

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО МЕХАНОБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Предложены пути совершенствования многономенклатурного механосборочного производства. Разработана концепция мобильной реорганизации машиностроительного производства.

И.И. Попок,

*кандидат
технических наук,
профессор
кафедры
«Металлорежущие
станки и
инструменты»,
проректор по
инновационной
деятельности,*

*В.А. Терентьев,
старший
преподаватель
кафедры
«Металлорежущие
станки и
инструменты».*

*Полоцкий
государственный
университет*

Промышленность Республики Беларусь имеет развитую сеть машиностроительных предприятий, в том числе более 20-ти станкостроительных и инструментальных заводов, ряд ремонтных предприятий, также обладающих мощной станкоинструментальной базой. От успехов в этой отрасли промышленности во многом зависит развитие экономики республики.

В настоящее время осуществляется реструктуризация машиностроительного производства, качество и объемы производимой продукции приводятся в соответствие к потребностям в ней рынка, изменяется тип производства: от крупносерийного и массового оно чаще всего переходит в мелкосерийное и единичное многономенклатурное производство. В связи с этим изменяются подходы к организации машиностроительного производства, создается новый технологический базис предприятий, обеспечивающий выпуск конкурентоспособной продукции.

В современных экономических условиях уже недостаточно добиться эффекта на одной отдельно взятой операции технологического процесса, необходима оценка нововведений с позиций всего производственного цикла получения изделий на конкретном предприятии. Только в этом случае затраты на внедрение новых технологий, освоение новых изделий будут экономически оправданы.

В связи с этим в Полоцком государственном университете длительное время ведутся научно-исследовательские работы, направленные как на совершенствование отдельных технологических процессов механической обработки, металлорежущих станков и инструментов, так и на повышение организационной устойчивости в целом машиностроительных предприятий. Предложена [1,2] концепция мобильной реорганизации и развития многономенклатурного машиностроительного производства. Концепция основана на разработке технологических модулей, из которых, как из «кирпичиков», может быть создан наиболее рациональный для данного про-

изводства, как с технической, так и с экономической точки зрения, технологический процесс. Под технологическим модулем понимается регламент перехода механической обработки заготовки, увязывающий конфигурацию и параметры конструктивного элемента и поверхности детали, свойства обрабатываемого и инструментального материалов, режим резания и блочно-модульную конструкцию технологической оснастки.

Степень мобильности реорганизации производства оценивается показателем:

$$Q_m = \Delta Q / \Delta \tau,$$

где ΔQ — отклонение степени сложности нового и базового вариантов получения изделия; $\Delta \tau$ — интервал времени.

При этой оценке, в частности, учитываются: 1) степень сложности изделий как функция их структурной сложности G_{cc} и поправочных коэффициентов k на новизну технических решений, условий эксплуатации и т.д. [3]; 2) степень унификации элементов технологической системы как функция их условной применимости $k_{уп}$ и организационной устойчивости $k_{оу}$ [4]; 3) степень сложности формируемых поверхностей деталей как функция перемещения и формы инструмента и детали [5]; 4) степень сложности вида механической обработки, как функция его кинематико-геометрической сложности [6]. Каждая группа показателей связана с определенным модулем машиностроительного производства (рис. 1). Например, степень сложности изделия определяет набор типовых переходов и операций технологического процесса, степень унификации — ограничитель типоразмеров и стандарт предприятия на элементы технологической системы; степень сложности поверхности и получения ее обработкой резанием — регламент механической обработки, инструментальный и станочный модули. Чем меньше интервал времени и дополнительные затраты ΔZ на ликвидацию разницы между степенями сложности нового и базового вариантов

получения изделия ΔQ, тем больше степень мобильности производства.

Степень мобильности производства может быть определена как по комплексу вышеприведенных показателей, так и по отдельно взятому, например, по степени сложности изделия. Рассмотрим расчет этого показателя на примере производства станков на Витебском станкостроительном заводе «Вистан». На основе маркетинговой проработки предприятие приняло решение производить деревообрабатывающий продольно-фрезерный четырехсторонний станок ВТ-160-5С. Ранее завод производил малогабаритные деревообрабатывающие станки типа «Лучеса» и опыта производства промышленного варианта такого оборудования не имел, т.е. данный станок для предприятия является новым. Для оценки технических возможностей производства в качестве базового изделия был принят наиболее распространенный в машиностроении токарно-винторезный станок модели 16ВТ20, производство которого недавно освоил завод. За простейшее изделие принят выпускаемый заводом токарный «министанок» ВШ-028, который имеет минимальный набор конструктивных элементов и группа структурной сложности которого может быть принята за единицу.

Алгоритм расчета степени сложности станка включает следующие основные этапы:

1. Выбор условной детали.

Как правило, в качестве условной детали принимаются валы, имеющие наибольшее применение в машинах. В базовом изделии выбираются валы с наибольшей и наименьшей трудоемкостью, рассчитывается средняя величина, и из перечня валов в базовом изделии выбирается вал с близкой трудоемкостью.

2. Определение:

2.1. Эквивалента валов

$$Z_B^u = \sum_{i=1}^N B_i^u,$$

где B_i^u — i -й вал с количеством N

2.2. Эквивалента деталей

$$Z_{o_i}^u = \frac{T_{o_i}^u}{T^{yo}},$$

где $T_{o_i}^u$ и T^{yo} — трудоемкости i -той и условной деталей;

2.3. Эквивалента мелкогабаритных деталей

$$Z_{\Sigma d}^u = \frac{M_{\Sigma d}^u}{M^{yo}},$$

где $M_{\Sigma d}^u$ и M^{yo} — массы всех мелкогабаритных деталей и условной детали;

2.4. Эквивалента структуры изделия

$$Z^u = \sum_{i=1}^n (Z_o_i^u + Z_{o_i}^u + Z_{\Sigma d}^u);$$

2.5. Трудоемкости изготовления изделия $T^u = T^{yo} \cdot Z^u$.

2.6. Коэффициента концептуальной сложности

$$K_k = \left\{ 1 - 0,23 \cdot \sin \left[\frac{\pi}{4} \cdot (G_k - 1) \right] \right\} \cdot 0,425 \cdot (G_k - 1) + 1,$$

где $G_k = 1..5$ — группа концептуальной сложности

2.7. Коэффициента новизны технических решений

$$K_n = \left\{ 1 - 0,15 \cdot \sin \left[\frac{\pi}{4} \cdot (G_n - 1) \right] \right\} \times 0,263 \cdot (G_n - 1) + 1,$$

где $G_n = 1..5$ — группа новизны технических решений;

2.8. Коэффициента изменения массы

$$K_M = 1 + 0,0000225S \cdot M,$$

где S — размер годовой серии выпуска изделия (годовая программа выпуска), шт./год;

2.9. Коэффициента изменения габаритного размера

$$K_p = C \cdot \frac{H_u}{H_o},$$

где C — корректировочный коэффициент для учёта частной специфики предприятия и сборочного цеха (рекомендуется для начала принимать $C=1$); H_u — высота изделия, предполагаемого для освоения предприятием, м; H_o — высота вертикального просвета (размера) пролета выездных ворот цеха, м.

2.10. Коэффициента условий эксплуатации

$$K_s = \prod_{i=1}^n K_{s_i},$$

где $K_s = 1,1 \dots 1,25$;

2.11. Коэффициента условий испытаний K_v ;

2.12. Структурной сложности

$$G_{cc} = \frac{Z_u^u}{Z_u^n};$$

2.13. Структуры простейшего изделия

$$Z_u^n = 1;$$

2.14. Коэффициента выбора изделия

$$K_a = Q_n / Q_0$$

Результаты расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные показатели сложности станков

Вид изделия	Модель станка	Эквивалент структуры Z_d	Эквивалент массы Z_m	Структурная сложность $G_{сст}$	Степень сложности, Q
Простейшее	Мини-станок ВШ-028	51,5681	150,97	1	1
Базовое	Токарно-винторезный 16 ВТ-20	213,5285	891,0077	4,14	7,192
Новое	Продольно-фрезерный ВШ 160-5С	147,507	984,677	2,86	4,0518

Из этих данных видно, что степень сложности нового станка ниже, чем базового. А это значит, что предприятие располагает достаточной конструкторской и технологической базой для освоения производства деревообрабатывающих 4-сторонних продольно-фрезерных станков.

Располагая приближенной методикой экспресс-анализа степени сложности изделия, можно определить наиболее рациональный с конструкторской и технологической точек зрения вариант изделия с учетом особенностей конкретного производства. Данная методика может быть детализирована как на этапе проектирования изделия, так и на этапе его изготовления. Рассмотрим возможные варианты такой детализации на этапе проектирования зубообрабатывающих металлорежущих станков [7].

Изготовление зубчатых колес имеет ряд особенностей, определяемых тем, что зубчатый венец представляет собой сложную для воспроизводства поверхность с периодически повторяющимся, как правило, эвольвентным профилем. Операция нарезания зубьев в технологическом процессе обработки зубчатого колеса является наиболее сложной, трудоемкой и дорогостоящей. На нее приходится до 70% от общего времени обработки колеса. Зубообрабатывающие станки и инструменты составляют 7–10% парка станков и используемых инструментов в индустриально развитых странах.

Наиболее действенным представляется комплексный подход к повышению эффективности процессов обработки зубчатых колес, в основе которого лежат следующие, перечисленные ниже предпосылки.

1. Способ формообразующей обработки зубьев (СОЗ) представляется как системный объект.

2. Для выявления факторов, влияющих на эффективность способа, строится системная модель, с достаточной полнотой описывающая способ как системный объект.

3. Для определения степени влияния на эффективность отдельных факторов и времени их появления строится модель синтеза способа обработки.

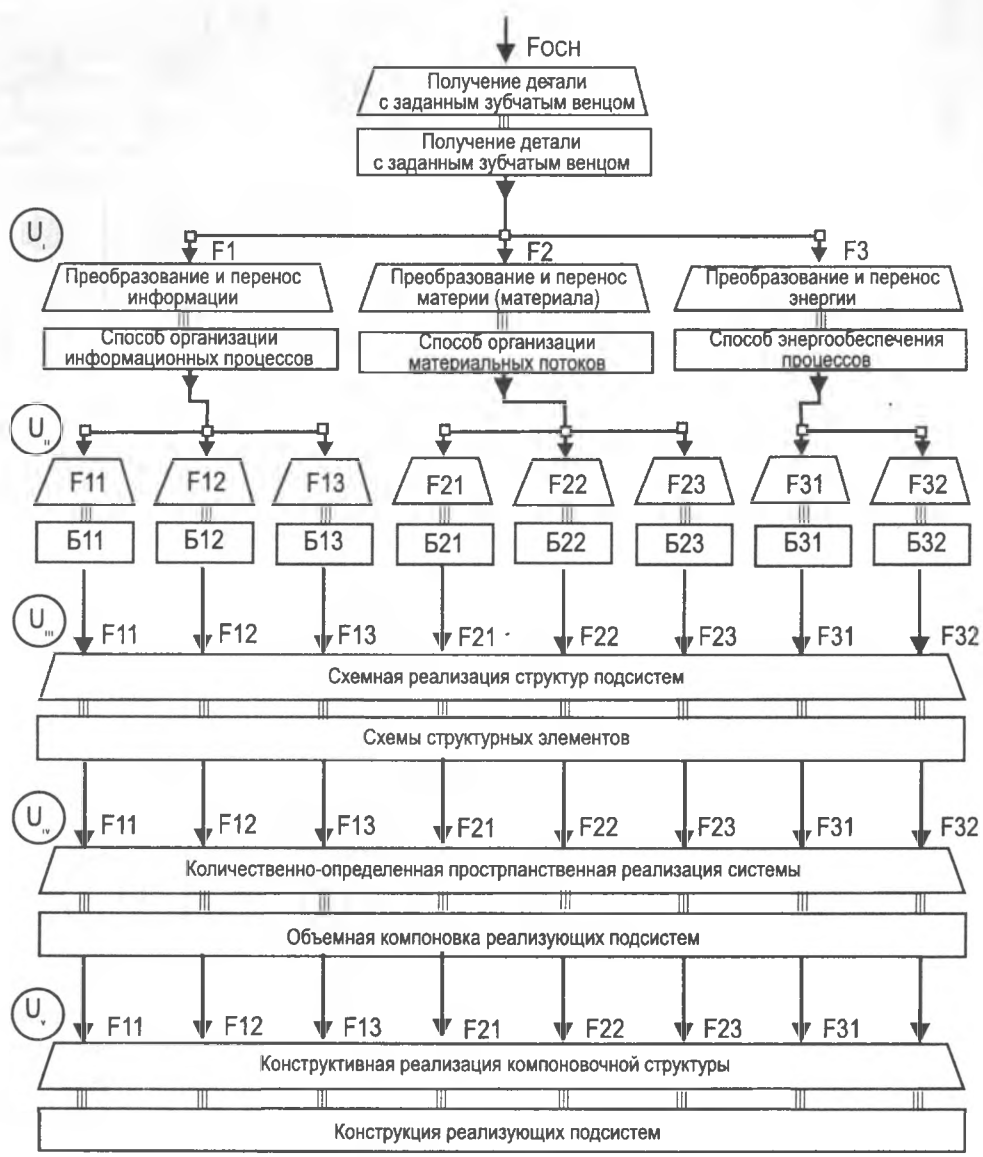
4. Осуществляется систематизация приемов и методов повышения эффективности.

Дифференциация СОЗ проводится на основе последовательного деления основной функции на подфункции. Каждой подфункции однозначно соответствует реализующая ее подсистема. Степень деления (дробность) системного объекта определяется конечностью реализации основной функции через подфункции, т.е. функция делится до тех пор, пока дальнейшее деление не станет невозможным. Полнота описания СОЗ при таком методе дифференциации во многом определяется степенью выявления подфункций. Выявленная таким образом структура СОЗ может быть представлена в виде древовидной схемы. На рис. 1 представлен первый (высший) этап деления основной функции.

Каждый компонент СОЗ влияет на его производительность. Степень влияния компонентов различна и может быть с определенной степенью достоверности описана лишь косвенно, например, через систему экспертных оценок. Анализ системной модели позволяет конкретизировать средства и приемы интенсификации СОЗ. Выявленные конкретные приемы и средства могут быть использованы при синтезе способов обработки.

В значительной мере повысить производительность способа зубодолбления можно, осуществив движение инструмента и детали по концентрическим окружностям. При этом временной и пространственный характер цикла может меняться в зависимости от решаемых задач [8]. Использование предложенной схемы обработки дает возможность создания абсолют-

Рис.1



но новых для зубодолбления обрабатывающих систем. На рис.2 представлена структурная компоновочно-кинематическая схема станка роторного типа с механическими связями [9], реализующего аналогичную схему обработки.

На станине 2 и смонтированной в ней колонне 3 установлен с возможностью вращения (B_1) ротор 1. На круговых направляющих 4 ротора устанавливаются тангенциальные столы, которые могут перемещаться по окружности (B_3). На направляющих 6 тангенциальных столов установлены радиальные столы 7 с делительными столами 8, на которых крепятся детали. На вертикальных направляющих 9 колонны 3 устанавливаются инструментальные суппорты 10 с приводами штосселя 17 с долбяком 18. Количество инструментальных суппортов

на один меньше, чем тангенциальных столов. Привод всех движений осуществляется от двигателя 11 через общий распределительный вал 14.

Ротор 1 станка вращается с постоянной скоростью. В течение цикла обработки долбяк в касательном движении врезания «догоняет» заготовку, затем идет обработка зубчатого венца при относительном покое (поступательном) инструмента и заготовки. После обработки колеса инструмент «обгоняет» тангенциальный стол с деталью, которая поступает в зону «выгрузки-загрузки».

Подобные станки могут быть использованы в крупносерийном и массовом производстве.

Модульный подход к проектированию машиностроительных изделий реализован также в разработанной гамме сбор-

Рис. 2

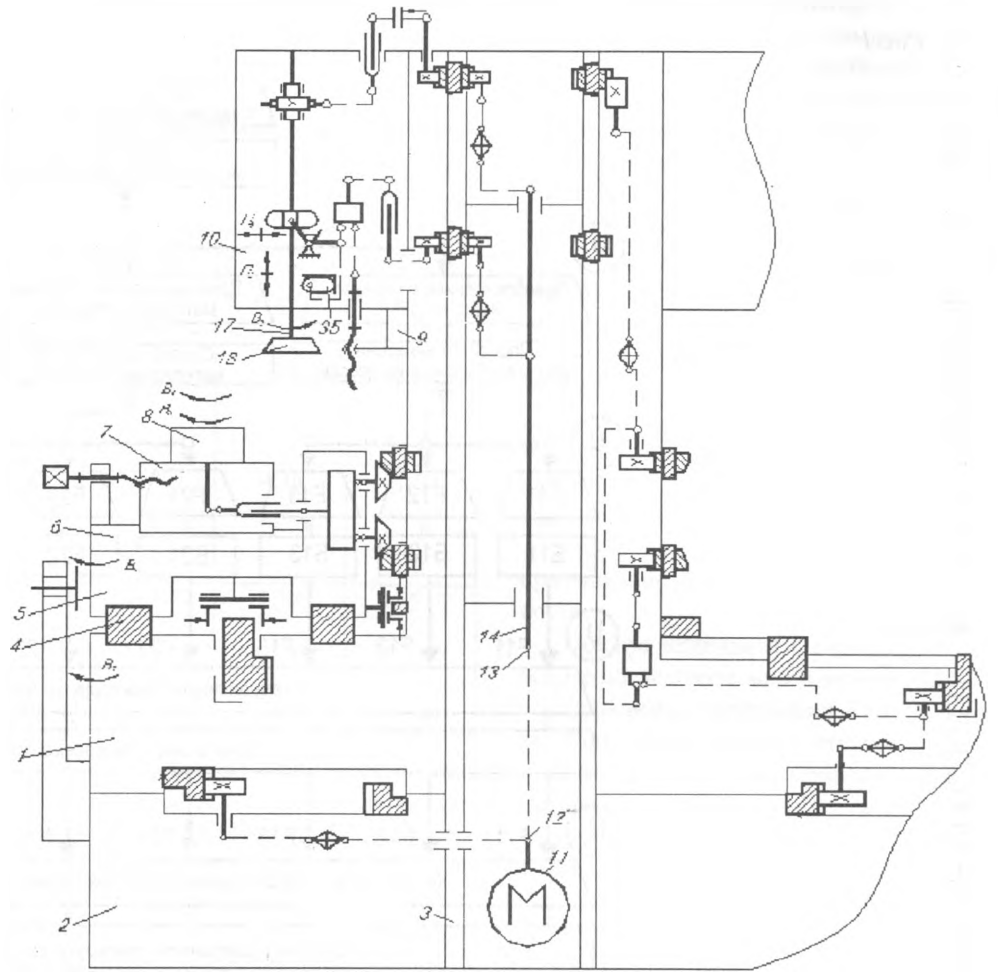
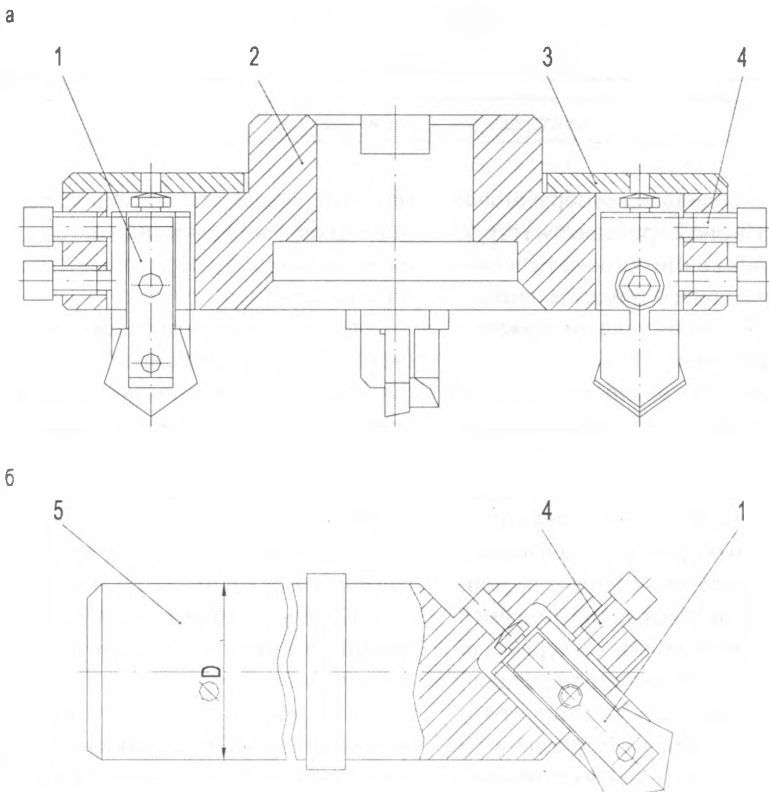


Рис. 3



ных режущих инструментов [10, 11]. На рис.3 представлена конструкция торцевой фрезы. Режущие блоки 1 устанавливаются в отверстиях корпусного модуля 2. Блоки крепятся в корпусном модуле установочными винтами 4. На корпусном модуле установлена кольцевая планка 3. С ней контактируют регулирующие винты режущих блоков, с помощью которых выставляется величина вылета блоков. В корпусном модуле выполнено нормализованное посадочное отверстие для установки инструмента на инструментальную оправку.

Расточная головка, представленная на рис.3, б, имеет корпусной модуль, выполненный в виде хвостовика 5. В отверстии хвостовика установлен режущий блок 1, закрепленный посредством винта 4. Т.е. установка и крепление режущего блока аналогичны соответствующим в предыдущей конструкции. Установка блоков на размер также осуществляется с помощью регулировочного винта.

Таким образом, предложенная концепция мобильной реорганизации позво-

ляет с единых позиций оценивать технологические возможности машиностроительного производства и предлагает варианты модульного построения наиболее рациональных для предприятия технологических процессов, металлорежущих станков и инструментов.

Литература

1. Попок Н.Н. Концепция мобильной реорганизации машиностроительного производства // Наука и технологии на рубеже XXI века / Мат. Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2000. — С. 3–8.
2. Попок Н.Н. Теоретические и технологические основы мобильного номенклатурного производства с интенсификацией механической обработки поверхности деталей типа тел вращения. Автореферат дис..., д-р техн. наук. — Мн., 2003.
3. Попок Н.Н., Новоселов Ю.А. Показатель сущностной сложности изделий как критерий выбора машиностроительных изделий для освоения их производства // Машиностроение. — Минск: Выш. школа. — 2000. — Вып. 16. — С. 31–37.
4. Попок Н.Н. Рациональный выбор изделия для производства на машиностроительном предприятии // Машиностроитель. — 2001. — № 4. — С. 43–45.
5. Попок Н.Н., Новоселов Ю.А. Методология продольного сложно-функционального формирования поверхностей материальных объектов // Материалы, технологии, инструменты. — 2000. — Т. 5. — № 2. — С. 27–30.
6. Попок Н.Н. Комплексное моделирование и оптимизация обработки материалов резанием в гибком автоматизированном производстве. — Новополоцк: ПГУ, 1997. — 101 с.
7. Исследование путей интенсификации процессов дискретного формообразования профильных и прерывистых поверхностей при синтезе способов их обработки // Отчет о НИР (заключительный), ПГУ / Данилов В.А., Терентьев В.А. — Новополоцк, 1997. — 100 с.
8. А.с.1291311. Способ нарезания зубчатых изделий / Терентьев В.А., Трофимов А.И. — Оpubл. БИ, 1987. № 27.
9. А.с.1611613. Роторный зубодолбежный станок / Терентьев В.А., Трофимов А.И., Кошников В.А. — Оpubл. БИ, 1990. № 45.
10. Попок Н.Н., Терентьев В.А. Универсальные блочно-модульные режущие инструменты // Современные направления развития производственных технологий и робототехники: Мат. междунар. науч.-техн. конф. — Могилев, ММИ, 1999. — С. 146.
11. Пат. 563 ВУ МПК: 7B23B1/00, 27/12. Многолезвийный блочно-модульный режущий инструмент / Попок Н.Н., Терентьев В.А. — № и 20010239; Заявлено 5.10.01; Оpubл. 11.12.01 / Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. — 2002. — № 2. — с. 32.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ СИНТЕЗА РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЗАНИЕМ

Изложены научные основы синтеза и интенсификации технологий формообразования сложных поверхностей резанием. Приведены примеры реализации технологии формообразования для создания оригинального металлорежущего оборудования.

Сложные поверхности широко применяются в конструкциях деталей машин и приборов, рабочих органов двигательных и энергетических установок, различных инструментов. Основным методом их получения служит формообразование резанием, которое, благодаря присущим ему свойствам управляемости и гибкости, яв-

ляется наиболее экономичным средством обеспечения требуемого качества. Технико-экономические показатели способов обработки изделий со сложными поверхностями обычно ниже, чем деталей простой геометрической формы. Особенно это характерно для незамкнутых пространственно развитых поверхностей, при обра-

*В.А. Данилов,
канд. техн. наук,
зав. кафедрой
«Металлорежущие
станки и
инструменты».*

*Полоцкий
государственный
университет*