

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 658.512.011.56 : 621.9.06

Д.Н. Свирский

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ РАННИХ СТАДИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ
QFD-МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Рассматривается проблема компьютерной поддержки ранних стадий проектирования металлообрабатывающих станков. Предлагается методическое обеспечение ее решения. Теоретические положения иллюстрируются примером макропроектирования заточного станка.

Введение

Объективной основой конкурентоспособности продукции отечественного станкостроения является ее качество, понимаемое как точное соответствие изделия требованиям потребителя (целевого сегмента рынка). В свою очередь, качество выпускаемых станков закладывается на стадии проектирования путем выбора определенных инженерных решений. В связи с этим исключительно важную роль играют первые стадии творческого процесса, где формулируются принципиальные технические решения, далее подвергаемые детализации по каждому компоненту (узлу, блоку и т. п.) изделия. С конца прошлого века накоплен большой опыт автоматизации конструкторского труда в станкостроении [1, 2]. В настоящее время в процессе конструирования широко применяются мощные средства компьютерной графики и инженерного анализа. Однако техническое творчество на ранних стадиях проектирования до сих пор остается без реальной компьютерной поддержки. Поиску решения указанной проблемы посвящена эта работа.

1. Постановка задачи

В табл. 1 представлена временная организация ранних стадий проектирования. Исходя из нормативной модели конструкторской подготовки производства новой техники, обычно выполняются этапы предпроектных исследований, разработки технического задания и технического предложения, результаты которых документально оформляются в соответствии с государственными стандартами. В русле системного подхода, как правило, выделяют внешнее (или макро) проектирование, заключающееся в формулировании служебного назначения изделия и определении его основных технических характеристик, и внутреннее (или микро) проектирование, результатом которого является рабочая документация, удовлетворяющая требованиям технического задания [3]. В начале детальной разработки конструкции изделия на этапе внутреннего проектирования лежит формирование его концепции – «общего замысла», т. е. принципиальных инженерных решений, предопределяющих совершенство и экономичность технической реализации требований технического задания. Эти процедуры, результат которых отражается в техническом предложении, в настоящее время объединены понятием «концептуальное проектирование» [4].

Для эффективной компьютерной поддержки выполнения процедур ранних стадий проектирования станочного оборудования требуется решить ряд задач, основной из которых является разработка методологии формализации процедур концептуального проектирования технологического оборудования.

Таблица 1

Ранние стадии проектного процесса

<i>Ранние стадии проектирования</i>			Время →
Научно-технические и маркетинговые исследования	Техническое задание	Техническое предложение	
Макропроектирование		Концептуальное проектирование	
Функционально-квалиметрический анализ		Функционально-операторный синтез	Структурный синтез
Функционально-параметрический метод			Структурно-параметрический метод
QFD-моделирование		Функционально-структурное моделирование	
			...

2. Предлагаемая методология

Результатом последовательного решения задач ранних стадий проектирования, в частности концептуального проектирования, является синтезированная структура станка в целом, оформленная в документации технического предложения. В ходе структурного синтеза определяют состав и взаимосвязи компонентов проектируемого объекта, а в качестве основы выступает функциональная модель (схема) изделия. Проектирование структуры новой машины проходит в следующей последовательности: цель→функции→структура. Поэтому для построения системы компьютерной поддержки принятия решений на ранних стадиях проектирования технологического оборудования целесообразно использовать функционально-структурный подход (см. строку 4 табл. 1), а из известных способов формализации процедур структурного синтеза (перебор, последовательный синтез и т. п.) рационально выбрать метод трансформации описаний. Он основан на преобразовании по определенным правилам описаний (моделей) объекта. Ключевым моментом формализации операции перехода от одной модели к другой является их параметризация. Цель, функции и структура системы (станка) могут быть описаны параметрически.

При системном подходе к объекту проектирования выделяют его внешние и внутренние функции. Внешние функции (главная и второстепенные) выполняются объектом в целом и отражают отношения между ним и сферой применения. Главная функция изделия синонимична служебному назначению, т. е. цели его создания. Второстепенные функции, например, способствуют его ликвидности. Внутренние функции определяются составом действий внутри объекта, выполняются его компонентами и обусловлены особенностями технологических и конструктивных решений. В зависимости от роли в рабочем процессе среди внутренних функций различают основные и вспомогательные. Основные функции служат для обеспечения работоспособности машины – осуществляют главную функцию, а вспомогательные способствуют их реализации. Так, при разработке станка для заточки концевых фрез внешними функциями являются обеспечение заданной величины биения на задней и передней поверхности; реализация заданного качества точности и т. п. В качестве внутренних выступают передача режущему инструменту и заготовке согласованного поступательно-вращательного движения, обеспечение минимального радиального и торцевого биения шпинделя и др.

Внешние функции, особенно главная, определяют качество и конкурентоспособность станка непосредственно, напрямую отвечая требованиям потребителя. Для параметрической оценки качества давно и успешно используется формальный аппарат квалиметрии. Так, внешние функции и потребительские требования относительно легко выражаются количественно с помощью функционально-квалиметрического анализа. При проектном структурировании станка внутренние функции как действия (операции) его компонентов также численно характеризуются параметрами производимого процесса, особенно конечными показателями его результата, путем функционально-операторного синтеза. Наконец, реализующие внутренние функции компоненты машины обязательно должны быть параметризованы значениями физических величин. Таким образом, трансформация функционального описания проектируемого объекта в его структурную модель должна быть формализована с помощью отображения станка в N_f -мерных пространствах их попарно общих параметров.

Формализацию перехода от внешних функций к внутренним можно эффективно осуществить QFD-моделированием [5, 6]. Методика Quality Function Deployment – развертывания (структурирования) функции качества – заключается в заполнении полей так называемого «дома качества» (рис. 1).

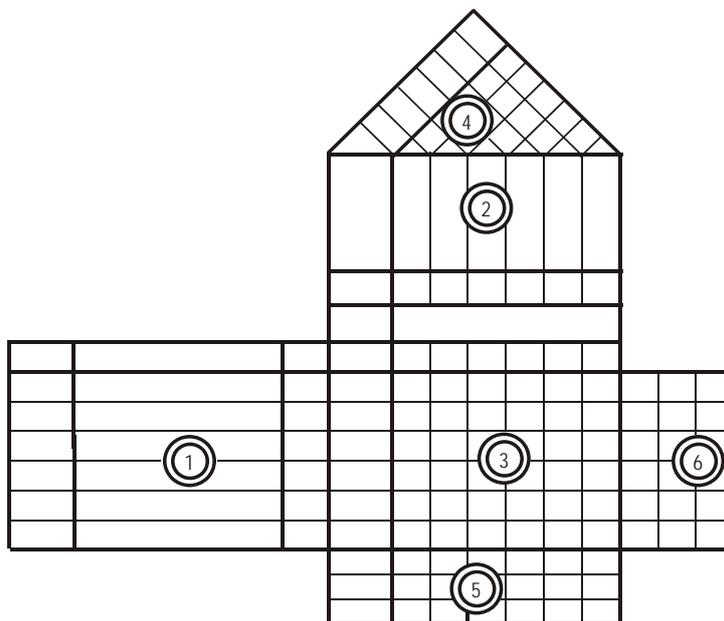


Рис. 1. Дом качества

В табл. 2 представлено поле 1 «дома качества», заполненное потребительскими требованиями (ПТ), ранжированными по результатам маркетинговых исследований. Сумма рангов ПТ равна единице.

Таблица 2
Анализ потребительских требований (пример условный)

№ п/п	Потребительские требования	Ранг
1	Точность обработки	0,6
2	Уровень шума	0,2
3	Универсальность	0,09
4	Компактность	0,08
5	Эстетичность	0,03
...	...	
N		

В поле 2 располагаются показатели технического уровня станка – его технические характеристики (ТХ). Для металлорежущих станков регламентированы восемь групп показателей технического уровня станка. Поэтому общее их количество в матрице может достигать нескольких десятков.

Поле 3 отображает связь ПТ и ТХ. В частном случае известной зависимости ПТ от ТХ влияние ТХ на ПТ находится аналитически, но чаще приходится применять универсальный метод экспертных оценок. Удобно оценивать парную корреляцию числом из ряда $-1; -0,5; 0; +0,5; +1$, занося их в соответствующие ячейки поля 3. По тому же принципу заполняется поле 4 – «чердак дома». В эти ячейки записываются числа, определяющие взаимовлияние ТХ, так как изменение одной ТХ обычно ведет к изменению в ту или иную сторону значений других ТХ. При

заполнении полей 3 и 4 необходимо учитывать «скрытые воздействия» (инциденции) [7, 8] ПТ на ТХ и ТХ на ТХ.

Поле 5 отображает важность ТХ. Для расчета весовых коэффициентов используется формула

$$R_{ju} = \sum_{u=1}^N r_u \cdot x_{ju} ,$$

где j – порядковый номер технической характеристики (изменяется от 1 до M); u – порядковый номер потребительского требования (изменяется от 1 до N); x_{ju} – коэффициент, соответствующий зависимости ИХ от ПТ в поле 3; r_u – ранг u -го потребительского требования.

В ходе заполнения поля 6 выполняется основная процедура так называемого бенчмаркинга, а именно оценка конкурентоспособности своего продукта на целевом рынке. Из анализа предпочтения потребителей по каждому потребительскому требованию и степени его удовлетворенности качеством продукции складывается картина, которую можно назвать профилем производителя. Его целесообразно сравнивать с профилями ближайших по доли рыночного сегмента конкурентов.

Таким образом, информация, содержащаяся в полях 5 и 6, составляет важнейшую часть технического задания на разработку нового станка – ранжированные технические требования к нему. Если QFD-моделирование использовалось для анализа выпускаемой продукции, то его результаты могут быть применены для определения главных направлений повышения качества изделий и их конкурентоспособности.

Внутренние функции станка реализуются его узлами и механизмами. На каждом предприятии или в разрабатывающей организации есть их отработанные конструкторские решения, освоенные в производстве и используемые в качестве элементной базы выпускаемой продукции. Конструкция любого компонента станка параметрически описывается его технической характеристикой. Если значения показателей того или иного варианта конструкции узла соответствуют результатам QFD-моделирования, то он включается в разрабатываемую структурную схему станка. В противном случае необходимо создавать оригинальную конструкцию или покупать узел на стороне. Ориентиром всегда служат результаты QFD-моделирования.

При проектировании оригинальных узлов на стадии детальной разработки конструкции станка методику QFD-моделирования можно применять для определения параметров их ТХ. При этом роль ПТ исполняют соответствующие ТХ станка в целом.

Необходимо особо отметить важность экономических показателей при принятии принципиальных конструктивных решений. При этом учитывается современная мировая тенденция в ценообразовании – «target costing». Кратко отличие этой рыночно ориентированной методики от традиционного назначения цены на новую продукцию можно сформулировать следующим образом. В затратном варианте ценообразования рассчитывается себестоимость изделия, назначается норма прибыли, исходя из этого получается цена продажи: себестоимость + прибыль = цена. При управлении целевой себестоимостью расчетная формула имеет вид «цена – прибыль = себестоимость» [9]. Таким образом по результатам исследования рынка и бенчмаркинга выявляют актуальную и прогнозную цены на планируемую к выпуску продукцию, затем, отняв желаемую прибыль, получают требуемую себестоимость. Приняв за основу значение себестоимости станка методами функционально-стоимостного анализа и обратных вычислений [10] далее можно определить допустимые затраты на любой из узлов исходя из его важности в станке.

Изложенные выше теоретические соображения легли в основу автоматизированной системы поддержки принятия решений при проектировании универсального заточного станка, функционально-структурная модель которого показана на рис. 2. Станок обладает развитой кинематической структурой (рис. 3), реализуемой модульными компонентами (рис. 4). Компонировка станка (рис. 5) иллюстрирует его техническое предложение.

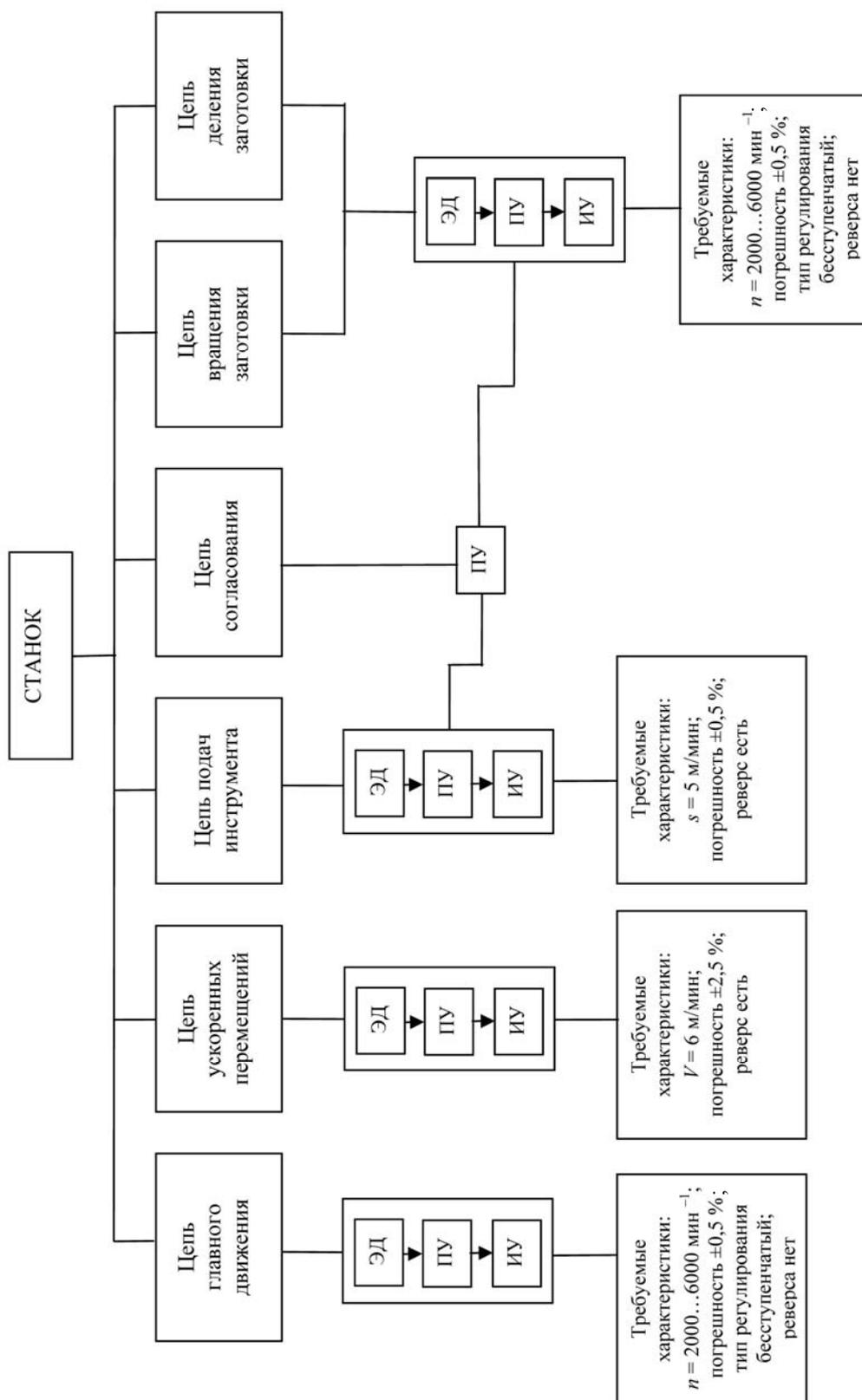


Рис. 3. Структурная модель кинематики станка: ЭД – электродвигатель; ПУ – передаточное устройство; ИУ – исполнительное устройство

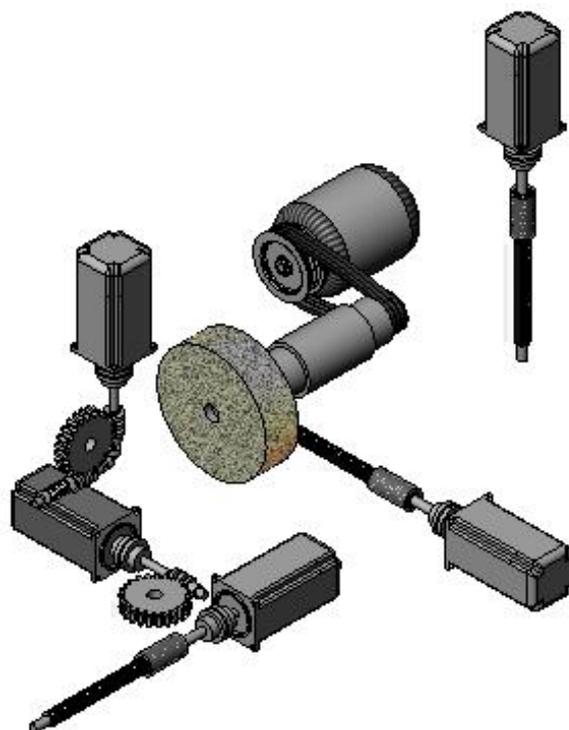


Рис. 4. Синтез кинематической структуры станка из компонентов элементной базы

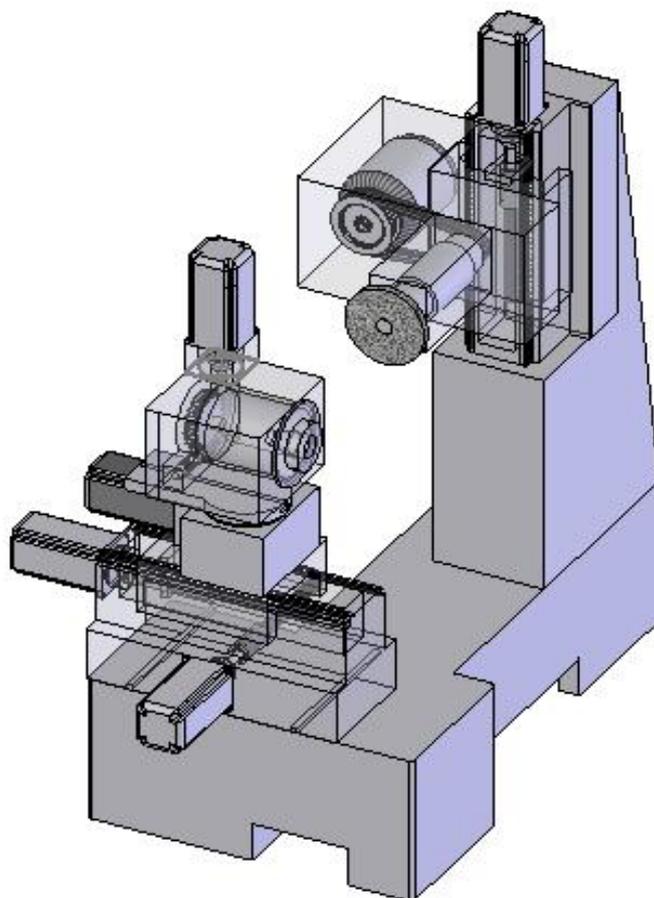


Рис. 5. Компоновка заточного станка

Заключение

Разработанное программно-методическое обеспечение компьютерной поддержки принятия решений на ранних стадиях проектирования металлорежущего оборудования используется в учебном процессе при подготовке инженеров соответствующей специальности [11]. В настоящее время система автоматизации ранних стадий проектирования проходит отладку для ее предложения станкостроительным предприятиям.

Список литературы

1. Васильев, Г.Н. Автоматизация проектирования металлорежущих станков / Г.Н. Васильев. – М. : Машиностроение, 1987. – 280 с.
2. Прохоров, А.Ф. Конструктор и ЭВМ / А.Ф. Прохоров. – М. : Машиностроение, 1987. – 272 с.
3. Вязгин, В.А. Математические методы автоматизированного проектирования / В.А. Вязгин, В.В. Федоров. – М. : Высш. школа, 1989. – 184 с.
4. Ивахненко А.Г. Методология концептуального проектирования металлорежущих систем / А.Г. Ивахненко, А.В. Пуш // СТИН. – 1998. – № 4. – С. 3–6.
5. Ficalora, J.P. Quality Function Deployment & Six Sigma: A QFD Handbook / J.P. Ficalora, L. Cohen. – Prentice Hall, 2009. – 480 p.
6. Svirsky, D. QFD-Method Integration in tensor concept of collective intellect support system for compact product organisation / D. Svirsky // Proc. 8th Intern. Symp. on QFD. – Munich : German QFD Institute, 2002. – P. 135–146.
7. Кофман, А. Модели для исследования скрытых воздействий / А. Кофман, Х. Хил Алуха. – Минск : Выш. школа, 1993. – 160 с.
8. Svirsky, D. Decision making process formalizing for the competitive machine tool conceptual design / D. Svirsky, A. Firsov // Proc. 9th Int. conf. on Pattern Recognition and Information Processing. – Minsk : UIIP NAS Belarus, 2007. – Vol. 2. – P. 188–192.
9. Мерзликина, Г.С. Концепция формирования и управления целевой себестоимостью (target costing) / Г.С. Мерзликина, С.В. Волков // Управленческий учет. – № 8. – 2008. – С. 34–39.
10. Одинцов, Б.Е. Обратные вычисления в формировании экономических решений / Б.Е. Одинцов. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 192 с.
11. Свирский, Д.Н. Определение технических характеристик проектируемого станка. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Конструирование и расчет станков» / Д.Н. Свирский, А.С. Фирсов. – Витебск : ВГТУ, 2005. – 44 с.

Поступила 24.04.12

*Объединенный институт проблем
информатики НАН Беларуси,
Минск, Сурганова, 6
e-mail: svirsky@newman.bas-net.by*

D.N. Svirsky

EARLY STAGES DESIGN FORMALIZATION OF THE METAL-CUTTING EQUIPMENT ON THE BASE OF QFD-MODELING

The problem of computer support of early stages design of machine-tools is considered. A solution methodological base is offered. A case study of tool-grinding machine macro-design illustrates the theoretical developments.