Автоматизация и Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

10

2014

Главный редактор

В.Л. Белоусов — д.э.н., проф., МГУПИ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Букаченко А.Л. — д.х.н., проф., ИПХФ РАН
Гусев А.А. — д.т.н., проф., МГТУ "СТАНКИН"
Дегтярёв Ю.И. — д.т.н., проф., МАИ
Елисеев В.А. — д.т.н., Ин-т инновац.-технологич. менеджмента
Иванов А.П. — д.э.н., проф., МГУПС (МИИТ)
Мальцева С.В. — д.т.н., проф., НИУ ВШЭ
Нефёдов Е.И. — д.ф.-м.н., ИРЭ РАН
Шебалин И.Ю. — к.ф.-м.н., ООО "Изд-во Машиностроение" (заместитель главного редактора)
Янович Е.Л. — д.э.н., проф., Кошалинский политехнич. ин-т (Польша)

Редактор-организатор — **Осипова В.Г.**
Редактор — **Селихова Е.А.**
Компьютерная вёрстка — **Конова Е.В.**

УЧРЕДИТЕЛИ:

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ НАУЧНО-КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ

Журнал зарегистрирован 9 апреля 1999 г. за № 018684 в Комитете Российской Федерации по печати

Журнал входит в перечень утверждённых ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей учёных степеней

ООО «Издательство Машиностроение»

Адрес редакции:
107076, Москва,
Стромынский пер., 4.
Тел.: (495) 661 3880.
E-mail: ast@mashin.ru; http://www.mashin.ru

Адрес издательства:
107076, Москва,
Стромынский пер., 4.

© Издательство "Машиностроение",
"Автоматизация и современные технологии", 2014 г.

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Крылов Е.Г., Сердобинцев Ю.П. Рациональный выбор режущего инструмента в автоматизированном производстве . . . 3

Иванов В.А., Халтурин О.А., Абляз Т.Р. Метод контроля конических резьб для элементов бурильных колонн на координатно-измерительной машине 6

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Либерман Я.Л., Волкова Н.А., Куликова Т.Ю. Система автоматизированного проектирования роботизированных модулей механообработки. 11

Норсеев С.А., Багаев Д.В. Математические зависимости группового управления роботами в условиях неизвестной области . . 18

Евсеенко И.А. Модель представления данных для компоновки планетарных механизмов. 22

Писаренко А.В., Кормильцев К.Д. Современные подходы к разработке, моделированию и тестированию управляющих устройств систем управления 25

Петриченко Г.С. Метод диагностирования основных узлов компьютерной сети на основе построения логической функции 27

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Мухин В.И., Иноземцева Е.А., Воронов Д.Г. Математическая модель принятия решений по идентификации инновационной деятельности на основе когнитивного подхода 32

Сербулов Ю.С., Глухов Д.А., Сысоев Д.В. Модель оценки состояния и прогнозирования развития ресурсного взаимодействия конкурирующих систем в рыночных отношениях 38

Белоусов В.Л., Голубятникова О.И. О механизме регулирования введения в хозяйственный оборот результатов научно-технической деятельности высшей школы. 45

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Krylov E.G., Serdobintsev Yu.P. Rational choice of the cutting tool in the automated production 3

Ivanov V.A., Khalturin O.A., Ablyaz T.R. Control method of conical threads for boring columns elements by coordinate measuring machine 6

MODERN TECHNOLOGIES

Liberman Ya.L., Volkova N.A., Kulikova T.Yu. The automatic projecting system of the robotized modules for machining process 11

Norseev S.A., Bagaev D.V. Mathematical dependences of the robots group control in the unknown area conditions . . . 18

Evseenko I.A. Data presentation model for planetary mechanisms arranging 22

Pisarenko A.V., Kormiltsev K.D. Modern approaches to development, modelling and testing of control devices for control systems 25

Petrichenko G.S. The diagnosis method of the computer network main nods on the basis of logical function creation 27

ECONOMIC AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC ACTIVITY

Mukhin V.I., Inozemtseva E.A., Voronov D.G. Mathematical model of decision-making for identification innovation on the basis of cognitive approach. 32

Serbulov Yu.S., Glukhov D.A., Sysoev D.V. The valuation model of the state and development forecasting of the competing systems resource interaction in the market relations 38

Belousov V.L., Golubyatnikova O.I. About the introduction regulation mechanism in economic circulation of scientific and technical activity results of the higher school 45

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу "Роспечать" — 70537, по каталогу "Пресса России" — 27838, по каталогу российской прессы "Почта России" — 60267) или непосредственно в издательстве по факсу (499)269 4897, по e-mail: realiz@mashin.ru, на сайте www.mashin.ru (без почтовых наценок, с любого месяца, со своего рабочего места); телефоны для справок: (499) 269 5298

Сдано в набор 11.08.2014. Подписано в печать 24.09.2014.
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная

Отпечатано в ООО «Канцлер»,
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49

Перепечатка материалов из журнала "Автоматизация и современные технологии" возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал "Автоматизация и современные технологии" обязательна. За содержание рекламных материалов ответственность несёт рекламодатель

© Издательство "Машиностроение", "Автоматизация и современные технологии", 2014 г.

УДК 621.91.02

Е.Г. Крылов, канд. техн. наук, доц., **Ю.П. Сердобинцев,** д-р техн. наук, проф.
(Волгоградский государственный технический университет)
milly14@rambler.ru

РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВЫБОР РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Проанализированы основные факторы, влияющие на рациональный выбор режущего инструмента для автоматизированного оборудования. Предложено использовать теорию конструктивно-технологической сложности для сокращения трудовых и материальных затрат, связанных с выбором и эксплуатацией режущего инструмента.

Ключевые слова: режущий инструмент, выбор, автоматизация, конструктивно-технологическая сложность.

The major factors influencing a rational choice of the cutting tool for the automated equipment are analysed. It is offered to use the theory of constructive and technological complexity for reduction of the labor and material inputs connected with a choice and operation of the cutting tool.

Key words: the cutting tool, choice, automation, constructive and technological complexity.

При создании высокоавтоматизированных гибких технологических систем особое внимание уделяется обеспечению работоспособности режущего инструмента, так как несвоевременное обнаружение отказов инструмента может иметь самые различные последствия — от появления брака до аварии оборудования. Как правило, сохранение работоспособности инструмента оценивают по выходному интегральному показателю $H = f(x_1, x_2, ..., x_n)$ его функционального состояния, в качестве которого рассматривается достижение допустимой величины износа режущей кромки (кромок) в течение заданного времени. К множеству аргументов $X = (x_1, x_2, ..., x_n)$, определяющему значения интегрального показателя, относят составляющие силы резания, крутящий момент на шпинделе, амплитуду и частоту вибраций, а также другие характеристики технологической системы. Для реализации указанного подхода используют специальные диагностические устройства, которые автоматически контролируют состояние основных узлов оборудования и параметров технологического процесса [1]. В целом это характерно для всех современных систем программного управления металлорежущими станками, обладающими возможностями аппаратного подключения различных по конфигурации датчиков и программной обработки результатов измерений в соответствии с заданными алгоритмами управления.

Следует отметить, что при существующем разнообразии методов и средств контроля состояния режущего инструмента в научно-технической литературе редко встречаются научно обоснованные положения или методики рационального выбора режущего инструмента. Систематизация на основании литературного анализа имеющихся научных исследований и практических рекомендаций по применению режущего инструмента показала, что основными факторами, влияющими на выбор конструктивных и технологических параметров инструмента, является обеспечение его прочностных характеристик и технологических параметров обработки (точности и шероховатости обрабатываемой поверхности). Наиболее подробными источниками информации являются справочники [2, 3]. Экономическая оценка себестоимости обработки осуществляется по расчётам, в которых стоимость инструмента и режущих пластин является известной детерминированной величиной [4]. Таким образом, совместное решение конструктивно-технологических и экономических задач на основе обобщённых критериев, позволяющее осуществить рациональный выбор режущего инструмента, в настоящее время отсутствует.

Актуальность решения этой задачи обуславливается двумя причинами. Во-первых, в настоящее время на отечественном рынке кроме продукции российских заводов-производителей режущего

инструмента широко представлена продукция известных мировых компаний, таких как Sandvik Coromant (Швеция), Kennametal (США), Iscar (Израиль), Walter AG (Германия), которая не уступает, а зачастую превосходит отечественную по качеству и разнообразию номенклатуру, но имеет более высокую стоимость. Немало российских предприятий отдают предпочтение продукции и других известных, но сравнительно небольших зарубежных компаний, таких как Belin (Франция), Boehlerit (Австрия), Dormer (Швеция), HG Technology (Тайвань), OSG (Япония), QCT (США), Zenit (Италия), занимающих в целом около 40 % объёма поставок режущих инструментов в Россию. В этой постоянно расширяющейся гамме режущего инструмента, занимающей несколько ценовых категорий, потребителю достаточно сложно выбрать рациональный инструмент, соответствующий по геометрическим параметрам и технологическим возможностям характеру предполагаемых операций механической обработки.

Во-вторых, сравнительный анализ, оценка и выбор режущего инструмента на основе научно обоснованной теории с использованием обобщённых технико-экономических критериев позволят заранее исключить грубые ошибки при эксплуатации инструмента, минимизировать необходимость оперативного контроля его состояния и, как следствие, повысить эффективность инструментального обеспечения автоматизированных технологических систем.

В условиях мелкосерийного и серийного производства при изготовлении широкой номенклатуры деталей сложность задачи выбора рационального режущего инструмента высока. На рациональный выбор режущего инструмента при проектировании процессов металлообработки влияет ряд факторов $F = \{A, B, C\}$, который можно разделить на три группы. К первой группе факторов $A = (a_1, a_2, ..., a_i)$ относится множество конструктивно-технологических параметров инструмента: геометрическая форма, габаритные размеры, способ крепления к державке, марка инструментального материала и др.; ко второй группе $B = \{b_1, b_2, ..., b_j\}$ следует отнести разнообразие схем построения технологических операций; третья группа $C = \{c_1, c_2, ..., c_k\}$ включает в себя различные ценовые категории инструмента. В настоящее время отсутствует методика, позволяющая на основании указанных множеств сформировать системное описание номенклатуры режущего инструмента на предприятии и выбрать конкретного её представителя на основе экономических критериев и технических параметров.

Для сокращения трудовых и материальных затрат, связанных с выбором и эксплуатацией режущего инструмента при изготовлении изделий машиностроения, предлагается использовать теорию конструктивно-технологической сложности (КТС), которая в общем случае представляет собой неотъемлемое свойство изделия, учитывающее его геометрические и структурные свойства, а также предъявляемые к ним конструкторские и технологические требования в соответствии с существующим уровнем развития производительных сил. Конструктивно-технологическая сложность может рассматриваться как мера затрат ресурсов на реализацию различных этапов жизненного цикла изделия [5].

Выделяют три основных уровня оценки КТС изделий в зависимости от уровня детализации сведений об объекте (рис. 1).

На первом уровне изделие рассматривается как единое целое, с учётом его классификации, функционального назначения, габаритно-весовых характеристик, материалов и комплектующих, используемых при его изготовлении, т. е. факторов, от которых зависит себестоимость продукции. На втором уровне изделие разбивается на элементы, строится его структура с учётом иерархии элементов и для каждого из элементов определяется множество его параметров. На третьем уровне на основе созданной иерархии структурных составляющих разрабатываются информационные модели по нормативам, учитывающим организационно-технические условия конкретной технологической системы. Второй и третий уровни требуют полной декомпозиции изделия, абстрагирования от технологии его изготовления и построения иерархической структуры входящих в него элементов.

Рис. 1. Уровни оценки конструктивно-технологической сложности изделия

Для практической реализации первого уровня необходимо разработать систему описания и классификацию конструктивных и технологических параметров изделий. В качестве изделий в дальнейшем будем рассматривать сборные режущие инструменты (резцы) с механическим креплением сменных многогранных твёрдосплавных режущих пластин, которые в настоящее время являются наиболее распространённым инструментом для станочных модулей с программным управлением. На рис. 2 представлена структурная схема, описывающая основные параметры резца для наружного и внутреннего точения.

На рис. 3 приведена структурная схема, включающая описание геометрических элементов и их значений для сменных режущих пластин в соответствии с ГОСТ 19042—80. На рис. 4 показана структурная схема, характеризующая технологические параметры сменных режущих пластин в соответствии со стандартом ISO.

Классификации, представленные на рис. 2—4 являются основой для дальнейшего структурно-функционального анализа и разработки на его основе информационных моделей структурных составляющих изделия.

В настоящее время наиболее распространенным феноменологическим подходом при структурно-функциональном анализе является подход "от макро к микро", в результате которого находят неизвестные структурные параметры или функциональные зависимости изделия, исходя из упрощённых представлений о взаимодействии элементов структуры. Более сложным и, как правило, физически обоснованным, является обратный подход "от микро к макро", когда по закономерностям, полученным теоретически или экспериментально для элемента изделия, оцениваются общие эксплуатационные свойства изделия. В соответствии с указанными положениями схема на рис. 2 представлена как "макроуровень", а схемы на рис. 3 и 4 — как "микроуровень". Для успешной реализации рационального выбора режущего инструмента предлагается осуществить синтез двух указанных подходов. Подход "от макро к микро" использовать для определения структурно-чувствительных параметров, входящих в критерии максимального ресурса и минимальной себестоимости обработки, а подход "от микро к макро" применить для определения функциональных зависимостей и начальной оценки параметров в разработанных критериях.

Основой реализации второго и третьего уровней является разработка на базе структурно-функ-

Рис. 2. Схема основных параметров выбора резца

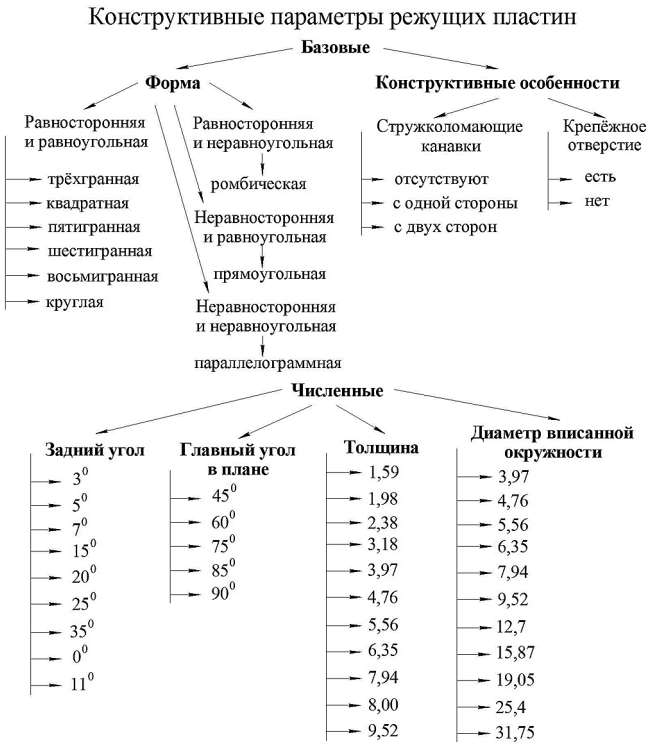


Рис. 3. Схема конструктивных параметров режущих пластин

Рис. 4. Схема технологических параметров режущих пластин

ционального анализа математической модели КТС изделия. В общем виде КТС $S_{кт}$ изделия включает в себя конструктивную $S_к$ и технологическую $S_т$ сложности, каждая из которых представляет собой функцию нескольких переменных

$$S_{кт} = S_к S_т = f(k_1, k_2, ..., k_m) f(t_1, t_2, ..., t_m).$$

Конструктивная сложность $S_к$ формируется при изготовлении изделия и является базовой сложностью. Технологическая сложность $S_т$ представляет собой функцию, учитывающую технологические характеристики изделия на этапах его изготовления и эксплуатации. В общем виде конструктивную сложность $S_к$ изделия можно выразить аддитивной функцией сложности основных геометрических элементов $S_{ко}$ и сложности дополнительных элементов $S_{кд}$. В свою очередь технологическую сложность $S_т$ записывают как произведение ряда коэффициентов, учитывающих режим механической обработки β_1, теплофизические свойства β_2 изделия и свойства функционального покрытия β_3. Таким образом, формулу расчёта конструктивно-технологической сложности $S_{кт}$ можно записать в виде

$$S_{кт} = (S_{ко} + S_{кд})\beta_1\beta_2\beta_3.$$

По окончании формирования математической модели КТС формулируются экономические критерии выбора инструмента, например, по минимуму удельных приведённых затрат

$$Z^{уд}_{привед} = f(S_{кт}) \to \min.$$

Итогом выполненных работ по рациональному выбору режущего инструмента являются рекомендации, составленные на основе совместного решения конструктивных, технологических и экономических задач.

Рассмотренный подход позволяет системно подойти к решению проблемы выбора режущего инструмента в автоматизированном производстве, предлагая технологу на основании заданного сочетания "цена—качество" наилучшие виды и типоразмеры инструмента, что особенно важно для малых и средних предприятий в условиях российской экономики.

Библиографические ссылки

1. **Автоматический** контроль состояния сборного многолезвийного инструмента / А.Л. Плотников [и др.] // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 3. С. 25—28.

2. **Справочник** конструктора-инструментальщика / В.И. Баранчиков, Г.В. Боровский; [под общ. ред. В.А. Гречишникова, С.В. Кирсанова]. М.: Машиностроение, 2006. 542 с.

3. **Справочник** технолога-машиностроителя: Т. 2 [под ред. А.М. Дальского, А.Г. Суслова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. М.: Машиностроение-1, 2001. 944 с.

4. **Виноградов Д.В.** К вопросу определения скорости резания, обеспечивающей минимальную себестоимость обработки // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2007. № 11. С. 4.

5. **Теоретические** основы конструктивно-технологической сложности изделий и структур-стратегий производственных систем машиностроения: монография / Б.А. Якимович, А.И. Коршунов, А.П. Кузнецов. Ижевск: ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2007. 280 с.

УДК 621.990

В.А. Иванов, д-р техн. наук, проф., **О.А. Халтурин, Т.Р. Абляз**
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)
oleg-x@pstu.ru

МЕТОД КОНТРОЛЯ КОНИЧЕСКИХ РЕЗЬБ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ БУРИЛЬНЫХ КОЛОНН НА КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ

Проанализированы существующие методы контроля конических резьб, выявлены недостатки. Представлен современный метод контроля конических резьб на координатно-измерительной машине с учётом недостатков.

Ключевые слова: коническая резьба, контроль, измерение, КИМ.

Existing control methods of conical threads are analysed, shortcomings are revealed. The modern control method of conical threads by coordinate measuring machine (CMM) taking into account shortcomings is presented.

Key words: conical thread, control, measurement, CMM.

Введение. Несмотря на большой опыт производства деталей с конической резьбой, отсутствуют точные и быстрые методы контроля параметров полученной резьбы, применимые в производственных условиях.

В соответствии со стандартом [1] и сложившейся практикой контроль резьбы осуществляется двумя методами: комплексным и дифференцированным [2].

Дифференцированный контроль резьбы применяют в тех случаях, когда допуски назначены на каждый отдельный параметр резьбовых деталей. Для измерения различных элементов резьбы требуется комплект специализированных инструментов, номенклатура которых зависит от типа резьбы.

При измерении этими инструментами контакт с деталями имеет малую площадь, что в совокупности с переменным значением измерительного усилия приводит к возникновению погрешностей измерения, обусловленных упругими и пластическими деформациями [3]. Такие виды контроля не отвечают современным требованиям.

Комплексный метод контроля заключается в том, что на один из параметров резьбовой поверхности назначают комплексный допуск, ограничивающий одновременно погрешности нескольких других параметров. Этим параметром является средний диаметр резьбы. К комплексному методу относится контроль резьбы с помощью калибров.

Недостатком комплексного метода является невозможность объективного контроля и анализа точности изготовления элементов профиля, заданную такими параметрами, как конусность, шаг резьбы, половина угла профиля. При определённой комбинации параметров совершенно негодная резьба может быть признана годной [2]. Кроме этого, результаты контроля резьбы комплексным методом в значительной степени зависят от субъективных особенностей контролёра и условий его работы. Существенным недостатком комплексного метода является интенсивный износ рабочей поверхности калибра. Для проверки изменения размеров калибров и корректировки измеряемого натяга применяется контроль калибров контркалибрами.

В настоящее время на предприятиях применяются новые уникальные лазерные компьютерные системы неразрушающих автоматических измерений геометрии наружной и внутренней резьбы, позволяющие корректировать и предотвратить дефекты параметров в реальном масштабе времени [4—8]. Наличие таких систем требует специальной подготовки производства и персонала, а также больших временных и финансовых затрат.

На многих машиностроительных предприятиях в процессе контроля деталей сложной геометрической формы применяются координатно-измерительные машины (КИМ). Одной из наиболее сложных для контроля поверхностей является резьбовая поверхность, особенно коническая. Для осуществления операции контроля резьбы требуется высокая квалификация метролога и зачастую отдельно поставляемого программного обеспечения, а также возникает необходимость проработки стратегии измерения для каждой новой детали.

Основная часть. Целью работы является разработка методики измерения на КИМ параметров конической замковой резьбы для элементов бурильных колонн (ГОСТ Р 50864—96). В качестве измерительной установки выбрана КИМ портального типа Contura G2. Методика основывается на разработке параметрической стратегии измерения (рис. 1), заключающейся в сканировании резьбы измерительным щупом в осевом направлении с получением совокупности точек в пространстве (рис. 2, *а*), описывающих профиль резьбы.

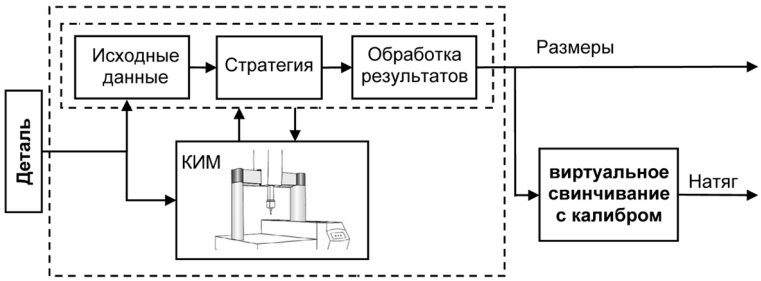


Рис. 1. Методика контроля конической резьбы

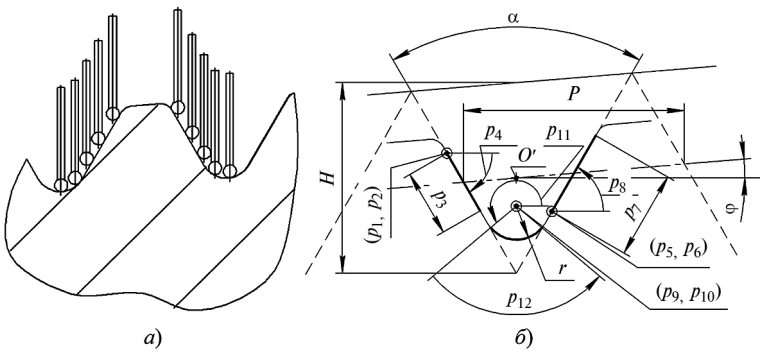


Рис. 2. Стратегия измерения:
а — траектория; *б* — переход к элементам стратегии измерения

Наличие совокупности точек позволяет анализировать непосредственно сам профиль резьбы, оценивать действительную величину параметров резьбы, а также прогнозировать свинчиваемость изделия с калибрами и ответными деталями.

Стратегия измерения состоит из элементов, описывающих основные составляющие впадины профиля конической треугольной резьбы (рис. 2, *б*). При этом элементы имеют укороченные размеры, позволяющие щупу гарантированно касаться элементов резьбы на реальной детали.

Параметры, определяющие положение и размеры элементов стратегии, рассчитываются исходя из размеров профиля. Положения элементов для каждой впадины одинаковы относительно их центров O' (рис. 2, *б*) и отличаются только положениями самих центров относительно координат детали:

$$H = \frac{P(\cos(2\varphi) + \cos(\alpha))}{\sin(\alpha) + (\cos(2\varphi) + 1)};$$

$$p_1 = p_5 - \frac{P(\cos(\alpha/2 + \varphi)\sin(\alpha/2))}{\cos(\varphi)\sin(\alpha)};$$

$$p_2 = \frac{P(\cos(\alpha/2 + \varphi)\cos(\alpha))}{\cos(\varphi)\sin(\alpha)} - \frac{p_5}{\mathrm{tg}(\alpha/2)} - \frac{H}{2};$$

$$p_3 = K_3 P;$$

$$p_4 = -(90^\circ - \alpha/2);$$

$$p_5 = K_5 P + r\cos(\alpha/2);$$

$$p_6 = \frac{K_5 P}{\tan(\alpha/2)} + r(2 - \sin(\alpha/2)) - \frac{H}{2};$$

$$p_7 = K_7 P;$$

$$p_8 = 90^\circ - \alpha/2;$$

$$p_9 = 0;$$

$$p_{10} = 2r - \frac{H}{2};$$

$$p_{11} = 180^\circ + K_9 + \alpha/2;$$

$$p_{12} = 180^\circ - K_{10} - \alpha/2,$$

где H — высота остроугольного профиля; P — шаг резьбы; p_i — параметры, определяющие угловые положения, координаты и размеры элементов стратегии; K_i — уменьшающие коэффициенты (подбираются эмпирически).

Параметрическое описание стратегии проводится без опционального модуля PCM. Поэтому параметры резьбы и другие константы задаются с помощью псевдоэлементов геометрии (рис. 3), а при расчёте положения элементов стратегии (рис. 4) используются ссылки на значения, указанные в псевдоэлементах.

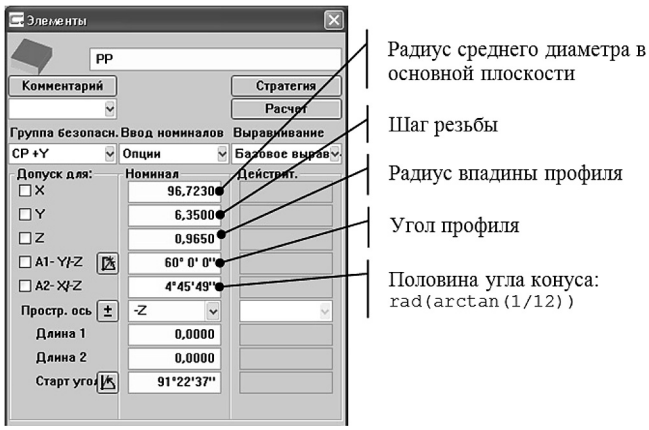
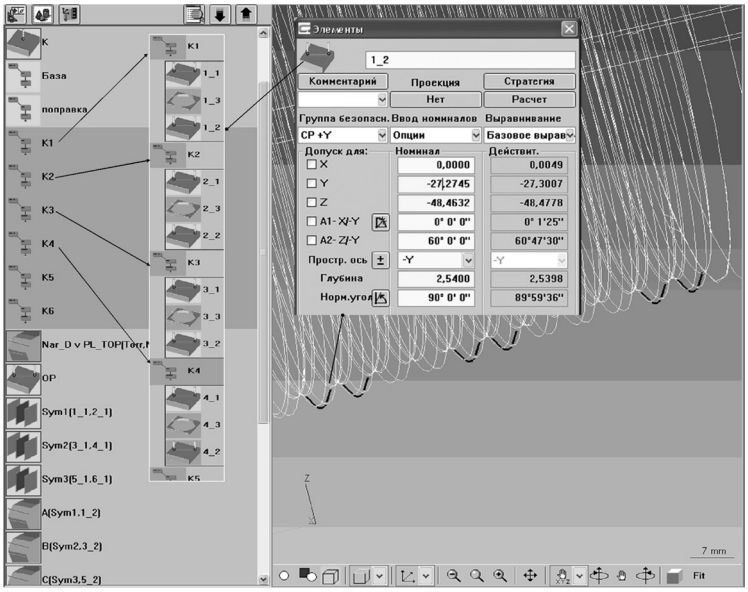
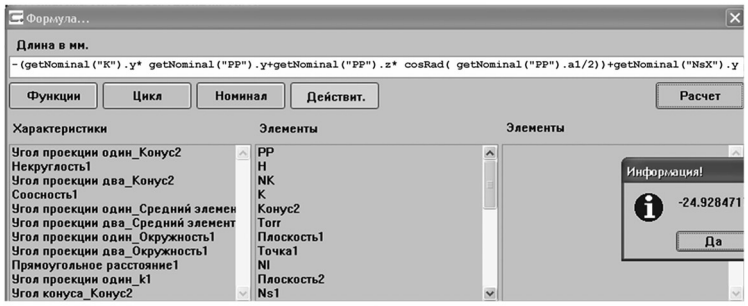


Рис. 3. Задание исходных данных

Например, координата Y отрезка 1_2 (см. рис. 4, *а*), в соответствии с формулой для параметра p_5 (см. рис. 2, *б*) и переносом в систему координат детали, на языке среды Calipso задана текстовой командой, изображённой на рис. 4, *б*.



а)



б)

Рис. 4. Описание элементов стратегии измерения в Carl Zeiss Calypso: *а* — элементы стратегии измерения; *б* — определение параметра Y отрезка 1_2

Параметры резьбы рассчитываются геометрическими построениями при помощи касательных, симметрий и пересечений (рис. 5).

С помощью встроенных функций Calypso определяются не только размеры, но и нормируемые геометрические отклонения, в частности отклонение от допуска плоскостности упорного торца муфты (рис. 6).

По результатам измерения (в автоматическом режиме) программой Calypso формируется протокол контроля, на котором для каждого измеренного параметра выводятся его измеренное значение, заданное значение, верхнее и нижнее отклонение допуска и отклонение.

Тестирование методики проводилось на образце, предоставленном ЗАО "Пермская компания нефтяного машиностроения" (ПКНМ), — калибр-пробки для резьбы З-66 по ГОСТ Р50864. В таблице представлено сравнение результатов измерений калибр-пробки в лаборатории Пермского национального исследователь-

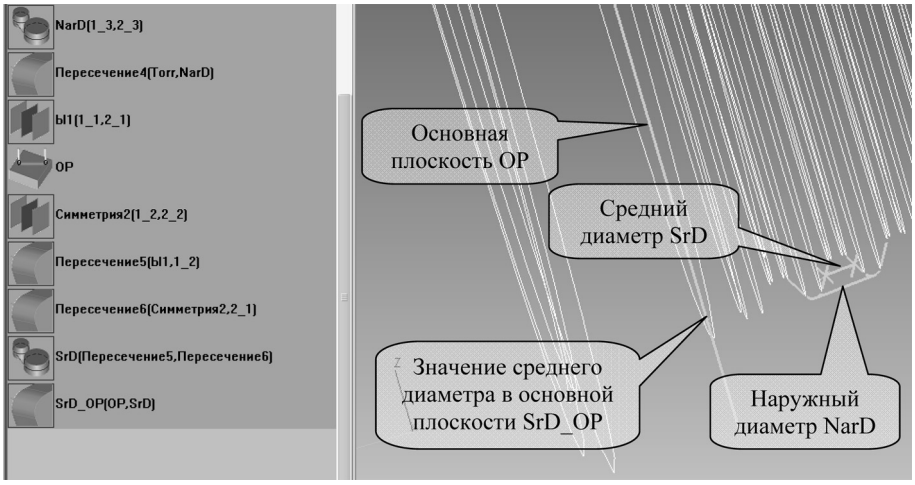
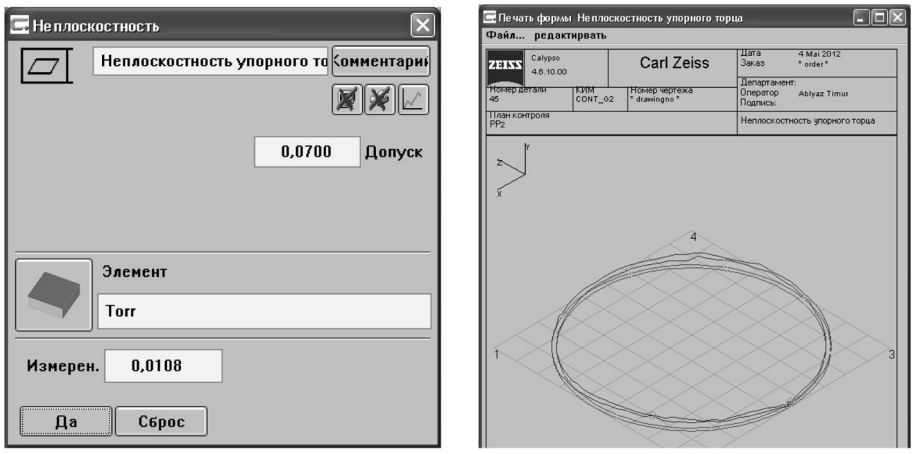


Рис. 5. Пример построений для расчёта параметров резьбы муфты З-122



а) *б*)

Рис. 6. Неплоскостность упорного торца муфты:
а — значение отклонения; *б* — графическое изображение отклонения формы

Сравнение результатов измерений

Характеристика	Результаты измерений в лаборатории ПНИПУ	Результаты измерений в лаборатории ПКНМ	Разница	Отклонение, %
Шаг на всей длине	57,13808	57,14	0,00192	0,003
Шаг на длине 25,4 мм	25,39558	25,40	0,00442	0,017
Шаг	6,34868	6,35	0,00132	0,021
Средний диаметр в основной плоскости	96,81402	96,75	0,06402	0,066
Правая половина угла профиля	28,96406	29°1' ≡ 29,02°	0,05594	0,193
Левая половина угла профиля	30,46878	30°18' ≡ 30,3°	0,16878	0,557
Конусность среднего диаметра	0,1655856	0,1694	0,353	2,128
Неперпендикулярность торца муфты	0,02032	0,019	0,00132	6,95
Неплоскостность упорного торца	0,01222	—	0	0
Натяг	–0,16606	–0,13	0,03606	27,739

ского политехнического университета (ПНИПУ) и в лаборатории ПКНМ.

Из анализа данных, представленных в таблице, видно, что наибольшее отличие значений параметров, измеренных по нашей методике, от значений, полученных на заводе, имеет такой параметр, как натяг резьбы (0,03606), что в процентном соотношении составляет 27,739 %. Возникшая разница результата объясняется различием в методиках проведения измерений. При контроле натяга резьбы в лаборатории ПКНМ применяют метод свинчивания с контр-калибрами, имеющими некоторую погрешность изготовления, а при виртуальном свинчивании в лаборатории ПНИПУ в программе АТТТС погрешность изготовления калибра отсутствует.

Заключение. Преимуществом представленного метода является то, что на многих машиностроительных предприятиях имеются КИМ, а значит, есть и специалисты, работающие на них. Разработанный способ измерения можно достаточно просто внедрять на предприятиях, изготавливающих изделия с ответственной конической резьбой и имеющих в своём распоряжении КИМ.

Библиографические ссылки

1. **ГОСТ Р 50864—96** "Резьба коническая замковая для элементов бурильных колонн".

2. **Ковалёв М.К.** Нарезание и контроль резьбы бурильных труб и замков. М.: Недра, 1965. 170 с.

3. **Николаева Е.В.** Повышение точности и производительности резьбошлифования на основе разработанного метода и средства для измерения параметров наружных резьб: дис. ... канд. техн. наук. Омск. 2006. 139 с.

4. **Злобин В.П.** Автоматическая система мониторинга как основной элемент СК при контроле труб нефтяного сортамента // Методы менеджмента качества. 2007. № 1. С. 68—74.

5. **Автоматизированный** оптический контроль качества трубных резьб. URL: http://www.utinlab.ru/item12.html (дата обращения 07.11.2011)

6. **Остапчук В.Г., Куликов В.А., Семёнов С.Л.** Автоматизированный контроль параметров резьбы URL: http://www.micron.ru/information/articles /2 (дата обращения 07.11.2011).

7. **Лазерные** системы "ОПТЭЛ" для автоматизированного неразрушающего контроля геометрии наружной и внутренней резьбы. URL: http://www.nvp-optel.ru/produktsiya/75-lazernye-sistemy-qoptelq-dlya-avtomatizirovannogo-nerazrushayuschego-kontrolya-geometrii-na-rujnoi-i-vnutrennei-rezby (дата обращения 07.11.2011).

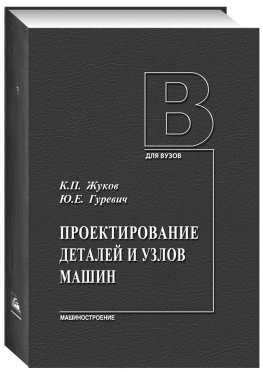
8. **Автоматизированная** установка бесконтактного контроля геометрии резьбы муфт и труб. URL: http://www.uralniti.ru/menu-napr/main-menu-ner-kontr/18-naprnerkontrkonrezb (дата обращения 07.11.2011).

ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МАШИН

УЧЕБНИК ДЛЯ ВУЗОВ **К.П. Жуков, Ю.Е. Гуревич**

2014 г. Объем 648 с. Формат 70x100 1/16 Переплет ISBN 978-5-94275-739-7 Цена 1200 р.



Изложены методы проведения расчетов (проектировочных и проверочных), а также методология конструирования деталей и узлов машин общего назначения с подробным рассмотрением этих вопросов на примерах проектирования редукторов и коробок скоростей.

Приведены необходимые справочные данные, формулы, таблицы. Иллюстрации сопровождаются минимальным текстом и обеспечивают сокращение времени на поиск информации и выполнение расчетов при разработке конструкции с оптимальными параметрами. Второе издание (первое издание вышло в 1999 г.) переработано и дополнено в соответствии с новыми нормативно-техническими документами.

Учебник предназначен для студентов технических и технологических вузов, а также может быть использован инженерно-техническими работниками, занимающимися проектированием оборудования различных отраслей.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru

Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 621.38(62—52)

Я.Л. Либерман, д-р техн. наук, проф., **Н.А. Волкова, Т.Ю. Куликова**
(Уральский Федеральный университет им. первого президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург)
yakov_liberman@list.ru

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ МОДУЛЕЙ МЕХАНООБРАБОТКИ

Предложена система автоматизированного проектирования роботизированных станочных модулей, содержащих токарный станок, обслуживающий его промышленный робот и транспортно-накопительное устройство, связывающее модуль с общецеховой транспортной системой и обеспечивающее рациональный захват заготовки роботом перед установкой на станок. Описываются алгоритмы и компьютерные программы, предназначенные для автоматизированного выбора оборудования модуля, минимизирующие риск ошибочного проектного решения.

Ключевые слова: станочный модуль, промышленный робот, транспортно-накопительное устройство, автоматизированное проектирование.

The automatic projecting system of the robotized machine tools modules containing the lathe, the serving industrial robot and the transport and accumulative device connecting the module with all-shop transport system and providing rational capture of a blank preparation with the robot before installation on the machine tool is offered. Algorithms and the computer programs intended for the automatic module equipment choice, minimizing risk of the erroneous design decision, are described.

Key words: the machine tool module, the industrial robot, the transport and accumulative device, the automatic design.

Расширение применения гибких производственных систем в различных отраслях промышленности и, в частности, в механообработке, влечёт за собой, как известно, усложнение их самих и процессов их проектирования. Для упрощения тех и других стремятся строить такие системы по модульному принципу и интенсивно использовать САПР. Сегодня существуют САПР различных модулей механообработки, в том числе роботизированных, однако почти все они ориентированы на применение в больших проектных организациях с высоким уровнем специализации сотрудников, объединённых в узкопрофильные рабочие группы. Такие группы, имея значительный опыт решения однотипных проектно-конструкторских задач, всегда готовы к выполнению выдаваемых им вполне определённых технических заданий, сформулированных заказчиком. САПР роботизированных модулей в таких условиях, основываясь на руководящих материалах ЭНИМС, помогает проектировщикам по обобщённым характеристикам деталей-представителей, подлежащих обработке, выбрать металлорежущий станок, а затем подобрать к нему промышленный робот, осуществляющий установку и снятие деталей.

Между тем, в настоящее время в проектной работе многое изменилось. В результате оптимизации кадрового состава громоздкие проектные организации стали более компактными, узкопрофильные постоянные рабочие группы уступили место широкопрофильным, но малочисленным отделам, в которых группы формируются по мере необходимости, в соответствии с получаемыми заказами. Наряду с этим, руководящие материалы, на которых базируются существующие САПР, во многом устарели. Нуждаются известные САПР роботизированных станочных модулей и в расширении функций. Они, например, не оказывают поддержку проектировщикам в выборе транспортно-накопительного устройства, связывающего модуль с общецеховой транспортной системой и обеспечивающего удобство захвата роботом объекта манипулирования, а это было бы весьма целесообразно.

Принимая во внимание изложенное, на кафедре "Станки и инструменты" Уральского федерального университета была разработана САПР роботизированных станочных модулей, позволяющая решать следующие задачи: формирование рабочей группы при поступлении заказа на проектирование, поиск наиболее рационального

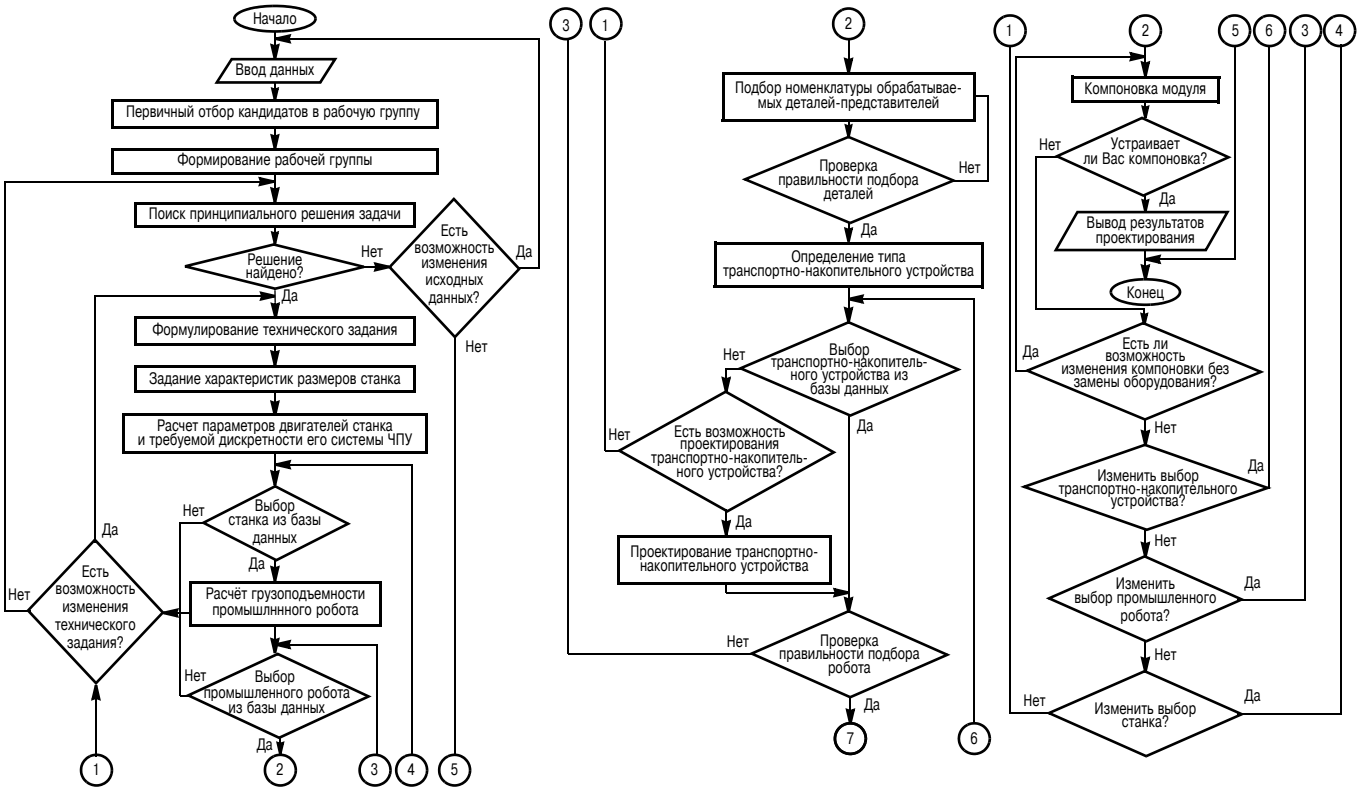
направления проектирования, расчётное обоснование выбора и выбор станка, и обслуживающего его робота, обоснование применения того или иного типа транспортно-накопительного устройства и выбор компоновки модуля. Система также даёт возможность проектировщику уточнить номенклатуру деталей, которые в дальнейшем целесообразно обрабатывать на модуле.

Разработанная система автоматизированная, а не автоматическая, и в ней реализован принцип человеко-машинного проектирования. Некоторые (главным образом, трудноформализуемые) процедуры в ней выполняются пользователем, хотя все основные — без участия человека. При выполнении машинных процедур используется не только вновь разработанное, но и существующее математическое и программное обеспечение, что позволяет осваивать применение системы достаточно легко. Это же создаёт предпосылки для её успешного внедрения в практику.

Для удобства практического применения предложено несколько модификаций САПР: для проектирования токарных модулей, для проектирования фрезерных модулей и др. Рассмотрим САПР роботизированных токарных модулей, являющуюся для остальных базовой (см. рисунок).

Поскольку всякий роботизированный модуль представляет собой в значительной степени универсальную технологическую ячейку, предназначается для гибких производственных систем и ориентируется на довольно широкий круг возможных потребителей, исходные данные, вводимые в САПР, формулируются весьма укрупнённо. Это, как правило, максимальный диаметр D_{max} и длина L_{max}, обрабатываемых деталей, наибольшая точность их обработки и виды обработки, которым должны подвергаться детали: наружное точение, растачивание, сверление (в том числе внецентренное) и пр. Указываются также специфические особенности, примерное число типоразмеров обрабатываемых деталей и соответствующие им примерные годовые программы изготовления. Подобные исходные данные позволяют руководителю проектных работ более или менее ясно определить задачу дальнейшей работы (этим ввод данных завершается) и ввести систему в режим создания рабочей группы для её решения.

Создание рабочей группы состоит из двух этапов: первичного отбора кандидатов в группу и собственно формирования группы. Первичный отбор организуется путём компьютерного тестирования сотрудников проектно-конструкторского отдела для определения их компетентности в решении задач, близких к поставленной. Всем кандидатам в группу задаётся по десять вопросов, на каждый из которых предусмотрены пять вариантов ответов: не очень-то компетентен;



Структура САПР токарных модулей

сведущ более или менее; разбираюсь неплохо; разбираюсь хорошо; разбираюсь свободно и уверенно. Тестируемый выбирает тот или иной вариант и тем самым даёт своей компетентности оценку, численно равную номеру варианта. Далее вычисляется средняя оценка $\bar{x}_i$, для каждого кандидата и её среднее значение $\bar{x}$ для всех кандидатов (как показывает опыт, в большинстве случаев $\bar{x} \approx 3{,}5$—4). После этого с помощью статистического t критерия Стюдента проверяется существенность отличия каждого $\bar{x}_i$, от $\bar{x}$ при заданном уровне значимости. Кандидаты, у которых $\bar{x}_i$ отличается от $\bar{x}$ существенно, считаются неприемлемыми и из последующего рассмотрения исключаются. Таким образом, предотвращается попадание в формируемую группу неуверенных в себе специалистов и слишком самоуверенных, способных в дальнейшем дестабилизировать работу.

Первичный отбор выполняется с помощью специально предназначенной для этого программы [1]. Аналогично с помощью специальной программы [2] производится и собственно формирование группы. Сформированная группа должна иметь возможность находить принципиальное решение задачи методом мозгового штурма. Он намного проще других методов такого же назначения, но не менее результативен. Однако при его использовании требуется особо дружелюбная и бесконфликтная атмосфера. Обеспечить её нетрудно, если при формировании группы применить методы соционики и конфликтологии. Они и послужили основой второй программы. В заложенном в неё алгоритме главными являются блок определения психотипов кандидатов в группу и блок определения их конфликтности. При этом используются известные, хорошо зарекомендовавшие себя в психологических исследованиях тесты. Первый из них [3] включает в себя четыре альтернативных вопроса, ответы на которые образуют шестнадцать сочетаний. И каждому сочетанию соответствует определенный психотип. Второй тест [4] содержит тринадцать вопросов и ответы на них пятиуровневые, выставляемые по пятибалльной системе цифрами от 1 до 5. Сумма баллов для каждого испытуемого характеризует уровень его конфликтности.

Программа рассчитана на произвольное число тестируемых $K_{\max}$, между которыми могут складываться те или иные интертипные отношения. Подразделяя эти отношения по уровню конфликтности на "отличные", "хорошие" и "удовлетворительные", далее по заданному числу членов M она формирует соответствующие им группы. На какой из них остановиться, решает руководитель работы.

Выбрав приемлемую группу, руководитель доводит до её сведения задачу работы и предоставляет ей возможность отыскать наиболее рациональное направление проектирования. Реализация этой возможности — весьма важный этап работы САПР, поскольку принципиальные ошибки, допущенные в это время, могут лишить смысла все дальнейшее проектирование. Не исключено, например, что заказчик, полагая, что ему требуется именно роботизированный модуль, вполне может заблуждаться. Как показывает опыт, значительная часть производственных задач сегодня вполне успешно может быть решена другими, иногда более дешевыми, средствами: применением роторных машин, агрегатных станков, традиционных поточных линий и т. п. Если ошибку вовремя не выявить, то проектирование модуля может привести к неэффективным затратам, к пустой потере времени.

Выявление ошибки и поиск рационального пути при проектировании — процесс непростой. Зачастую он требует разрешения различных технических противоречий, которые без помощи ЭВМ преодолеть не удаётся. В связи с этим, в состав САПР включена программа [5], позволяющая при возникновении указанных противоречий облегчить их разрешение. В программе задействован классический алгоритм Г.С. Альтшуллера, дополненный блоками ввода и вывода информации в режиме диалога. Блок ввода предназначен для того, чтобы помочь пользователям от формулировки задачи в специальных, отражающих её суть, терминах перейти к её формулировке в обобщённых терминах. Программа содержит матрицу способов устранения технических противоречий, выраженных также в обобщённых терминах, и на основании входных данных рекомендует проектировщику, что ему целесообразно предпринимать, какой способ решения задачи предпочтителен. Если рекомендации по каким-либо причинам выполнены быть не могут, программа возвращает пользователя к своему началу и цикл повторяется столько раз, сколько пользователь сочтёт нужным. Блок вывода позволяет от обобщённых формулировок перейти обратно к специальным терминам, отражающим существо задачи вполне конкретно. Именно по ним руководитель работы совместно с членами рабочей группы составляют далее техническое задание на проектирование модуля.

Выполнение технического задания начинается с определения характеристических размеров станка, являющегося основой проектируемого модуля. Применительно к модулю токарной обработки это размеры условной рабочей зоны станка, представляющей собой пустотелый цилиндр с наружным диаметром D_{max} и длиной L_{max} (они равны ранее заданным наибольшим размерам обрабатываемых деталей) и с внутренним диаметром $D_{min} \approx D_{max}/8{,}5$, равным наименьшему расчётному диаметру обработки.

Согласно рекомендациям ЭНИМС, станок для модуля можно подобрать, ориентируясь лишь на указанные размеры, используя таблицы соответствия [6]. Однако в настоящее время такой подход вряд ли оправдан. Во-первых, он слишком неточен, а во-вторых, рекомендации имеются только для отечественных станков, причём зачастую уже снятых с производства. Сегодня, по-видимому, более целесообразно по заданным характеристическим размерам требуемого станка рассчитывать его основные технические характеристики, а затем по ним выбирать уже сам станок. К таким характеристикам можно отнести: высоту центров станка H, наибольшую n_{max} и наименьшую n_{min} частоты вращения шпинделя, наибольшую S_{max} и наименьшую S_{min} подачи, мощности двигателей главного привода $N_{ГД}$ и приводов подач $N_{ДП}$.

Существуют различные методики расчёта перечисленных характеристик. Одни предназначены для определения требуемых характеристик патронно-центровых токарных станков, другие — для патронных, третьи — для тех и других. При разработке рассматриваемой САПР была принята за основу методика, описанная в работе [7]. Она позволяет вычислять все указанные выше параметры станка по D_{max}, D_{min} и L_{max} как для патронно-центровых, так и для патронных станков. Кроме того, в ней предусмотрена возможность отыскания требуемых дискретностей δ_x и δ_y его системы управления по координатам X и Y, исходя из заданной точности обработки.

Методика реализована программно [8], что позволяет автоматически получать все данные станка, необходимые для его выбора по базе данных. База данных станков, примененная к системе, также реализована программно. Но она отличается от известных СУБД простотой. Это, скорее, электронный каталог станков, составленный из прайс-листов и им подобных материалов. Материалы в нём распределены по группам в зависимости от величины H. В связи с ограниченностью номенклатуры применяемых в нашей стране станков такая база имеет сравнительно небольшой объём, легко дополняется и корректируется.

Выбор промышленного робота в предлагаемой САПР занимает особое место. Традиционных методик для его осуществления сегодня нет, но есть два подхода, позволяющие проектировщикам-практикам решать эту задачу. Первый основывается на таблицах соответствия "станок—робот", подобных упоминаемым выше, разработанным ЭНИМС [6]. Второй опирается на анализ размеров и массы конкретных деталей — представителей из числа подлежащих перемещению роботом. По тем же причинам, что и выбор станка по аналогичным таблицам, первый подход в настоящее время неприемлем. Второй также неприемлем, поскольку может привести к принципиально неверным решениям. Так, например, известно, что выпускаемый в своё время заводом "Красный пролетарий" токарный модуль на базе станка 16К20Ф3 в результате анализа деталей-представителей был оснащён роботом-прилипалой М10П62.01 грузоподъёмностью 5 кг. Такой робот мог устанавливать и снимать только 30 % деталей из числа тех, которые был способен обрабатывать станок. Это привело к тому, что на многих предприятиях, получивших модули, робот на станке заменяли другим или вообще снимали.

Для того чтобы избежать столь серьёзных ошибок при выборе промышленного робота, эксплуатируемого в составе модуля, нужна чёткая, математически сформулированная методика. Поэтому при построении описываемой САПР такую методику потребовалось разработать.

Как очевидно, робот, обслуживающий станок, должен обеспечивать установку и снятие с него практически любых или достаточно большого числа обрабатываемых на нём деталей. Для этого его грузоподъёмность как элемент его технической характеристики должна быть согласована не с конкретной, зачастую субъективной, выборкой деталей-представителей, а с техническими характеристиками станка. Если исходить из этого, то требуемую грузоподъёмность робота проще всего вычислять как

$$Q = 0{,}25\rho\pi D_{max}^2 L_{max}, \qquad (1)$$

где ρ — плотность стали.

Однако реально станочные модули редко работают во всём диапазоне технологических возможностей станка. Формула (1) это не учитывает,

как не учитывает и то, что детали могут иметь пустоты типа полостей, дополнительных отверстий и т. п. Если это принять во внимание, то выражение (1) можно представить как

$$Q = 0{,}25\rho\pi K D_{\text{р}}^2 L_{\text{р}} = 6 \cdot 10^{-6} K D_{\text{р}}^2 L_{\text{р}}, \qquad (2)$$

где K — коэффициент, учитывающий наличие пустот (коэффициент заполнения детали металлом); $D_{\text{р}}$ и $L_{\text{р}}$ — максимальные расчётные размеры деталей ($D_{\text{р}} \leqslant D_{\max}$; $L_{\text{р}} \leqslant L_{\max}$).

Для определения размеров $D_{\text{р}}$ и $L_{\text{р}}$ и коэффициента K в Уральском федеральном университете был проведён анализ статических данных, собранных на десяти предприятиях общего машиностроения. При этом учитывали, что на токарных патронных станках обрабатывают, как правило, детали с отношением длины к диаметру $L/D < 4$, а на патронно-центровых — с $L/D > 0$ или с произвольным отношением [6]. В процессе исследований было установлено, что коэффициент K существенно зависит от D, и были получены формулы $K = f(D)$, описывающие вид этой зависимости при трех доверительных вероятностях P_K (табл. 1).

Наряду с выявлением указанной зависимости были построены гистограммы распределений D и L для деталей с $L/D < 4$ и $L/D > 0$ и получены соответствующие им функции плотности вероятности $\phi(D)$ и $\phi(L)$ (табл. 2).

Таблица 1

Зависимость коэффициента заполнения от диаметра детали

L/D	P_K	Формулы $K = f(D)$	Коэффициент корреляции
< 4	0,85	$K = 0{,}8855 - 0{,}000448D$	–0,7780
	0,90	$K = 0{,}9069 - 0{,}0003313D$	–0,8147
	0,95	$K = 0{,}9270 - 0{,}0001908D$	–0,8746
> 0	0,85	$K = 0{,}8985 - 0{,}0004627D$	–0,8860
	0,90	$K = 0{,}9185 - 0{,}0003463D$	–0,9070
	0,95	$K = 0{,}9419 - 0{,}0002296D$	–0,9184

Таблица 2

Функции плотности вероятности для *D* и *L*

L/D	Формулы функций
< 4	$\phi(D) = 0{,}00101D^{0{,}69124}e^{-0{,}01593D}$
	$\phi(L) = 0{,}03045L^{-0{,}34806}e^{-0{,}00774L}$
> 0	$\phi(D) = 0{,}00168D^{0{,}57681}e^{-0{,}01614D}$
	$\phi(L) = 0{,}02806L^{-0{,}39425}e^{-0{,}00519L}$

Функции, приведённые в табл. 2, характеризуют распределение деталей типа тел вращения в машиностроении вообще, безотносительно к конкретной модели токарного станка. Но путём их усечения и нормирования с их помощью могут быть найдены функции распределения $\phi'(D)$ и $\phi'(L)$, соответствующие конкретным моделям токарных станков:

$$\phi'(D) = \left(\int_0^{D_{\max}} \phi(D)dD - \int_0^{D_{\min}} \phi(D)dD \right)^{-1} \phi(D),$$
$$\phi'(L) = \left(\int_0^{L_{\max}} \phi(L)dL \right)^{-1} \phi(L). \qquad (3)$$

Зная $\phi'(D)$ и $\phi'(L)$ для конкретного станка, нетрудно установить, что из номенклатуры деталей, которые принципиально можно обработать на данном станке, доля деталей, наибольшие размеры которых не превышают $D_{\text{р}}$ и $L_{\text{р}}$, составляет

$$P_D = \int_0^{D_{\text{р}}} \phi'(D)dD; \; P_L = \int_0^{L_{\text{р}}} \phi'(L)dL. \qquad (4)$$

Отсюда по заданным $\phi(D)$ и $\phi(L)$ и известному $P_{D(L)}$ с помощью формул (3) и (4) можно найти $D_{\text{р}}$ и $L_{\text{р}}$ для любого станка, а затем определить грузоподъёмность робота по формуле (2). Значение $P_{D(L)}$ при этом можно определить следующим образом. Очевидно, что при $D_{\text{р}} = D_{\max}$ и $L_{\text{р}} = L_{\max}$ доля P наименований деталей, которые принципиально можно обработать на данном станке и вместе с тем транспортировать промышленным роботом с грузоподъёмностью, рассчитанной по формуле (2), будет равна P_K. Если $D_{\text{р}} < D_{\max}$ и $L_{\text{р}} < L_{\max}$, то эта доля будет не менее $P_K P_{D(L)}^2$. Отсюда следует, что, если задаться долей наименований деталей, гарантированно устанавливаемых и снимаемых роботом при обслуживании станка, то можно принять

$$P_{D(L)} = \sqrt{\frac{P}{P_K}}. \qquad (5)$$

Программа расчёта требуемой грузоподъёмности робота по описанной методике [9] требует ввода минимального числа исходных данных ($D_{\max}$, $L_{\max}$ и P). В процессе её применения пользователь имеет возможность сам решать, какую долю деталей, транспортируемых роботом, принять (она может быть любой в пределах от 5 до 95 %). Это позволяет ему автоматически получать различные варианты Q. Опираясь на них, можно далее выбрать подходящий робот из

базы данных роботов. Эта база аналогична базе данных станков с той лишь разницей, что роботы сгруппированы в ней не по одному, а по двум параметрам: на группы по грузоподъёмности и на подгруппы по числу степеней подвижности. При этом каждой подгруппе поставлено в соответствие указание, для какого положения заготовки перед её установкой на станок и для станков с каким расположением шпинделя роботы этой подгруппы рекомендуются.

В то время как выбор станка и робота с помощью разработанной САПР производится с полной определённостью, выбрать транспортно-накопительное устройство, связывающее робот со станком и модуль с общецеховой транспортной системой, с такой же определённостью, она позволяет не всегда. Причин этого несколько, но главная состоит в том, что проектируемый модуль — ячейка гибкого автоматизированного производства, и номенклатура деталей, для изготовления которых она проектируется, не вполне конкретна. Между тем, транспортно-накопительное устройство, входящее в состав модуля, должно обеспечивать хранение, перемещение и ориентирование во времени и пространстве именно конкретных деталей. Это и влечёт за собой невозможность получения всегда абсолютно однозначного автоматизированного ответа на вопрос, какое транспортно-накопительное устройство следует в проектируемый модуль включить. Тем не менее, довольно существенная поддержка проектировщика в решении указанного вопроса в описываемой САПР предусмотрена. Базируется она на неизбежном в данном случае прогнозе, касающемся номенклатуры деталей, предполагаемых для обработки с использованием модуля. Такой прогноз является, по существу, подбором гипотетических деталей-представителей, обладающих специфическими особенностями, отмеченными в исходных данных на проектирование. По этим данным из общемашиностроительной номенклатуры деталей можно выбрать их представителей, опираясь на современные способы рациональной загрузки станков с ЧПУ, а затем уже к ним подобрать транспортно-накопительное устройство.

Способы рациональной загрузки станков с ЧПУ разнообразны, однако, как показало их сравнение друг с другом, наиболее удобным для применения является способ Ю.С. Шарина, в основу которого положено понятие о конструкторско-технологической сложности детали C. Этот способ использован в САПР следующим образом. Вначале подбираются детали с габаритными размерами, соответствующими станку. Далее по формуле

$$C = 0{,}002nK_{\text{р}}K_{\text{М}}K_{\text{И}}K_{\text{Т}}K_{\text{В}}$$

рассчитываются их конструкторско-технологические сложности (здесь n — число элементов контура детали; $K_{\text{р}}$ — её размерный коэффициент; $K_{\text{М}}$ и $K_{\text{И}}$ — коэффициенты обрабатываемости и использования материала; $K_{\text{Т}}$ — коэффициент технологичности; $K_{\text{В}}$ — коэффициент вида обработки). После этого из них выбираются те, у которых $C \geqslant 0{,}2$. Все эти процедуры выполняются с помощью известного программного обеспечения, предложенного в работе [10].

Программы Ю.С. Шарина включены в САПР без специальной адаптации. Их, однако, потребовалось дополнить программой проверки правильности подбора деталей. Это вызвано тем, что при загрузке описанным способом ранее выбранного станка не исключается перегрузка его приводов. Во избежание такого явления в систему введена программа проверки на перегрузку главного привода станка по мощности N и приводов подач по крутящему моменту M [11]. Проверка производится путём сравнения N_C и M_C, характеризующих приводы станка, с расчётными значениями N_i и M_i, необходимыми для обработки каждой i-й детали-представителя. Для расчёта N_i и M_i требуется вначале рассчитать режимы резания для каждого j-го технологического перехода каждой i-й детали, найти соответствующие им N_{ij} и M_{ij} и продолжительности обработки τ_{ij}. Далее, искомое нетрудно определить с помощью формул

$$N_i = \sqrt{\frac{\sum\limits_j N_{ij}^2 \tau_{ij}}{\sum\limits_j \tau_{ij}}}, \quad M_i = \sqrt{\frac{\sum\limits_j M_{ij}^2 \tau_{ij}}{\sum\limits_j \tau_{ij}}}.$$

При известных N_i и M_i условие правильного подбора i-й детали-представителя формулируется как

$$N_C \geqslant \frac{N_i}{\eta}, \quad M_C \geqslant \frac{M_i}{\eta},$$

где η — КПД соответствующего привода станка.

При этом, однако, согласно [12], должно учитываться, что в пределах каждого технологического перехода должно быть

$$N_C \geqslant \frac{N_{ij}}{\eta K_{\text{П}}}, \quad M_C \geqslant \frac{M_{ij}}{\eta K_{\text{П}}},$$

где $K_{\text{П}}$ — допустимый коэффициент перегрузки, равный 2, если $\tau_{ij} \leqslant 2$ мин; равный 1,75, если 2 мин $< \tau_{ij} \leqslant 3$ мин; равный 1,5, если 3 мин $< \tau_{ij} \leqslant 5$ мин и равный 1, если $\tau_{ij} > 5$ мин.

Всё это при разработке программы проверки подбора деталей-представителей принято во внимание.

Решение вопроса об автоматизированной поддержке выбора транспортно-накопительного устройства после подбора деталей-представителей осуществляется на основании производственного опыта разработчиков САПР и данных, приведённых в [13]. В соответствии с ними для деталей типа тел вращения главными факторами, определяющими тип транспортно-накопительного устройства, являются: соотношение длины l и диаметра d детали, ее масса m, наличие плоскости симметрии, перпендикулярной оси детали, а также наличие особых конструктивных элементов. Если, например, $m < 0{,}005$ кг, $d/l < 3$, то в качестве транспортно-накопительного устройства может быть применен вибробункер. Для деталей с $m \leqslant 0{,}5$ кг и $d/l > 3$ могут быть применены шиберные устройства или тактовые столы. Для деталей с $m > 1$ кг — конвейеры с шаговым электроприводом и т. д. Используя подобные рекомендации, можно логически связать каждую деталь-представитель с тем или иным типом транспортно-накопительных устройств. По этому принципу и работает программа их выбора [14]. Она определяет, какой детали соответствует тот или иной тип транспортно-накопительного устройства, выявляет упоминаемое чаще всех и на основании этого выдаёт рекомендацию пользователю.

Наряду с этим, программа указывает проектировщику на второй по частоте упоминания тип устройства, а затем адресует его к базе данных транспортно-накопительных устройств, в которой они сгруппированы по типам.

База данных транспортно-накопительных устройств построена подобно базам данных станков и роботов. Но объём её намного меньше. Это связано с тем, что таких устройств сегодня выпускается чрезвычайно ограниченное количество. Среди них имеются регулируемые и переналаживаемые (например, тактовые столы), устройства со сменными узлами (например, вибробункеры), которые могут быть использованы в различных модулях, но в целом их номенклатура не превышает несколько десятков единиц. Из-за этого нужное транспортно-накопительное устройство в базе данных может и не обнаружиться. В таком случае система поставит перед пользователем вопрос о проектировании требуемого устройства. Если проектирование осуществимо, то эта задача будет сформулирована как самостоятельная, решаемая особой САПР (её описание выходит за рамки настоящей работы и здесь не рассматривается). Если же нет, то будет поставлен вопрос либо об изменении технического задания на проектирование модуля, либо о коррекции проектной задачи.

Заключительными блоками описанной САПР является блок проверки правильности подбора робота и блок компоновки модуля.

Первый позволяет уточнить взаимное соответствие выбранного робота и типа транспортно-накопительного устройства. Это, по сути, блок проверки соответствия робота деталям-представителям, уточнения числа его степеней подвижности и типа (прилипала, напольный или портальный). Применения ЭВМ он не требует.

Второй — своеобразная электронная библиотека типовых компоновок роботизированных станочных модулей. Он построен в виде иллюстрированных таблиц, где в первой колонке приведена схема станка, во второй — ориентация заготовки в транспортно-накопительном устройстве перед загрузкой на станок, в третьей — число степеней подвижности робота и направления возможных движений его схвата, в четвёртой — планировки модуля. Предлагаемые к выбору варианты в таблице размещены построчно, от схемы станка к планировке, которая и определяет компоновку модуля. Зная первое, второе и третье, легко найти последнее. В случае, когда приемлемой компоновки в таблице нет, или есть, но не вполне приемлемая, в САПР предусмотрена возможность возврата к блокам принятия предшествующих решений. При этом установлена система приоритетов. Вначале проверяется возможность изменения компоновки без замены оборудования. При отсутствии таковой последовательно проверяется возможность частичного изменения состава модуля, коррекции технического задания и, в крайнем случае, принципиального решения.

Предложенная система автоматизированного проектирования роботизированных модулей имеет объем 9000 Кб. Соответственно, затраты на её разработку составили около 180 тыс. руб.

Как показывают расчёты, только при проектировании одного модуля экономия от применения системы составляет 60 тыс. руб. Таким образом, затраты на разработку окупятся уже при проектировании трёх модулей. Особой статьей экономии будет также значительное снижение финансового риска при использовании системы, хотя его оценка требует специального изучения.

Библиографические ссылки

1. **Либерман Я.Л., Куликова Т.Ю.** Программа отбора кандидатов в группу проектирования гибких станочных модулей (Modul). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012618023 от 06.09.2012.

2. **Либерман Я.Л., Куликова Т.Ю.** Программа формирования рабочей группы для решения творческих задач (Gruppa). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012618016 от 06.09.2012.

3. **Филатова Е.С.** Соционика для всех. Наука общения, понимания и согласия / Е.С. Филатова. СПб.: Б & К, 1999. 276 с.

4. **Шпалинский В.В.** Социальная экономика менеджмента / В.В. Шпалинский. Харьков: ИВМО "ХК", 1998. С. 280—282.

5. **Либерман Я.Л., Куликова Т.Ю.** Программа поиска решения технических задач методом АРИЗ (Ariz). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012618017 от 06.09.2012.

6. **Козырев Ю.Г.** Использование промышленных роботов в механообработке: рекомендации / Ю.Г. Козырев, С.С. Аншин, В.Б. Великович. М.: ЭНИМС, 1976. 32 с.

6. **Либерман Я.Л.** Предпроектная подготовка разработки систем ЧПУ металорежущими станками / Я.Л. Либерман. Екатеринбург: Банк культурной информации, 2010. 96 с.

8. **Либерман Я.Л., Волкова Н.А.** Программа выбора двигателей и датчиков отсчёта перемещений для токарных станков с ЧПУ (Dvigatel). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010616163 от 17.09.2010.

9. **Либерман Я.Л., Зубарев К.С.** Автоматизированная система подбора промышленного робота к токарному станку по грузоподъёмности (Roboty). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010616162 от 17.09.2010.

10. **Шарин Ю.С.** Технологическое обеспечение станков с ЧПУ / Ю.С. Шарин. М.: Машиностроение, 1986. 176 с.

11. **Либерман Я.Л., Волкова Н.А.** Программа проверки правильности подбора деталей, обрабатываемых на токарных станках, по мощности и крутящему моменту приводов (Podbor detalei). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010616161 от 17.09.2010.

12. **Монахов Г.А.** Обработка металлов резанием. Справочник технолога / Г.А. Монахов, В.Ф. Жданович, Э.М. Радинский и др. М.: Машиностроение, 1974. 538 с.

13. **Кравченко Н.Ф.** Подающие и приёмные устройства для РТК / Н.Ф. Кравченко // Механизация и автоматизация производства, 1986. № 10. С. 20—23.

14. **Либерман Я.Л., Волкова Н.А.** Программа подбора транспортно-накопительного устройства для гибкого токарного модуля (Transport). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010616164 от 17.09.2010.

УДК 681.5.01

С.А. Норсеев, Д.В. Багаев, канд. техн. наук, доц.
(Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярёва)
norseev@gmail.com

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ В УСЛОВИЯХ НЕИЗВЕСТНОЙ ОБЛАСТИ

Рассмотрена методика многоагентного распределённого управления группой роботов в условиях неизвестной области. Приведено описание архитектуры приложения, разработанного для проверки эффективности предлагаемого алгоритма.

Ключевые слова: робототехника; групповое управление, многоагентная система.

The methodology of the multiagents distributed control of the robots group in the unknown area conditions is considered. The appendix architecture description developed for efficiency check of the offered algorithm is adduced.

Key words: robotics; group control, multiagents system.

Роботизация наземной техники в России и за рубежом осуществляется по двум основным направлениям:

создание унифицированных комплектов (модулей) аппаратуры дистанционного управления;

разработка перспективных робототехнических комплексов (РТК), в том числе с элементами группового управления.

В области развития базовых технологий и технических средств робототехники проводятся

работы, направленные на увеличение дальности действия, повышение автономности РТК, помехозащищённости каналов управления и связи, совершенствование систем технического зрения, решение проблем автоматического распознавания целей, анализа сцен и ситуаций, распознавания по принципу "свой—чужой", а также группового применения РТК, в том числе совместно с человеком-оператором.

Применение нового поколения роботизированной техники позволяет выявить основные тенденции её развития, главными из которых являются:

комплексное применение интеллектуальных технологий управления и обработки информации;

широкое применение роботов, в том числе с элементами группового управления, повышение их степени автономности;

В настоящее время наиболее перспективным направлением исследований является разработка эффективных алгоритмов группового управления. Работы в этом направлении ведутся во многих странах мира.

Известным примером является исследование Cognitive Colonies — проект, в котором роботы используются в разведывательных целях [1]. Данный проект финансируется Управлением перспективных исследований и разработок Министерства обороны США. В Европе при реализации многих проектов, например Martha и Coram [1], предпринимались попытки усовершенствовать способность роботов объезжать препятствия и не допускать столкновений друг с другом, а также к координации и адаптивности. Все эти (и многие другие аналогичные) проекты до сих пор находятся на исследовательском этапе, что означает отсутствие в настоящее время действующих образцов на стратегически важных территориях. Поэтому групповая робототехника, в большей степени, относится к перспективной, чем к реально существующей технологии. Но данное положение вещей может измениться в любой момент.

Многоагентные системы. Группу взаимодействующих РТК удобно рассматривать как многоагентную систему [2]. При этом каждый РТК представляет собой отдельного агента.

Многоагентная система — это система, состоящая из более чем одного агента (РТК), и в которой выполнение задач и осуществление деятельности всей многоагентной системы распределено между отдельными агентами. Характер процесса распределения задач варьируется от простого распределения объёма выполняемых работ или распределения получения информации датчиками, до более сложной работы, осуществляемой совместно или во взаимодействии друг с другом.

По своей архитектуре многоагентные системы разделяются на централизованные, в которых один агент управляет работой других агентов, и децентрализованные, в которых все агенты равноправны. По составу многоагентные системы делятся на однородные, состоящие из одинаковых агентов, и неоднородные, состоящие из агентов различных видов.

Обычно неоднородные многоагентные системы имеют централизованную архитектуру, а однородные системы — децентрализованную систему. Объясняется это тем, что функциональные возможности агента, осуществляющего управление другими агентами (назовём его лидером), отличаются от функциональных возможностей простых агентов.

Важно отметить, что сейчас активно ведутся исследования по разработке таких групп, в которых функционально лидер мало чем отличается от простого агента. Обычно это свойственно группам, построенным по принципам "роя" [3].

Постановка задачи исследования. Пусть дана некоторая ограниченная область S и группа из N агентов (под агентом подразумеваем РТК). На этой территории расположено K препятствий произвольного размера. Пусть $R = \{r_1, r_2, r_3, ..., r_N\}$ — множество агентов, а $P = \{p_1, p_2, p_3, ..., p_K\}$ — множество препятствий.

Обозначим через (x_i^r, y_i^r) координаты центра i-го агента. Так как агенты находятся в непрерывном движении, то положение агента является функцией времени:

$$(x_i^r, y_i^r) = f_i^r(t).$$

У каждого агента есть некоторая ограниченная область видимости V. Будем считать, что она представляет собой окружность радиусом R_v, центр которой совпадает с центром масс агента. Для i-го агента область видимости V_i можно записать в виде:

$$V_i = \{(x, y) \in$$

$$\in S: (\sqrt{(x - x_i^r)^2 + (y - y_i^r)^2} < R_v) | x_i^r, y_i^r \in S\}.$$

Так как положение агента является функцией времени, то область видимости так же есть функция времени:

$$V_i = f_i^V(t).$$

Очевидно, что: $V = V_1 \cup V_2 \cup V_3 \cup ... N_S \subseteq S$.

Однако существует область D:

$D = \{(x, y)\} \in S \backslash V\}$.

При этом $D \neq \varnothing$.

Область D называется "слепой", поэтому ни один агент её не "видит". Положение этой области также есть функция времени:

$D = f^D(t)$.

При этом:

$$D = f^D(t) = S \backslash (f_1^V(t) \cup f_2^V(t) \cup f_3^V(t) \cup \ldots \cup f_N^V(t)).$$

Получается, что положение и размер "слепой" области определяется функциями движения агентов, входящих в состав группы.

Введём также область D', которая остаётся "слепой" в течение длительного интервала времени:

$$D' = \{(x, y) \in f^D(t) | t = \overline{t_0, t_1}\},$$

где t_0 и t_1 — произвольные моменты времени отслеживания области D'.

Необходимо обеспечить такое движение агентов (найти функцию $f_i^r(t)$), при котором $D' = \varnothing$. При этом необходимо учитывать следующие обстоятельства:

количество агентов может быть различным;

возможны поломки отдельных агентов. Сломанный агент не движется и не контролирует область вокруг себя, если j — номер сломанного агента, то $V_j = \varnothing$;

на исследуемой области может находиться некоторый объект (назовём его "бонусом"), который должен быть найден роботами. Обозначим координаты "бонуса" (x_B, y_B). Характер и вид "бонуса" зависит от того, какая задача стоит перед многоагентной системой. Если задача многоагентной системы — охрана закрытого периметра, то "бонусом" может быть злоумышленник, проникнувший на охраняемый объект. При нахождении "бонуса" агент должен выполнить какое-либо предопределённое действие, например подать сигнал тревоги.

Движение отдельно взятого агента должно удовлетворять следующим требованиям:

возможность работы в неизвестной обстановке;

независимость от других агентов, агент не "знает" сколько ещё агентов исследует ту же область S, что и он;

избегание столкновений с препятствиями (если они есть);

избегание столкновений с другими агентами (если они есть);

обнаружение "бонуса" (если он есть).

Считаем, что i-й агент нашёл "бонус", если последний попал в область видимости робота и выполнено условие:

$$\sqrt{(x_B - x_i^r)^2 + (y_B - y_i^r)^2} < R_V.$$

Сформулируем основные требования, предъявляемые к разрабатываемому алгоритму:

применимость для произвольного количества агентов;

работа в условиях неизвестной обстановки;

возможность нахождения "бонуса" в исследуемой области;

взаимозаменяемость агентов. Логика работы всех агентов должна быть идентичной и максимально простой. Формально это означает эквивалентность функций положения роботов:

$$f_1^r(t) \sim f_2^r(t) \sim f_3^r(t) \sim \ldots \sim f_N^r(t).$$

Разбиение на зоны. Разобьём исходную область S на L прямоугольных областей. Обозначим через $s = \{s_1, s_2, s_3, \ldots, s_L\}$ множество таких зон. При этом должно выполняться два условия:

зоны должны полностью покрывать область S

$s_1 \cup s_2 \cup s_3 \cup \ldots \cup s_L = S$;

зоны не должны пересекаться друг с другом

$$\forall i, j = \overline{1, L} : (i \neq j \Rightarrow s_i \cap s_j = \varnothing).$$

Количество зон зависит от их размера и размера области S. Размер зон должен определяться радиусом области видимости робота, требуемой точности определения (чем меньше размер зон, тем точнее будет построена карта исследуемой местности), и возможностей отдельного агента по обработке и хранению информации о зонах. Обозначим размер i-й зоны $z_i^x \times z_i^y$. Тогда должно выполняться условие:

$$((z_i^x < R_V) \wedge (z_i^y < R_V)) \quad \forall i = \overline{1, L}. \qquad (1)$$

Введём для каждой зоны счётчик проверок c_i. Данное число показывает, сколько раз зона была проверена тем или иным агентом. Считаем, что агент проверил зону, если он достиг её центра. При этом счётчик проверок этой зоны увеличивается на единицу. Обозначим через (x_i^z, y_i^z) координаты центра i-й зоны.

Если робот не может достичь центра зоны из-за того, что ему мешает препятствие, то данную зону считаем "занятой" и больше не проверяем. Однако зона всё равно будет просматриваться роботами при осмотре соседних с ней зон. Это обеспечивается соблюдением условия 1. Все остальные зоны считаем свободными.

В зависимости от архитектуры системы информация о зонах может храниться либо центром управления (в случае централизованной архитектуры), либо каждый агент хранит свою копию информации о зонах (в случае децентрализованной архитектуры). При этом в децентрализованной архитектуре информация может отличаться у каждого агента.

Движение агента. В каждый момент времени агент стремится достигнуть центра очередной целевой зоны. Направление движения робота вычисляется по формуле:

$$\overrightarrow{r_i(t)} = (x_j^z - x_i^r;\, y_j^z - y_i^r) \;\; \forall i = \overline{1, N} \;\; \forall j = \overline{1, L}.$$

Если агент не может достигнуть центра зоны, то данная зона признаётся "занятой" и больше не проверяется.

После того как робот достиг центра очередной зоны он увеличивает на единицу счётчик проверок этой зоны и выбирает новую целевую зону.

При выборе новой целевой зоны агент просматривает все свободные зоны соседние с текущей и выбирает среди них зону с наименьшим значением счётчика проверок.

На рис. 1 представлена обобщённая схема предлагаемого алгоритма движения робота.

В зависимости от архитектуры системы агент может либо самостоятельно выбирать новую целевую зону (в случае децентрализованной архитектуры), либо обращаться к центру управления с соответствующим запросом.

Если система имеет децентрализованную архитектуру, то каждый агент при проверке очередной зоны должен оповещать других агентов о том, что он проверил данную зону. При этом другие агенты группы смогут обновить свою информацию о количестве проверок данной зоны.

Программная реализация метода. Описанный метод программно реализован на языке C++. В среде C++ Builder разработано графическое приложение, иллюстрирующее исследование неизвестной области группой агентов. Ниже перечислены основные возможности, предоставляемые разработанным приложением:

установка препятствий произвольного размера, количества и расположения;

установка "бонуса" в произвольном месте исследуемой роботами области;

имитация поломки произвольного агента;

имитация ремонта сломанного агента и немедленное его возвращение к другим агентам.

На рис. 2 представлена UML диаграмма классов приложения.

Более подробно опишем каждый из приведённых классов.

TMainForm — класс диалогового окна, который отвечает за взаимодействие с пользователем. Он осуществляет предварительную обработку команд, поступающих от пользователя и передает их другим классам приложения.

_Agent — класс агента. Для каждого агента хранится следующая информация: текущее положение агента (свойства *X* и *Y*), координаты центра целевой зоны (Target*X* и Target*Y*), признак поломки (IsBroken) и признак нахождения "бонуса" (FindBonus). На каждом шаге выполняется метод Step(). Именно в нём реализован алгоритм, представленный на рис. 1. Метод Draw() отвечает за отрисовку агента в соответствующем поле окна TMainForm. Метод Break() имитирует поломку агента, а метод Fix() — его ремонт.

_swarm — класс-контейнер для агентов _Agent. Класс _swarm хранит количество агентов

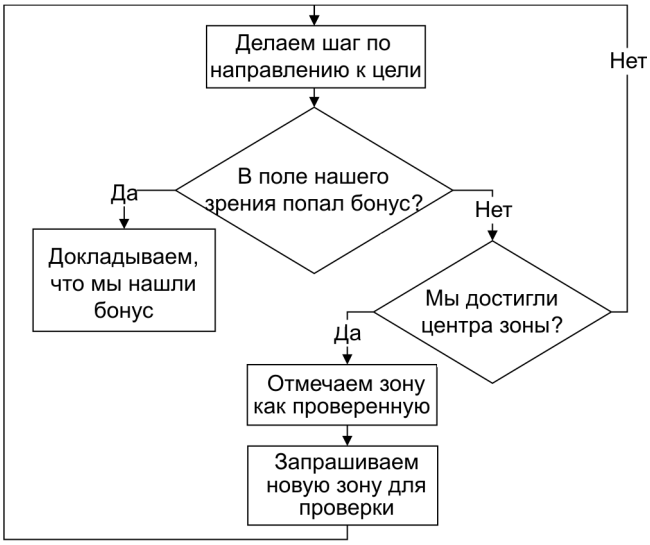


Рис. 1. Общая схема алгоритма движения агента

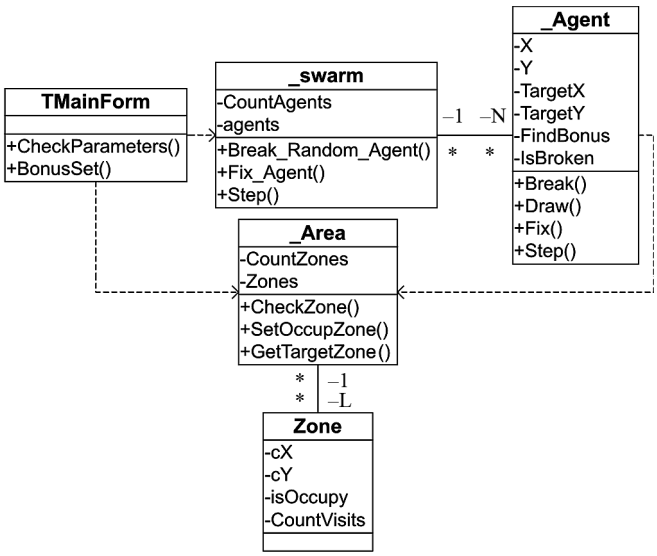


Рис. 2. UML-диаграмма классов приложения

(CountAgents) и массив агентов (agents). Методы класса _swarm представляют переходники к соответствующим методам класса _Agent. Метод Break_Random_Agent() случайным образом выбирает исправного агента и вызывает его метод Break(). Метод Fix_Agent() находит первого поломанного агента и вызывает его метод Fix(). Метод Step() последовательно для каждого агента вызывает одноименный метод Step() класса _Agent.

_Zone — структура, описывающая отдельную зону. Для неё хранится следующая информация: координаты центра зоны (*cX* и *cY*); признак свободна зона или нет (isOccupy); счётчик проверок зоны (CountVisits).

_Area — класс-контейнер, описывающий множество зон *s*. Он хранит количество зон (CountZones) и их множество (Zones). Метод CheckZone() ответственен за проверку зоны (увеличивает счётчик проверок соответствующей зоны). Метод SetOccupZone() делает зону "занятой". В дальнейшем эта зона проверяться не будет. Метод GetTargetZone() осуществляет поиск новой целевой зоны для агента.

Из описания программы следует, что в ней реализована неоднородная многоагентная система (агенты двух видов: агенты и центр управления, ответственный за работу с зонами) с централизованной архитектурой.

Программная реализация предлагаемого алгоритма подтвердила его применимость.

Вывод. Получены математические зависимости группового управления роботами в условиях неизвестной области, разработан алгоритм распределённого исследования неизвестной местности, с помощью группы мобильных роботов. Реализована программа, которая подтвердила работоспособность предлагаемого подхода.

Библиографические ссылки

1. URL: http://www.frc.ri.cmu.edu/projects/colony/index.shtml (дата обращения 01.03.2014 г.).

2. **Норсеев С.А., Багаев Д.В.** Архитектуры многоагентных систем // Сб. тр. Междунар. научн.-практ. конфер. "Современные технологии в системах управления и вооружения (посвящается 60-летию высшего образования в г. Коврове). Ковров: ФГБОУ ВПО "КГТА им. В.А. Дегтярёва", 2013. С. 81—86.

3. **Норсеев С.А., Багаев Д.В.** Обзор алгоритмов группового управления // Сб. Современные проблемы математики, механики, информатики. Сб. тезисов докладов междунар. школы-конф. "Тараповские чтения-2013" / Под ред. Н.Н. Кизиловой, Г.Н. Жолткевича. Харьков: Цифровая типография № 1, 2013. С. 134.

УДК 514.8

И.А. Евсеенко, канд. техн. наук, доц.
(Белорусско-Российский университет, г. Могилёв)
327igor@rambler.ru

МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ КОМПОНОВКИ ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Предложена модель структуры данных, позволяющая описывать трёхмерные модели механических объектов разной степени сложности. На её основе создано специализированное программное обеспечение. Разработан подход к описанию трёхмерного изображения элементов планетарных механизмов и их компоновки в системе автоматизированного проектирования. Для иллюстрации работы программного обеспечения описан тестовый набор механических объектов. Предложенный подход построения 3D-моделей сложных механизмов и созданное программное обеспечение может быть включено в состав САПР синтеза и оптимального выбора массогабаритных параметров силовых приводов на этапе функционального проектирования.

Ключевые слова: модель данных, трёхмерная модель, планетарный механизм, автоматизация компоновки.

The data structure model, allowing describing three-dimensional models of mechanical objects with different degree of complexity is offered. The specialized software on this base is created. Approach to the three-dimensional image description of the planetary mechanisms elements and their arranging in the automated design system is developed. For the software work illustration the test set of mechanical objects is described. The offered approach of 3D models creation for difficult mechanisms and the created software can be included in CAD structure for synthesis and optimum choice of mass-dimensional parameters for power drives at a stage of functional design.

Key words: model of data, three-dimensional model, planetary mechanism, arranging automation.

Введение. Проблема трёхмерного построения элементов гидромеханических трансмиссий и их компоновки по кинематическим и принципиальным схемам в автоматизированном режиме не решена. Особенно это касается гидромеханических трансмиссий с планетарными коробками передач [1, 2].

Реализация подсистемы трёхмерного отображения узлов и деталей планетарного механизма и их компоновки необходима для её дальнейшего применения в составе САПР для решения задач оптимизации массогабаритных параметров и синтеза планетарных коробок передач.

Модель представления данных для компоновки планетарных механизмов. У всех объектов системы, независимо от уровня сложности, общий базовый класс *Фигура* (*Shape*), поэтому работа как с простыми, так и с составными объектами, осуществляется по одинаковым правилам (рис. 1).

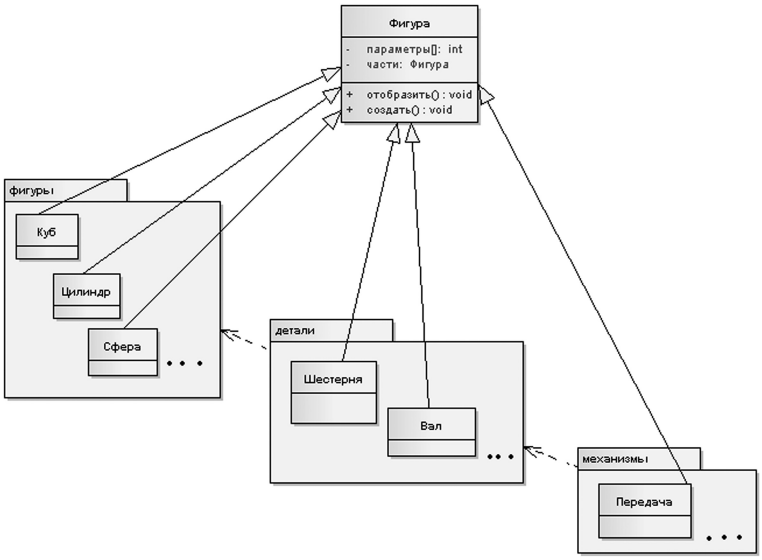


Рис. 1. Диаграмма классов модели данных для компоновки планетарных механизмов

Общий базовый класс *Фигура* для всех простых и составных элементов модели обладает следующими свойствами:

identifier — уникальный идентификатор фигуры;

xRot, *yRot*, *zRot* — текущие углы поворота объекта;

parts — массив составных частей, используемый для сложных фигур (состоящих из нескольких простых фигур);

dimensions — ассоциативная таблица размеров фигуры, состоящая из двух столбцов: ключ — наименование размера, значение — численное значение размера.

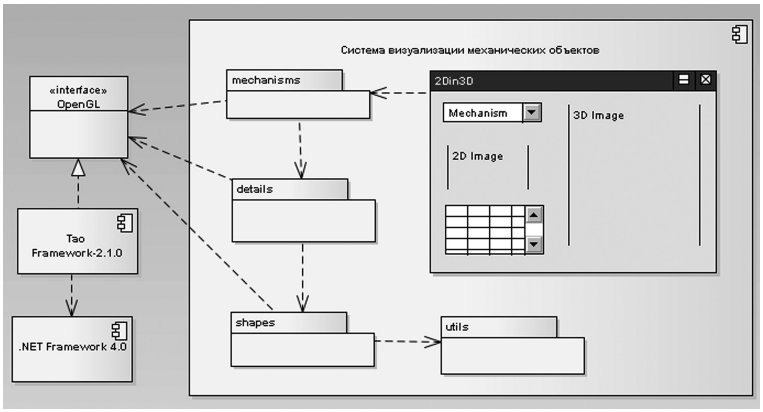


Рис. 2. Структура системы визуализации механических объектов

Система трёхмерного построения элементов планетарных механизмов реализована на языке программирования *C#* с использованием библиотеки *taoframework*-6.1.0 (реализация интерфейса *OpenGL*). Структура системы визуализации механических объектов представлена на рис. 2.

Система визуализации механических объектов функционирует как развивающаяся открытая система, в которой предусмотрено включение новых компонентов.

Для добавления нового компонента (фигуры, детали, механизма) необходимо:

создать класс-наследник от класса предка *Фигура* (*Shape*);

переопределить метод, хранящий имя создаваемой фигуры (класса) и двумерное условное изображение создаваемой фигуры с указанием размеров;

создать конструктор, который будет обеспечивать инициализацию массива составных частей *parts* и ассоциативных таблиц *dimensions* для каждой из частей (для простой фигуры массив *parts* будет состоять из одной части);

переопределить метод *buildSimpleFigure*, который будет обеспечивать формирование образа фигуры средствами *OpenGL* (он будет автоматически вызываться при необходимости перерисовать фигуру).

переопределить метод *paintGL*, в котором будет указано взаимное расположение частей образа фигуры (только для сложных фигур, состоящих более чем из одной части).

Результаты работы подсистемы визуализации. Для иллюстрации результатов работы подсистемы визуализации создан тестовый набор базовых элементов и составленных из них более сложных конструкций [1, 2]. Примеры некоторых их них приведены на рис. 3—6.

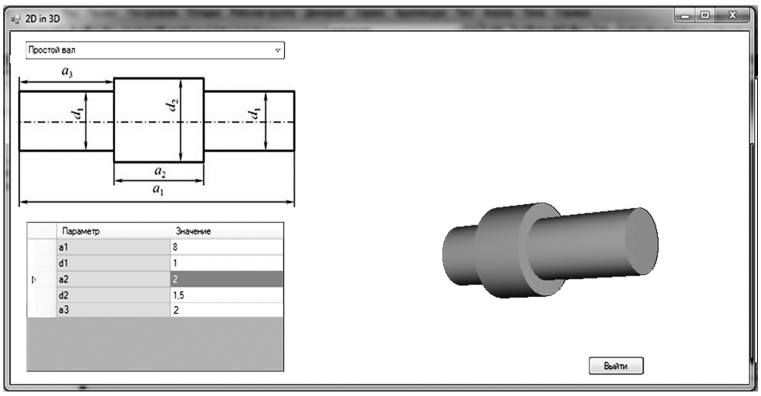


Рис. 3. Представление вала

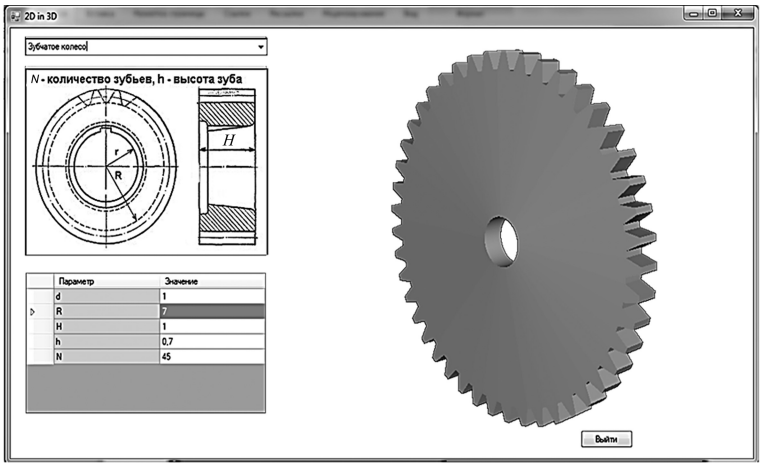


Рис. 4. Представление зубчатого колеса

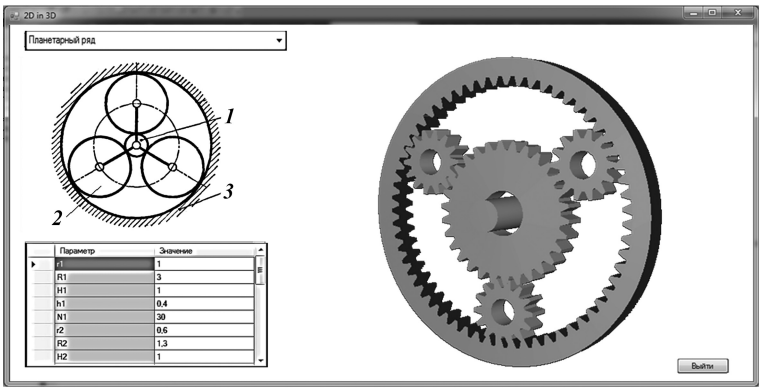


Рис. 5. Планетарная передача, построенная на базе простых элементов

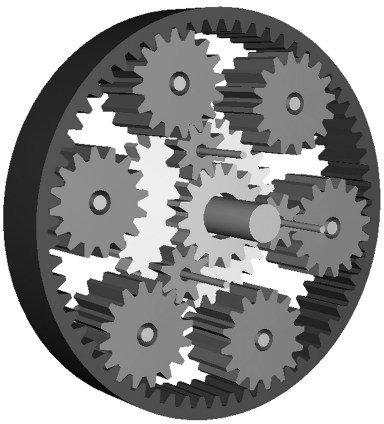


Рис. 6. Сложный планетарный механизм, построенный на базе простых элементов

Графический интерфейс подсистемы визуализации отображает механические объекты в псевдообъёмном виде с возможностью анимации и изменения масштаба. Пользователь может изменять параметры отдельных частей механизма, а также осматривать механизм с разных сторон, моделируя его вращение.

Заключение. Предложена модель представления структуры данных, позволяющая описывать трёхмерные модели механических объектов разной степени сложности. На её основе создано специализированное программное обеспечение.

Разработан подход к математическому описанию трёхмерного изображения элементов планетарных механизмов и их компоновки в системе автоматизированного проектирования.

Для иллюстрации работы подсистемы визуализации описан тестовый набор элементов планетарных механизмов.

Предложенный подход построения 3*D*-моделей сложных механизмов и созданное программное обеспечение может быть включено в состав САПР синтеза и оптимального выбора массогабаритных параметров силовых приводов на этапе функционального проектирования.

Создание специализированных САПР для анализа и синтеза планетарных коробок передач, приспособленных для отделов "САПР" и конструкторских отделов предприятий автомобильной промышленности, является перспективным направлением в связи с созданием и расширением номенклатуры производимой ими техники с планетарными коробками передач.

Библиографические ссылки

1. **Филичкин Н.В.** Анализ планетарных коробок передач транспортных и тяговых машин: учеб. пособие. Компьютерная версия, исправленная и дополненная. Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2008. 178 с.

2. **Шарипов В.М.** Планетарные коробки передач колесных и гусеничных машин / В.М. Шарипов, Л.Н. Крумбольт, А.П. Маринкин. Под общ. ред. В.М. Шарипова. М.: МГТУ "МАМИ", 2000. 142 с.

УДК 004.942

А.В. Писаренко, канд. техн. наук, доц., **К.Д. Кормильцев**
(Национальный технический университет Украины "КПИ", г. Киев, Республика Украина)
litek@i.ua

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ, МОДЕЛИРОВАНИЮ И ТЕСТИРОВАНИЮ УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Рассмотрена технология быстрого прототипирования и возможность её применения для ускорения процесса создания автоматизированных систем управления. Показаны различные методы применения технологии для оценки работоспособности разрабатываемой системы и их особенности.

Ключевые слова: быстрое прототипирование, автоматизированные системы управления, совместное моделирование, модель в системе, программа в системе, оборудование в системе.

The fast prototyping technology and its application possibility for creation process acceleration of automatic control systems is considered. Various methods of the technology application for an efficiency valuation of the developed system and their feature are shown.

Key words: fast prototyping, automatic control systems, combined modeling, the model in system, the program in system, the equipment in system.

Введение. Создание какого-либо нового продукта требует проведения тщательных предварительных исследований. В настоящее время потребность в новых технологиях задаёт темп и скорость разработки, что приводит к появлению различных методов, которые позволяют ускорить процесс разработки. К одному из таких методов относится технология быстрого прототипирования (Rapid Prototyping).

Технология быстрого прототипирования. Термин быстрого прототипирования (RP) относится к классу технологий, которые могут автоматически строить физические модели для систем автоматизированного проектирования (САПР).

Применение данной технологии для создания физических прототипов объектов способствует их последующему тестированию в конкретных условиях, связанных с дальнейшей эксплуатацией.

Быстрое прототипирование также называют производством твёрдых произвольных форм, компьютерным автоматизированным производством или многослойным производством. RP технологии применяются в качестве средств визуализации объектов, когда модели могут быть использованы, например, для тестирования аэродинамических свойств объекта в аэродинамической трубе. Причём RP методы могут также использоваться для создания инструментов (быстрые инструменты) и даже для производства качественных деталей (быстрое изготовление) [1].

Применительно к автоматизированным системам управления, быстрое прототипирование подразумевает создание моделей автоматической системы управления методом совместного моделирования (co-simulation). Эта методология моделирования позволяет отдельным компонентам быть смоделированными с использованием различных инструментов моделирования, работать одновременно и обмениваться информацией [2].

В роли информации, которой устройства обмениваются во время совместного моделирования, могут выступать такие параметры, как давление, расход, температура или параметры моделирования (время действия или сигналы управления).

Аппаратно-программное совместное моделирование позволяет выполнить проверку, насколько аппаратное и программное обеспечение корректно взаимодействуют друг с другом. Эта задача возникает после того, как аппаратный прототип реализован с использованием внутрисхемного эмулятора и других методов. Для программно-аппаратного проектирования на базе систем на чипе (SoC) проверка правильности функционирования должна проводиться до того, как система будет построена [3].

Связь между аппаратными и программными симуляторами нужно рассматривать как один из самых важных вопросов совместной эмуляции. Способ, которым различные симуляторы связаны между собой, влияет на производительность и точность результатов. В частности, при проектировании контроллеров в качестве моделей используются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), которые могут взаимодействовать с симулятором системы на пер-

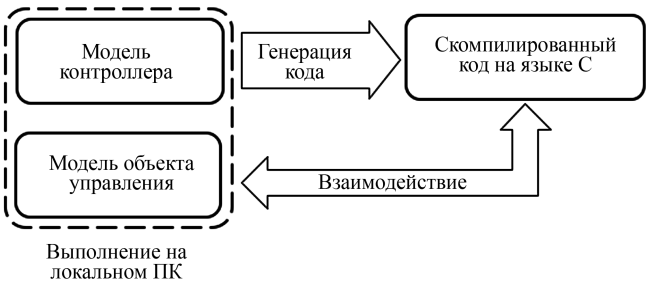
сональном компьютере либо встраиваться в саму систему. Этот выбор происходит на стадии тестирования работоспособности и зависит от критериев оценки.

Методы проверки работоспособности. Одним из основных этапов проектирования является проверка и подтверждение работоспособности. На данном этапе проверяется точность моделей и алгоритмов, выполняется генерация кода и проверка обеспечения аппаратно-программного взаимодействия.

Проверка работоспособности может осуществляться на различных уровнях: модель в системе MIL или model-in-the-loop, программа в системе SIL или software-in-the-loop и оборудование в системе HIL или hardware-in-the-loop.

MIL относится к виду испытаний, проводимых для проверки точности либо приемлемости модели или алгоритма управления. MIL представляет собой моделирование встроенных систем на ранней стадии разработки. Встроенные системы взаимодействуют с окружающей средой, и для проверки работоспособности необходимо наличие правдоподобных сигналов датчиков на входе. Корректность работы встроенной системы со средой проверяется имитацией внешних событий.

SIL относится к виду испытаний, проводимых для проверки поведения кода, используемого в контроллере. Этот код может быть автоматически сгенерирован из модели управляющего устройства, а программное обеспечение системы запущено с использованием имитированных входных значений для оценки работоспособности системы в подобных условиях (см. рисунок). Например, программное обеспечение, используемое для предоставления общей работы системы и операций на КПК, может быть реализовано с имитацией ввода данных (например, голоса, видео, изображения, текста), полученных из разных источников.



Проверка работоспособности на уровне SIL является экономически эффективной для оценки сложных, критически важных компонентов системы перед их использованием в реальной системе.

HIL-моделирование представляет собой метод, который используется при разработке и испытаниях комплекса встроенных систем в режиме реального времени и обеспечивает эффективную платформу для контроля влияния объекта на тестируемую платформу. Контролируемый объект включается в процесс разработки и тестирования в виде математической модели, описывающей его динамические процессы. В процессе тестирования встроенная система взаимодействует с данной математической моделью объекта. Например, тестирование электронного блока управления может быть проведено с использованием математической модели двигателя или отдельной подсистемы. Это позволяет обеспечить высокий уровень надёжности и качества при выполнении тестов на регулирование, безопасность и отказ представляемой модели. Данная методология обеспечивает предоставление эффективной связи объекта с моделью.

Заключение. В настоящее время тема совместного моделирования является пока малоизученной, но весьма перспективной. Уже существует множество различных технологий и методологий совместного моделирования. Одной из наиболее перспективных для создания управляющих устройств систем управления является программирование логических интегральных схем, использование которых в процессе разработки продукта позволяет избежать создания множества физических прототипов устройств и систем в целом, одновременно предоставляя инженерам возможность создавать виртуальные прототипы всей системы.

Библиографические ссылки

1. **Palm W**. Rapid Prototyping Primer / Penn State Learning Factory [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.me.psu.edu/lamancusa/rapidpro/primer/chapter2.htm (дата обращения: 30.03.2013).

2. **Cofer R.C., Harding B.F.** Rapid System Prototyping with FPGA // Elsevier, 2006, p. 191.

3. **Rowson J.A.** Hardware/Software Co-Simulation / Redwood Design Automation Inc. [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.cas.mcmaster.ca/~sancheg/EE_UCU2006_thesis/biblio/Hardware-Software %20Co-Simulation %20(27_3).pdf (дата обращения: 30.03.2013).

УДК 004.7

Г.С. Петриченко, канд. техн. наук, проф.
(Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар)
petry_gr@mail.ru

МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ЛОГИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ

Предложен метод диагностирования, где контролируется и отслеживается время отклика основных узлов в сети по приоритету на основе построения таблицы неисправностей по её структурно-функциональной модели. Рассмотренный метод применим для различных структурных построений объекта контроля и не накладывает каких-либо ограничений на исходные данные контролируемых устройств.

Ключевые слова: компьютерная сеть, диагностирование, таблица неисправностей, структурно-функциональная модель.

The diagnosing method where response time of the main nods in a network on is controlled and traced a priority on the basis of the malfunctions table construction on its structural-functional model is offered. The considered method is applicable for various structural constructions of the control object, and doesn't impose any restrictions on basic data of controlled devices.

Key words: computer network, diagnosis, malfunctions table, structural-functional model.

Эффективная работа компьютерной сети в значительной степени определяется специалистами, администраторами, обеспечивающими её бесперебойную работоспособность и высокую производительность, а также от тех методов, которые они будут использовать при диагностике.

Высокая производительность компьютерной сети и её надёжность обеспечиваются отсутствием дефектов и сбоев, как на аппаратном, так и на программном уровне.

Дефекты, которые возникают на аппаратном уровне, приводят к замедлению пропускной способности и выходу из строя коммутационных компонентов.

При возникновении дефектов в аппаратуре компьютерной сети, существенным является время, которое затрачивается на их поиск и возобновление работоспособности сетевой инфраструктуры.

Актуальной задачей в настоящее время является оптимальный поиск неисправностей в сегменте компьютерной сети.

В работе [1] описаны два метода поиска явных адресных неисправностей. В первом методе для определения приоритета по тестированию узла компьютерной сети используются статистическая информация, которая накапливается в базе данных администратора в процессе всего жизненного цикла компьютерной сети, а также статистические методы управления.

Применять данный метод, описанный в работе [1], возможно только на ограниченном наборе узлов компьютерной сети, так как с накоплением информации в базе данных администратора будет нагружаться и сама компьютерная сеть, что неэффективно для большого количества узлов.

Что касается второго метода тестирования по приоритету [1], то и здесь имеются недостатки, так как для вычисления приоритета узла используются накопленные статистические данные о работе сети при её длительной эксплуатации. Данный метод не будет работать, когда сеть вводится в эксплуатацию или произошла замена оборудования. Предложенный второй метод не применим в системах контроля, где используется принцип самоорганизации.

Если по вновь введённому оборудованию статистической информации нет, то не будет вычисляться и приоритет узла.

В отличие от предложенных методов [1] ниже предложен алгоритм, который устраняет указанные недостатки. Предлагается метод поиска дефектов в сети, основанный на анализе структуры тестируемого объекта (локальной сети) по структурно-функциональной модели [2].

Структурно-функциональный метод диагностирования сегментов компьютерной сети базируется на сочетании структур данных таблицы неисправностей, построение которой приведено в работе [2], и безусловного метода анализа (вектора

проверок), который формируется на основе тестовых воздействий на объект контроля (ОК).

Задача состоит в минимизации общего времени диагностирования компьютерной сети и назначении, по крайней мере, одного из множества узлов приоритетным (с наименьшим весовым коэффициентом W_i по таблице неисправностей) и определения низко приоритетных узлов (с наибольшим весовым коэффициентом W_i по таблице неисправностей). Посылку диагностического теста необходимо проводить более часто в каждый приоритетный узел, чем диагностирование низкоприоритетного узла.

Структурно-функциональный метод диагностирования сегментов компьютерной сети. Одним из важных параметров, который необходимо контролировать сетевыми системами управления, является доступность узла. Для сетевых администраторов необходимо знать, какие сетевые узлы доступны или к каким узлам снижается время доступа. Одновременно администратору желательно знать время отклика отдельных узлов.

Для определения состояния сетевого компонента предлагается использовать адресную посылку *ICMP* запросов и получение *ICMP* ответов.

Адресный узел задается явно в *ICMP* запросе <тестовое воздействие ↔ тестируемый узел>. В качестве тестовых воздействий используется пакет данных, в котором задаются адреса узла отправителя (источник тестового воздействия) и получателя (тестируемый узел).

Алгоритм диагностирования на основе структурно-функционального подхода состоит из четырёх этапов.

Этап 1. Строится функционально-диагностическая модель объекта, подлежащего диагностированию. Функциональная модель состоит из функциональных элементов (ФЭ), под которыми необходимо понимать отдельную рабочую станцию, коммутатор, сервер, находящиеся в одном из двух состояний: работоспособном (исправном) или неработоспособном (неисправном).

Этап 2. По функционально-диагностической модели объекта контроля строится таблица неисправностей (матрица состояний).

Этап 3. Вычисляются функции предпочтения, с которого начинается поиск неисправностей, и определяются элементы, подлежащие контролированию.

Этап 4. Строятся логическая функция и оптимальный алгоритм диагностирования компьютерной сети.

Структурно-функциональную модель компьютерной сети можно представить в виде множества $\{S, G, Y\}$, где S — количество узлов сети (тестируемых, промежуточных и конечных); G — количество связей между ними; Y — выходная реакция тестируемых узлов на адресный тест. Компьютерная сеть в своем составе имеет источник тестов: анализатор, сервер, диагностическое оборудование и т. д. Если источником тестов является сервер, то он будет генерировать входные тестовые воздействия, принимать и анализировать выходные реакции на тесты. Источник тестов в структурно-функциональной модели, можно обозначить как узел с единичным номером S_1. При диагностировании компонентов компьютерной сети базовый узел должен иметь доступ к каждому узлу структурно-функциональной модели. Достижимость обеспечивается адресуемостью каждого компонента компьютерной сети в *ICMP* запросе.

Реакция на *ICMP* запрос снимается с выходных контрольных точек Y_i.

Структурно-функциональная модель компьютерной сети в виде графа, как объект контроля, строится при следующих предположениях:

в каждом функциональном элементе модели известны реакции на тестовое воздействие *ICMP* запросов. При положительном ответе $Y_i = 1$ функциональный блок считается исправным;

функциональный элемент модели объекта считается неисправным, если при тестовом воздействии на его вход не получен ответ с его выхода ($Y_i = 0$).

Структурно-функциональная модель компьютерной сети изображается графической схемой, на которой каждый функциональный элемент обозначен окружностью с некоторым количеством входящих стрелок (входных тестовых воздействиях V_i) и одной выходящей стрелкой (реакцией на входное воздействие Y_i). Вершиной в графической схеме изображается сервер, с которого посылается тестовое воздействие на элементы компьютерной сети.

По структурно-функциональной модели компьютерной сети строится таблица неисправностей, представляющая собой квадратную матрицу, в которой количество строк равно количеству функциональных элементов модели, а количество столбцов — количеству выходных параметров (откликов на входное воздействие). Таблица заполняется на основании логического анализа функциональной модели ОК в предположении, что все выходные параметры функциональных

элементов контролируются сервером, т. е. имеется отклик на входное воздействие *ICMP* запросов. Правила заполнения таблицы приведены ниже.

Предполагают, что ОК находится в состоянии отказа i-го функционального элемента. Этому событию соответствует недопустимое значение выходного параметра на тестовое воздействие. На пересечении строки и столбца записывается символ "0". Кроме того, если при этом i-й функциональный элемент имеет также недопустимое значение выходного параметра, то на пересечении строки и столбца записывается символ "0". В противном случае символ "1".

На рис. 1 представлен фрагмент компьютерной сети, для которой построена структурно-функциональная модель.

На рис. 2 представлена структурно-функциональная модель фрагмента компьютерной сети, где под номером $S1$ изображён сервер (источник тестов), под номерами $S2$, $S3$, $S4$ — коммутаторы, $S5$ — концентратор, $S6$—$S13$ — рабочие станции компьютерной сети.

Таблица неисправностей (табл. 1) строится на основе функционального анализа структурно-функциональной модели фрагмента компьютерной сети (см. рис. 2).

Таблицу 1 можно представить как матрицу M_{ij}, где i — состояние объекта (S) контроля; j — отклик (Y) на тестовое воздействие *ICMP* запроса.

При построении таблицы неисправностей сегмента компьютерной сети предполагается, что дефект влияет на все трафики, проходящие через неисправный компонент, а взаимная компенсация дефектов в сети отсутствует.

Векторы проверок V представляют собой множество реакций тестируемых конечных узлов (хостов) диагностируемого сегмента компьютерной сети на подаваемое тестовое воздействие. Длина вектора проверок равна h контрольных точек, тестируемых в ходе диагностики сети.

Вектор проверок запишется в виде:

$$V = \{V_1, V_2, ..., V_i, ..., V_h\},$$

где $i = \overline{1, h}$; h — количество контрольных точек, включая и источник тестов; $V_i = 1 \rightarrow$ тест прошёл успешно; $V_i = 0 \rightarrow$ тест не прошёл.

Исходя из этого предположения, можно интерпретировать результат *ICMP* запроса для проверяемых узлов компьютерной сети: $V_i = 0$ — проверяемый узел неисправен, $V_i = 1$ — проверяемый узел исправен.

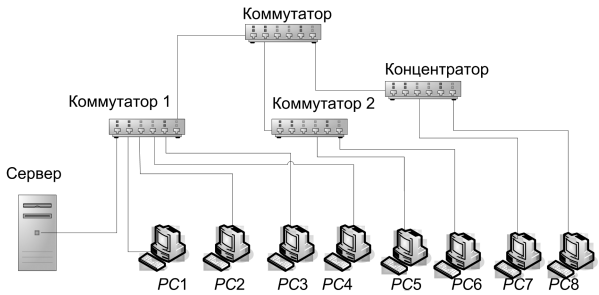


Рис. 1. Фрагмент компьютерной сети:
PC1—PC8 — рабочие станции компьютерной сети

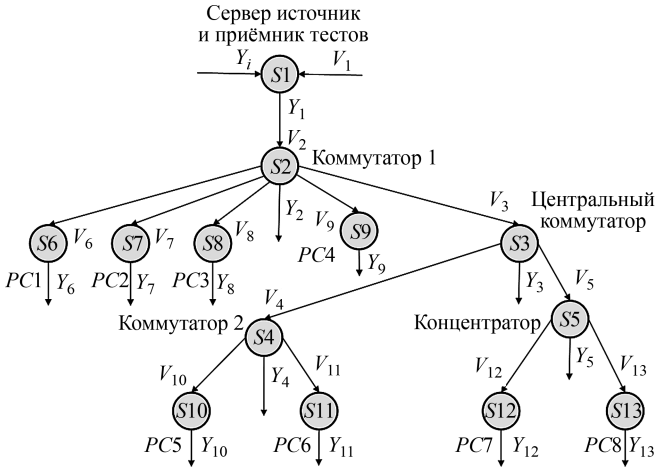


Рис. 2. Структурно-функциональная модель фрагмента компьютерной сети:
V_1—V_{12} — входное тестовое воздействие; Y_1—Y_{13} — реакция на входное тестовое воздействие

Таблица 1

Неисправности структурно-функциональной модели фрагмента компьютерной сети

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13
S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S3	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
S4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1
S5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0
S6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
S7	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
S8	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
S9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
S10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
S11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
S12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
S13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Вектор проверок можно представить как V_i, состоящий из вершин конечных узлов рассматриваемой сети. Для предложенной сети вектор — это множество тестовых воздействий $V_j = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7, V_8, V_9, V_{10}, V_{11}, V_{12}, V_{13}\}$.

Компьютерная сеть, как объект диагностирования, может быть представлена в индексированном графе, где каждая вершина, представляющая конечный узел сети, рассматривается как совокупность компонентов конечного узла, каждый из которых может быть носителем явной адресуемой неисправности. Рабочие станции могут включать следующие компоненты: сетевой адаптер, проводящую среду от рабочей станции к устройству коммутации, которое может включать проводящую среду от порта коммутатора к рабочей станции или тестирующему устройству (серверу).

Каждый из указанных компонентов будет рассматриваться при построении таблицы неисправностей и определении области подозреваемых неисправностей.

Построение функции предпочтения тестирования компьютерной сети. Структурно-функциональная модель компьютерной сети (см. рис. 2) и F_{ok} таблица неисправностей $T_н$ (см. табл. 1) устанавливают связь между множеством возможных состояний S компьютерной сети, множеством контролируемых параметров Y и множеством результатов контроля этих параметров R. Наличие такой информации о компьютерной сети позволяет разрабатывать программы поиска и локализации неисправностей т. е.

$$F_{ok} \Lambda T_н = <S, Y, R>, S = \{S_i\}, Y = \{Y_i\}, R = \{R_i\}.$$

Компьютерная сеть контролируется по выходным параметрам. Определим функцию предпочтения $W_i(Y_i)$ контроля выходного параметра

$$W_i(Y_i) = \min\ [\text{сумма "0"} — \text{сумма "1"}].$$

Функция предпочтения (табл. 2) строится как разность суммы "0" и суммы "1" по модулю два.

По минимальному значению $W_i(Y_i)$ определяют элемент, с которого надо начинать диагностирование компьютерной сети. Если имеется несколько одинаковых наименьших значений $W_i(Y_i)$, то выбирается любой элемент, имеющий это значение.

Построение логической функции и оптимального алгоритма диагностирования компьютерной сети. По таблице неисправностей (см. табл. 1) строится логическая функция. Исправное состояние компьютерной сети можно обозначить как состояние S_0. Логическая функция при исправном состоянии компьютерной сети принимает следующий вид:

Таблица 2

Построение функции предпочтения

	Y_i												
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}
$S1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$S2$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$S3$	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
$S4$	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1
$S5$	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0
$S6$	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
$S7$	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
$S8$	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
$S9$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
$S10$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
$S11$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
$S12$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
$S13$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Число состояний "0"	1	2	3	4	4	3	3	3	3	5	5	5	5
Число состояний "1"	12	11	10	9	9	10	10	10	10	8	8	8	8
Функция предпочтения W_i	11	9	7	5	5	7	7	7	7	3	3	3	3

$$S_0 = Y_1 \Lambda Y_2 \Lambda Y_3 \Lambda Y_4 \Lambda Y_5 \Lambda Y_6 \Lambda Y_7 \Lambda Y_8 \times$$
$$\times \Lambda Y_9 \Lambda Y_{10} \Lambda Y_{11} \Lambda Y_{12} \Lambda Y_{13} = 1.$$

Выходные сигналы всех узлов компьютерной сети соответствуют исправному состоянию.

При неисправном концентраторе (S_5) логическая функция имеет следующий вид: $S_5 = \overline{Y}_5 \Lambda \overline{Y}_{12} \Lambda \overline{Y}_{13}$. По таблице неисправностей (см. табл. 1) строятся логические функции для любого объекта контроля.

Предложенный метод поиска дефектов в компьютерной сети может применяться в различных топологиях.

Если компьютерная сеть имеет одиночную неисправность и построена по топологии шина,

то для нахождения неисправности можно применить формулу:

$$PN = \cap M_i^{V_j = 0},$$

где PN — множество предполагаемых неисправных элементов; M_i — строка таблицы неисправностей, характеризующая состояние объекта подвергающегося тестовому воздействию; V_j — отклик на вектор тестовых воздействий.

В компьютерной сети, если вектор отклика $V_j = \varnothing$, то неисправен сам тестовый компьютер.

При построении компьютерной сети по топологии типа звезда и в случае возникновения кратной неисправности используется формула:

$$PN = \cap M_i^{V_j = 0} \setminus M_i^{V_j = 1}.$$

Таким образом, структурно-функциональный метод поиска явных адресуемых неисправностей в сегменте компьютерной сети предприятия является одним из новых подходов к решению задачи определения области предполагаемых неисправностей явного адресуемого типа.

Данный метод опирается на свойство явной и промежуточной адресуемости сетевого компонента и использует адресный тест для определения состояния сетевого компонента как вид теста, обеспечивающий элементарную проверку с наиболее низкой ценой аппаратурных затрат. Предложенный метод имеет следующие преимущества:

возможность программной реализации алгоритма за счёт простоты метода;

предложенная методика поиска неисправностей применима для различных структурных построений ОК и не накладывает каких-либо ограничений на исходные данные контролируемых устройств;

проведение диагностического эксперимента по определению области подозреваемых неисправностей не требует больших временных затрат по сравнению с традиционными методами локализации явных адресуемых неисправностей.

Библиографические ссылки

1. **Jeffrey Richard Conrad, Anthony Paul Michael Walker.** Method and system for monitoring node response time // Patent. US 2002/0156878 A1, G06F 15/173, 24.10.2002.

2. **Петриченко Г.С., Крицкая Л.М., Срур М.Ю.** Методика поиска и устранения неисправностей в электронных блоках средств вычислительной техники // Научн.-техн. ведомости СПбГПУ. № 3 (126). 2011. С. 109—115.

ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

учебное пособие **Н.П. Алешин**

2013 г. Объем 576 с. Формат 60x88 1/16 Переплет ISBN 978-5-94275-695-6 Цена 1000 р.

Рассмотрены дефекты сварных соединений и физические методы неразрушающего контроля, основанные на использовании различных излучений и их взаимодействий с объектами контроля. Приведены классификации и рекомендации по выбору методов неразрушающего контроля. Изложены сведения по теории, оборудованию и технологиям методов дефектоскопии различных типов сварных соединений.

Для студентов, бакалавров, магистров, подготовка которых осуществляется в области сварочного производства, а также специалистов, проходящих сертификацию по EN 437.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru

Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 65.01

В.И. Мухин, д-р воен. наук., проф., **Е.А. Иноземцева**, канд. экон. наук, доц.,
Д.Г. Воронов, канд. экон. наук., доц.
(Московский государственный университет приборостроения и информатики)
dimokman@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ИДЕНТИФИКАЦИИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНОГО ПОДХОДА

Рассмотрен процесс принятия решений по идентификации инновационной деятельности. Данный процесс представлен на примере идентификации инновационной инфраструктуры в регионах Российской Федерации. При этом используется математическая модель на основе когнитивного подхода.

Ключевые слова: инновационная деятельность, инновационный процесс, инновационная инфраструктура, экспертные методы, метод анализа иерархий, попарное сравнение, когнитивный подход.

Decision-making process for the identification of innovation is considered. This process is illustrated by the example of the identification of innovative infrastructure in the regions of the Russian Federation. This mathematical model is used on basis of cognitive approach.

Key words: innovation, innovation process, innovation infrastructure, expert methods, analytic hierarchy, pairwise comparisons, the cognitive approach.

Эффективность инновационной деятельности в государстве зависит от адекватных и своевременно принятых управленческих решений, которые могут быть связаны с размещением, финансированием и мониторингом существующих, а также создаваемых элементов инновационной инфраструктуры в регионах Российской Федерации.

Как показала практика, наиболее рациональным методом принятия управленческих решений по идентификации инновационной деятельности в регионе являются экспертные методы. В свою очередь, основой для реализации экспертных методов может являться метод анализа иерархий (МАИ), на базе которого в настоящей статье предлагается математическая модель принятия решений, связанная с когнитивным подходом.

Когнитивный подход к процессу принятия решений заключается в том, что на основе когнитивного картирования создается "образ" исследуемой проблемы (ситуации), в котором отображаются непосредственные взаимовлияния между существенными факторами внешней и внутренней среды, влияющими на принятие решений по инновационной деятельности. "Образ" (когнитивная карта) проблемы (ситуации) позволяет структурировать, обобщать и формализовать знания экспертов о состоянии и развитии процессов, связанных с внутренней и внешней средой.

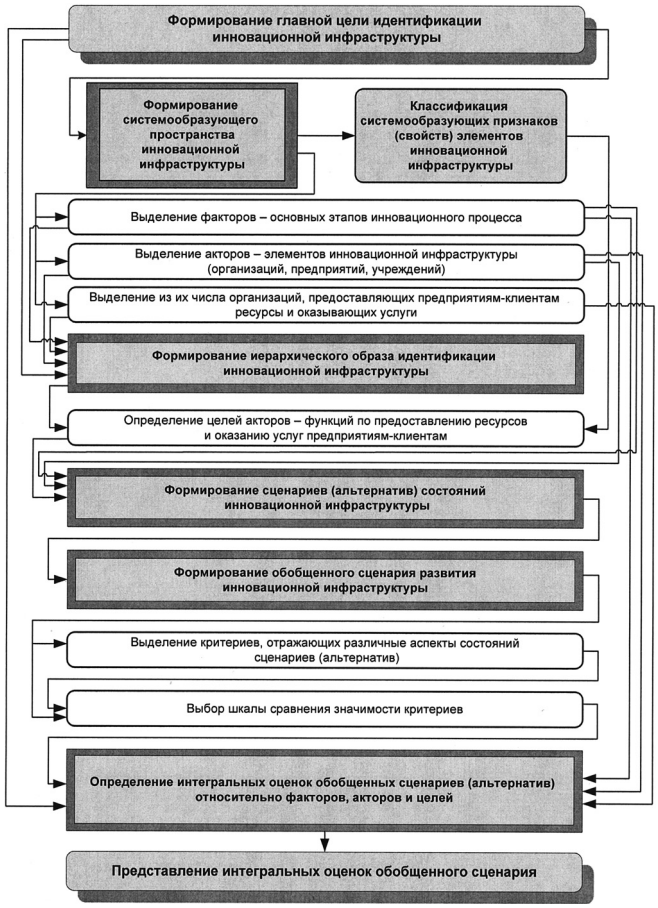


Рис. 1. Процесс принятия решений, связанных с идентификацией инновационной инфраструктуры

Процесс принятия управленческих решений по идентификации инновационной деятельности рассмотрим на примере идентификации инновационной инфраструктуры (рис. 1).

Можно выделить при этом следующую последовательность.

Этап 1. Осуществляется формулирование главной цели идентификации инновационной инфраструктуры. В системном подходе идентификация системы трактуется как её отличие от всех остальных подобных или допустимых к подобному сличению объектов. Под инновационной инфраструктурой понимается совокупность субъектов инновационной деятельности, способствующих осуществлению инновационной деятельности, включая предоставление услуг по созданию и реализации инновационной продукции [1]. Инновационная деятельность, в свою очередь, представляет собой процесс выполнения работ и (или) оказания услуг, направленных на: создание и организацию производства принципиально новой или с новыми потребительскими свойствами продукции (товаров, работ, услуг); создание и применение новых или модернизацию существующих способов (технологий) её производства, распространения и использования; применение структурных, финансово-экономических, кадровых, информационных и иных инноваций (нововведений) при выпуске и сбыте продукции (товаров, работ, услуг), обеспечивающих экономию затрат или создающих условия для такой экономии [1].

Следовательно, под идентификацией инновационной инфраструктуры будем понимать установление соответствия (различия) подобных инновационных инфраструктур региона (регионов) Российской Федерации обеспечивать наиболее благоприятные условия для стартового развития инновационных предприятий (идей, проектов) путём предоставления ресурсов и услуг для реализации результатов их интеллектуальной деятельности. Главной целью идентификации инновационной инфраструктуры региона (регионов) является количественное (или качественное) установление этого соответствия (или различия).

Этап 2. Производится выделение системообразующего пространства и системообразующих признаков инновационной инфраструктуры. Под системообразующим пространством инновационной инфраструктуры будем понимать "достаточно обширную и насыщенную сферу" производственно-технологических фирм (организаций), предоставляющих ресурсы (оказывающих услуги) инновационным предприятиям, "для каждой из которых имеются принципиальные возможности идентификации" [2]. К системообразующим признакам инновационной инфраструктуры будем относить цели, функции, процессы, ресурсы, услуги фирм (организаций), которые обеспечивают конечные и промежуточные состояния инновационных предприятий в ходе внедрения результатов их интеллектуальной деятельности.

Этап 3. Формируется сама когнитивная карта — иерархический образ идентификации инновационной инфраструктуры, представленный на рис. 2.

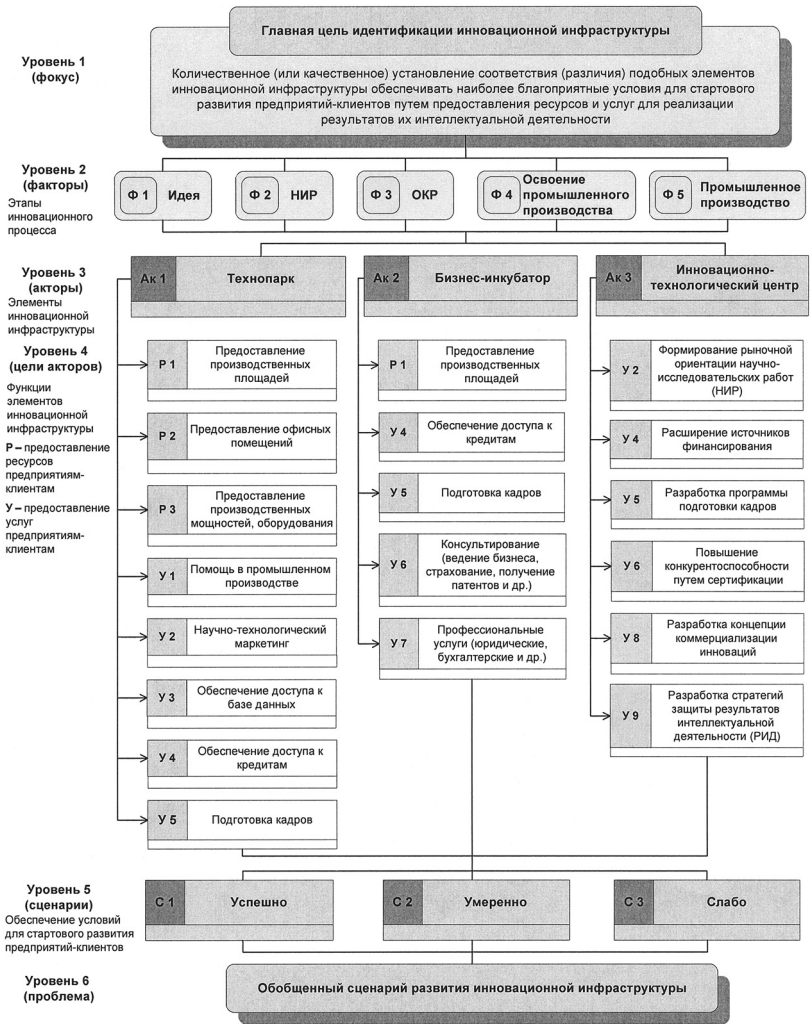


Рис. 2. Иерархический образ идентификации инновационной инфраструктуры (когнитивная карта)

Иерархия строится с вершины — это главная цель или фокус проблемы идентификации инновационной инфраструктуры. За фокусом следует уровень инновационных процессов. Второй уровень — уровень факторов (Ф), которые представляют собой воздействия (мероприятия, процессы, действия), оказывающие положительное влияние на успешное достижение главной цели идентификации инновационной инфраструктуры. Предлагается в качестве факторов использовать основные этапы инновационного процесса: идею, НИР, ОКР, освоение промышленного производства, а также промышленное производство инновационной продукции (услуг). Третий уровень — уровень акторов (Ак) — производственно-технологических предприятий (организаций, учреждений). Акторы представляют собой те действующие силы, которые обеспечивают реализацию факторов — основных этапов инновационного процесса. Четвёртый уровень — это уровень целей акторов, которые они преследуют в ходе выработки, принятия и выполнения принятых решений, связанных с деятельностью акторов. Этими целями являются функции по предоставлению ресурсов и оказанию услуг субъектам инновационной деятельности. Пятый уровень — уровень сценариев, представляющих собой альтернативные суждения или возможные варианты принимаемого развития событий. В данном случае сценариями будут являться соответствие (различие) подобных инновационных инфраструктур региона (различных регионов) обеспечивать наиболее благоприятные условия для стартового развития инновационных предприятий (идей, проектов) путём предоставления ресурсов и услуг для реализации результатов их интеллектуальной деятельности. Завершающий шестой уровень — уровень проблемы, который представляет собой формирование обобщённого сценария. При этом осуществляется определение интегральных оценок обобщённых направлений обеспечения указанных благоприятных условий.

Формально когнитивная карта — это взвешенный ориентированный граф, $G = (I, W)$, в котором I — множество вершин (объектов), взаимно однозначно соответствующих множеству базисных факторов проблемы (ситуации), а W — множество дуг, отражающих факт непосредственного влияния факторов.

Математическая иерархия и ее свойства могут быть описаны следующим образом: на множестве объектов $\{I = 1, 2, ..., N\}$ определяется иерархическая структура путём задания орграфа $G = (I, W)$, $W \subset I \times I$, при этом:

а) орграф разбивает вершины на непересекающиеся уровни:

$$I = \bigcup_i V_i;\ i = 1, \overline{m};\ \forall (i \neq j) V_i \cap V_j = \varnothing, \qquad (1)$$

где V_i — множество объектов, расположенных на i-м уровне; V_j — множество объектов, расположенных на j-м уровне; m — количество уровней;

б) $(ij) \in W$ означает, что веса объектов Z_i, расположенных на i-м уровне, непосредственно зависят от весов Z_j объектов, расположенных на j-м уровне;

в) если (ij) — дуга графа G, т. е. $(ij) \in W$, то объекты i и j находятся на смежных уровнях, т. е. найдется такое k, что:

$$i \in V_{k+1}, j \in V_k, \qquad (2)$$

где $k = 1, \overline{m}$ — множество уровней;

г) веса W_i объекта $i \in V_{k+1}$ определяются через веса W_j вершин множества $L_i = \{j | (ij) \in W\} \subseteq V_k$, в которые ведут дуги из вершины i с помощью феноменологически вводимой зависимости:

$$W_i = \sum_{j \in L_i} w_{ij} Z_j,\ i \in I \backslash V_1, \qquad (3)$$

где w_{ij} — веса (ij); $\backslash$ — операция разности множеств.

Алгоритм определения весов $(w_{i,j})$ дуг и Z_j объектов осуществляется путем построения квадратичных матриц и дальнейшей обработки последовательности суждений лица, принимающего решение (ЛПР), или эксперта.

Этап 4. Заполнение квадратичных матриц попарных сравнений, которое осуществляется по следующему правилу (табл. 1).

Матрицы попарных сравнений обладают свойством обратной симметрии, т. е.:

$$a_{ij} = 1/a_{ji}, \qquad (4)$$

где $a_{ij} = \varphi_i/\varphi_j$; φ_i, φ_j — экспертные оценки элементов A_1 и A_2; индексы i и j относятся к строке и столбцу соответственно.

Таблица 1

Матрица попарных сравнений

$(A) =$

	A_1	A_2	...	A_n
A_1	φ_1/φ_1	φ_1/φ_2	...	φ_1/φ_n
A_2	φ_2/φ_1	φ_2/φ_2	...	φ_2/φ_n
...	...	...	...	
A_n	φ_n/φ_1	φ_n/φ_2	...	φ_n/φ_n

Таблица 2

Синтез собственных векторов приоритетов

Матрица попарных сравнений					1. Вычислите оценки компонент собственного вектора по строкам	2. Сложите элементы столбца	3. Нормализуйте результат для получения оценки вектора приоритетов
	A_1	A_2	A_3	A_4			
A_1	$\frac{\varphi_1}{\varphi_1}$	$\frac{\varphi_1}{\varphi_2}$	$\frac{\varphi_1}{\varphi_3}$	$\frac{\varphi_1}{\varphi_4}$	$\rightarrow \sqrt[4]{\frac{\varphi_1}{\varphi_1}\frac{\varphi_1}{\varphi_2}\frac{\varphi_1}{\varphi_3}\frac{\varphi_1}{\varphi_4}} = a$	$a + b + c + d =$ = сумма	$\frac{a}{\text{сумма}} = \omega_1$
A_2	$\frac{\varphi_2}{\varphi_1}$	$\frac{\varphi_2}{\varphi_2}$	$\frac{\varphi_2}{\varphi_3}$	$\frac{\varphi_2}{\varphi_4}$	$\rightarrow \sqrt[4]{\frac{\varphi_2}{\varphi_1}\frac{\varphi_2}{\varphi_2}\frac{\varphi_2}{\varphi_3}\frac{\varphi_2}{\varphi_4}} = b$		$\frac{b}{\text{сумма}} = \omega_2$
A_3	$\frac{\varphi_3}{\varphi_1}$	$\frac{\varphi_3}{\varphi_2}$	$\frac{\varphi_3}{\varphi_3}$	$\frac{\varphi_3}{\varphi_4}$	$\rightarrow \sqrt[4]{\frac{\varphi_3}{\varphi_1}\frac{\varphi_3}{\varphi_2}\frac{\varphi_3}{\varphi_3}\frac{\varphi_3}{\varphi_4}} = c$		$\frac{c}{\text{сумма}} = \omega_3$
A_4	$\frac{\varphi_4}{\varphi_1}$	$\frac{\varphi_4}{\varphi_2}$	$\frac{\varphi_4}{\varphi_3}$	$\frac{\varphi_4}{\varphi_4}$	$\rightarrow \sqrt[4]{\frac{\varphi_4}{\varphi_1}\frac{\varphi_4}{\varphi_2}\frac{\varphi_4}{\varphi_3}\frac{\varphi_4}{\varphi_4}} = d$		$\frac{d}{\text{сумма}} = \omega_4$

Относительное влияние (силу, величину, ценность) множества элементов нижнего уровня иерархии на элементы верхнего уровня осуществляется путем вычисления компонент собственного вектора по строкам.

Этап 5. Осуществляется синтез собственных векторов приоритетов (представлен в табл. 2).

Целью синтеза собственных векторов приоритетов является нахождение относительной силы, величины, ценности, желательности или вероятности каждого отдельного объекта через "решение" матриц, каждая из которых обладает обратносимметричными свойствами.

Синтез глобальных приоритетов осуществляется в соответствии с решающим правилом:

$$W_i = \Sigma w_{ij} Z_j,\ i = \in I \backslash V_1,\ i \in V_2,\ ...,\ i \in V_m. \quad (5)$$

Результаты попарных сравнений отражают не только факт, но и степень (силу, интенсивность и т. п.) превосходства. При этом используется шкала относительной важности (см. табл. 3).

Её выбор зависит от следующих требований:

шкала должна давать возможность улавливать различие в ощущениях людей, когда они проводят сравнение;

диапазон измеряемой интенсивности шкалы должен соответствовать результатам когнитивной психологии.

Свойство гомогенности (однородности), присущее табл. 3, соответствует способности людей сравнивать объекты не слишком сильно отличающиеся друг от друга, что существенно важно для сравнения объектов одного порядка, так как человеческий разум склонен к допущению больших ошибок при сравнении несопоставимых элементов. При большой несопоставимости объекты располагаются на других уровнях. Чётное значение суждения — это промежуточные решения между двумя сравниваемыми объектами.

При выявлении системы предпочтений может наблюдаться противоречивость в высказываниях эксперта (лица, принимающего решение).

Одним из важных способов обнаружить противоречивость является проверка на согласованность [3].

Мера согласованности может быть выражена с помощью индекса согласованности (ИС):

$$\text{ИС} = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)}, \quad (6)$$

где $\lambda_{\max}$ — максимальное собственное значение матрицы; n — число сравниваемых элементов матрицы.

Индекс согласованности (ИС) даёт информацию о степени нарушения численной (кардинальной, $a_{ij}a_{jk} = a_{ik}$) и транзитивной (порядковой) согласованности.

ИС матрицы парных сравнений, элементы которой сгенерированы случайным образом, называется случайным индексом (СИ). Ниже представлена таблица соответствия порядка и среднего значения СИ, определённая на базе 100 случайных выборов (табл. 4) [4].

Таблица 3

Шкала относительной важности

Определение	Интенсивность относительной важности
Равная важность	1
Умеренное превосходство одного над другим	3
Существенное или сильное превосходство	5
Значительное превосходство	7
Очень сильное превосходство	9
Промежуточные решения между двумя соседними суждениями	2, 4, 6, 8

Таблица 4

Соответствие порядка матрицы и среднего значения случайного индекса

Порядок матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайный индекс (СИ)	0,00	0,00	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Отношение ИС к среднему СИ для матрицы того же порядка называется отношением согласованности (ОС)

$$ОС = \frac{ИС}{СИ}. \quad (7)$$

Величина ОС должна быть порядка 10 % или менее, чтобы быть приемлемой. В некоторых случаях можно допустить 20 %. Если ОС выходит из этих пределов, то экспертам (ЛПР) необходимо продолжить исследовать задачу и проверить свои суждения.

Этап 6. Осуществляется выбор сценариев (альтернатив) — направлений обеспечения наиболее благоприятных условий для стартового развития инновационных предприятий (идей, проектов) и построение матриц попарных сравнений сценариев относительно критериев ресурсов и услуг.

Предполагается, что сценарии будут различаться различной интенсивностью:

C_1 — успешно (интенсивно) обеспечивает наиболее благоприятные условия для стартового развития инновационных предприятий;

C_2 — умеренно обеспечивает благоприятные условия для стартового развития инновационных предприятий;

C_3 — слабо обеспечивает благоприятные условия для стартового развития инновационных предприятий.

Построение матриц попарных сравнений сценариев осуществляется относительно каждого критерия ресурсов и каждого критерия услуг.

Этап 7. Осуществляется определение интегральных оценок обобщенных направлений обеспечения наиболее благоприятных условий для стартового развития инновационных предприятий путем предоставления ресурсов и услуг для реализации результатов их интеллектуальной деятельности.

Для определения этих интегральных оценок строится обобщённый сценарий.

Алгоритм построения обобщённого сценария включает несколько стадий:

1. Выделение критериев оценки последствий переменных состояний реализации сценариев.

К данным критериям относят переменные состояния сценариев, описываемые количественными и качественными характеристиками, которые влияют на процесс реализации идеи нового товара (новации). Каждый сценарий в отдельности и обобщенный сценарий могут быть количественно охарактеризованы по множеству критериев, которые отражают различные аспекты сценариев.

Переменные критерии, влияние которых является важным при исследовании реализации выбранных сценариев, можно разделить на две группы.

Первая группа критериев связана с изменением структурных критериев, т. е. с наличием:

бизнес-инкубатора;

информационного центра;

лабораторного и опытно-производственного центра;

учебного центра.

Вторая группа критериев связана с изменением функциональных критериев, т. е. с наличием:

собственных и привлекаемых средств для реализации инновационного проекта;

готовности разработки к практическому применению;

эффективной системы оплаты и стимулирования труда, рациональных форм мотивации персонала;

высококвалифицированной команды менеджеров.

2. Выбор шкалы сравнения значимости критериев. Наиболее предпочтительной шкалой сравнения значимости критериев сценариев является шкала разностей для сравнения (табл. 5) [5].

При расчёте значения переменной следует ответить на два вопроса:

в каком направлении в будущем произойдет изменение (увеличится, уменьшится или останется неизменным) i-го критерия при реализации рассматриваемого j-го сценария?

какова интенсивность изменений i-го показателя (критерия)?

Таблица 5

Шкала разностей для сравнений значимости критериев

Разность в значениях критериев	Определение
0	Значение критерия не изменяется
2 (–2)	Небольшое увеличение (уменьшение) значения
4 (–4)	Большое увеличение (уменьшение) значения
6 (–6)	Значительное увеличение (уменьшение) значения
8 (–8)	Максимальное увеличение (уменьшение) значения
1, 3, 5, 7 (–1, –3, –5, –7)	Промежуточные значения между двумя смежными суждениями

Таблица 6

Матрица оценки сценариев

Критерий (K_i)	Вес критерия (P_i)	Значение w_j вектора приоритетов					
		w_1	w_2	...	w_j	...	w_n
K_1	P_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}	...	a_{1n}
K_2	P_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}	...	a_{2n}
...	...	...	...	...	...	...	...
K_i	P_i	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{ij}	...	a_{jn}
...	...	...	...	...	...	...	...
K_m	P_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mj}	...	a_{mn}

3. Определение интегральных обобщённых сценариев относительно фокуса иерархии $\text{ОИ}_{ij}^{\text{ф}}$ *и относительно конкретного фактора* $\text{ОИ}_{ij}^{\text{фк}}$.

Для определения интегральных обобщённых сценариев относительно фокуса и факторов строится матрица оценки сценариев, представленная в табл. 6 [6].

В матрице приняты следующие обозначения:

K_i ($i = \overline{1, m}$) — критерии для оценки сценариев; P_i ($i = \overline{1, m}$) — весовые коэффициенты критериев; w_j ($j = \overline{1, n}$) — значения векторов приоритетов вероятных (логических) сценариев относительно фокуса иерархии или отдельно взятого фактора.

Обобщённые веса A по каждому критерию определяются следующим образом:

$$A_{ij} = \sum_{j=1}^{n} P_i a_{ij} w_j. \quad (8)$$

Интегральные оценки обобщённого сценария относительно фокуса (верхний индекс "ф") или самостоятельный актор (верхний индекс "ак") определяются по выражениям:

$$\text{ОИ}_{ij}^{\text{ф}} = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} P_i a_{ij} w_j^{\text{ф}}; \quad (9)$$

$$\text{ОИ}_{ij}^{\text{ак}} = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} P_i a_{ij} w_j^{\text{ак}}. \quad (10)$$

Следует отметить, что при построении иерархии сначала необходимо осуществить прямой процесс планирования, а затем перейти к обратному процессу планирования. При прямом процессе планирования рассматриваются релевантные факторы и цели, которые приводят к осмысленным заключениям и сценариям (альтернативам). Обратный процесс начинается с желаемых сценариев, а затем исследуются факторы, посредством которых можно реализовать эти сценарии [4]. Переход к обратному процессу осуществляется вследствие того, что в обобщённом сценарии пересекаются противоречивые интересы акторов. Поэтому некоторые акторы начинают работать в направлении изучения полученных исходов (сценариев) в сторону желаемых. Для этого ведётся работа по изменению и/или добавлению новых целей. Обобщённая стратегия отражает некоторый компромиссный для сценариев (альтернатив) вариант.

Проведённый анализ когнитивного подхода к процессу принятия решений по инновационной деятельности позволяет сделать следующие выводы:

1) формирование задач принятия решений по инновационной деятельности необходимо осуществлять в виде когнитивной карты (иерархического образа);

2) иерархичность принятия решений требует учета влияния элементов нижнего уровня на расположенные элементы верхнего уровня;

3) формирование иерархического образа вариантов решения по инновационной деятельности является продуктом сознательных и бессознательных (полусознательных) психических процессов памяти.

Библиографические ссылки

1. **Основные** направления политики Российской Федерации в области развития инновационной системы на период до 2010 г. Утверждено председателем Правительства Российской Федерации М. Фрадковым № 2473п-П7 от 05.08.2005 г. URL: http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=91912 (дата обращения: 14.06.2014).

2. **Клейнер Г.Б.** Эволюция институциональных систем. М.: Наука, 2004. 240 с.

3. **Мухин В.И.** Развитие методологических основ и практических аспектов моделирования и оценки результатов инновационной деятельности предприятия на основе когнитивного подхода. Монография. М.: НИБ, 2006. 124 с.

4. **Саати Т., Кернс К.** Аналитическое планирование. Организация систем. Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.

5. **Саати Т.** Принятие решений: метод анализа иерархий. Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1989. 315 с.

6. **Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н.** Анализ, синтез, планирование решений в экономике. М.: Финансы и статистика. 2001. 368 с.

УДК 519.87

Ю.С. Сербулов, д-р техн. наук, проф., **Д.А. Глухов,** канд. техн. наук, доц.
(Воронежская государственная лесотехническая академия),
Д.В. Сысоев, канд. техн. наук, доц.
(Воронежский государственный архитектурно-строительный университет)
gluhovda@yandex.ru

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ РЕСУРСНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОНКУРИРУЮЩИХ СИСТЕМ В РЫНОЧНЫХ ОТНОШЕНИЯХ

Представлены математическая модель и алгоритм оценки состояния и прогнозирования взаимодействия производственно-экономических систем в условиях конкуренции, позволяющие по состоянию рынка определять режим и необходимые воздействия на конкурента.

Ключевые слова: математическая модель, конкурирующие системы, взаимодействие, рыночные отношения.

The mathematical model and valuation algorithm of a state and the interaction forecasting of production and economic systems in the competition conditions are presented, allowing to determine a mode and necessary impacts on the competitor accordance with the market condition.

Key words: the mathematical model, competing systems, interaction, the market relations.

Введение. Сложность рыночных систем и трудности, связанные с их моделированием, неоднократно отмечались в работах [1, 2]. Основной трудностью при построении математической модели оценки состояния и прогнозирования развития ресурсного взаимодействия рыночных систем в условиях конкуренции является огромное количество факторов, которые априорно необходимо принимать во внимание [3]. Однако если модель будет содержать слишком много параметров, то она окажется практически неприемлемой. С другой стороны, ограничение количества параметров может сделать описание процесса менее точным. Тем не менее, выделение основных факторов представляется неизбежным. Практика должна показать, насколько удачно выбраны основные постулаты. Ниже проведена математическая формализация основных аспектов проведения соответствующих мероприятий, направленных на ингибирование развития конкурирующей системы.

Основные предположения. Наиболее вероятным механизмом нарушения течения процесса в рыночной системе является торможение функционирования системы A_1, вызванное системой A_2 на определённом этапе их совместного развития [4]. Если оставить этот процесс со стороны системы A_1 без вмешательства, то он вызовет в системе острый дефицит ресурсов и неизбежно приведёт систему A_1 к стагнации. Введём предположения.

Предположение 1. Подавление функционирования системы A_1 обратимо, т. е. если потенциал конкурирующей системы A_2 уменьшится ниже некоторого критического значения $x_{кр}$, то развитие системы A_1 восстанавливается.

Среди экономистов распространено мнение, что следует осуществлять как можно более глубокое подавление конкурирующей системы. Однако, такое вмешательство в течение процесса не всегда является оптимальным. Качество рыночного ресурсного потенциала определяется состоянием системы A_1, которая, будучи подавлена конкурентом, подвергается ещё и другим воздействиям внешней среды, обладающей весьма ограниченной избирательностью (например, со стороны государства).

Предположение 2. Для нормального развития системы A_1 необходим некоторый минимальный потенциал $y_{кр}$.

При снижении потенциала ниже этого порога система A_1 с течением времени начинает стагнировать. Таким образом, цель вмешательства — это не подавление конкурирующей системы A_2, а поддержание системы A_1.

Будем различать два этапа воздействия на ресурсный процесс: при $x > x_{кр}$ назовём интенсивным воздействием (ИВ), при $x \leqslant x_{кр}$ — поддерживающим (ПВ). Для определённости предположим, что ПВ начинается при $x = x_{кр}$. Введём различие ПВ: ПВ в течение всей продолжительности ресурсного взаимодействия с конкурентом будем называть непрерывным ПВ (НПВ), а ПВ, при котором длительность ресурсного взаимодействия становится больше, чем без воздействия, но ограниченной ввиду неизбежного "летального" исхода системы A_2, ограниченным ПВ (ОПВ).

Свободное развитие систем A_2, как и ранее, предполагается экспоненциальным $x(t) = x_0e^{\alpha t}$. Восстановление потенциала системы A_1 при условии $x(t) \leqslant x_{кр}$ также предполагается экспоненциальным $y(t) = y_0e^{\beta t}$, где β одновременно является показателем убывания потенциала системы A_1 во время её блокирования системой A_2 при условии $x(t) \leqslant x_{кр}$: $y(t) = y(t_{порог})e^{-\beta t}$.

Предположение 3. Снижение потенциала систем, на которые подействовал конкурент, происходит быстро в момент воздействия, так что сразу изменяется потенциал системы, но не меняется показатель экспоненциального развития.

Доля потенциала системы K ($0 \leqslant K \leqslant 1$), оставшейся функциональной после воздействия конкурентом, зависит от дозы воздействия D (рис. 1). Величину $E(D) = -\ln K(D)$ будем называть эффективностью воздействия для конкретного вида конкурента, а величину $S(D) = E_x(D)/E_y(D) = \ln K_x(D)/\ln K_y(D)$ — избирательностью воздействия. Под уменьшением развития системы A_2 будем понимать уменьшение во времени величины $x_{кр}$. Это изменение для простоты также предполагаем экспоненциальным: $x_{кр}(t) = x_{кр}(0)e^{-\gamma t}$, где $t = 0$ — момент начала воздействия; γ — показатель скорости уменьшения потенциала $x_{кр}$.

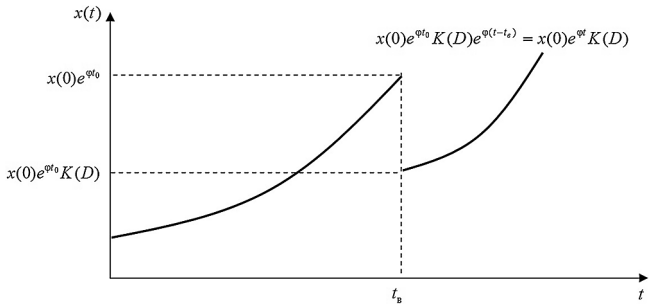


Рис. 1. Иллюстрация процесса однократного воздействия конкурентом дозой воздействия *D* на экспоненциально развивающуюся систему A_2:
$t_в$ — момент воздействия

При малом потенциале системы A_2 возрастает вероятность её полного уничтожения, т. е. устранения конкуренции. Этот вопрос требует отдельного рассмотрения, и не будет учитываться в данной работе.

Возможность непрерывного поддерживающего воздействия. Сформулируем условия, при которых возможно НПВ, т. е. когда можно в течение всего времени ресурсного процесса поддерживать функционирование системы A_1 в состоянии $y > y_{кр}$. Для этого необходимо, чтобы существовала такая доза воздействия D некоторого конкурента, при которой после воздействия время восстановления потенциала системы A_1 t_y до исходного уровня не превосходило бы времени восстановления потенциала системы A_2 t_x до исходного уровня: $t_y \leqslant t_x$.

Время восстановления потенциала системы A_1 определяется из условия $y_0K_y(D)e^{\beta t_y} = y(0)$ и составляет $t_y = -\ln K_y(D)/\beta$ при условии $x(0) \leqslant x_{кр}(0)$. Время восстановления потенциала системы A_2 t_x определяется из условия $x_0K_x(D)e^{\alpha t_x} = x(0)$ и составляет $t_x = -\ln K_x(D)/\alpha$. Однако конкуренция приводит к тому, что за это время $x_{кр}$ уменьшается. Если, например, воздействие проводить при $x(0) = x_{кр}(0)$, то ко времени t_x критическое значение $x_{кр}(t_x)$ будет превышено, и развитие системы A_1

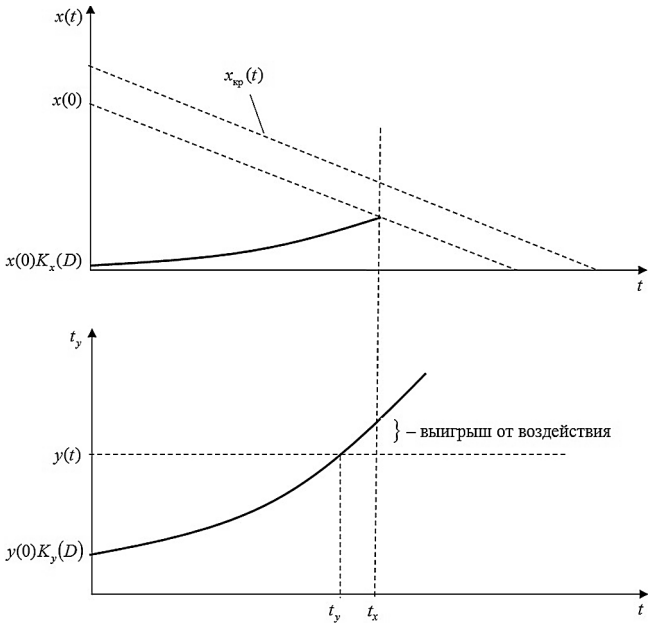


Рис. 2. Определение возможности проведения непрерывного поддерживающего воздействия

остановится. Чтобы этого не произошло, восстановление потенциала системы A_2 должно рассматриваться до величины $x(0)e^{-\gamma t_x}$, которая и будет соответствовать исходному состоянию системы A_2. Отсюда следует, что моментом восстановления исходного состояния системы A_2 с учётом уменьшения скорости роста потенциала следует считать момент восстановления её потенциала относительно текущего значения $x_{кр}(t_x)$. Удобно определить этот момент времени отношением $x(t)/x_{кр}$ (рис. 2).

Тогда из условия $x_0K_x(D)e^{\alpha t_x}/x_{кр}(0)e^{-\gamma t_x} = x(0)/x_{кр}(0)$ получим

$$t_x = -\ln K_x(D)/(\alpha + \gamma). \quad (1)$$

Таким образом, НПВ оказывается возможным, если существует доза воздействия D, что

$$K_y(D) \geqslant [K_x(D)]^{\frac{\beta}{\alpha+\beta}}. \quad (2)$$

В частности, при $S(D) = 1$, т. е., когда воздействие не обладает избирательностью, условие (2) принимает вид $\beta \geqslant \alpha + \gamma$, т. е. суммарная скорость развития системы A_2 и распространение конкуренции не должны превышать скорости восстановления потенциала системы A_1.

Формула (2) получена в предположении, что система A_1 ещё не блокирована, т. е. $x(0) \leqslant x_{кр}(0)$. При $x(0) > x_{кр}(0)$ необходимо принимать во внимание другие соображения. Это состояние будет рассмотрено ниже.

Возможность ограниченного поддерживающего воздействия. Если неравенство (2) не выполняется, то НПВ невозможно, и потенциал системы A_1 неизбежно окажется $y_{кр}$ за конечный отрезок времени. Вмешательство в течение процесса имеет смысл, если оно позволяет продлить функционирование системы A_1, так как вследствие её блокирования системой A_2 потенциал системы A_1 убывает экспоненциально $y(t) = y(0)e^{-\beta t}$. Уменьшая потенциал системы A_2 ниже критического значения, внесение воздействия временно снимает торможение развития системы A_1, которая начинает восстанавливаться до момента, когда развивающаяся конкурирующая система A_2 вновь не начнет её тормозить.

Условия, когда такое воздействие возможно, определяется следующим образом. Время t_x, на которое будет снято торможение процесса восстановления системы A_2, определяется из соотношения (1).

За это время потенциал системы A_1 уменьшается до величины $y(0)e^{-\beta t_x}$, если воздействие отсутствует, и до величины $y(0)K_y(D)e^{\beta t_x}$ при его наличии (рис. 3). Отсюда следует, что воздействие имеет смысл, если $y(0)K_y(D)e^{\beta t_x} > y(0)e^{-\beta t_x}$.

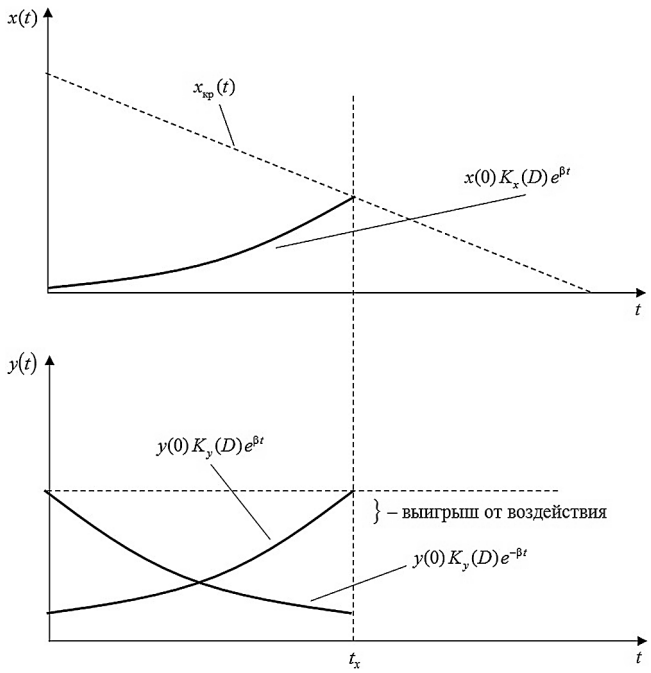


Рис. 3. Определение возможности проведения ограниченного поддерживающего воздействия

Тогда получаем, что ОПВ возможно, если существует такая доза воздействия D, что

$$K_y(D) \geqslant [K_x(D)]^{\frac{2\beta}{\alpha+\gamma}}. \qquad (3)$$

При $S(D) \equiv 1$ соотношение (3) переходит в $2\beta \geqslant \alpha + \gamma$. Если неравенство (3) не выполняется ни при каких дозах воздействия, то это означает, что всякое воздействие ухудшает состояние полезной системы A_1, и её восстановление невозможно.

Анализ оптимального режима ОПВ в случае, когда оно возможно, а НПВ невозможно, т. е. когда выполняется соотношение

$$[K_x(D)]^{\frac{2\beta}{\alpha+\gamma}} < K_y(D) \geqslant [K_x(D)]^{\frac{\beta}{\alpha+\gamma}}, \qquad (4)$$

следует начать с определения терминальной фазы ОПВ.

Терминальная фаза ОПВ. Пусть за время восстановления функционирования системы A_1 t имел место режим введения воздействия $D_1, D_2, ..., D_n$. Каждая доза воздействия D_i определяет интервал времени t_i до следующего введения. Эти интервалы находятся аналогично выражению (1): $t_i = -\ln K_x(D_i)/(\alpha + \gamma)$.

Так как $\sum_{i=1}^{n-1} t_i = t$, то $x(t) = x_{\text{кр}}(0)e^{\alpha t} \prod_{i=1}^{n} K_x(D_i)$ и $y(t) = y_{\text{кр}}(0)e^{\beta t} \prod_{i=1}^{n} K_y(D_i)$.

Подставляя в выражение для $y(t)$ значение t_i, получаем потенциал системы A_1 после n-го введения:

$$y(t) = y(0) \prod_{i=1}^{n} \frac{K_y(D_i)}{[K_x(D_i)]^{\frac{\beta}{\alpha+\gamma}}}. \qquad (5)$$

Предположение 4. Функции $K(D)$ непрерывны, монотонны и такие, что при $D > 0$ $K(D) < 1$.

Предположение 5. На каждом этапе введения воздействия восстановление системы A_1 возможно, т. е. выполняется соотношение (4). В противном случае вопрос о его оптимизации отпадает. Тогда каждый сомножитель в выражении (5) строго уменьшает потенциал системы A_1, и восстановление её функционирования заканчивается "летальным" исходом, когда $y(t) < y_{\text{кр}}$.

Если при некотором восстановлении функционирования системы A_1 существует такое конечное количество воздействий и при этом $y(t) < y_{\text{кр}}$ и $y(t - t_{n-1}) < y_{\text{кр}}$, то всегда можно выбрать последнюю дозу воздействия D_n меньше данной, т. е. чтобы $y(t) > y_{\text{кр}}$. При этом потенциал системы A_1 в течение некоторого времени будет достаточным для функционирования системы, так что первоначальное восстановление оказывается не оптимальным (рис. 4). Следовательно, при оптимальном восстановлении количество введений должно неограниченно расти. Это означает приближение режима к непрерывной инфузии (эффект "дробления дозы").

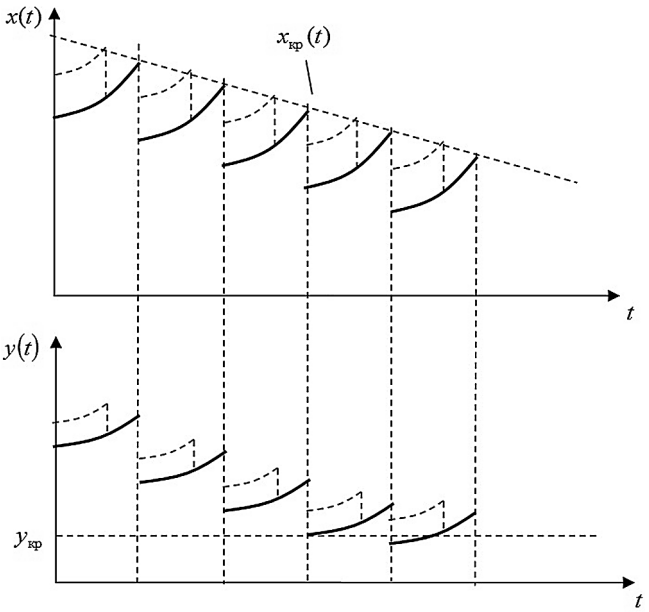


Рис. 4. Выбор режима восстановления функционирования системы A_1 при ограничивающем поддерживающем воздействии

Каковы при этом должны быть дозы воздействия? Последний сомножитель выражения (5) можно записать в виде

$$\frac{K_y(D_n)}{[K_x(D_i)]^{\frac{\beta}{\alpha+\gamma}}} = \frac{y(t)}{y(0)} \prod_{i=1}^{n-1} \frac{[K_x(D_i)]^{\frac{\beta}{\alpha+\gamma}}}{K_y(D_i)}.$$

Так как $y(t) \to y_{\text{кр}}(t)$, то произведение $\prod_{i=1}^{n-1}$ в правой части стремится при этом к $\left(\frac{y_{\text{кр}}}{y(0)}\right)^{-1}$ в силу выражений (5), а $\frac{K_y(D_n)}{[K_x(D_n)]^{\frac{\beta}{\alpha+\gamma}}} \to 1$ при

$n \to \infty$, т. е. дозы уменьшаются до нуля с ростом количества воздействий.

Из изложенного выше можно сделать вывод, что независимо от скорости развития конкурирующей системы A_2, свойств воздействия и состояния системы A_1 заключительная фаза оптимального ОПВ должна иметь режим, при котором уменьшаются интервалы между воздействиями, т. е. режим стремится к непрерывной инфузии с нулевой дозой.

Начальная фаза ОПВ. Так как целью восстановления является продление функционирования системы A_1, то, решая задачу оптимизации воздействия, приходим к необходимости выбора оптимального компромисса между двумя противоположными стремлениями. С одной стороны, увеличение дозы воздействия увеличивает интервал между введениями и потому имеется больше времени для восстановления системы A_1. С этой точки зрения дозу воздействия следует увеличить. С другой стороны, воздействие уменьшает потенциал системы A_1 за счёт ограниченной избирательности воздействия, поэтому дозу следует уменьшить. Решающую роль при выборе оптимального режима играет соотношение параметров системы A_2, воздействия и системы A_1. Интервал между воздействиями после дозы D_i определяется выражением

$$\tau_i = -\ln K_x(D)/(\alpha + \beta). \qquad (6)$$

За это время потенциал системы A_1 успевает вырасти, так что коэффициент её изменения к моменту воздействия имеет вид:

$$\varphi(D_i) = K_y(D_i)/[K_x(D_n)]^{\frac{\beta}{\alpha+\gamma}}. \qquad (7)$$

Таким образом, за время τ_i потенциал системы A_1 уменьшается в $\varphi(D_i)$ раза (рис. 5).

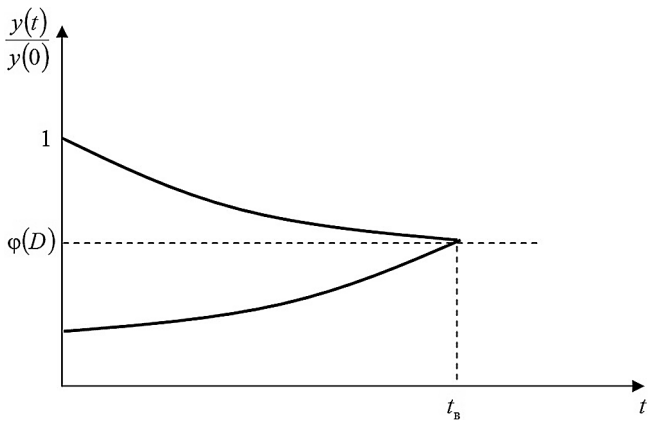


Рис. 5. Выбор оптимальной дозы воздействия при проведении ограниченного поддерживающего воздействия

Длительность функционирования системы A_1 T с момента начала ОПВ складывается из отрезков длительности τ_i, т. е. $T = \sum_{i=1}^{n} \tau_i$.

Сначала рассмотрим режим с постоянной дозой воздействия D_i. При этом $y(0)[\varphi(D)]^2 = y_{кр}$. Здесь пренебрегается рассмотренным выше эффектом "дробления дозы". Отсюда

$$n = \frac{\ln(y_{кр}/y(0))}{\ln\varphi(D)} \text{ и } T = \frac{\tau}{\ln\varphi(D)}\ln(y_{кр}/y(0)).$$

Следовательно, оптимальным в данном случае будет такое восстановление функционирования системы A_1, при котором максимизируется величина $\frac{\tau}{\ln\varphi(D)} = \frac{1}{\rho}$. Подставляя выражения (6) и (7) в выражение для ρ, получаем

$$\rho = [(\alpha + \gamma)\ln K_y(D) - \beta \ln K_x(D)], \qquad (8)$$

$$T = -\ln(y(0)/y_{кр})/\rho. \qquad (9)$$

Таким образом, оптимизация ОПВ сводится к максимизации величины ρ в выражении (8) (ρ является показателем результативности квазиэкспоненциального изменения потенциала системы A_1). При этом длительность их функционирования определяется формулой (9). Длительность функционирования без ОПВ определяется выражением $T_0 = \ln(y(0)/y_{кр})/\beta$, так что ОВП имеет смысл, только если $T \geqslant T_0$, т. е.

$$-\beta \leqslant \rho, \qquad (10)$$

что совпадает с полученным ранее неравенством (3). В терминах величины ρ условие возможности проведения НПВ (2) принимает вид

$$0 \leqslant \rho. \qquad (11)$$

Нетрудно убедиться, что такое восстановление будет действительно наилучшим в широком классе режимов $D_1, D_2, ..., D_n$.

Запишем выражение (9) в виде

$$T = \frac{S(D)}{\alpha + \gamma - \beta S(D)} \ln\left(\frac{y(0)}{y_{кр}}\right). \qquad (12)$$

Дифференцируя T как функцию S, получаем

$$T'(S) = \frac{\alpha + \gamma}{(\alpha + \gamma - \beta S)^2} \ln\left(\frac{y(0)}{y_{кр}}\right) > 0. \qquad (13)$$

Длительность функционирования системы A_1 монотонно возрастает с увеличением избиратель-

ности воздействия и, следовательно, максимизируется при максимальном значении $S(D)$. Обозначим

$$S_{\max} = \max\{S(D)\}.$$

Так как $\frac{y_{\text{кр}}}{y(0)} = \prod_{i=1}^{n-1} \varphi(D_i)$ и $T = \frac{1}{\alpha+\gamma}\sum_{i=1}^{n} \ln K_x(D_i)$,

то

$$\ln\left(\frac{y(0)}{y_{\text{кр}}}\right) = \sum_{i=1}^{n} \frac{K_y(D_i)}{[K_x(D_n)]^{\frac{\beta}{\alpha+\gamma}}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\ln K_x(D_i)}{S(D_i)} -$$

$$- \frac{\beta}{\alpha+\beta}\sum_{i=1}^{n} \ln K_x(D_i) \leqslant \left[\frac{\alpha+\gamma}{S_{\max}} + \beta\right] T.$$

Отсюда

$$T \leqslant \frac{S_{\max}}{\alpha+\gamma-\beta S_{\max}} \ln\left(\frac{y(0)}{y_{\text{кр}}}\right). \qquad (14)$$

Таким образом, при любом режиме восстановления функционирования системы A_1 её длительность не превышает значения, полученного выше для оптимальной постоянной дозы воздействия.

Интенсивное воздействие. Стратегия ИВ принципиально отличается от ПВ тем, что восстановление функционирования системы A_1 в этом случае начинается при $x(0) < x_{\text{кр}}(0)$, когда развитие системы A_1 блокировано. Поэтому задачей оптимизации на этом этапе является выбор такого режима, при котором потенциал системы A_1 снижается до $x_{\text{кр}}$ наиболее быстро, т. е. интервалы между введением доз воздействия следует минимизировать, в отличие от оптимального ПВ. При этом потенциал системы A_1 $y(0)$ к концу ИВ должен быть наибольшим, так как он, согласно выражению (9), определяет длительность дальнейшего восстановления.

Уменьшение интервалов между воздействиями приводит к тому, что при оценке эффективности каждого нового воздействия приходится учитывать результаты предыдущих. Этот эффект, который будем называть последействием, может выражаться, например, привыканием системы к этому воздействию и т. д.

Предположение 6. Формула (2), как уже отмечалось, получена в предположении, что система A_1 ещё не блокирована, т. е. $x(0) \leqslant x_{\text{кр}}(0)$.

При $x(0) > x_{\text{кр}}(0)$ необходимо принимать во внимание другие соображения. Это состояние будет рассмотрено ниже.

Воздействие не обладает последействием, т. е. результатом предыдущего воздействия можно пренебречь.

С одной стороны, n-кратное применение дозы воздействия D должно снижать $x(0)$ до уровня $x_{\text{кр}}(0)$, т. е. $x(0)[K_x(D)]^n = x_{\text{кр}}(0)$, откуда $n = \ln(x_{\text{кр}}(0)/x(0))/K_x(D)$.

С другой стороны, потенциал системы A_1 также снижается до уровня $y_0 = y(0)[K_y(D)]^n$. Подставляя выражение для n, имеем $\ln\left(\frac{y_0}{y(0)}\right) =$

$$= \frac{\ln K_y(D)}{\ln K_x(D)} \ln\left(\frac{x_{\text{кр}}}{x(0)}\right).$$

Следовательно, оптимизация дозы при данных начальных условиях означает максимизацию избирательности воздействия $S(D)$.

При произвольном режиме $D_1, D_2, ..., D_n$ имеем $\frac{x_{\text{кр}}(0)}{x(0)} = \prod_{i=1}^{n} K_x(D_i)$, $\frac{y_0}{y(0)} = \prod_{i=1}^{n} K_y(D_i)$.

Отсюда

$$\ln\left(\frac{y_0}{y(0)}\right) = \sum_{i=1}^{n} \ln K_x(D_i) = \sum_{i=1}^{n} \frac{\ln K_x(D_i)}{S(D_i)} \leqslant$$

$$\leqslant \frac{1}{S_{\max}} \sum_{i=1}^{n} \ln K_x(D_i) = \frac{1}{S_{\max}} \ln\left(\frac{x_{\text{кр}}(0)}{x(0)}\right),$$

т. е. режим с оптимальной постоянной дозой воздействия действительно является наилучшим.

При $K_x(D_{\text{opt}}) < x_{\text{кр}}(0)/x(0)$ число воздействий $n > 1$.

Пусть воздействие обладает последействием, результат которого можно выразить функцией последействия $D(t)$-го изменения действующей дозы, которое обязано предыдущей дозе D, введённой время t назад. Функция $D(t)$ может быть как положительной (эффект накопления), так и отрицательной (эффект привыкания). Если в момент $t = 0$ введена доза воздействия D_1, а через время t вводится доза воздействия D_2, то результирующая действующая доза воздействия $D_r(t)$ в момент t равна $D_r(t) = D_2 + D_1(t)$. Ещё через время t при введении D_3 $D_r(2t) = D_3 + D_2(t) + D_1(2t)$ и т. д., т. е.

$$D_r(nt) = D_n + \sum_{k=1}^{n-1} D_k[(n-k)t]. \qquad (15)$$

Соотношение (15) позволяет определить последовательность вводимых доз D_n, при необходимости поддержать оптимальную результирующую дозу воздействия $D_r(nt) = D_{\text{opt}}$. Например, если через время t от каждой дозы воздействия D остается одна и та же часть $\delta(t)$, так что $\delta(2t) = \delta^2(t)$, то $D_r(kt) = D\delta^k(t)$, и при всех $n > 1$ $D_n = D_{\text{opt}}[1 - \delta(t)]$. Оптимальный интервал t определяется вместе с оптимальной дозой воздействия D_{opt} следующим образом.

После n введённой дозы воздействия D через интервалы времени t имеем $x(0)[K_x(D)e^{\alpha t}]^n = x_{\text{кр}}(0)e^{-\gamma nt}$, откуда $n = \dfrac{\ln(x_{\text{кр}}(0)/x(0))}{\ln K_x(D) + (\alpha + \gamma)t}$.

Подставляя последнее в равенство $y_0 = y(0)[K_x(D)e^{-\beta t}]^n$, получаем

$$\ln\left(\frac{y_0}{y(0)}\right) = \frac{\ln K_y(D) - \beta t}{\ln K_x(D) + (\alpha + \gamma)t}\ln\left(\frac{x_{\text{кр}}(0)}{x(0)}\right).$$

Минимизация выражения

$$\chi(D, t) = \frac{\ln K_y(D) - \beta t}{\ln K_x(D) + (\alpha + \gamma)t} \qquad (16)$$

по D и t позволяет выбрать оптимальный режим. Функция $\chi(D, t)$ минимизируется по t при $t = 0$, что означает ударную дозу воздействия. Определив D_{opt} минимизацией $\chi(D, t)$, затем с учётом (13) необходимо поддерживать эту дозу воздействия до уменьшения потенциала системы A_2 ниже критического значения. Интервал t при этом следует выбирать как можно меньше, исходя уже из соображений технической реализуемости. В зависимости от выбранного интервала длительность этого периода воздействия $T = nt$, где n — необходимое число воздействий, определённое выше. Дробление дозы воздействия на этапе ИВ может оказаться выгодным лишь в том случае, когда препарат обладает повышенной избирательностью в области малых доз. В противном случае оптимальным режимом ИВ будет ударное воздействие, доза которого определяется из условия

$$K_x(D) = x_{\text{кр}}(0)/x(0), \qquad (17)$$

$$K_y(D) > y_{\text{кр}}(0)/y(0). \qquad (18)$$

Если последнее условие не выполняется для оптимальной дозы (а тогда для остальных доз тем более), то ИВ невозможно, так как оно приводит систему A_1 к стагнации.

Алгоритм оптимального восстановления функционирования системы A_1. Окончательно алгоритм оптимального выбора восстановления потенциала системы A_1 можно сформулировать следующим образом:

определяются параметры конкурентного взаимодействия систем и начальные условия: α, β, γ, $K_y(D)$, $K_x(D)$, $D(t)$, $x_{\text{кр}}(0)$, $y_{\text{кр}}(0)$, $x(0)$, $y(0)$;

максимизируется избирательность воздействия или величина ρ в выражении (8), и находится оптимальная доза для ПВ;

определяется условная возможность НПВ или ОПВ в соответствии с выражениями (2) и (3) или (10) и (11);

максимизацией избирательности или минимизацией (16) находится оптимальный режим ИВ;

проверяется условие (18) для возможности проведения ИВ;

находятся начальные условия ПВ и его длительность T (выражения (9) или (12)).

Пример. Рассмотрим применение предложенной модели на одном простейшем примере, который, тем не менее, представляется вполне реальным.

Пусть эффективность воздействия на систему экспоненциально зависит от дозы воздействия, так что $K_x(D) = e^{-c_x D}$, $K_y(D) = e^{-c_y D}$, отсюда $S(D) = c_x/c_y = \text{const}$. Пусть при этом $\dfrac{\alpha + \gamma}{2\beta} < S < \dfrac{\alpha + \gamma}{\beta}$, т. е. применение ОПВ возможно, а НПВ — нет. Так как избирательность воздействия S постоянна, как ОПВ, так и ИВ не зависят от дозы воздействия. Дозу ударного воздействия $D = \dfrac{1}{c_x}\ln\left(\dfrac{x(0)}{x_{\text{кр}}(0)}\right)$ находим из выражения (17).

Условия возможности применения ИВ (18): $S = \dfrac{c_x}{c_y} > \dfrac{\ln(y_{\text{кр}}(0)/y(0))}{\ln(x_{\text{кр}}(0)/x(0))}$.

В соответствии с выражением (12) при $S = 1$ вычисляем $T = \dfrac{1}{\beta - (\alpha + \gamma)}\ln\left(\dfrac{y(0)x_{\text{кр}}(0)}{y_{\text{кр}}(0)x(0)}\right)$.

Следовательно, T отличается от длительности взаимодействия систем без воздействия только первым сомножителем, который в последнем случае равен $1/\beta$. При этом, очевидно, чем быстрее прогрессирует конкуренция, тем более эффективным оказывается воздействие.

Заключение. Разработана математическая модель оценки состояния и прогнозирования развития ресурсного взаимодействия в условиях конкуренции, позволяющая определить по состоянию на рынке режим воздействия систем, ингибирующего развитие конкуренции систем. Представлен алгоритм оценки состояния и прогнозирования развития ресурсного взаимодействия систем в условиях конкуренции, с помощью которого определяются режим и доза воздействия на конкурента.

Библиографические ссылки

1. **Аржакова Н.В.** Управление динамикой рынка: системный подход / Н.В. Аржакова, В.И. Новосельцев, С.А. Редкозубов. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. 192 с.

2. **Сысоев В.В.** Конфликт, сотрудничество, независимость. Московская академия экономики и права. М.: 1999. 151 с.

3. **Сербулов Ю.С.** Модель конфликтно-устойчивого ресурсного взаимодействия производственно-экономических систем с внешней средой / Ю.С. Сербулов, Л.Е. Мистров, Д.В. Сысоев, Н.В. Сысоева. Воронеж: Научная книга, 2008. 270 с.

4. **Сербулов Ю.С.** Модель ресурсного взаимодействия конкурирующих систем в рыночных отношениях // Научно-технический журнал "Информационные системы и технологии" / Ю.С. Сербулов, Д.А. Глухов, Д.В. Сысоев. Орёл, 2013. Выпуск 3 (77). С. 23—29.

УДК 338.24

В.Л. Белоусов, д-р экон. наук, проф., **О.И. Голубятникова**
(Московский государственный университет приборостроения и информатики)
golubyatnikova_o@mail.ru

О МЕХАНИЗМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВВЕДЕНИЯ В ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ОБОРОТ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Даётся описание действующего механизма регулирования введения в хозяйственный оборот результатов научно-технической действительности высшей школы, с изложением особенностей государственного и рыночного регулирования этого процесса. Предлагаются пути его совершенствования.

Ключевые слова: результаты научно-технической деятельности, высшее учебное заведение, механизм регулирования, регуляторы научно-технической деятельности, инструменты регулирования научно-технической деятельности.

The description of the introduction regulation operating mechanism in economic circulation of results of scientific and technical activity results of the higher school, with a statement about features of the state and market regulation of this process is given. Ways of its improvement are offered.

Key words: results of scientific and technical activity, higher educational institution, regulation mechanism, regulators of scientific and technical activity, instruments of regulation of scientific and technical activity.

Понятие научно-техническая деятельность определено в Федеральном законе "О науке и государственной научно-технической политике" [1]. Это деятельность, направленная на получение и применение новых знаний для решения технологических, инженерных, экономических, социальных, гуманитарных и иных проблем обеспечения функционирования науки, техники и производства как единой системы. При этом научный или научно-технический результат — продукт научной или научно-технической деятельности, содержащий новые знания или решения и зафиксированный на любом информационном носителе.

Анализ сложившейся практики в высшей школе показал, что к научно-технической деятельности (НТД) вуза следует отнести:

научно-исследовательскую работу (НИР);

диссертационные исследования;

учебно-методическое обеспечение процесса обучения по всем разрешенным вузу формам.

При этом следует отметить, что в постановлении от 4 мая 2005 г. № 284 Правительства Российской Федерации "О государственном учёте результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения" предусмотрена реги-

страция НИОКР, включая и высшую школу. На основании указанного постановления и в целях его реализации приказом от 7 марта 2007 г. № 467 Рособразование поручило ведение и актуализацию государственной базы данных результатов научно-технической деятельности (РНТД) высшей школы, созданных по закону Рособразования и за счёт средств федерального бюджета, Федеральному государственному бюджетному образовательному учреждению высшего профессионального образования "Московский государственный университет приборостроения и информатики" (МГУПИ). Кроме того, на МГУПИ возлагались обязанности анализировать РНТД, определять объекты учёта и объёма прав на них Российской Федерации, а также сопровождение зарегистрированных объектов учёта на протяжении периода ответственности прав на них России.

В связи с упразднением в 2010 г. Рособразования в настоящее время функции заказчика РНТД в высшей школе выполняет Минобрнауки России.

С учётом сказанного, рассмотрим существующий механизм формирования и учёта РНТД в высшей школе, представленный на рис. 1.

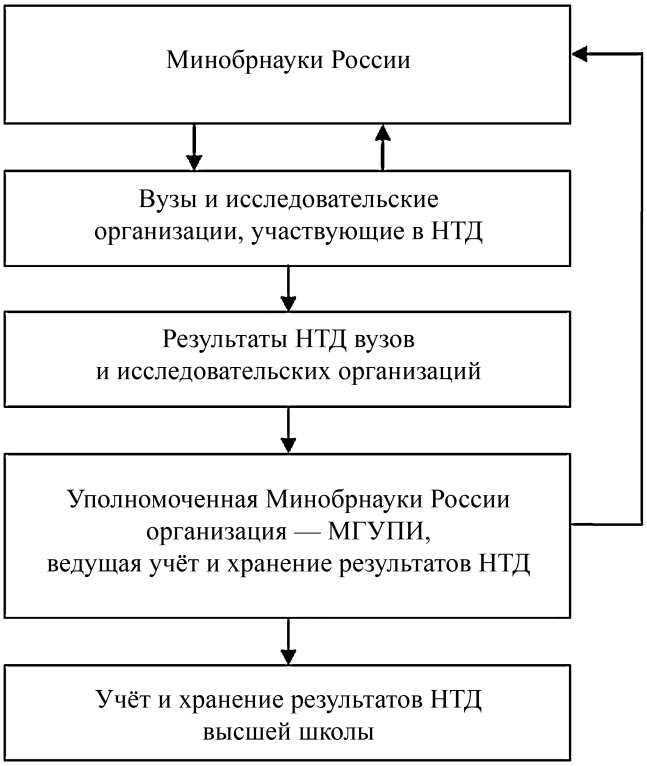


Рис. 1. Обобщённая модель механизма формирования и учёта результатов научно-технической деятельности высшей школы

Минобрнауки России является заказчиком для высшей школы на проведение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения, организует конкурсы среди вузов и исследовательских организаций. Выигравшие эти конкурсы представляют результаты НТД в уполномоченную Минобрнауки России организацию — МГУПИ, ведущую их учёт и хранение.

Кроме того, МГУПИ в установленном порядке информирует Минобрнауки России об учёте и хранении РНТД высшей школы.

Следует отметить, что после учёта РНТД в МГУПИ сведений о введении их в хозяйственный оборот от вузов и исследовательских организаций в МГУПИ не поступает, поскольку это не предусмотрено действующими нормативно-правовыми документами. В этих условиях отсутствует возможность вести учёт введённых в хозяйственный оборот РНТД высшей школы, которые находятся на государственном учёте в МГУПИ. Следовательно, отсутствует возможность корректировать хранящиеся на государственном учёте РНТД высшей школы, что не позволяет оценить количество РНТД, предназначенное для введения в хозяйственный оборот. Эта информация необходима еще и для того, чтобы появилась возможность активно готовить к введению в хозяйственный оборот находящиеся на учёте в МГУПИ РНТД высшей школы. В частности, проведение МГУПИ анализа востребованности данных РНТД рынком. При отсутствии указанных мероприятий РНТД, как известно, утрачивают со временем свою актуальность и новизну и их уже невозможно будет ввести в хозяйственный оборот. А это в конечном итоге свидетельствует о неэффективном использовании федерального бюджета.

Для решения возникших проблем предлагается механизм регулирования процесса введения в хозяйственный оборот РНТД высшей школы.

Обобщённая модель механизма регулирования введения в хозяйственный оборот РНТД высшей школы представлена на рис. 2.

Механизм регулирования введения в хозяйственный оборот РНТД высшей школы имеет два вида регулирования: государственное и рыночное. Основу государственного регулирования составляет нормативно-правовое обеспечение научно-технической деятельности высшей школы в Российской Федерации. В основе рыночного регулирования лежит востребованность РНТД высшей школы рынком.

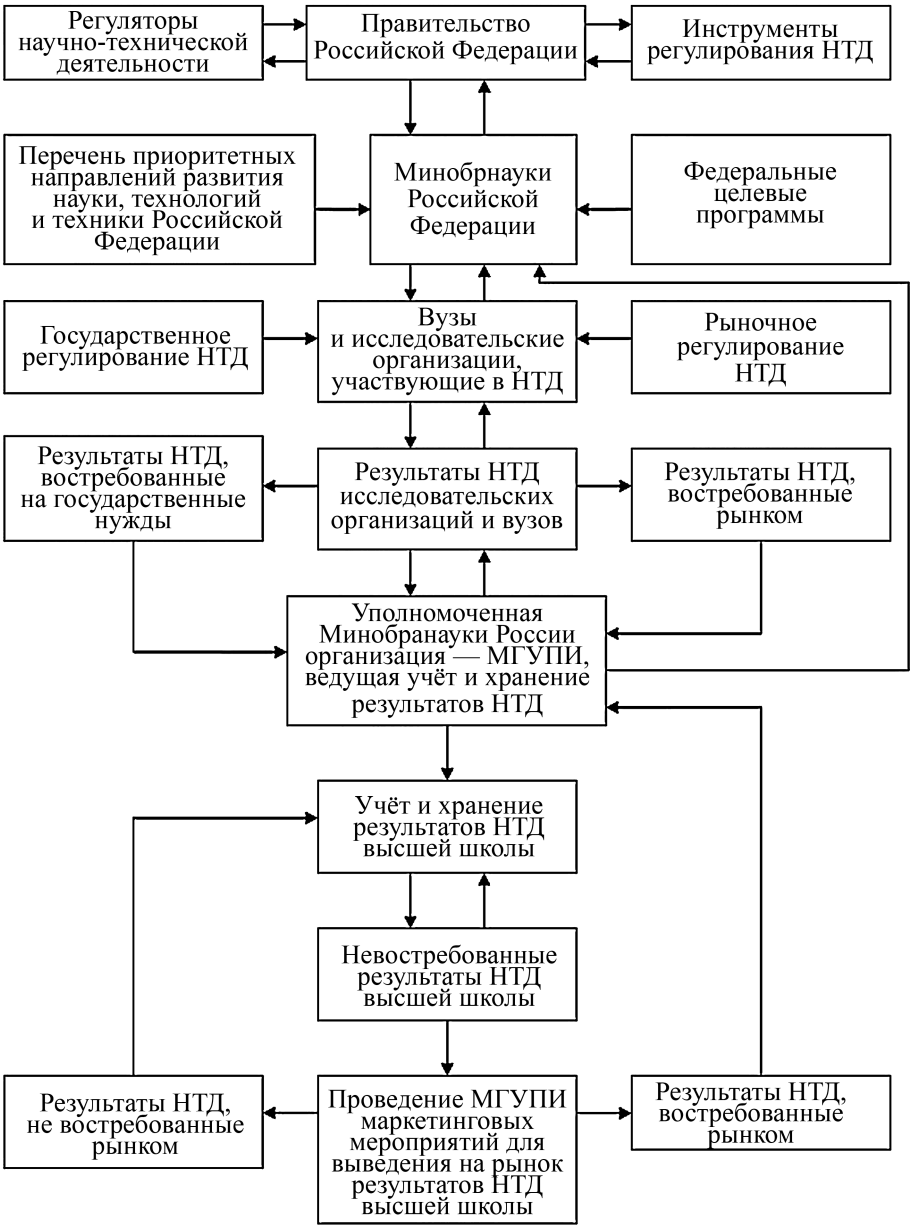


Рис. 2. Обобщённая модель механизма регулирования введения в хозяйственный оборот результатов научно-технической деятельности в высшей школе

При этом следует отметить, что введение РНТД в хозяйственный оборот высшей школы, находящихся на государственном учёте в МГУПИ, может быть осуществлено при востребованности их государством, на основании федерального закона "О размещении заказов на поставку товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных или муниципальных нужд" [2].

К важнейшим государственным регуляторам научно-технической деятельности в высшей школе следует также отнести устанавливаемый Президентом Российской Федерации "Перечень приоритетных направлений развития науки, технологий и техники Российской Федерации" [3], финансирование которых обеспечивается федеральным бюджетом.

Рассмотрим более подробно модель механизма регулирования введения в хозяйственный оборот РНТД высшей школы. Правительство Российской Федерации формирует регуляторы и инструменты регулирования научно-технической деятельности (НТД).

Минобрнауки России в качестве регулятора научно-технической деятельности использует "Перечень приоритетных направлений развития науки, технологий и техники Российской Федерации", а инструментом регулирования НТД являются федеральные целевые программы (например, "Научные и научно-педагогические кадры России", "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России" и др.).

Вузы и исследовательские организации высшей школы, участвующие в НТД, формируют результат этой деятельности. Востребованность полученных РНТД определяется государством и рынком. При таком механизме возможно осуществление государственного и рыночного регулирования на уровне востребованности им РНТД.

После оформления вузами и исследовательскими организациями РНТД согласно установленному порядку (формирование, утверждение отчётов РНТД и др.) производится их учёт в уполномоченной Минобрнауки России организации — МГУПИ.

В целях активизации работы по введению в хозяйственный оборот РНТД, очевидно целесообразно возложить на МГУПИ дополнительные функции по регулированию введения в хозяйственный оборот РНТД, находящихся на государственном учёте и хранении в МГУПИ.

Для организации и проведения такого регулирования необходимо установить порядок информирования МГУПИ со стороны вузов и исследовательских организаций о РНТД, востребованных для удовлетворения государствен-

ных нужд и рынком. Это позволит выявить невостребованные РНТД высшей школы. При этом МГУПИ проводит необходимые маркетинговые мероприятия для выведения на рынок ещё не востребованных РНТД.

Если в результате проведения этих мероприятий РНТД не востребованы рынком, то они продолжают оставаться на государственном учёте и хранении. При востребованности РНТД рынком МГУПИ информирует об этом соответствующий вуз или исследовательскую организацию о возможности введения этого РНТД в хозяйственный оборот. Кроме того, МГУПИ в установленном порядке направляет отчёт в Минобрнауки России об учёте и хранении РНТД высшей школы. На этом завершается регулирование введения в хозяйственный оборот результатов научно-технической деятельности высшей школы.

Таким образом, для создания механизма регулирования введения в хозяйственный оборот результатов научно-технической деятельности высшей школы необходимо внести изменения в соответствующие нормативно-правовые документы, которые обеспечивают согласно постановлению Правительства Российской Федерации "О государственном учёте результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения" в функции уполномоченной Минобрнауки России организации — МГУПИ, ведущей учёт и хранение результатов научно-технической деятельности высшей школы, включающие регулирование введения в хозяйственный оборот РНТД, состоящих на государственном учёте, на основе организации дополнительного учёта введенных в хозяйственный оборот РНТД и маркетинговых исследований востребованности РНТД рынком.

Библиографические ссылки

1. **Федеральный** закон от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ "О науке и государственной научно-технической политике", URL: http://base.garant.ru/135919/ (дата обращения: 25.12.2013).

2. **Федеральный** закон Российской Федерации от 21 июля 2005 г. № 94-ФЗ "О размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных и муниципальных нужд", URL: http://www.rg.ru/2005/07/28/goszakaz.html (дата обращения: 28.12.2013).

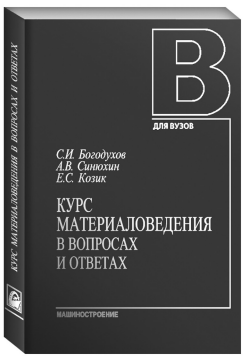
3. **Указ** Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899 "Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации", URL: http://www.garant.ru/hotlaw/federal/335057/, http://www.rg.ru/2005/07/28/goszakaz.html — comments (дата обращения: 25.01.2014).

ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

КУРС МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ В ВОПРОСАХ И ОТВЕТАХ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ **С.И. Богодухов, А.В. Синюхин, Е.С. Козик**

2014 г. Объем 352 с. Формат 60x88 1/16 Переплет ISBN 978-5-94275-750-2 Цена 350 р.



Пособие состоит из шести разделов. В каждом содержатся сведения из соответствующей области материаловедения. В первом приведены вопросы-тесты. Тесты содержат по четыре альтернативных ответа. В конце каждого раздела приведены ответы.

Второй раздел пособия содержит справочные сведения по углеродистым и легированным конструкционным сталям, инструментальным сталям, цветным металлам и сплавам (марочные обозначения, химический состав, некоторые свойства, режимы термической обработки), неметаллическим материалам. Может использоваться при решении задач первой части и как самостоятельное пособие для подбора материалов при выполнении курсовых и дипломных работ.

В третьем и четвертом разделах приведены фрагменты, имитирующие эхо-распечатки обучающей и контролирующей программ «Диаграммы состояния» и «Упражнения по диаграмме железо–углерод». Пятый раздел содержит материалы по программе «Экзаменатор».

В шестом приведены примеры выбора материала и расчета деталей по критерию конструкционной прочности.

Пособие предназначено для закрепления теоретических знаний, полученных студентами на занятиях по материаловедению, путем решения задач, а также может быть использовано при выборе материалов для конкретных деталей.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru

Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU