностроение, 2004. – 24 с. (Приложение к журналу «Справочник Инженерный журнал»; 6/2004).

#### SUMMARY

The compact approach to creation the machine equipment for readjusted technological lines in a serial machine-building manufacture is offered in the article. Efficiency of the productive machine tools aggregation is connected to their compactness level, which increases due to use of structural reserves of the machine tool family element base and a presence of the readjusted adapter in an each machine tool modular design.