

реализующий условия, обновление таблиц и т. д. При этом не надо вносить изменения в хранимые процедуры и перекомпилировать их.

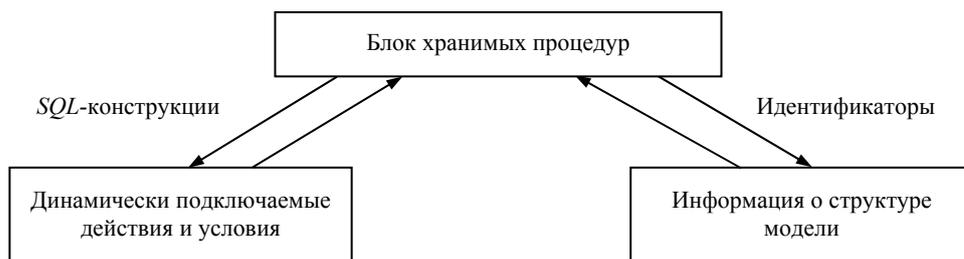


Рис. 3. Схема функционирования системы

Во-вторых, происходит гибкая настройка условий выхода из главной процедуры, условий перехода по связям. Система позволяет формировать сложные условия, в которых происходит сопоставление глобальных параметров, параметров транзактов константам либо сравнение текущих значений двух произвольных атрибутов, соединение условий с помощью OR, AND и т. д.

В качестве перспектив развития отметим возможность создания конструктора новых типов узлов и обработчиков событий.

Список литературы

1. Лоу, М. А. Имитационное моделирование / М. А. Лоу, Д. Кельтон. – Питер, 2004. – 849 с.
2. Томашевский, В. Имитационное моделирование в среде GPSS / В. Томашевский, Е. Жданова. – М., 2003. – 410 с.
3. Ефимов, И. Н. ER-модель среды имитационного моделирования / И. Н. Ефимов, Д. В. Жевнерчук // Интеллектуальные системы в производстве. – 2005. – № 2. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2005. – С. 92–98.

УДК 658.512

А. П. Кузнецов, кандидат технических наук, доцент
Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета;
С. Б. Купавых, главный инженер
ОЗНПО, Октябрьск;
Б. А. Якимович, доктор технических наук, профессор
Ижевский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА СТРУКТУР-СТРАТЕГИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Работа посвящена развитию теории структур-стратегий производственных систем машиностроения. Рассматривается модель формального представления структур-стратегий производственных систем машиностроения, модель выбора эффективных структур-стратегий на основе нескольких критериев при влиянии различных типов параметров вектора внешних условий.

Введение

Техническое развитие предприятия неотрывно связано с процессом внедрения организационно-технических и технологических инноваций в производство. Организация этого процесса в современных условиях практически невозможна без использования средств интеллектоемких технологий.

Для этого необходимы новые концептуальные подходы к формированию и управлению крупными научно-техническими проектами и целевыми комплексными программами внутри предприятия, обеспечивающими максимальную гибкость и адаптивность к изменяющимся условиям на рынке и перспективам развития техники. Разработка программно-ориентированных комплексов с учетом технических особенностей проектов, их экономической обоснованности и эффективности особенно актуальна для такой наукоемкой отрасли, как машиностроение.

Необходимо создание современной инфраструктуры машиностроительного предприятия с целью существенного повышения его технологического уровня на всех этапах, комплексной автоматизации с использованием интеллектуальных производственных систем нового поколения, с соответствующим программно-методическим обеспечением.

Следует создать условия для развития и воспроизводства научно-конструкторского и производственного потенциалов, чтобы проводить на современном уровне прикладные наукоемкие высокотехнологичные исследования и разработки в условиях существующих ограничений бюджетных средств. Эта стратегия должна непременно сочетаться с развитием фундаментальных научных исследований как основы создания инновационных технологий и новейших принципов производства.

Российские и зарубежные ученые Ю. Д. Амиров, Н. П. Бусленко, Л. В. Барташев, В. В. Бойцов, В. В. Волостных, Л. И. Волчкевич, М. Б. Грачева, Г. К. Горанский, М. И. Ипатов, В. Г. Колосов, В. С. Корсаков, Н. М. Капустин, Н. Б. Мироносецкий, С. П. Митрофанов, Р. Б. Михалев, А. Г. Медведев, Ю. П. Морозов, В. И. Нечипоренко, А. А. Первозванский, Р. М. Петухов, В. Т. Полуянов, Г. Х. Попов, Е. Л. Проскураков, К. Ф. Пузыня, Ю. С. Шарин, А. Д. Цвиркун, В. Д. Чарнко, М. Хаммер, Дж. Чампи, Т. Давенпорт и другие добились значительных результатов в исследованиях вопросов методологии создания и управления организационными, продуктовыми и технологическими инновациями, включая совершенствование и техническое развитие производственных систем изготовления новой машиностроительной продукции и оценки эффективности их функционирования.

Цель настоящей работы: повышение эффективности развития производственных систем (ПС) нефтяного машиностроения на основе разработки и исследования формирования структур-стратегий многономенклатурных производств.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Разработка модели структур-стратегий ПС нефтяных машиностроительных производств.
2. Формирование показателя эффективности структур-стратегий ПС многономенклатурных нефтяных машиностроительных производств.
3. Разработка модели выбора эффективных структур-стратегий ПС нефтяных машиностроительных производств.

1. Общие определения и понимание проблемы выбора структур-стратегий производственных систем машиностроения

Методика выбора структур-стратегий ПС машиностроения (СТС ПС М) подразумевает под собой разработку трех основных формальных инструментов – это модель, показатель эффективности, процедура и критерии выбора СТС ПС М.

В настоящей работе разрабатывается методика выбора эффективной СТС ПС М изготовления конкурентоспособной продукции для машиностроительных предприятий на основе показателя конструктивно-технологической сложности, методах теорий множеств, математической логики, принятия решений.

Данная методика должна позволять по разработанному показателю эффективности и на основе критериев выбора принять решение о реализации одного из нескольких вариантов СТС ПС М. Вариант должен соответствовать совокупности изделий, планирующейся для выпуска в рамках производственной программы. Соответствие необходимо оценивать на разрабатываемом интегральном показателе эффективности оцениваемых СТС ПС М и формализованном описании совокупности предполагаемых к изготовлению изделий с учетом вероятности их появления на рынке.

На основе анализа [1–15] дадим определение производственной системы.

Определение 1. Производственная система – это совокупность процессов, происходящих в технологической, информационной и организационных структурах предприятия при изготовлении изделий требуемых свойств.

Остановимся более подробно на этих трех структурных составляющих. В данной работе технологическая, информационная и организационная структуры рассматриваются совместно.

Введем следующее понятие, которое позволит более точно охарактеризовать ПС машиностроения.

Определение 2. Под структурой-стратегией ПС машиностроения понимается определенный набор ее элементов и упорядоченных вариантов технологий: изготовления изделий, передачи информации, организации управления, реализующих этапы жизненного цикла изделий.

Замечание 1. Элементы и технологии взаимно адаптированы с изделиями определенной конструктивно-технологической сложности.

Более подробно с исследованиями в области конструктивно-технологической сложности (КТС) можно ознакомиться в [16–18].

Скажем лишь, что КТС учитывает такие параметры изделия, как точность, материал, заготовка, качество поверхности, количество конструктивно-технологических элементов. И может служить тем технико-экономическим показателем, который позволяет классифицировать изделия по группам относительно их трудоемкости и сложности изготовления.

На рис. 1 качественно показано, как взаимодействуют между собой технологическая, информационная и организационная составляющие СТ СП СМ.

Структуру-стратегию представим в виде кортежа:

$$F = \langle T; I; O \rangle, \quad (1)$$

где T – технологическая структура; I – информационная структура; O – организационная структура.

Тогда F не что иное, как отношение над этими множествами и определяется через декартово произведение множеств T, I, O :

$$F = T \times I \times O. \quad (2)$$

Мы видим, что, если множество F – декартово произведение, выберем какое-либо собственное подмножество $F^C \in F$. Это подмножество определит конкретное отношение на множествах T, I, O или взаимосвязь между этими множествами, т. е. это отношение фиксирует взаимосвязь между элементами T, I, O и будем обозначать следующим образом: $F^C \in T \times I \times O$.

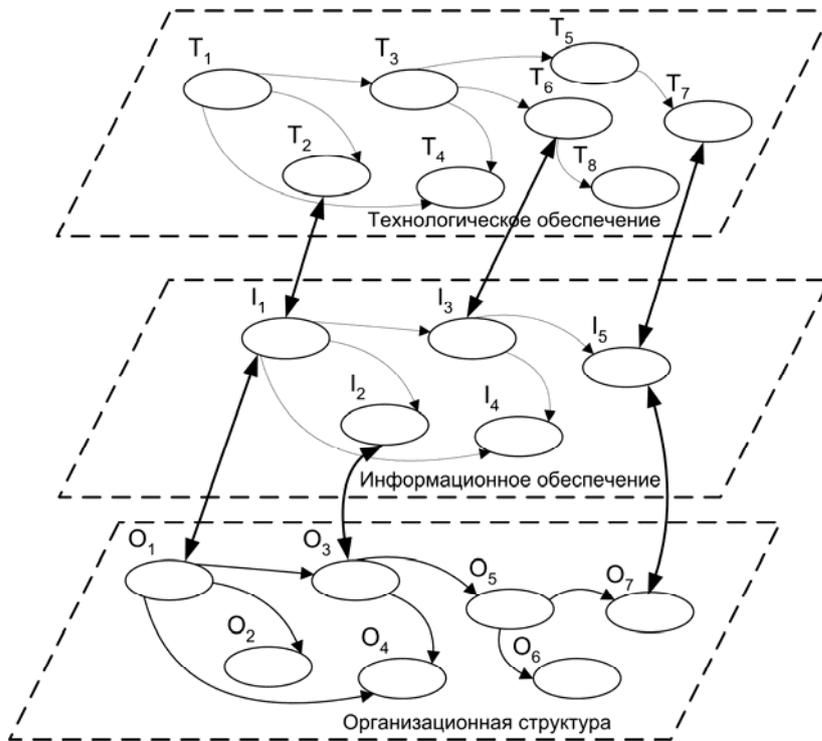


Рис. 1. Структура-стратегия ПС машиностроения

Определение 3. Будем называть множество F^C множеством вариантов изготовления изделия определенной конструктивно-технологической сложности.

Как мы видим, изделия могут быть изготовлены в разных СТС ПС М. Необходимо установить, какая структура-стратегия наиболее эффективна для определенной группы изделий с вполне определенным интервалом конструктивно-технологической сложности.

2. Разработка модели структур-стратегий производственных систем машиностроения

В общем виде модель F^C_i представим следующим образом:

$$F_i^c \left\{ \begin{array}{l} ST_k - k\text{-е состояние системы,} \\ US_j - j\text{-й вектор внешних условий,} \\ \phi_i - i\text{-й показатель эффективности,} \\ PK_i^Q - \text{множество вариантов реализации проектно-конструкторских работ,} \\ PP_i^Q - \text{множество вариантов реализации технологической} \\ \text{подготовки производства,} \\ OP_i^Q - \text{множество вариантов реализации опытного производства,} \\ I_i^Q - \text{множество вариантов реализации информационного} \\ \text{сопровождения продукции,} \\ BL - \text{критерий Байеса-Лапласа,} \\ G - \text{гибкий критерий.} \end{array} \right.$$

Исследования [19, 20] показали, что каждая F_i^c имеет свои особые характеристические кривые $\phi_i = f((US_j)(ST_i))$, где ϕ_i – эффективность системы при i -й СТС ПС М; $US_j = (US_1 \dots US_k)$ – вектор внешних условий; $(ST_i) = (ST_1 \dots ST_k)$ – состояния системы.

Эффективность всего множества F_i^c СТС ПС М (минимальные финансовые и временные затраты, высокое качество изделий, надежность производственных процессов и т. д.) описывается не единственной кривой, а набором из числа имеющих СТС ПС М и интервалов КТС.

Определение 4. Будем называть СТС ПС М универсальной, если ее действия охватывают весь диапазон КТС изготавливаемых изделий или большую его часть и они эффективны.

Определение 5. Структура-стратегия ПС М является специализированной, если максимум ее эффективности приходится на один, определенный, интервал КТС.

Рассматривая СТС ПС М представленным выше образом, необходимо говорить об их развитии в случае изменения КТС производственной программы. Здесь необходимо ввести понятие состояния СТС ПС М, т. к. это требует понимания тенденции ее развития.

2.1. Состояния структур-стратегий производственных систем машиностроения

Примем, что любая F_i^c в начальный момент времени t может иметь в качестве своего состояния следующие три равновероятные состояния ST_i :

$$ST_k(R_k, t_k, C_k, C_k^L) \left\{ \begin{array}{l} ST_1(R_1, t_1, C_1, C_1^L), \\ ST_2(R_1, t_1, C_1, C_2^L), \\ ST_3(R_1, t_1, C_1, C_3^L), \end{array} \right. \quad (4)$$

где $ST_k(R_k, t_k, C_k, C_k^L)$ – k -е состояние СТС ПС М; (R_k, t_k, C_k, C_k^L) – вектор параметров k -го состояния, здесь R_k – риск при условии изменения k -го состояния СТС ПС М; t_k – время изготовления производственной программы определенного диапазона КТС в k -м состоянии СТС ПС М; C_k – себестоимость изготовления производственной программы определенного диапазона КТС в k -м состоянии

СТС ПС М; C_k^L – конструктивно-технологическая сложность изготавливаемых деталей производственной программы в k -м состоянии СТС ПС М.

$ST_1 (R_1, t_1, C_1, C_1^L)$ – СТС ПС М не изменяется, $(R_1, t_1, C_1, C_1^L) \Rightarrow \text{const}$, причем $R_1 = 0, t_1 \neq 0, C_1 \neq 0, C_1^L \neq 0$;

$ST_2 (R_2, t_2, C_2, C_2^L)$ – СТС ПС М частично изменяется (модернизируется), $(R_2, t_2, C_2, C_2^L) \Rightarrow \text{var}$, причем $R_2 \neq 0, t_2 \neq 0, C_2 \neq 0, C_2^L \neq 0$;

$ST_3 (R_3, t_3, C_3, C_3^L)$ – СТС ПС М частично изменяется (модернизируется), $(R_1, t_1, C_1, C_1^L) \Rightarrow \text{var}$, причем $R_1 \neq 0, t_1 \neq 0, C_1 \neq 0, C_1^L \neq 0$.

В случае $ST_1 \neq ST_2$ будем считать, что $(R_2, t_2, C_2, C_2^L) \neq (R_3, t_3, C_3, C_3^L)$ за счет прогностического изменения производственной номенклатуры изделий.

В рамках одной F_i^C может сочетаться несколько состояний, но $C_1^L \neq C_2^L \neq C_3^L$.

Целью F_i^C в любом из состояний является

$$\phi_i \xrightarrow{\varphi} \max ; \quad (5)$$

$$\varphi \left\{ \begin{array}{l} R_{ki} \leq [R_{ki}], \\ t_{ki} \leq [t_{ki}], \\ C_{ki} \leq [C_{ki}], \\ C_{ki}^L \leq [C_{ki}^L] \leq C_{ki}^L, \end{array} \right. \quad (6)$$

где ϕ_i – показатель эффективности F_i^C СТС ПС М; $[R_{ki}]$ – допустимое значение риска F_i^C СТС ПС М, находящейся в k -м состоянии; $[t_{ki}]$ – допустимое значение времени изготовления производственной программы, определенного диапазона КТС, в F_i^C СТС ПС М, находящейся в k -м состоянии; $[C_{ki}]$ – допустимое значение себестоимости производственной программы, определенного диапазона КТС, в F_i^C СТС ПС М, находящейся в k -м состоянии; $[C_{ki}^L]$ – допустимое значение КТС производственной программы в F_i^C СТС ПС М, находящейся в k -м состоянии.

Такое представление состояний позволят обоснованно подойти к реализации стратегии развития производства на предприятии, перед которым возникла проблема технического развития или смена КТС номенклатуры производственной программы. Само множество может быть дополнено в зависимости от понимания процесса развития предприятия и от вектора внешних условий.

2.2. Вектор внешних условий

Под вектором внешних условий US_j будем понимать следующее:

$$US_j = (C_j^L, N_j, P_j), \quad (7)$$

где C_j^L – конструктивно-технологическая сложность j -й группы изделий; N_j – количество изделий j -й группы; P_j – вероятность изготовления j -й группы изделий в F_i^C СТС ПС М.

В качестве основной характеристики осваиваемого изделия принимается показатель его КТС.

Как показали исследования [18], целесообразно ввести параметр, характеризующий вероятность появления изделия определенной КТС и величины партии.

Возможно несколько способов задания вектора внешних условий, перечислим их в порядке возрастания степени неопределенности.

1. Влияние внешних условий описывается заданием детерминированных параметров, где каждый параметр задан единственным значением из заданного множества $C_j^L \in C^L, N_j \in N, P_j \in P$.

2. Составляющие US_j – стохастические параметры, принимающие значения в какой-либо определенной области согласно некоторому распределению вероятностей. Эти вероятностные распределения оцениваются посредством частот, измеряемых или наблюдаемых при проведении большого достаточного числа опытов с соблюдением одинаковых условий.

3. Однако возможно, что по этим данным отсутствуют какие-либо измерения или наблюдения частот, тогда необходимы гипотетические способы задания данных параметров, которые также могут быть заданы интервальной оценкой:

$$US_j \begin{cases} \check{C}_j^L \leq \bar{C}_j \leq \check{C}_j^L, \\ \check{N}_j \leq \bar{N}_j \leq \check{N}_j, \\ \check{P}_j \leq \bar{P}_j \leq \check{P}_j. \end{cases} \quad (2.8)$$

Замечание 2. Необходимо учесть, что в матрице решений значения вектора внешних условий могут по параметрам задаваться различными способами. В связи с этим необходимо предусмотреть различные виды критериев выбора.

2.3. Параметры, элементы и технологии структур-стратегий производственных систем машиностроения, определяющие их многовариативность

Множество состояний $ST_k(R_k, t_k, C_k, C_k^L)$ СТС ПС М и вектор их параметров порождает многовариантность процесса принятия решения о развитии F^C . Однако проведенный анализ ПС машиностроения позволил сделать выводы, что инвариантность процессов ПС машиностроения определяется также следующими их элементами: множества вариантов реализации этапов проектно-конструкторских работ $PK = (pk_1 \dots pk_r)$, технологической подготовки производства $PP = (pp_1 \dots pp_r)$ и опытного производства $OP = (op_1 \dots op_r)$.

Появление наиболее существенных разновидностей СТС ПС М зависит главным образом от множества аппаратного, программного, технологического и технического оснащения, а также от способа организации взаимодействия и передачи информации между ними. Такие варианты возникают как следствие применения различных по своим возможностям технологий проектирования и изготовления.

Обозначим множество элементов и технологий, используемых в множествах PK, PP и OP , через $Q = (q_1 \dots q_a)$.

Тогда общая структурная модель процессов СТС ПС М может быть выражена в виде $IZG_i^Q - \sum_{i=1}^{\infty} ((PK_i^Q PP_i^Q OP_i^Q)(I_i^Q)) - IZ_{CL}$, где $\sum_{i=1}^{\infty} ((PK_i^Q PP_i^Q OP_i^Q)(I_i^Q))$ – это

теоретически бесконечное множество вариантов реализации этапов жизненного цикла и передачи информации, их комбинаций, с помощью которых множество изготовителей IZG_i^Q воздействует на изделия IZ_{CL} определенного интервала КТС (где Q – множество качественных характеристик элементов и технологий, реализующих данные этапы).

Потоки информации реализуются вполне конкретными техническими средствами.

2.4. Общая модель формирования структур-стратегий в машиностроительном производстве на основе методов математической логики и теории множеств

Для решения задачи выбора элементов СТС ПС М и их синтеза приемлемым с математической точки зрения является теоретико-множественный подход и методы математической логики. Далее используются адаптированные к данной методике термины и выкладки из источников [21–25].

Структуру-стратегию ПС машиностроения определяют три категории: элемент, отношение, свойство. Однозначное и полное задание этих категорий полностью определяет систему, ее структуру, цель, эффективность и т. д. Целью проектирования является конкретизация и определение рациональных значений указанных категорий, т. е. устранение неопределенности в описании СТС ПС М.

В общем виде подход к проектированию СТС ПС М машиностроения выражается следующим образом.

Универсумы элементов М и отношений между ними К определяют универсум свойств Р, реализуемых на этих элементах и отношениях:

$$P = M \times K, \quad (9)$$

а декартово произведение

$$F = M \times K \times P \quad (10)$$

определяет универсум СТС F. Как видно из выражения (9), конкретная СТС ПС М однозначно определена только в том случае, если заданы подмножества элементов $M^C = \{m_1, \dots, m_i\}$, $M^C \subset M$; отношений между ними $K^C = \{k_1, \dots, k_j\}$, $K^C \subset K$, и свойств $P = \{p_1, \dots, p_R\}$, $P^C \subset P$.

Задание допустимых подмножеств $M^C \subset M$ и $K^C \subset K$ недостаточно для синтеза СТС ПС М, т. к. на этих подмножествах можно реализовать, как видно из (9) и (10), множества различных свойств СТС ПС М. Задание же конечного подмножества свойств $P^C = \{p_1, \dots, p_R\}$, которыми должна обладать СТС ПС М, даже при неограниченных множествах M^C и K^C позволяет ее синтезировать. Неопределенность в этом случае заключается в том, что подмножество желаемых свойств P^C можно реализовать различными сочетаниями элементов и отношений, т. е. задание конечного P^C определяет не СТС ПС М, а подмножество СТС $F^C = \{s_1, s_2, \dots, s_l\}$, обладающих заданными свойствами, но различными структурами. Очевидно, что СТС ПС М со свойствами P^C можно синтезировать только в том случае, если подмножество P^C не пустое, т. е. полное множество $P^C = M^C \times K^C$ включает в себя

$$P^C \subset (M \times K). \quad (11)$$

Это означает, что существует такое подмножество элементов M^C и отношений между ними K^C , на которых возможна реализация СТС ПС М с желаемыми свойствами.

В связи с вышесказанным можно определить общую задачу работы следующим образом: формализовать выбор оптимального варианта структуры СТС ПС М из подмножества S^C , обладающих необходимыми свойствами, т. е. выбор таких элементов подмножества M^C и K^C , на которых оптимальным образом синтезируется СТС ПС М с заданными свойствами.

2.5. Аксиоматика принятия решений при подборе элемента или технологии варианта реализации структур-стратегий производственных систем машиностроения

Разработаем аксиоматику принятия решения о включении в множество M^C элементов в зависимости от их свойств. Для большей наглядности все разработки будут проводиться на основе примера включения технологического оборудования в данное множество.

В общем случае логика принятия решения описывается следующим высказыванием (посылкой):

$$A(e', s) \rightarrow B(s), \quad (12)$$

где $A(e', s)$ – высказывание для обработки элемента e' используется станок s ; $B(s)$ – высказывание станок s входит во множество станков, используемых для обработки детали.

При этом из всего множества рассматриваются только те элементы e , которые входят в деталь d . Вследствие чего высказывание (12) примет следующий вид.

Если существует деталь из множества d , которая включает в себя хотя бы один элемент из множества e , и каждый этот элемент обрабатывается хотя бы на одном станке из множества s , то этот станок из множества s входит во множество используемых станков:

$$\exists d \exists e C(d, e) \wedge \forall e \exists s A(e, s) \rightarrow B(s), \quad (13)$$

где $C(d, e)$ – высказывание «элемент e входит в деталь d ».

Так как посылка (12) представлена в конъюнктивной форме, высказывание $B(s)$ будет истинным при условии истинности $A(e, s)$ и $C(d, s)$.

Истинность высказывания $C(d, e)$ определяется экспертами при декомпозиции детали на КТЭ. Результатом декомпозиции является выделение из множества e подмножества e' , которое включает все КТЭ, входящие во множество деталей d .

Истинность высказывания определяется $A(e', s)$ следующим образом: определим состав множества M как совокупность деталей (множество D) и оборудования, (множество S'), которое может быть использовано для их обработки. Результат процедуры принятия решений – множество S' – содержит перечень оборудования необходимого для выполнения всех операций по обработке деталей множества D .

Каждая деталь множества D описывается кортежем, описывающим основные свойства детали и множество конструктивно-технологических элементов (КТЭ) [17, 18]. Каждый конструктивно-технологический элемент представляет одну или несколько поверхностей детали, для обработки которых применяется одна технологическая операция:

$$D = \{d_1, \dots, d_i, \dots, d_n\}, \quad (14)$$

$$d_i = \langle Type, Length, Width, Height, Diameter, Material, КТЭ^i \rangle,$$

$$КТЭ^i = \{ктэ_1^i, \dots, ктэ_2^i, \dots, ктэ_j^i, \dots, ктэ_m^i\},$$

$$ктэ_j^i = \langle Code, OpType, CPU, Size, JT, Ra \rangle,$$

где $Type$ – тип детали; $Length, Width, Height, Diameter$ – габаритные размеры детали, мм; $Material$ – материал детали; $Code$ – код элемента; $OpType$ – типовая операция, используемая для обработки элемента; CPU – необходимое наличие системы ЧПУ; $Size$ – вектор размеров элемента, мм; T – точность приоритетного размера элемента; Ra – шероховатость элемента.

Необходимо отметить, что признаки $Code, OpType$ и CPU представляют собой уникальный классификационный код КТЭ, учитывающий как основные геометрические закономерности его формообразования, так и типовой технологический метод его обработки.

Каждый элемент множества S' описывается набором параметров

$$s_i = \{Type, CPU, MaxDetailSize, Weight, PrecisionClass, AllowedOperations\},$$

где $Type$ – конечное множество типов оборудования; CPU – признак наличия ЧПУ; $MaxDetailSize$ – максимальный размер заготовки; $Weight$ – вес станка; $PrecisionClass$ – класс точности оборудования; $AllowedOperations$ – множество операций, выполняемых на оборудовании.

Процедура выбора оптимального состава множества S' состоит из двух этапов.

1. Включение во множество S' всех возможных элементов множества S , удовлетворяющих условиям обработки типовых КТЭ.

2. Формализация и решение задачи выбора оптимального состава множества S' , подразумевающей последовательное исключение элементов из множества S' в соответствии с заданными граничными условиями.

Каждый элемент множества S' представляет кортеж параметров $s'_k = \langle \text{КТЭ}^i_j, \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n \mid s_i \in S\} \rangle$. Сформулируем аксиому принятия решения о включении элемента s_i во множество S' в виде следующего обобщенного утверждения, формируемого для каждого d_i -КТЭ^{*i*} множества D :

$$f_1 \wedge f_2 \wedge f_3 \rightarrow S' \cup s_i, \quad (15)$$

где f_1 – функция, учитывающая тип детали и тип станка; f_2 – функция, учитывающая тип операции, необходимой для обработки КТЭ, возможность ее выполнения на конкретном станке и необходимость использования при этом станка, оборудованного системой ЧПУ; f_3 – функция, учитывающая размер обрабатываемой детали и максимальный размер детали, которая может быть обработана на конкретном станке.

Функции f_1, f_2, f_3 являются логическими. Следовательно, учитывая, что утверждение: для объединения результатов функций используются операции конъюнкции – будет верно лишь в том случае, когда результатом каждой из функций будет «истина».

Рассмотрим состав функций при формировании аксиомы для КТЭ «Плоская фасонная поверхность» (в таблицах «1» соответствует значению «истина», «0» – значению «ложь»).

$$f_1 = \begin{cases} 1, & \text{если } d_i.Type = корпус \wedge (s_i.Type = фрезерный \vee s_i.Type = ОЦ), \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

$d_i.Type$	$s_i.Type$	Формула	Результат
Корпус	Фрезерный	$1 \wedge 1$	1
Корпус	ОЦ (обрабатывающий центр)	$1 \wedge 1$	1
Остальные случаи	Остальные случаи	$0 \wedge 0$	0

$$f_2 = \begin{cases} 1, & \text{если } d_{i,ктэ^j}.OpType \in s_i.AllowedOperations \wedge (\overline{d_{i,ктэ^j}.CPU} \vee s_i.CPU), \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

При условии, что фрезерная операция может быть выполнена на станке s_i , таблица истинности функции формируется следующим образом:

$d_{i,ктэ^j}.CPU$	$\overline{d_{i,ктэ^j}.CPU}$	$s_i.CPU$	Формула	Результат
1	0	1	$1 \vee 1$	1
0	1	1	$1 \vee 1$	1
0	1	0	$1 \vee 0$	1
1	0	0	$0 \vee 0$	0

$$f_3 = \begin{cases} 1, & \text{если } d_i.Length \leq s_i.MaxDetailSize.Length \wedge d_i.Width \leq s_i.MaxDetailSize.Width, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Таким образом, зная параметры КТЭ и элементов множества S , мы можем моделировать ситуацию и при задании необходимых ограничений (величина партии, периодичность запуска в производство, степени удовлетворения определенному показателю или группе показателей, вероятность появления и др.) выбрать соответствующее технологическое обеспечение.

Данная модель является универсальной с точки зрения использования ее в случаях, когда возможно сопоставить какие-либо элементы разных множеств. Например, после уточнения некоторых свойств можно использовать данную модель при выборе информационного сопровождения изделия или при внедрении на предприятии системы качества. Также модель формирования СТС ПС М является необходимым математическим обеспечением, позволившим разработать на его основе автоматизированную систему синтеза структур-стратегий производственных систем машиностроения.

3. Модель выбора структур-стратегий производственных систем машиностроения

3.1. Показатель эффективности структур-стратегий производственных систем машиностроения

На основе проведенных исследований [19, 20] в качестве показателя эффективности варианта i -й ПС предлагается использовать показатель ϕ :

$$\phi_i = \alpha_1 k_{1i} + \alpha_2 k_{2i} + \alpha_3 k_{3i}, \quad (16)$$

где k_{1i} – показатель, учитывающий потери при i -й ПС; k_{2i} – показатель интегративности i -й ПС; k_{3i} – показатель гибкости i -й ПС; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коэффициенты важности показателей.

Данные показатели рассчитываются по следующим зависимостям.

Показатель, учитывающий потери:

$$k_{1i} = \frac{1}{1 + f_i}, \quad (17)$$

где f_i – показатель потерь i -й ПС, рассчитывается как

$$f_i = \alpha_{ij}^T T_{ij}^H + \alpha_{ij}^\Phi C_{ij}^H, \quad (18)$$

где T_{ij}^H – нормируемый показатель длительности жизненного цикла на этапе освоения производства изделия j -й группы КТС при i -й структуре-стратегии;

C_{ij}^H – нормируемый показатель финансовых затрат на производство изделия j -й группы КТС при i -й структуре-стратегии;

α_{ij}^T – коэффициент важности нормируемого показателя длительности жизненного цикла на этапе освоения производства изделия j -й группы КТС при i -й структуре-стратегии;

α_{ij}^Φ – коэффициент важности нормируемого показателя финансовых затрат на производство изделия j -й группы КТС при i -й структуре-стратегии, причем $\alpha_{ij}^T + \alpha_{ij}^\Phi = 1$.

$$T_{ij}^H = \frac{T_{ij}}{T_{0j}}; \quad (19)$$

$$C_{ij}^H = \frac{C_{ij}}{C_{0j}}. \quad (20)$$

Здесь C_{0j} , T_{0j} – значения временных и финансовых затрат на производство j -го изделия при базовой структуре-стратегии ПС, ч; C_{ij} и T_{ij} – прогнозные укрупненные значения временных и финансовых затрат на производство j -го изделия при i -й структуре-стратегии ПС, ч.

Показатель интегративности:

$$K_{2i} = 0,21 + 0,36K_{CAD} + 0,43K_{CAM}, \quad (21)$$

где K_{2i} – численное значение коэффициента интегративности производственной системы; K_{CAD} , K_{CAM} – относительные показатели использования соответственно CAD/CAM-систем при изготовлении изделий. Их значения находятся в пределах $0 \leq K \leq 1$.

Показатель гибкости:

$$k_r = \frac{1}{1 + \frac{t_{пер}}{t_{оп}} n}, \quad (22)$$

где $t_{оп}$ – время изготовления детали; $t_{пер}$ – время на переналадку ПС для изготовления партии деталей; n – число деталей в партии.

Для определения численных значений показателя эффективности ϕ_i необходимо определить две его основные составляющие: укрупненные значения затрат времени и финансов на выпуск изделия.

Значение временных затрат на обеспечение жизненного цикла j -го изделия при i -й структуре-стратегии, а также значения весовых коэффициентов определяются экспертными методами (метод непосредственной оценки) [26].

3.2. Процедура и критерии выбора структур-стратегий производственных систем машиностроения

Процедура выбора характеризуется следующим: показатель эффективности ϕ_i СТС ПС М зависит от вектора внешних условий ST , а также от вариантов СТС ПС М. Параметры внешних условий могут быть заданы согласно (7). В связи с этим и исходя из того, что в векторе внешних условий учитывается вероятность появления того или другого параметра, в качестве критерия выбора приняты два. Это критерий Байеса–Лапласа (BL) и гибкий критерий (G). Данные критерии могут быть использованы как вместе, так и отдельно.

В условиях, когда параметры вектора внешних условий заданы детерминированно, с точки зрения времени проведения процедуры выбора более целесообразно применять критерий BL .

В том случае, если находится хотя бы один стохастический параметр, необходимо использовать критерий G .

Выбор критерия характеризуется следующим:

1. Вероятность появления состояния S_j известна и не зависит от времени.
2. Решение реализуется (теоретически) бесконечно много раз.

Оценочная функция [26]:

$$Z_{BL} = \max_i \phi_{ir}, \quad (23)$$

$$\phi_{ir} = \sum_{j=1}^n \phi_{ij} P_j, \quad (24)$$

$$F_0 = \{F_{i0} \mid F_{i0} \in F \wedge \phi_{i0} = \max_i \sum_{j=1}^n \phi_{ij} P_j \wedge \sum_{j=1}^n P_j = 1\}. \quad (25)$$

где Z_{BL} – оценочная функция BL -критерия; ϕ_{ij} – показатель эффективности i -й ПС в зависимости от j -го внешнего состояния; F_i – структура-стратегия i -й производственной системы.

Соответствующее правило выбора интерпретируется следующим образом: матрица решений $\|\phi_{ij}\|$ дополняется еще одним столбцом, содержащим математическое ожидание значений каждой из строк. Выбираются те варианты F_{i0} , в строках которых стоит наибольшее значение ϕ_{ir} этого столбца.

Рассуждения по второму случаю составляют основу для такого критерия выбора решения, который гибко сочетается с качественными характеристиками исходной информации и числом предстоящих реализаций решения, что характеризуется соответственно эмпирическим и прогностическим доверительными факторами. Кроме того, проводится учет возможного риска, ограниченного его допустимой величиной. С помощью пяти требующих обязательного выполнения условий G_1, G_2, G_3, G_4, G_5 , формулировки которых будут даны ниже, опишем множество F_0 оптимальных согласно данному гибкому критерию решений $F_i \in F_0$ в виде

$$F_0 = \{F_i \mid G_1 \wedge (G_2 \vee G_3) \wedge G_4 \wedge G_5\}. \quad (26)$$

При этом условия формально характеризуются следующими соотношениями:

$$G_1: F_i \in F_0; \quad (27)$$

$$G_2: V(\alpha)_i = V_{\text{доп}}, \quad (28)$$

где $V(\alpha)_i$ – доверительный фактор; $V_{\text{доп}}$ – максимально допустимый доверительный фактор;

$$G_3: Z_{mm} - \min_j \phi_{ij} \leq \varepsilon_{\text{доп}i}; \quad (29)$$

$$G_4: Z_r = \mu^* = \max_i \left\{ V(\alpha)_i \sum_{j=1}^n \phi_{ij} h_j + (1 - (\alpha)_i) \times (\min_j \phi_{ij} + \varepsilon_i) \right\}, \quad (30)$$

где Z_r – гибкая оценочная функция;

$$G_5: \mu^{**} = \max_{i: E_j \in E^*(\varepsilon)} \sum_i \phi_{ij} h_j. \quad (31)$$

Условие G_1 говорит о том, что при выборе оптимального варианта решения рассмотрению подлежат все возможные варианты из множества F . Условия G_2 и G_3 определяют границы величины допустимого риска при использовании гибкого критерия G_4 . При этом лицо, принимающее решение, может ограничить величину риска по собственному усмотрению путем выбора условия G_2 или G_3 . В то время как условие G_2 с ростом доверительного фактора $V(\alpha)_i$ из сочетания минимаксного критерия и критерия Байеса–Лапласа способствует выбору решения, все более близкого к решению из названных критериев, условие G_3 непосредственно ограничивает отклонение возможного результата решения от результата, принятого по минимаксному критерию. При использовании гибкого критерия G_4 величины ε_i ограничиваются в соответствии с условием $\varepsilon_i = \min(\varepsilon_{\text{доп}i}, \varepsilon_{\text{доп}i}) =: \varepsilon$ путем выбора допустимой величины риска $\varepsilon_{\text{доп}}$ и, кроме того, дополнительным условием $\varepsilon_i \leq \varepsilon_{\text{доп}}$, поэтому согласно $\varepsilon_{i_{\text{возм}}} = Z_{mm} - \min_j \phi_{ij}$ всегда выполняется равенство.

Оценочная функция Z_r гибкого критерия G_4 существенно отличается от таковой HL -критерия (критерий Ходжа–Леманна), поскольку она содержит величину ε_i , определяющую возможный риск при принятии решения. Ряд логических условий в выражении (26) определяет процедуру принятия решения, заключающуюся в первоначальной фиксации допустимых границ риска, а затем в выполнении, в рамках заданных возможностей, поиска оптимального варианта решения. Такой подход наиболее приемлем и при разработке алгоритмов для процедуры принятия решения с помощью ЭВМ. В прикладных задачах, однако, нередко вначале путем варьирования величины риска ε_i выполняется оценка возможного эффекта от решений, соответствующих оценочным функциям G_4 и G_5 для заданных значений ε_i , а затем в зависимости от полученных результатов устанавливаются окончательные границы риска согласно G_2 и G_3 . В этом случае гибкий критерий преобразуется в ряд логических условий $G_1 \rightarrow G_4 \rightarrow G_5 \rightarrow (G_2 \vee G_3)$. При этом необходимо исследовать, насколько учет допустимого риска снижает достижимый результат.

Выводы

Основным научным результатом теоретических и экспериментальных исследований, приведенных в п. 2, является разработанная автором математическая модель выбора эффективной структуры-стратегии ПС, которая позволяет произвести

выбор ПС в зависимости от параметров совокупности изделий, планируемых к выпуску, и показателя ϕ . Такой подход к выбору структуры ПС позволяет на основе реальных требований рынка определить на стадии принятия решения о постановке изделий в производство основные элементы ПС и их параметры.

Уровень разработки позволяет обоснованно подойти к решению задач, представленных в начале работы, и дает формальный инструмент руководству предприятия для разработки программ технического развития производственных систем.

В процессе теоретических и экспериментальных исследований получены следующие результаты:

1. Разработана математическая модель выбора эффективной структуры-стратегии производственной системы.

2. Разработан показатель эффективности структур-стратегий производственной системы.

3. Формализованы подходы к определению прогнозных финансовых и временных затрат на обеспечение жизненного цикла изделий.

4. Определена система критериев выбора эффективной структуры-стратегии производственной системы.

5. Установлены показатели изделий, прямо влияющие на процесс принятия решения по выбору структуры и состава производственной системы.

Список литературы

1. *Бойцов, В. В.* Механизация и автоматизация в мелкосерийном и серийном производствах. – М. : Машиностроение, 1971. – 328 с.
2. *Волосатых, В. В.* Экономическая сущность, критерий и показатель эффективности производства. – Л. : ЦНИИ «Румб», 1981. – 123 с.
3. *Дальский, А. М.* Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. – М. : Машиностроение, 1975. – 222 с.
4. *Ицкин, Р. Х.* Организация технологической подготовки серийного производства. – М. : Машиностроение, 1969. – 212 с.
5. *Капустин, Н. М.* Построение информационной модели детали при автоматизированном проектировании технологических процессов / Н. М. Капустин, В. А. Цехмейструп, А. В. Семенов // Машиностроение. – 1986. – № 9. – С.14–19.
6. *Кохан, Д. А.* Проектирование технологических процессов и переработка информации / Д. А. Кохан, Г. Ю. Якобе. – М. : Машиностроение, 1981. – 111 с.
7. *Макаров, И. М.* Теория выбора и принятия решений : учеб. пособие / И. М. Макаров, Т. М. Виноградская, А. А. Рубчинский, В. Б. Соколов. – М. : Наука, 1982. – 328 с.
8. *Митрофанов, С. П.* Научные основы технологической подготовки производства. – Л. : ЛДНТП, 1963. – 233 с.
9. *Морозов, Ю. П.* Автоматизация технологической подготовки производства // Стандарты и качество. – 1991. – № 4.
10. *Норенков, И. П.* Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем. – М. : Высш. шк., 1980. – 309 с.
11. Организация и планирование машиностроительного производства / под ред. М. И. Ипатова [и др.]. – М. : Высш. шк., 1988. – 245 с.
12. *Полуянов, В. Т.* Структурные преобразования в технологии механосборочного производства. – М. : Машиностроение, 1973. – 280 с.
13. *Проскуряков, Е. В.* Организация создания и освоения новой техники. – М. : Машиностроение, 1974. – 189 с.
14. *Цветков, В. Д.* Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. – Минск : Наука и техника, 1979. – 264 с.
15. *Davenport, T. H.* Business Innovation, Reengineering the Corporation : A Manifesto for Business Revolution. – N-Y : HarperCollins, 1993.

16. Якимович, Б. А. Анализ эффективности и совершенствование переналаживаемых производственных систем машиностроения : дис. ... д-ра техн. наук. – Ижевск, 1994. – 333 с.
17. Якимович, Б. А. Анализ методов получения прогнозной трудоемкости при обработке корпусных деталей в ГПС машиностроения / Б. А. Якимович, А. И. Коршунов // Сборник научных трудов кафедры МсиС / под ред. Ф. Ю. Свитковского, А. И. Тананина. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 1996. – С. 73–77.
18. Якимович, Б. А. Экспертные методы оценки структурно-параметрической сложности деталей / Б. А. Якимович, А. И. Коршунов // Информатика–Машиностроение. – 1997. – № 3. – С. 28–32.
19. Кузнецов, А. П. Оптимальный выбор элементов структур-стратегий производственных систем машиностроения // Экономика и производство. – 2004. – № 1. – М : Межотраслевой институт проблем технологии коммуникаций и управления. – С. 35–38.
20. Кузнецов, А. П. Исследование и оптимальный выбор структур-стратегий производственных систем машиностроения в условиях неопределенности (Постановка задачи) А.П. Кузнецов, Б.А. Якимович / AKADEMICKÁ DUBNICA 2002 : Zborník prednášok z 8. medzinárodnej vedeckej konferencie s účasťou. Diel I. – Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2002. – S. 207–212.
21. Емельянов, С. В. Модели и методы векторной оптимизации / С. В. Емельянов [и др.] // Техническая кибернетика. Итоги науки и техники. – М. : Изд. ВИНТИ, 1972. – Т. 5.
22. Кузьмин, И. В. Оценка эффективности и оптимизация АСКУ. – М. : Сов. радио, 1971.
23. Основы моделирования сложных систем / под. общ. ред. И. В. Кузьмина. – Киев : Вища шк. Головное изд-во, 1981. – 360 с.
24. Подиновский, В. В. Оптимизация по последовательно применяемым критериям / В. В. Подиновский, В. М. Гаврилов. – М. : Сов. радио, 1975.
25. Сигорский, В. П. Математический аппарат инженера. – Киев : Техника, 1975.
26. Мушик, Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер ; пер. с нем. – М. : Мир, 1990. – 208 с.

УДК 681.327.1

М. П. Осипов, аспирант

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ В ЗАДАЧЕ СТЕРЕОРЕКОНСТРУКЦИИ

В статье описаны основные этапы работы программного комплекса, обеспечивающего реконструкцию поверхности объекта по набору его изображений, полученных с разных точек зрения. Описаны два подхода к реконструкции в зависимости от степени сложности поверхности.

В процессе современного промышленного проектирования и производства большую роль играет наличие геометрических моделей обрабатываемых поверхностей. Геометрические модели широко применяются в машиностроении, медицине, археологии, в области мультимедиа и т. д. На сегодняшний день существует три основных подхода к построению моделей [1]:

1. Вручную с помощью распространенных программ моделирования.
2. Автоматически по шаблонам используя известные физические свойства реальных объектов.