

нальных технологических процессов, позволяющих при обеспечении заданных параметров получаемых изделий максимально использовать возможность РПС в рамках ВПС. Здесь особую роль играют процедуры проектирования технологических процессов. При технологическом проектировании решаются задачи по всем этапам технологического процесса — от получения заготовки до приемки собранных изделий, но особое внимание уделяется этапам механической обработки заготовок, поскольку эти процессы наиболее ответственны с точки зрения качества создаваемых машин и трудоемки (на них приходится 60 — 80% всей трудоемкости изготовления изделий). В связи с этим они являются определяющими во всем цикле производства машин.

Сложность технологических процессов и ответственность принимаемых при их проектировании решений обуславливает необходимость применения методов и средств САПР. При автоматизации проектирования технологических процессов необходимо учитывать характер и взаимосвязи факторов, влияющих на их построение и определяющих заданное качество изготавливаемых изделий и экономическую эффективность.

Проектирование технологических процессов включает в себя ряд иерархических уровней: разработку принципиальной схемы технологических процессов, представляющей последовательность этапов укрупненных операций; проектирование технологических маршрутов обработки деталей; проектирование технологических операций; разработку управляющих программ для оборудования с ЧПУ.

Процессы оперативного и технологического управлений являются взаимосвязанными, что должно быть учтено при реализации разработанных проектов. В условиях ВПС процессы проектирования технологических процессов, их реализация и управление могут быть обеспечены только при наличии мощных средств вычислительной техники, использующих базы данных и знаний и составляющих основу информационного обеспечения интеллектуальной системы.

Целью предлагаемого подхода является снижение себестоимости и сроков изготовления изделий путем рациональной загрузки существующих производственных систем при обеспечении заданного качества изготавливаемых изделий.

Литература

1. Кузнецов П.М. Поляков С.А. Технологическое многообъектное проектирование в условиях производственной среды с распределенными параметрами. М, «Приводная техника», № 4(80), 2009.
2. Максимов Ю.В., Анкин А.В. Theory and Practice of Technology for Machining Non-Rigid Smooth Shafts in Reconfigurable Production (Теория и практика обработки нежестких валов в реконфигурируемом производстве). Монография. Reconfigurable Manufacturing systems and transformable Factories. Под ред. А.И. Дашенко. Изд. «Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006», с. 544-568.

Методика сравнительной оценки стоимости и качества инновационных решений на проектных этапах жизненного цикла высокотехнологичных изделий машиностроительных производств

д.т.н. проф. Лукина С.В., к.т.н. доц. Крутякова М.В., Соловьева Н.П., Гирко В.В.

МГТУ «СТАНКИН», Университет машиностроения
(495) 223-05-23, доб. 1451, lukina_sv@mail.ru, krutyakova_mv@mail.ru, nadin9320@yandex.ru
vla_gir@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается методика сравнительной оценки стоимости и качества инновационных решений высокотехнологичных изделий машиностроения на проектном этапе подготовки производства с использованием линейных математических моделей. Разработанные аналитические модели наглядны, универсальны и могут быть автоматизированы с использованием инструментальных средств персональных компьютеров.

Ключевые слова: сравнительная оценка качества и стоимости, линейная математическая модель.

Актуальной задачей современного производства является освоение и производство высокотехнологичных изделий машиностроения сборных конструкций различного целевого назначения, в частности режущих и вспомогательных инструментов, узлов и агрегатов технологических машин и станков и т.д.

Любое высокотехнологичное изделие представляет собой сложную по конструкции и дорогостоящую систему, эффективность работы которой зависит от точности и качества исполнительных механизмов и их структурной компоновки, то есть взаимного расположения элементов в пространстве относительно друг друга; а различные структурные и параметрические сочетания образуют множество конструктивных исполнений (конструкций) изделий. Агрегатный принцип конструирования позволяет повысить качество оборудования за счет полной взаимозаменяемости деталей узлов одной группы и типоразмера, снизить стоимость изготовления таких деталей за счет уменьшения длительности производственного цикла их изготовления.

С другой стороны, в условиях рыночной экономики и жесткой конкуренции недостаточно изготовить и поставить на рынок какую-либо новую конструкцию технологической машины или инструмента. Для того чтобы выйти на рынок, выдержать конкуренцию и принести прибыль производителю, необходимо и достаточно, чтобы новая конструкция обладала набором свойств, уровень показателей которых наилучшим образом отвечает требованиям потребителя с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.

Проектный этап жизненного цикла высокотехнологичных изделий машиностроения достаточно сложен и трудоемок, поскольку требует синтеза и оценки большого количества сочетаний структурных вариантов и значений параметров исполнительных механизмов с целью выбора оптимального варианта, определяющего проектное инновационное решение [1].

В общем случае все множество возможных вариантов структурных компоновок может быть определено объединением:

$$K_t = x_s \bigcup_{i=1}^n \bigcup_{j=1}^m x_{ij} \bigcup x_t, \quad (1)$$

$$M_K = x_s \cdot x_t \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^m x_{ij}, \quad (2)$$

где: x – наименование переменной, отражающей какой-либо конструктивный признак или параметр сборочного элемента инновационного изделия;

i, j – переменная, характеризующая порядковый номер конструктивного элемента и параметра соответственно;

x_s, x_t – переменные, характеризующие входную и выходную информацию соответственно.

Выражения (1) и (2) в общем случае формируют множества допустимых альтернатив – вариантов структурных и конструктивных исполнений высокотехнологичных изделий машиностроения, в том числе и перспективные инновационные в соответствии с условиями:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n x_{sj} - \sum_{i=1}^n x_{is} = 1 \\ \sum_{j=1}^n x_{tj} - \sum_{i=1}^n x_{it} = -1 \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} - \sum_{i=1}^n x_{ji} = 0, \quad (\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad i \neq s, i \neq t) \\ x_{ij} \in \{0, 1\} (\forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\}) \end{array} \right. \quad (3)$$

Система выражений (3) определяет следующие условия:

- каждый вариант структурной компоновки и конструктивного исполнения должен соответствовать полному сочетанию исходной информации;
- каждый вариант структурной компоновки и конструктивного исполнения может быть сравнительно оценен по совокупности частных критериев;
- каждому варианту структурной компоновки и конструктивного исполнения изделия должна соответствовать определенная совокупность геометрических, конструктивных, эксплуатационных и экономических параметров, однозначно его представляющая.

Условие (3) позволяет сформировать ориентированный граф сетевой структуры, описывающий множество допустимых альтернатив - вариантов структурных и конструктивных исполнений высокотехнологичных изделий машиностроения как множество обходных путей графа, которые формируются следующим образом.

Вначале необходимо задать количество слоев, которое определяет какой-либо конструктивный признак сборочного элемента. Далее следует задать глубину каждого слоя, которая определяет варианты исполнений каждого конструктивного признака сборочного элемента. При формировании сетевой структуры, концептуально описывающей какой-либо класс сборочных элементов изделий, величины, определяющие количество и глубины слоев, будут бесконечными. Последнее необходимо предусмотреть для того, чтобы обеспечить единство сетевой структуры и индексации ее вершин при дополнении новыми конструктивными признаками или вариантами их исполнений, что необходимо при создании новых конструкций высокотехнологичных изделий машиностроения. При этом следует отметить, что при формировании сетевой структуры для заданной совокупности сборочных элементов изделий, например с использованием каталогов производителей, количество конструктивных признаков и вариантов их исполнений являются величинами конечными [1].

Так, например, множество вариантов структурных компоновок сборных режущих инструментов может быть представлено следующей совокупностью элементов, наиболее общих для различных типов инструментов: x_{11} – корпус или державка; x_{12} – узел крепления кольца корпуса; x_{13} – кольцо корпуса; x_{14} – узел крепления элемента корпуса; x_{15} – элемент корпуса; $x_{1(n-1)}$ – узел крепления кассеты; x_{1n} – кассета; x_{21} – узел установки опорной пластины; x_{22} – узел крепления опорной пластины; x_{23} – опорная пластина; x_{31} – узел установки стружколома; x_{32} – узел крепления стружколома; x_{33} – стружколом; x_{41} – узел крепления режущей пластины; x_{42} – режущая пластина и другие элементы (рисунок 1).

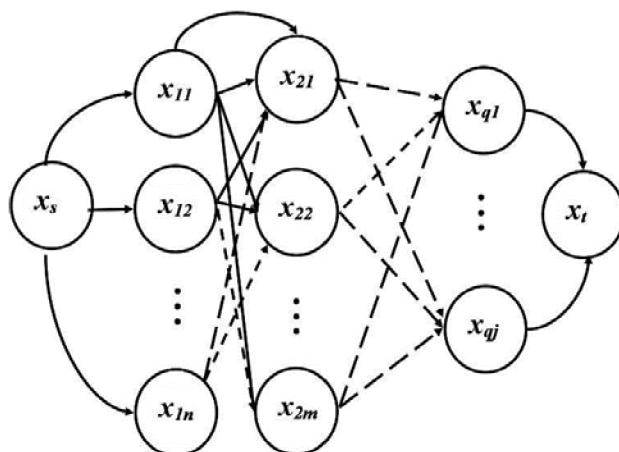


Рисунок 1 – Граф-модель формирования вариантов структурных компоновок сборных режущих инструментов

Уровень качества изделий машиностроения следует оценивать по совокупности десяти основных показателей: назначению, характеризующему основные свойства изделия и определяющему его основные функции; надежности, определяющей стабильность качества изде-

лия вследствие сохранения высоких показателей назначения в течение заданного времени; эргономичности, объединяющей физиологические, антропометрические, гигиенические и психологические показатели; эстетичности, определяющей показатели информационной выразительности, рациональности формы, целостности компоновки; технологичности, характеризующей свойства изделия и обуславливающей оптимальное распределение затрат материалов, средств, труда и времени при технологической подготовке производства, изготовлении и эксплуатации; унификации, отражающей насыщенность изделия стандартными и оригинальными составными элементами, а также уровень унификации с другими составляющими технологической системы: патентно-правовыми, характеризующими патентную чистоту изделия; экологическими, определяющими уровень вредного воздействия на окружающую среду; безопасности, характеризующими уровень безопасности для человека при эксплуатации изделия; экономичности, отражающими затраты на производство и эксплуатацию изделия [2].

Сравнительную оценку вариантов изделий корректно проводить по частным показателям, количественно приведенным к показателям качества и аналитически выраженным через систему геометрических, конструктивных и эксплуатационных свойств изделия [3].

Окончательную оценку уровня качества проектного решения следует производить по обобщенному показателю качества $\Phi_{K_{cp}}$, представляющему собой аддитивную свертку частных критериев:

$$\Phi_{K_{cp}} = \sum_{j=1}^{10} \sum_{i=1}^n b_{ij} K_{zni} \rightarrow \max. \quad (4)$$

Здесь b_{ij} – значение частного показателя качества изделия; K_{zni} – параметр значимости i -го показателя качества; n – общее число частных критериев, подлежащих учету.

Согласно (4) наивысшим качеством будет обладать вариант конструкции изделия с максимальным значением обобщенного показателя качества.

Стоимость инновационного решения может быть рассчитана следующим образом:

$$C_n = K_{цсп} \cdot \Phi_{K_{cp}}, \quad (5)$$

где: $K_{цсп}$ – средний ценностный множитель.

Численное значение ценностного множителя рассчитывается по данным реально существующего аналога, показатели качества которого могут быть оценены по выделенной системе значимых частных критериев условными баллами:

$$K_{ц} = \frac{C_a}{\Phi_{K_{cpa}}}. \quad (6)$$

Здесь C_a – стоимость или себестоимость аналога, руб; $\Phi_{K_{cpa}}$ – значение обобщенного показателя качества аналога, рассчитанное по выражению (4).

Для более точной оценки стоимости инновационного решения необходимо с использованием выражения (6) рассчитать ценностный множитель для трех – пяти аналогов и найти его среднеарифметическое значение:

$$K_{цсп} = \frac{\sum_{i=1}^m K_{цi}}{m}. \quad (7)$$

Инновационное обновление машиностроительных производств, включающих основные технологические переделы (заготовительные, обрабатывающие, сборочные, тестирующие, логистические, подготовки производства и т.п.), является ресурсоемкой задачей, требующей научно обоснованных оценок и решений. Формирование традиционных технологических процессов изготовления машиностроительных деталей требует наличия широкой производственной базы. Компактность структуры и минимальная ресурсоемкость средств оснащения обрабатывающих производств зависит от принятой парадигмы синтеза обрабатывающих систем традиционного исполнения [1]. Рассмотрим две формы организации производства маши-

ностроительных деталей: традиционную CUT-технологию и инновационную ADD-технологию. Традиционные CUT-технологии (*резания*) основаны на удалении слоев металла с предварительно сформированной заготовки большего размера. Это изначально ресурсоемкая технология, базирующаяся на существующих технологических процессах и станочных системах, в которые вложены огромные интеллектуальные и материальные ресурсы. Современная ресурсосберегающая ADD-технология основана на «выращивании» изделия путем воссоздания его 3D-геометрического образа послойным формообразующим синтезом материала на заготовке.

В сравнении с формообразующими CUT-системами инновационные ADD-системы компактны, так как позволяют экономить работе пространство, лишены силовых возмущений и способны изначально формировать свойства поверхностных и внутренних слоев синтезируемых деталей. В настоящее время основным недостатком ADD-систем является их неспособность достигать требуемого качества поверхностных слоев деталей; существование функциональных ограничений по размерам изготавливаемых деталей, проблемы остаточности внутренних напряжений.

Поиск наиболее эффективной модели организации производства следует осуществлять с помощью многослойной сетевой граф-модели, с помощью которой может быть сформировано множество альтернативных сочетаний технико-экономических решений задачи перевооружения или локального переоснащения производства на инновационных принципах [2, 3] (рисунок 2).

Сумма сложностей взаимодействующих в системе компонентов есть величина постоянная, поэтому это позволяет наложить веса на ребра графа и направленно синтезировать технологическую среду предприятия в виде следующей математической модели (8).

$$\begin{aligned} \Phi_k &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} b_{ij} \rightarrow \min(\max), \quad \left(\begin{array}{l} \forall k \in \{1, 2, \dots, l\} \\ \forall i \in \{1, 2, \dots, n\} \\ \forall j \in \{1, 2, \dots, m\} \end{array} \right) \\ \Phi_{ад} &= \sum_{k=1}^l \frac{\Phi_k}{\Phi_{k\vartheta}} K_{зн_k} \rightarrow \min(\max) \\ &\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\} \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, m\} \\ x_{ij} = \{0, 1\}, \quad (\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}) \end{array} \right. \end{aligned} \quad (8)$$

Здесь Φ_k – множество частных целевых функций элементов структуры средств оснащения предприятия; $\Phi_{ад}$ – целевая функция комплексного критерия эффективности; $K_{зн_k}$ – значимость k-й частной целевой функции; c_{ij} – степень соответствия каждого синтезированного варианта k-му критерию соответствия (вес ребра графа); b_{ij} – численное выражение технико-экономической характеристики элемента структуры средств оснащения предприятия в условных баллах.

Разработанная методика оценки стоимости и качества инновационных решений автоматизирована с использованием электронных таблиц Microsoft Excel. Выбор Microsoft Excel в качестве инструмента обоснован наличием встроенных функций и алгоритмов поиска решения, высокой доступностью и наглядностью приложения; этот пакет устанавливается на компьютер пользователя сразу после установки операционной системы от Microsoft.

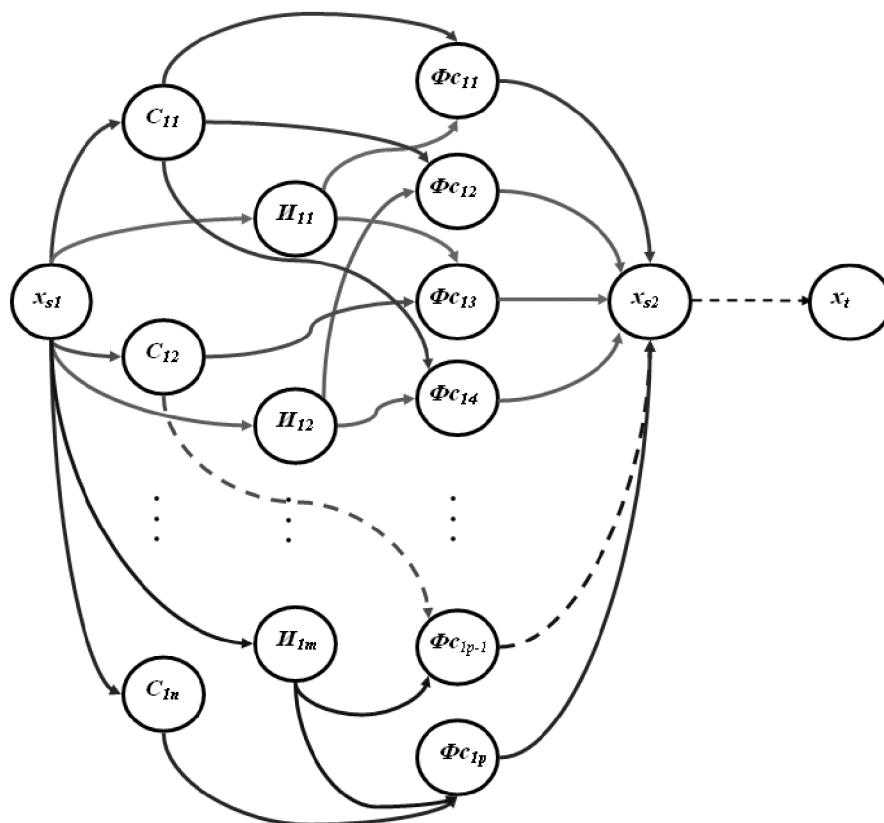


Рисунок 2 – Граф-модель формирования вариантов структур средств оснащения предприятия

Апробация разработанной методики осуществлялась сравнительной оценкой стоимости и качества инновационных решений токарных станков моделей 16А20Ф3, 16А20БФ3, МК6801Ф3, MASTURN 550 CNC LIVE TOOL 1 500. Проведенная серия численных экспериментов показала работоспособность и адекватность разработанной методики [4, 5]. По результатам исследований была сформирована инновационная компоновка токарного станка, созданная на основе улучшения технических характеристик (рисунок 3).

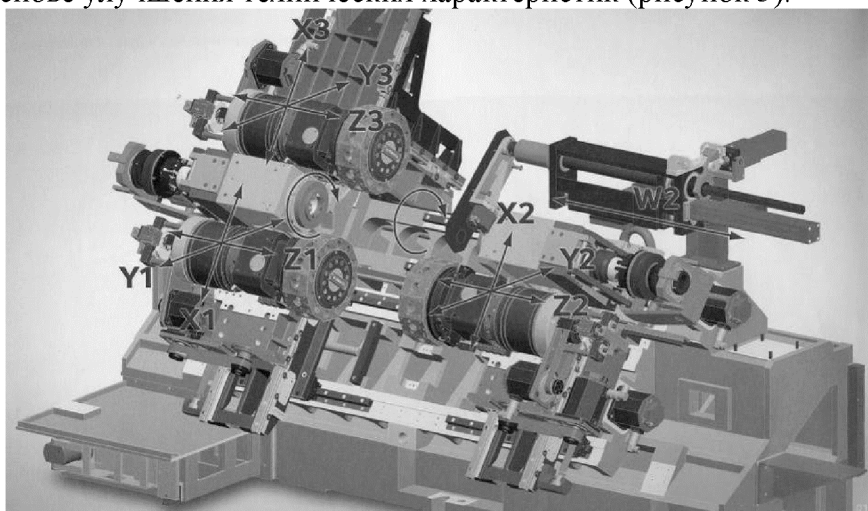


Рисунок 3 – Инновационная проектная компоновка токарного станка

Описанная методология принятия технологических и экономических решений при организации механообрабатывающего производства машиностроительного предприятия позволяет обоснованно формировать оптимальную структуру станочного парка на инновационных принципах.

Литература

1. Лукина С.В. Моделирование процедур формирования и выбора структурных компоновок

- сборных режущих инструментов на основе сетевых граф-моделей. // *Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты*. 2009, № 2. с. 28-30.
- Лукина С.В., Крутякова М.В, Соловьева Н.П. Обеспечение конкурентоспособности металлорежущего оборудования путем управления его качеством и себестоимостью на этапах НИОКР (на примере токарных станков). М.: МГТУ «МАМИ», 2011, 108 с.
 - Лукина С.В. Автоматизация процедур формирования и выбора структурных компоновок сборных режущих инструментов на этапе технической подготовки производства. // *Вестник саратовского государственного технического университета*, 2011, Т. 3, с. 241-247.
 - Иванников С.Н., Шандов М.М. Метод определения параметрической надежности шпindelных узлов. // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2012, № 1(13), с. 160-162.
 - Иванников С.Н. Проблемы обеспечения качества и надежности технологического оборудования в автотракторостроении. // *Успехи современного естествознания*. 2009, № 9. с. 73.

Повышение эффективности многокоординатного фрезерования пространственно-сложных поверхностей на станках с ЧПУ

д.т.н. проф. Лукина С.В., Манаенков И.В.
МГТУ «СТАНКИН», Университет машиностроения
(495) 223-05-23, доб. 1451, lukina_sv@mail.ru, manaenkov_igor@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности многокоординатного фрезерования пространственно-сложных поверхностей на станках с ЧПУ. Произведена визуализация обработки пространственно-сложной поверхности в CAD/CAM/CAE/DDM-системе SolidWorks/

Ключевые слова: многокоординатное фрезерование, пространственно-сложная поверхность, 3D-геометрический образ.

Современное состояние и перспективы развития технического прогресса характеризуются использованием в машинах и механизмах различного целевого назначения деталей с криволинейными пространственно-сложными поверхностями. К ним относятся лопатки паровых и газовых турбин, крыльчатки, гребные и воздушные винты, импеллеры, экструдеры и т.п. (рисунок 1). Применение деталей с рабочими поверхностями сложной формы позволяет расширить функциональные, технологические и эксплуатационные возможности машин и повысить качество обработанных изделий.

Производство деталей с пространственно криволинейными поверхностями отличается технологической сложностью, трудоемкостью и высокой долей ручных доводочных операций. Механическая обработка деталей с криволинейными пространственно сложными поверхностями осуществляется на мехатронном металлообрабатывающем оборудовании, состоящем из конструктивно объединенных подсистем с четырьмя и более одновременно управляемыми от системы ЧПУ координатами [1].

Техническая подготовка производства криволинейных пространственно-сложных поверхностей основана на использовании автоматизированных систем конструирования и изготовления – систем класса CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Machining) и выше.

Многокоординатная обработка деталей с криволинейными пространственно-сложными поверхностями характеризуется выраженной нестационарностью ее основных параметров, а именно параметров удаляемого припуска и сечений срезаемых слоев, допустимыми в текущий момент времени критическими значениями скорости резания, подачи и т.д., обусловленных динамикой текущих значений кинематических геометрических параметров режущих кромок инструментов. Это является причиной возникновения погрешностей формы, размеров и взаимного расположения обработанных поверхностей.

Эффективность изготовления высокотехнологичных деталей зависит от технических