

ОБНАРУЖЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ (Вычислительные системы)

1999 год

Выпуск 166

УДК 519.854:658.712:008.2:001.89

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОСНОВАНИЯ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ПРОГРАММ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ДЛИТЕЛЬНУЮ ПЕРСПЕКТИВУ В УСЛОВИЯХ КОНФЛИКТА ТРЕБОВАНИЙ, РЕСУРСОВ И ДАННЫХ¹

Ю.А. Устюгов

В в е д е н и е

Развитие технических систем (ТС) происходит в условиях объективно существующего конфликта между потребностями практики и непрерывном совершенствовании ТС и ограниченными ресурсными возможностями для его осуществления.

Разработка новых подходов, расширяющих существующий научный задел в области рационального построения программ развития ТС на длительную перспективу, максимально отвечающих потребностям практики и требующих минимальные ресурсы для их реализации — актуальное научно-техническое направление исследований, вообще, в условиях современного экономического состояния страны, в особенности.

Важнейший принцип рационального построения программ развития ТС на длительную перспективу — упреждающее оперативное, научно-техническое и экономическое обоснование требований к ТС, а также суммарных потребностей в них с учетом долгосрочного финансирования их исследований, разработок и производства.

¹Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 99-01-00582.

Реализация указанного принципа на практике требует создания адекватных сложности предмета методов, технологий и систем автоматизированного обоснования программ развития ТС на длительную перспективу, максимально учитывающих особенности их развития на современном этапе: модернизация существующего поколения ТС, смена поколений ТС и подготовка к переоснащению ими существующей инфраструктуры, оптимизация номенклатуры, стандартизация и унификация ТС, сокращение расходов на их разработку, производство, поставку, монтаж, освоение, эксплуатацию, демонтаж и утилизацию.

В 1991-1998 гг. в Институте математики им. С.Л.Соболева СО РАН совместно с рядом научно-исследовательских учреждений заказчиков более десяти НИР проводился цикл исследований и разработок, направленных на решение актуальных с научной и практической точек зрения задач:

1. Разработка в рамках единой концепции устойчивого развития ТС в условиях конфликта требований, ресурсов и данных комплекса взаимосвязанных технологий, позволяющих в едином признаковом пространстве полномасштабно автоматизированно решать задачи разработки, анализа и обоснования федеральных программ развития ТС на длительную перспективу.

2. Разработка автоматизированной технологии подготовки баз исходных данных к обоснованию, прогнозированию и планированию развития анализируемых ТС на длительную перспективу.

3. Разработка технологии максимально точного устранения некомплектности (восстановления) исходных данных для обоснования федеральных программ устойчивого развития ТС.

4. Разработка автоматизированной технологии максимально точного определения в реальном времени неизвестных значений характеристик ТС по таблице ограниченных и некомплектных исходных данных.

5. Разработка многовариантной интеллектуальной технологии автоматизированного прогнозирования развития ТС на длительную перспективу в условиях ограниченных, некомплектных и противоречивых данных.

6. Разработка автоматизированных технологий совместного планирования и прогнозирования ТС на основе анализа данных о ретроспективных, серийно выпускаемых, находящихся в стадиях НИР и ОКР образцов ТС и экспертных суждений о частичном облике перспективных ТС в условиях некомплектных данных, ограниченных ресурсов и меняющихся во времени требований.

7. Разработка автоматизированной технологии обоснования федеральных программ развития ТС на длительную перспективу в условиях ограниченных, некомплектных и противоречивых данных.

8. Экспериментальное прогнозирование, планирование и обоснование программы развития различных видов ТС на длительную перспективу (до 2015–2020 гг.).

В статье представлено новое перспективное научно-техническое направление в области систем обработки информации и управления, используемых при разработке федеральных долгосрочных программ развития технических систем. Обобщены результаты решения комплекса взаимосвязанных указанных выше научно-технических задач в рамках единой концепции устойчивого развития технических систем в условиях конфликта требований, ресурсов и данных, позволяющих автоматизированным путем в едином признаковом пространстве разрабатывать, анализировать, обосновывать и оперативно корректировать долгосрочные программы их развития.

В результате обобщения технологий и многолетнего опыта экспериментального обоснования [1–3], прогнозирования [4] и планирования [5] развития ТС в различных предметных областях на длительную перспективу в статье:

1) сформулированы новые концепции:

- автоматизированного обоснования федеральных программ устойчивого развития ТС на длительную перспективу в условиях конфликта требований, ресурсов и данных;

- автоматизированного прогнозирования ТС на длительную перспективу в условиях ограниченных, некомплектных и противоречивых данных;

2) приведены общие сведения о семействе систем "ПАРТНЕР" [8], реализующих изложенные концепции.

1. Концепция автоматизированного обоснования федеральных программ устойчивого развития ТС на длительную перспективу в условиях конфликта требований, ресурсов и данных

Содержание, универсальности и комплексность развиваемого в [1-7] нового подхода, взаимосвязь и назначение разработанных на его основе технологий раскрыты в приведенной на рис.1 концепции автоматизированного обоснования программ устойчивого развития ТС на длительную перспективу в условиях конфликта требований, ресурсов и данных (далее — программ развития ТС).

Обоснование программ развития ТС начинается с анализа (блок 1) тех требований, которые предъявляет практика к ТС в выбранной предметной области на всем интервале времени анализируемой перспективы.

Реальные ресурсные возможности страны (интеллектуальные, технологические, материальные, финансовые, людские) создают весьма жесткие ограничения для построения рациональных программ развития ТС на длительную перспективу в условиях многократной недогрузки предприятий, "рваного" режима их финансирования и других особенностей экономической ситуации в стране.

На основе формируемой при выполнении процедур блоков 1-2 выходной информации эксперты предметной области определяют актуальные задачи (блок 3) разрешения конфликта между потребностями практики и ресурсными возможностями страны при разработке долгосрочных программ развития ТС. Эта информация является целевой для всех последующих процедур обоснования.

Следует подчеркнуть, что в ближайшей перспективе на первый план среди актуальных задач долгосрочного планирования выйдет задача определения условий устойчивого развития ТС. Результаты экспериментального обоснования программ развития технических средств охраны (ТСО), приведенные в [1], содержат такие условия.

В ходе решения задач блока 3 формируется признаковое пространство исследований (блок 4). При этом формулируется множество целей исследования, определяется множество анализируемых характеристик долгосрочной программы, формируется мно-

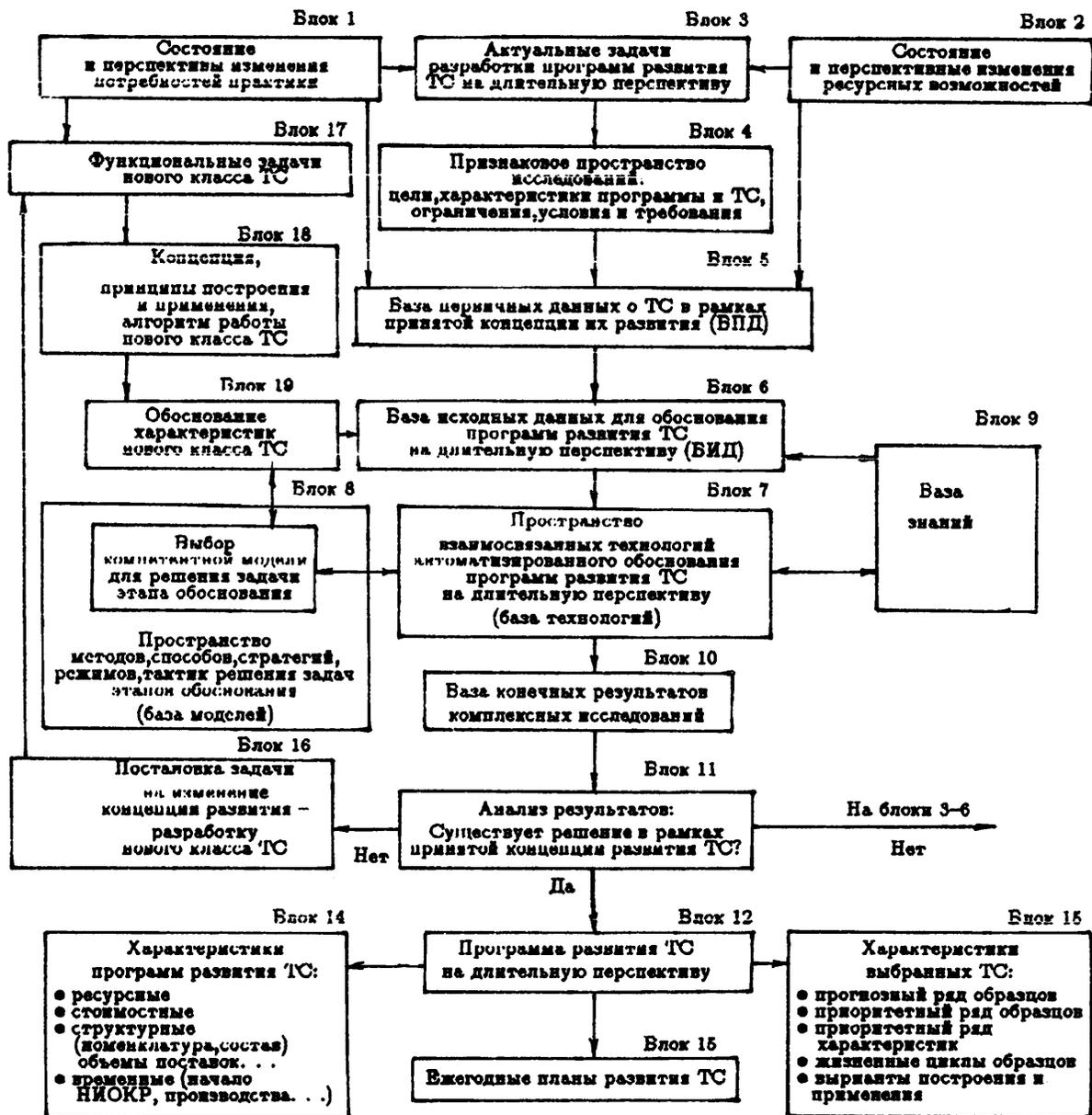


Рис. 1. Концепция автоматизированного обоснования программ устойчивого развития технических систем на длительную перспективу в условиях конфликта требований, ресурсов и данных

жество ограничений, условий и требований, при которых проводится обоснование программы, определяется множество постоянных и варьируемых в ходе исследований характеристик программы и ТС.

Например, с помощью описанной в [1] технологии проведено обоснование программы развития трех видов ТСО десяти типов в признаковом пространстве со следующими характеристиками: около 30 целей исследования; определение требуемых значений примерно 40 характеристик программы развития ТСО на длительную перспективу; рекомендуемые варианты перспективной программы развития ТСО должны были удовлетворять более 40 ограничениям, условиям и требованиям; в исследовании рассматривались 240 образцов ТСО, каждый из которых имеет более 40 характеристик; программа развития ТСО должна была обеспечить максимальную экономию всех ресурсов при ежегодном решении выбранными составами ТСО в полном объеме 24 задач по охране всех заданных объектов Российской Федерации на всем интервале до 2015 года.

На основании данных о перспективных изменениях требований к ТС (блок 1), ресурсных возможностей (блок 2) в выбранном признаковом пространстве (блок 4) формирует (блок 5) база первичных данных (БПД) о ТС, развивающихся в рамках принятой (директивно утвержденной) концепции.

Для примера в табл. 1 приведен перечень, предельно допустимые значения и единицы измерения выбранных при выполнении процедур блока 4 характеристик ТСО периметра объекта.

В табл. 2 приведен фрагмент полученной при выполнении процедур блока 5 базы первичных данных одного из видов ТСО — ТСО периметра объекта.

В БПД заносятся данные об образцах анализируемых ТС всех предшествующих, современного и перспективного поколений. При этом под ТС перспективного поколения понимаются образцы данного ТС, находящиеся в стадиях НИР и ОКР, серийный выпуск и поставки которых директивно предусмотрены в официально принятой долгосрочной программе.

В ходе формирования базы исходных данных (БИД) для обоснования программ развития ТС на длительную перспективу

Т а б л и ц а 1

Номер хар-ки	Наименование характеристики	Ед. изм.	Предельное значение
1	Длина охраняемого рубежа максимальная (Робн = 0.98)	м	20 000
2	Длина охраняемого рубежа максимальная (Робн = 0.95)	м	20 000
3	Длина охраняемого рубежа максимальная (Робн = 0.90)	м	20 000
4	Год начала серийного производства	год	(1965-1994)
5	Стоимость выпуска максимальная	тыс.руб.	50 000
6	Стоимость эксплуатации максимальная	тыс.руб.	4 000
7	Вероятность обнаружения нарушителя, не менее	-	0.98
8	Количество участков максимальное	ед.	20
9	Трудоемкость эксплуатации	чел./ед. сб.	0.01
10	Назначенный срок службы, не менее	лет	10

(блок 6) на основе анализа БПД (блок 5), во-первых, часть данных об образцах ТС, находящихся в БПД, не включается в БИД в силу отсутствия в этих данных значений репрезентативного набора характеристик анализируемых ТС, перечень которых определен прежде (блок 4).

Во-вторых, с помощью рассматриваемых ниже (блок 7) технологий определяются данные, отсутствующие в БПД и необходимые для выполнения процедур блока 7.

В табл.3 приведен фрагмент полученной при выполнении процедур блока 6 БИД для планирования развития периметрических ТСО. Каждый столбец — данные об одном образце ТСО. При этом в строках 1-3 указан шифр (номер) образца ТСО,

Шифр ТОО	Номер характеристики ТОО параметра объекта										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
11001	150	300	300	1975	1492.7	0.305	0.950	1	0.037	5	
13002	125	250	250	1975	291.5	0.822	0.950	2	0.12	15	
11002	100	100	200	1976	43.7	2.184	0.900	1	0.036	-	
11003	150	300	300	1977	273.0	39.468	0.950	1	0.48	-	
13003	100	100	200	1979	17.2	0.882	0.950	1	0.12	-	
11008	100	100	200	1980	37.3	0.250	0.900	1	0.48	8	
12001	250	500	500	1982	20.5	1.256	0.950	1	0.68	10	
13004	250	500	500	1982	21.0	1.244	0.950	1	0.12	5	
12003	15	30	30	1984	294.1	1.256	0.950	1	0.68	-	
12005	5	10	10	1984	98.0	0.251	0.950	1	0.68	-	
14004	9000	18000	18000	1985	1772.7	-	0.950	40	0.68	-	
12006	500	1000	1000	1985	1235.4	2.512	0.950	1	0.112	5	
13006	250	500	500	1985	717.2	0.704	0.950	1	0.12	8	
14005	250	500	500	1985	5.7	-	0.950	1	0.12	10	
14006	250	500	500	1985	554.5	1.328	0.950	1	0.56	8	
14007	5000	10000	10000	1985	73260.	-	0.950	20	0.12	5	
11012	125	125	125	1985	2400.0	0.945	0.990	1	0.036	10	
11013	125	125	125	1985	2070.8	0.345	0.990	1	0.164	10	
15009	150	300	300	1985	88.8	0.552	0.950	1	0.22	-	
12007	250	500	500	1986	1821.1	-	0.950	2	0.68	8	
12008	250	500	500	1986	33.8	1.256	0.950	1	0.68	8	
12009	250	500	500	1986	5050.8	-	0.950	1	0.68	8	
12010	250	500	500	1986	3615.4	-	0.950	1	0.68	8	
13009	250	250	500	1986	13.1	-	0.900	1	0.12	-	
13010	4	8	8	1986	18.2	-	0.950	1	0.12	-	
11018	750	1500	1500	1987	56.9	-	0.950	10	0.56	5	
11019	64	64	64	1987	18.2	-	0.980	8	0.036	10	

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13011	500	1000	1000	1988	136.4	1.408	0.950	2	0.12	5
13012	250	500	500	1988	269.8	1.244	0.950	1	0.12	-
12011	200	200	200	1989	200.0	1.005	0.940	2	0.68	8
15011	125	250	250	1989	4084.2	0.230	0.950	2	0.22	10
14009	1500	3000	3000	1989	8400.0	3.381	0.950	20	0.112	8
12012	250	500	500	1990	4900.0	1.256	0.950	2	0.68	5
13013	300	300	600	1990	170.0	1.507	0.900	6	0.09	8
13014	100	100	100	1990	40.3	-	0.980	1	0.164	-
13015	50	50	100	1990	25.9	-	0.950	1	0.164	-
11020	150	150	300	1990	184.1	51.920	0.900	1	0.60	-
14010	500	1000	1000	1990	5.0	-	0.950	1	0.68	-
14011	8000	16000	16000	1990	9600.0	-	0.950	16	0.68	-
15012	250	500	500	1992	252.3	1.256	0.950	4	0.164	10
15013	125	250	250	1992	134.9	1.256	0.950	2	0.164	10
11021	125	250	250	1992	152.9	-	0.950	12	0.036	-
11022	100	200	200	1992	705.0	-	0.970	1	0.009	-
12013	100	100	200	1992	60.0	0.502	0.940	1	0.68	-
13010	250	500	500	1992	291.5	0.622	0.950	2	0.12	10
15014	50	100	100	1993	10.0	-	0.950	1	0.112	10
15015	25	25	50	1993	-	0.078	0.940	1	0.22	-
11024	125	250	250	1993	506.0	0.628	0.960	1	0.46	10
11026	125	125	250	1993	117.0	0.754	0.940	1	0.46	-
12014	500	1000	1000	1993	307.0	2.512	0.950	1	0.68	-
12015	500	1000	1000	1993	42.2	-	0.950	1	0.164	-
11027	150	300	300	1993	430.0	94.6	0.970	1	0.009	-
11028	125	250	250	1993	618.5	0.805	0.950	1	0.037	-
11029	250	250	250	1994	2215.4	0.512	0.980	1	0.009	-
12016	125	250	250	1994	247.4	0.628	0.950	1	0.68	-
12019	300	300	300	1994	4237.7	0.805	0.980	5	0.037	-

в строках 4-20 указаны его характеристики, используемые при планировании развития ТСО.

Опыт экспериментального обоснования программ развития ТС различного назначения показал, что данные в БИД являются ограниченными, некомплектными и противоречивыми. Составлять долгосрочную программу развития ТС по этим данным не представляется возможным. В этом суть третьего существенного ограничения, при котором проводится обоснование долгосрочных программ (содержание первых двух ограничений -- в конфликте между потребностями практики и ресурсными возможностями).

Природа конфликта между требованиями и данными, ресурсами и данными одинакова: желание увеличить объем учитываемых требований (ограничений ресурсных возможностей) приводит к увеличению той части данных БИД, которая не попадает в БИД по указанным выше причинам. В результате степень ограниченности (некомплектности и противоречивости) исходных данных возрастает.

Для решения задач обоснования программ развития ТС на длительную перспективу в условиях конфликта требований, ресурсов и данных в ходе теоретических и экспериментальных исследований разработано [1-6] пространство взаимосвязанных технологий (база технологий), ядро которых на рис. 1 представлено блоком 7. По существу технологии охватывают все процедуры блоков 1-19.

Методологическое значение разработанного комплекса взаимосвязанных технологий состоит в том, что они позволяют находить условия устойчивого развития ТС на всей анализируемой перспективе в пространстве меняющихся требований, ресурсов и данных -- в признаковом пространстве, недоступном для существующих математических моделей.

Разработанные технологии многовариантны и предусматривают выбор [2] по специальным критериям в пространстве известных методов, способов, стратегий, режимов, тактик наиболее компетентных моделей для решения задач отдельных этапов обоснования перспектив развития ТС. Технология открыта для использования любых методов в том числе как известных и опуб-

ликованных, так и тсх, разработка которых будет завершена в будущем.

Взаимосвязь разработанных технологий обеспечивается принятым в концепции иерархическим структурированием в едином признаковом пространстве проблемы обоснования перспективных программ устойчивого развития ТС. Ниже это положение раскрывается при пояснении блоков 10–19 предложенной концепции.

Технология автоматизированного обоснования перспектив развития ТС [1] является сквозной для процедур блоков 1–15. В ходе выполнения ее отдельных этапов требуются данные, получаемые с помощью технологии совместного планирования и прогнозирования [5]. В свою очередь, при использовании этой технологии необходимы прогнозные ряды комплексов, получаемые с помощью технологии прогнозирования [4].

Перед обоснование перспектив развития ТС с помощью технологий, описанных в [2] и [4] устраняется некомплектность и противоречивость исходных данных в БИД (блок 6). Для определения неизвестных значений характеристик эффективности и надежности ТС, входящих в перечень блока 4, используется технология, приведенная в [3].

Основная цель и практическое значение исследований, проводимых с помощью технологии обоснования программ развития ТС — максимальное сокращение потребных ресурсов и системный анализ всех этапов жизненного цикла изделий.

При использовании технологии обоснования в ходе исследований сначала определялся базовый вариант программы, удовлетворяющий всем условиям, ограничениям и требованиям обоснования. Затем устанавливался диапазон возможных вариаций. Далее итерационно определялись условия, позволяющие улучшить характеристики базового варианта при сохранении всех условий, ограничений и требований.

В [1] приведены оценки возможности улучшения характеристик долгосрочной программы за счет увеличения: длительности службы ТСО, периода их серийного производства и поставок на охраняемые объекты Российской Федерации, доли современных образцов в требуемом составе ТСО.

Реализованный в разработанной технологии подход, позволяет, с одной стороны, многократно (в ряде случаев на порядок) сократить номенклатуру и состав анализируемых ТС. С другой стороны, минимизировать стоимость перспективной программы их развития при обеспечении требуемого объема работ на всем интервале анализа. Технология позволила минимизировать номенклатуру и состав ТСО на заданном множестве объектов охраны и множестве используемых ТСО, выпускаемых как у нас в стране, так и за рубежом.

Изложенная в [1] технология является оболочкой пространства разработанных и изложенных в [1-7] взаимосвязанных технологий, интегрирует их возможности, расширяет области применения и позволяет уточнять концепцию развития для существующих и перспективных ТС. Используемые при ее применении база моделей, база технологий, база знаний и база данных открыты для расширения.

Подчеркнем, указанная выше взаимосвязь технологий работает в любой предметной области исследований. Смена вида (типов) анализируемых при обосновании программы развития ТС скажется лишь на результатах выполнения процедур блоков 1-6, в ходе которых определяется признаковое пространство исследований и осуществляется подготовка исходных данных для обоснования.

При применении любой технологии блока 7 требуется последовательное выполнение определенных в [1-5] этапов. Например, технология планирования [5] с учетом результатов прогнозирования предусматривает выполнение 11 этапов, технология прогнозирования [4] — 13 этапов. При проведении совместного планирования и прогнозирования [4-5] требуется выполнить 24 этапа преобразования данных.

Для решения задач отдельных этапов технологий блока 7 используется база моделей (блок 8), при этом для каждого этапа обоснования осуществляется выбор [2] компетентной модели (способа решения задачи).

Для выбора компетентного метода (способа) решения задачи в пространстве методов, способов, стратегий, условий и ограничений определены перечень и содержание требуемых точностных,

вероятностных, временных, ресурсных характеристик и ограничений, условий и требований, задаваемых заказчиком исследований.

Выбор компетентных методов (способов) в рамках различных стратегий решения задачи осуществляется на основе экспериментального определения и анализа введенных характеристик способов решения задачи. В [2] на примерах показано: как изменяются результаты выбора компетентных способов при изменении задаваемых заказчиком ограничений, условий и требований.

По сравнению с существующими точными технологиями решения рассматриваемого класса задач разработанная технология в условиях ограниченных данных и ресурсов позволяет [2] на 4–5 порядков быстрее выполнять оценку вариантов построения и применения анализируемых ТС, при этом обеспечивается максимально точное решение задачи восстановления данных на выбранном множестве способов их решения.

В ходе выбора модели решения задачи (блок 8) компетентным считается тот способ решения, который выигрывает среди других способов базы моделей конкурс — максимально обеспечивает требуемые (блок 4) значения вероятностных, точностных, временных и ресурсных характеристик. В базу моделей открыт вход для всех известных, разрабатываемых и перспективных способов.

Важное место в базе моделей занимают модели, разработанные в НИУ заказчиков и директивно утвержденные к применению. Оттестированные на результатах полигонных (сертификационных) испытаний ТС модели заказчиков являются источником знаний для базы знаний (блок 9).

В [2] приведена иллюстрация выполнения процедур блока 8 (см. рис. 1): изложена методология и технология максимально точного решения в реальном времени задач выбора вариантов построения и применения ТС при обосновании программы их развития в условиях ограниченных и некомплектных данных. Реализованный в [2] подход основан на выявлении и использовании объективно существующих зависимостей между значениями отдельных характеристик ТС в таблицах исходных данных. При этом обеспечена универсальность и многовариантность, возмож-

ность многократного уменьшения максимального значения ошибки, сокращения среднего значения относительной погрешности определения в реальном времени неизвестных значений характеристик ТС по таблице исходных ограниченных данных и устранения их некомплектности.

Для иллюстрации основных положений и возможностей разработанной технологии в ходе экспериментов [2] исследованы 4 стратегии использования различных методов решения задачи определения неизвестных значений 4-х характеристик 16-ти вариантов ТС; определены точностные и вероятностные характеристики для 2-х стратегий использования 9-ти способов решения задачи, построенных на семействе высокоточных и быстродействующих методов ZET и WANGA, реализованных в блоке анализа данных [11].

При обосновании программ развития ТС несъемлемой компонентой процедур блоков 6-8 (см. рис.1) является оценка эффективности функционирования ТС в выбранной предметной области. Процесс функционирования современных и перспективных адаптивных технических систем носит явно выраженный сложный вероятностный характер.

В [3] изложен аналитический способ определения вероятностных оценок эффективности функционирования сложных адаптивных ТС с помощью аппарата полумарковских процессов. Приведен пример синтеза с помощью данного способа аналитической модели для точного определения вероятностных оценок эффективности функционирования широкого класса адаптивных ТС. При выборе ряда целей исследования разработанный способ может рассматриваться как способ прогнозной оценки работоспособности ТС.

В целом в модели одновременно учтено 12 случайных компонент, характерных для процесса работы сложных адаптивных ТС. При этом важно подчеркнуть, что модель позволяет исследовать как автономное влияние на эффективность ТС каждой из 12 случайных компонент, так и любой их комбинации. Три случайные компоненты характеризуют надежность, поток заявок на использование ТС и работы по ее техническому обслуживанию (например, регламентные работы).

Девять случайных компонент в модели позволяют исследовать в каждом режиме работы ТС возможности ее адаптации по производительности обслуживающего, восстанавливающего органов и органа технического обслуживания, стратегиям (интенсивности) использования системы в анализируемом режиме, пяти типам стратегий ожидания в очереди на обслуживание.

Исследуемое пространство адаптации ТС определяется 22 параметрами и пятью произвольными законами распределения случайных величин. Точность получаемых вероятностных оценок определяется точностью и достоверностью исходных данных (более 30 параметров) и соответствием реального процесса функционирования анализируемой ТС математической модели.

Универсальные модели блока 8 работоспособны при условиях, ограничениях и требованиях, определяющих лишь фрагмент признакового пространства исследований, сформированного при выполнении процедур блока 4. Ни одна модель блока 8 не в состоянии одновременно охватить все процедуры разработанных технологий (процедуры блоков 1-19). В этом методологическое значение предложенных в [1-5] технологий — они способны работать в признаковом пространстве, недоступном для моделей блока 8.

При реализации технологий обоснования, прогнозирования и подготовки баз исходных данных используется [1,2,4] база знаний. Основное применение базы знаний — при преобразованиях БИД в базу конечных результатов (БКР — блок 10): устранение некомплектности, противоречивости исходных данных и фильтрация ложных прогнозов в БКР.

В результате выполнения процедур блока 7 формируется база конечных результатов комплексных исследований. В зависимости от размерности признакового пространства исследований БКР (блок 10) может содержать сотни мегабайт данных.

Усеченный анализ БКР по специальным методикам (блок 11) позволяет дать ответ на системный вопрос: удастся ли построить в рамках принятой концепции развития анализируемых ТС такую долгосрочную программу, которая полностью удовлетворяет всем условиям, ограничениям и требованиям, определенным процедурами блока 4, на заданном массиве исходных данных (блок 6)? Если ответ положительный, то далее выполняются процеду-

ры блоков 12-15. В противном случае выполняются процедуры блоков 16-19 (в рамках новой концепции развития анализируемого ТС) и одновременно в блоках 3-6 (в рамках существующей концепции развития анализируемого ТС) корректируются решаемые задачи, признаковое пространство исследований, база исходных данных и база знаний, используемые при обосновании.

Положительный ответ, получаемый при выполнении процедур блока 10, означает, что в рамках принятой концепции на анализируемой перспективе в пространстве меняющихся требований, ресурсов и данных найдено решение — определены условия устойчивого развития ТС. Отрицательный ответ свидетельствует о том, что в рамках принятой концепции при заданных исходных данных, условиях, ограничениях и требованиях ТС будет неустойчивым, так как условий устойчивого развития не найдено.

Другими словами, формируемая с помощью процедур блоков 12-15 долгосрочная программа развития ТС является публикацией условий устойчивого развития анализируемых ТС на рассматриваемой перспективе в рамках принятой концепции при заданных ограничениях (ресурсах), условиях и требованиях (блок 4) и данных (блок 5).

Поиск условий устойчивого развития, — а в этом основная цель обоснования долгосрочных программ, — без изменения исходных данных, ограничений (ресурсов) и требований при отрицательном решении (блок 11) может осуществляться только в рамках модифицированной концепции развития ТС. Для этого необходимо выполнить процедуры блоков 16-19, при этом наряду с директивно утвержденными в блоке 6 будут рассматриваться принципиально новые виды и типы ТС, не имеющие прецедентов. Данные по этим ТС будут поступать из блока 19. Одновременно с этим в блоках 3-6 должна быть проведена корректировка исходных данных.

Заметим, что если при выполнении процедур блоков 1-15 определяются характеристики перспективных поколений ТС на основе данных о предшествующих и современном поколениях этих ТС, развивающихся в рамках утвержденной концепции, то при выполнении процедур блоков 16-19 определяются характе-

ристики по существу первого поколения ТС (в рамках новой концепции развития).

Примером реализации процедур блоков 16-19 может служить изложенная в [7] технология разработки нового класса ТС, использующих аппаратный спектральный анализ случайных сигналов, неравномерно распределенных в пространстве по частоте и во времени. При этом в реальном масштабе времени с помощью разрабатываемой ТС снимается панорама поля всей совокупности случайных сигналов во всех угломестных и азимутальных направлениях в широкой полосе частот СВЧ диапазона в различных точках стояния радиоэлектронных средств.

При выполнении процедур блоков 16-19 в [7] определены функциональные задачи (блок 17), изложены концепция, принципы построения и применения, алгоритмы работы нового класса ТС (блок 18), разработаны методы и проведено обоснование (блок 19) их структурно-временных, точностных и вероятностных характеристик.

Подчеркнем, подготовленные процедурами блока 19 данные о новом классе ТС поступают в блок 6 и на равных с остальными данными участвуют при выполнении процедур блоков 7-11. Объективный анализ данных определит адекватное потребностям практики и ресурсным возможностям страны место образцам нового класса ТС в программе развития анализируемого вида ТС на длительную перспективу (блок 12).

На основе данных блока 10 при положительном решении, выработанном при выполнении процедур блока 11, формируется федеральная долгосрочная программа развития ТС (блок 12).

В [5] изложены основные положения технологии и научно-методические основы автоматизированного долгосрочного совместного планирования и прогнозирования при обосновании планов и перспективных программ развития ТС с учетом ресурсных ограничений и меняющихся во времени требований. Технология охватывает спектр вопросов, составляющих новый подход в автоматизированном решении задач обоснования ежегодных планов и перспективных программ развития ТС при ограниченных данных и ресурсах.

Излагаемая в [5] технология занимает одно из центральных мест в пространстве взаимосвязанных технологий (см. рис.1, блок 7). Технология имеет особенности и достоинства по сравнению с существующими подходами планирования развития ТС, в том числе, автоматизированными, реализующими традиционные подходы при решении рассматриваемого класса задач. Существование в том, что технология планирования органически стыкуется с технологией прогнозирования и опирается на ее результаты. Как технология планирования, так и технология прогнозирования имеют единый формат и признаковое пространство исследований в пространстве изложенных в [1-5] взаимосвязанных технологий.

В [1,5] проиллюстрировано выполнение процедур блоков 1-5 при текущем и перспективном планировании развития ТСО трех видов и десяти типов. При этом в исходные ряды ТСО добавлены прогнозные варианты построения ТСО, полученные с помощью технологии, рассмотренной в [4] и реализованной в семействе систем "ПАРТНЕР" [6].

В табл. 4 6 приведены фрагменты результатов выполнения процедур блоков 13-14 при ежегодном планировании развития периметровых ТСО на период 1995-2015 гг. для выбранных образцов 13170, 14004, 14011, 14185.

В табл. 4: $C_i^C(T)$, $C_i^D(T)$ -- ежегодные затраты соответственно на серийное производство и эксплуатацию выбранных при перспективном планировании развития образцов.

В табл. 5: $N_i(T)$ — ежегодный количественный состав выбранных образцов.

В табл. 6: $S_{i1}(T)$, $S_{i3}(T)$ — ежегодные объемы выполняемых работ по задачам 1 и 3 соответственно.

Ежегодные планы согласованы по всем пунктам с перспективной программой (блок 12). В [1] и [5] приведены результаты анализа как обосновываемых характеристик перспективных программ (блок 14), так и характеристик выбранных при формировании этих программ образцов (блок 15).

В табл. 7 8 приведены фрагменты результатов выполнения процедур блоков 12-15 при перспективном планировании развития определенного вида радиоэлектронной техники (далее — комплексов РЭТ) на период 1975-2020 гг. в зависимости от

Год	$C_i^c(T)$				$C_i^c(T)$			
	13170	14004	14011	14185	13170	14004	14011	14185
1995	0	1648611	9114000	0	0	206675	875666	14185
1996	0	0	5313217	0	0	205417	976597	0
1997	0	0	5387575	0	0	194971	1078211	0
1998	0	0	5461933	0	0	184427	1180469	0
1999	0	0	5536291	0	0	173791	1283335	0
2000	0	0	5610649	0	0	163068	1386773	0
2001	0	0	0	0	0	151902	1373774	0
2002	0	0	0	0	0	121572	1201034	0
2003	0	0	0	0	0	91210	1028105	0
2004	0	0	0	0	0	60822	855028	0
2005	153125000	0	0	507601513	3062500	30417	681846	10152030
2006	55755000	0	0	12799199	4150650	0	509172	10318676
2007	56385000	0	0	12943823	5241299	0	407737	10485443
2008	57015000	0	0	13088447	6334164	0	306076	10652315
2009	57645000	0	0	13233070	7428971	0	204214	10819282
2010	58275000	0	0	13377694	8525459	0	102180	10986328
2011	59840000	0	0	48820578	9642074	0	0	11859409
2012	60480000	0	0	49342724	10759894	0	0	12733377
2013	61120000	0	0	49864869	11878680	0	0	13608057
2014	61760000	0	0	50387014	12998203	0	0	14483279
2015	62400000	0	0	50909159	14118241	0	0	15358881

интервала планирования, изменявшегося в исследованиях от 10 до 45 лет.

В табл. 7: Δt — интервал планирования; T_n — время начала планового промежутка; T_k — время конца планового промежутка; J_{\max} — максимальное число группировок, которые может обеспечить комплексами РЭТ отечественная промышленность на

Т а б л и ц а 5

Год	$N_i(T)$			
	13170	14004	14011	14185
1995	0	188	144	0
1996	0	184	158	0
1997	0	172	173	0
1998	0	161	186	0
1999	0	150	200	0
2000	0	139	213	0
2001	0	128	209	0
2002	0	101	181	0
2003	0	75	153	0
2004	0	50	126	0
2005	350	25	99	242
2006	469	0	73	243
2007	586	0	58	244
2008	700	0	43	245
2009	812	0	28	246
2010	922	0	14	247
2011	1031	0	0	264
2012	1139	0	0	281
2013	1244	0	0	297
2014	1347	0	0	313
2015	1448	0	0	328

плановом промежутке при заданных исходных данных (далее — на Δt); $C_{\text{ПРЭ}}$ — стоимость программы развития комплексов РЭТ на Δt ; $C_{\text{ПРН}}$, $C_{\text{ПРС}}$, $C_{\text{ПРЭ}}$ — стоимость программы соответствен-

Т а б л и ц а 6

Год	S ₁₁ (T)				S ₁₃ (T)			
	13170	14004	14011	14185	13170	14004	14001	14185
1995	0	0	517338	0	0	3384812	236551	0
1996	0	85594	455018	0	0	2870206	795359	0
1997	0	153245	389512	0	0	2314044	1334304	0
1998	0	214819	330091	0	0	1787935	1848016	0
1999	0	278817	268247	0	0	1236184	2386103	0
2000	0	341430	187053	0	0	659622	3035711	0
2001	0	251711	146649	0	0	825135	2664158	0
2002	0	149486	95137	0	0	690678	2066725	0
2003	0	73983	53722	0	0	481528	1528750	0
2004	0	24411	22107	0	0	231376	1017148	0
2005	532000	0	0	33371	0	0	493294	3449140
2006	545304	0	0	23298	164664	0	517053	3298498
2007	555275	0	0	16558	323543	0	526503	3152783
2008	563893	0	0	11171	482888	0	482695	3059862
2009	572268	0	0	6026	649302	0	385205	3013552
2010	566347	0	0	0	834594	0	225439	2974075
2011	585833	0	0	0	879730	0	0	3221098
2012	580140	0	0	0	872675	0	0	3258305
2013	594448	0	0	0	862132	0	0	3299001
2014	598755	0	0	0	849636	0	0	3341651
2015	689409	0	0	0	1511589	0	0	5420923

Т а б л и ц а 7

Δt	T _н	T _к	J _{max}	С _{прд}	С _{прн}	С _{прс}	С _{прсв}	С	С̄
45	1975	2020	13	3511.46	391.57	2138.98	980.92	270.11	6.00
40	1980	2020	13	3608.10	382.27	2120.36	1105.47	277.55	6.94
35	1985	2020	13	3759.38	364.82	2116.83	1277.73	298.18	8.26
30	1990	2020	13	3801.55	345.23	2026.60	1429.72	292.43	9.75
25	1995	2020	13	3787.62	215.33	1932.22	1640.07	291.36	11.65
40	1975	2015	39	3655.58	323.47	1829.75	1502.36	93.73	2.34
35	1980	2015	39	3518.47	272.51	1756.09	1489.87	90.22	2.58
30	1985	2015	39	3676.38	218.65	1740.33	1617.40	91.70	3.06
25	1990	2015	39	3864.32	173.07	1888.58	1802.67	99.09	3.96
20	1995	2015	39	8570.48	215.33	4910.61	3444.54	219.76	10.99
35	1975	2010	49	2962.82	36.37	1326.39	1600.06	60.47	1.73
30	1980	2010	83	3626.12	75.21	1622.57	1928.34	60.44	2.02
25	1985	2010	60	9729.06	376.89	5890.97	3461.20	117.22	4.69
20	1990	2010	70	10652.06	673.57	6440.92	3637.57	152.17	7.61
15	1995	2010	48	11551.51	402.83	6701.66	4447.02	240.66	16.04
30	1975	2005	49	2276.27	36.37	1049.41	1190.49	46.45	1.51
25	1980	2005	60	2720.21	36.12	1267.08	1417.01	45.34	1.81
20	1985	2005	83	4618.64	151.99	2388.37	2078.29	55.65	2.78
15	1990	2005	78	8966.21	640.23	5211.07	3114.90	114.95	7.66
10	1995	2005	47	5996.54	336.17	3379.27	2281.10	127.59	12.76

но НИОКР, серийного производства и эксплуатации, связанных с развитием комплексов РЭТ на Δt ; C — затраты на обеспечение комплексами РЭТ одной группировки на Δt ; \bar{C} — средние ежегодные затраты на обеспечение комплексами РЭТ одной группировки на Δt .

В табл. 8 дана характеристика начальных составов (НС) в начале планового промежутка и выбираемых (В) образцов комплексов РЭТ при перспективном планировании развития этих комплексов. В верхней строке приведены условные буквенные обозначения комплексов РЭТ, величина h характеризует различный уровень требований к комплексам.

При выполнении процедур блока 14 определяются значения различных характеристик: минимальная номенклатура и состав изделий, необходимых для полного выполнения предписанного анализируемым ТС объема задач на всем плановом промежутке времени; потребные объемы поставок (по годам, видам и типам выбранных образцов); рекомендуемые сроки начала НИОКР и серийного производства выбранных изделий; прогнозируемая стоимость перспективной программы и необходимые для ее реализации ежегодные затраты (в целом и дифференцировано — на НИОКР, серийное производство и эксплуатацию выбранных изделий); минимальная ежегодная потребность в личном составе для обслуживания выбранных образцов ТС.

Среди характеристик, определяемых при выполнении процедур блока 15: выбранные при формировании программы прогнозный и приоритетные ряды образцов ТС; приоритетный ряд характеристик ТС; рекомендуемые значения жизненного цикла выбранных образцов ТС (по каждому образцу — рациональные длительности серийного производства и срока службы); целесообразные сроки снятия с производства отдельных образцов; целесообразные сроки службы изделий (например, для ТСО в [1] обоснована целесообразность увеличения срока службы изделия на 2 года).

2. Концепция автоматизированного прогнозирования развития технических систем на длительную перспективу в условиях ограниченных, некомплектных и противоречивых данных

Центральная задача (см. рис.1, блоки 4-7) всех теоретических и экспериментальных исследований, связанных с прогнозированием развития ТС на длительную перспективу, — минимизация погрешности прогноза и обеспечение его приемлемой достоверности. Особую актуальность эта задача приобретает при проведении экспериментального автоматизированного прогнозирования развития ТС в условиях ограниченных, некомплектных и противоречивых данных.

На рис. 2 приведена концепция решения сформулированной выше задачи, обобщающая результаты, приведенные в [4]. Предлагаемая концепция и разработанная технология [4] нацелены на то, чтобы максимально обеспечить требования заказчиков по надежности и достоверности прогнозных исследований.

В ходе экспертного отбора специалистами предметной области и исполнителями экспериментального прогнозирования развития ТС база первичных данных (БПД) размером $N_{пд} \times Q_{пд}$ преобразуется в базу исходных данных для прогнозирования (версия 1 — БИД1) размером $N_{ид1} \times Q_{ид1}$, где $N_{(.)}$ — число строк в $Q_{(.)}$ — число столбцов в базах данных, $N_{ид1} < N_{пд}$, $Q_{ид1} < Q_{пд}$.

В ходе преобразования БПД \rightarrow БИД1 объем БИД1 оказывается многократно меньшим объема БПД. В ходе формирования БИД1 в нее включаются лишь те строки БПД, в которых имеются значения в целом не менее 60-70% характеристик анализируемых ТС (рис. 1, блок 4), при этом обязательно должны присутствовать данные о наиболее приоритетных характеристиках, существенно влияющих на точность прогнозируемых характеристик. Среди обязательных данных — значения временных и интегральных характеристик образцов ТС, их стоимостные характеристики.

В табл. 9 приведен пример приоритетных рядов характеристик комплексов РЭГ, о которых говорилось выше. Взаимная зависимость характеристик, условные обозначения которых приведены внутри табл.9, определялась экспертным путем.

№	Анализ. характеристики	Приоритетность влияния на значения характеристики, указанной в начале строки ("0"-м столбце): 1 — высший приоритет, 20 — низший приоритет																					
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	$x_{1,2}$	БП	C^C	D	C^H	H	t^H	P	Кан	ЧЦ	Пом	ВР	БК	$t_{пер}$	V	t^C	t_B	t_H	M	СКО	ЗХ	Э	
2	x_6	C^H	БП	D	C^C	P	H	СКО	t^H	t^C	Пом	ЧЦ	V	M	БК	Кан	Э	$t_{пер}$	ВР	t_B	Пом	ЗХ	t_h
3	x_4	t^H	t^C	D	БП	P	C^H	H	C^C	Пом	БК	V	M	СКО	ЧЦ	t_B	ЗХ	t_H	$t_{пер}$	Кан	Э	Тр	
4	x_7	C^C	БП	D	H	P	C^H	t^H	t^C	СКО	ЧЦ	V	Кан	БК	M	ВР	$t_{пер}$	Пом	Э	t_B	ЗХ	t_H	
5	x_6	t^C	t^H	D	БП	P	C^C	C^H	H	СКО	Пом	БК	V	M	t^H	ЧЦ	t_B	ЗХ	$t_{пер}$	Э	Кан	Тр	
6	$x_{19} - x_{23}$	D	БП	C^C	V	C^H	P	M	t^H	t^C	H	Пом	СКО	ВР	ЧЦ	t_H	БК	Кан	$T_{пер}$	t_B	Э	ЗХ	
7	$x_{16} - x_{18}$	H	БП	D	C^C	C^H	t^H	V	P	t^C	M	Пом	СКО	t_H	ВР	ЧЦ	Кан	БК	$t_{пер}$	Э	t_B	ЗХ	
8	$x_{24} - x_{28}$	P	БП	V	D	C^H	C^C	t^H	M	t^C	H	СКО	ЧЦ	ВР	Э	$t_{пер}$	Кан	Пом	t_B	t_H	БК	ЗХ	
9	$x_{13} - x_{14}$	M	P	БП	D	C^H	t^C	C^C	t^H	V	H	Пом	СКО	БК	$t_{пер}$	t_B	Э	ЧЦ	ЗХ	t_H	ВР	Кан	
10	x_{32}	Пом	t^H	t^C	БП	C^H	C^C	Кан	D	ЧЦ	Э	БК	H	P	V	M	Тр	t_B	ЗХ	$t_{пер}$	t_H	СКО	
11	x_{36}	СКО	M	C^H	БП	P	t^H	C^C	t^C	H	D	Пом	V	ЧЦ	БК	Кан	Э	$t_{пер}$	t_B	ВР	ЗХ	t_H	
12	x_8	V	БП	D	C^C	t^H	t^C	H	C^H	M	Пом	P	ВР	ЧЦ	СКО	БК	Кан	$t_{пер}$	t_B	Э	ЗХ	t_H	
13	x_{12}	Кан	БП	C^H	t^H	C^C	t^C	ЧЦ	БК	D	H	V	P	M	ВР	СКО	$t_{пер}$	t_B	Пом	Э	t_H	ЗХ	
14	x_{11}	Э	БП	C^H	C^C	t^C	t^H	ЧЦ	Кан	Пом	БК	СКО	ВР	$t_{пер}$	M	D	P	V	t_B	H	ЗХ	t_H	
15	x_{34}	ЧЦ	БП	C^C	C^H	t^H	V	Пом	t^C	Кан	D	H	Э	P	БК	M	СКО	ВР	$t_{пер}$	t_B	ЗХ	t_H	
16	x_{15}	БК	БП	t^C	t^H	C^H	C^C	M	Кан	$t_{пер}$	Э	P	D	Пом	V	ЧЦ	H	t_B	ВР	СКО	t_H	ЗХ	
17	$x_9 - x_{10}$	ВР	C^H	Э	БП	C^C	t^H	t^C	M	$t_{пер}$	ЧЦ	Кан	БК	V	СКО	Пом	D	H	t_B	P	ЗХ	t_H	
18	x_{33}	$t_{пер}$	M	БП	C^H	Э	C^C	t^C	t^H	БК	t_B	Кан	СКО	P	D	ЗХ	V	ЧЦ	Пом	ВР	H	t_H	
19	x_{30}	t_B	Э	C^H	БП	t^H	t^C	C^C	Кан	$t_{пер}$	D	СКО	M	P	V	ЗХ	БК	Тр	Пом	ЧЦ	H	t_H	
20	x_{31}	t_H	t^C	D	БП	P	C^H	H	C^C	СКО	Пом	БК	V	M	ЧЦ	t_B	ЗХ	t_H	$t_{пер}$	Кан	Э	ВР	
21	x_{29}	ЗХ	t^H	t^C	БП	C^H	C^C	$t_{пер}$	t_B	P	D	M	Пом	V	БК	СКО	Э	ЧЦ	H	ВР	Кан	t_H	

Т а б л и ц а 10

Шифр ТСО	α_n^1	α_n^2	α_n^3	t_n^c	C_n^c	C_n^3	P_n	x_{1n}	x_{2n}	x_{3n}	x_{4n}	x_{5n}	x_{6n}	x_{7n}	x_{8n}	x_{9n}	x_{10n}	x_{11n}	x_{12n}	x_{13n}	x_{14n}	
11001	150	300	300	1975	1492.7	0.805	0.95	7	1	0.037	12.0	720	-	5	2	500	400	150	24.0	-50	50	
11002	100	100	200	1976	43.7	2.184	0.90	1	1	0.036	-	-	-	-	-	-	-	-	24.0	-50	50	
11003	150	300	300	1977	273.0	39.468	0.95	6	1	0.46	6.0	-	-	-	2	273	322	120	24.0	-50	50	
11004	125	250	250	1979	-	-	0.95	6	5	0.112	5.0	2000	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	
11005	125	250	250	1979	19.1	-	0.95	6	5	0.036	-	1000	10000	-	-	-	-	-	-	-	-40	-40
11006	125	250	250	1980	7120.8	-	0.95	7	5	0.009	40.0	2000	10000	8	2	330	250	166	24.0	-50	50	
11007	250	250	250	1980	2494.5	-	0.98	-	5	0.46	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
11008	100	100	200	1980	37.3	0.250	0.90	6	1	0.46	-	-	-	8	2	370	520	370	24.0	-40	50	
11009	100	100	100	1982	-	-	0.99	8	1	0.036	-	3500	8000	8	2	185	1655	88	24.0	-50	50	
11010	50	100	100	1984	-	-	0.95	1	1	0.09	0.1	20	10000	-	-	83	140	45	6.0	-50	50	
11011	25	50	50	1984	-	-	0.95	5	1	0.09	0.3	1000	10000	-	4	900	170	900	12.0	-10	40	
11012	125	125	125	1985	2400.0	0.345	0.99	8	1	0.036	0.5	5000	8000	10	2	185	165	88	24.0	-50	50	
11013	125	125	125	1985	2070.8	0.345	0.99	8	1	0.164	0.5	5000	8000	10	2	185	165	88	24.0	-50	50	
11014	200	200	200	1985	-	-	0.98	1	1	0.036	1.0	1500	10000	-	-	842	985	186	27.0	-50	50	
11015	750	750	750	1986	-	-	0.98	8	5	0.09	1.0	2400	10000	10	4	-	-	-	9.0	-50	50	
11016	150	150	150	1986	-	-	0.98	8	1	0.09	1.0	2400	10000	10	4	-	-	-	9.0	-50	50	
11017	200	200	200	1986	-	-	0.98	4	1	0.036	7.0	720	10000	-	-	480	1690	315	25.8	-50	50	
11018	750	750	1500	1987	56.9	-	0.95	1	10	0.56	0.7	1000	3000	5	-	-	-	-	12.0	-40	50	
11019	64	64	64	1987	18.2	-	0.98	8	8	0.036	0.3	500	10000	10	4	-	-	-	-	-50	50	
11020	150	150	300	1990	184.1	51.920	0.90	4	1	0.60	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-50	50	
11021	125	250	250	1992	152.9	-	0.95	2	12	0.036	-	2000	-	-	4	-	-	-	24.0	-	-	
11022	100	200	200	1992	705.0	-	0.97	-	1	0.009	-	720	-	-	-	-	-	-	-	-40	50	
11023	125	125	125	1992	-	-	0.99	4	-	0.009	0.05	3500	20000	-	-	200	200	60	24.0	-50	50	
11024	125	250	250	1993	506.8	0.628	0.96	4	1	0.46	2.0	250	5000	10	-	217	272	144	-	-50	50	
11025	100	100	100	1993	-	-	0.98	-	-	0.037	-	10000	10000	-	-	-	-	-	-	-50	50	
11026	125	125	250	1993	117.0	0.754	0.94	7	1	0.46	-	720	-	-	-	-	-	-	-	-45	50	
11027	150	300	300	1993	430.0	94.6	0.97	-	1	0.009	-	720	-	-	-	-	-	-	-	-40	50	
11028	125	250	250	1993	618.5	0.805	0.95	2	1	0.037	7.0	500	-	-	-	230	180	110	-	-40	50	
11029	250	250	250	1994	2215.4	0.512	0.98	6	1	0.009	0.2	1000	10000	-	-	160	1000	160	-	-50	50	

Т а б л и ц а 11

Шифр ТСО	α_n^1	α_n^2	α_n^3	t_n^c	C_n^c	C_n^g	P_n	x_{1n}	x_{2n}	x_{3n}	x_{4n}	x_{5n}	x_{6n}	x_{7n}	x_{8n}	x_{9n}	x_{10n}	x_{11n}	x_{12n}	x_{13n}	x_{14n}
11001	150	300	300	1975	1492.7	.805	.95	7.0	1	.037	12.0	720	9526	5	2	500	400	150	24	-50	50
11003	150	300	300	1977	273.0	39.468	.95	6.0	1	.460	6.0	1208	10022	8	2	273	322	120	24	-50	50
11004	125	250	250	1979	1054.6	29.374	.95	6.0	5	.112	5.0	2000	10000	9	2	201	806	103	23	-45	48
11005	125	250	250	1979	191.1	30.774	.95	6.0	5	.036	4.9	1000	10000	8	2	241	526	103	22	-40	40
11006	125	250	250	1980	7120.8	.514	.95	7.0	5	.009	40.0	2000	10000	8	2	330	250	166	24	-50	50
11008	100	100	200	1980	37.3	.250	.90	6.0	1	.460	6.1	1343	9433	8	2	370	520	370	24	-40	50
11009	100	100	100	1982	5954.6	9.867	.99	8.0	1	.036	7.1	3500	8000	8	2	185	1655	88	24	-50	50
11011	25	50	50	1984	191.1	13.072	.95	5.0	1	.090	.3	1000	10000	10	4	900	170	900	12	-10	40
11012	125	125	125	1985	2400.0	.345	.99	8.0	1	.036	.5	5000	8000	10	2	185	165	88	24	-50	50
11013	125	125	125	1985	2070.8	.345	.99	8.0	1	.164	.5	5000	8000	10	2	185	165	88	24	-50	50
15009	150	300	300	1985	85.8	.552	.95	6.0	1	.220	4.8	1000	9017	9	3	370	240	125	24	-45	55
11015	750	750	750	1986	1998.8	2.959	.98	8.0	5	.090	1.0	2400	10000	10	4	207	193	103	9	-50	50
11016	150	150	150	1986	1998.9	12.741	.98	8.0	1	.090	1.0	2400	10000	10	4	207	264	103	9	-50	50
11017	200	200	200	1986	3527.9	10.398	.98	4.0	1	.036	7.0	720	10000	8	3	480	1690	315	25	-50	50
11019	64	64	64	1987	18.2	36634	.98	8.0	8	.036	.3	500	10000	10	4	182	379	88	15	-50	50
13012	250	500	500	1988	269.0	1.244	.95	1.0	1	.120	.3	500	5000	10	4	837	259	188	24	-43	53
15011	125	250	250	1989	4084.2	.230	.95	6.0	2	.220	2.0	2000	10000	10	2	318	174	115	24	-50	50
11020	150	150	300	1990	184.1	51.920	.90	4.0	1	.600	3.8	1019	9780	10	2	296	603	279	24	-50	50
13014	100	100	100	1990	40.0	23.698	.98	9.0	1	.164	.8	9116	5000	5	4	261	229	120	24	-50	50
11022	100	200	200	1992	705.0	93.994	.97	5.0	1	.009	6.9	720	13627	10	4	168	247	71	17	-40	50
11023	125	125	125	1992	4044.6	14.295	.99	4.0	1	.009	.5	3500	20000	10	2	200	200	60	24	-50	50
11025	100	100	100	1993	1400.1	27.209	.98	9.0	1	.037	1.0	10000	10000	10	4	301	264	150	24	-50	50
11027	150	300	300	1993	430.0	94.600	.97	5.0	1	.009	5.8	720	12470	10	4	233	283	134	22	-40	50
11028	125	250	250	1993	618.5	.805	.95	2.0	1	.037	7.0	500	8538	10	4	230	180	110	24	-40	50
11029	250	250	250	1994	2215.4	.512	.98	6.0	1	.009	.2	1000	10000	10	4	160	1000	160	6	-50	50

Существенным является то, что БИД1 имеет некомплектные и противоречивые данные о ТС ограниченного по сравнению с БИД2 объема. Стремление уменьшить ограниченность данных приводит к увеличению их некомплектности. Последнее снижает точность прогноза.

Технология автоматизированного максимально точного определения (восстановления) неизвестных в БИД1 на основе других данных БИД1 в пространстве методов, способов, стратегий, режимов, условий, ограничений и требований (см. рис.2) изложена в [2]. С помощью данной технологии осуществляется преобразование БИД1 в базу исходных данных для прогнозирования (версия 2 — БИД2) размером $N_{ид2} \times Q_{ид2}$, где $Q_{ид2} \leq Q_{ид1}$.

В ходе преобразования БИД1 → БИД2 среди прочих [2] используется новая процедура повышения надежности прогноза: отдельные строки данных об образцах ТС m_1 -го типа (из БИД1 $_{m_1}$) используются в БИД1 $_{m_2}$, в которой хранятся данные об образцах ТС m_2 -го типа, $m_1 \in M$, $m_2 \in M$, при этом образцы m_1 -го и m_2 -го типа принадлежат одному l -му виду ТС, $l \in L$.

Преобразование БИД1 → БИД2 помимо аргументированного добавления "чужих" строк сопровождается поиском и удалением в БИД1 "лишних своих" строк и столбцов.

В исследованиях выбор подходящих "чужих" и "лишних своих" образцов ТС осуществляется с помощью программ блока анализа данных [11] с использованием полученных автором приоритетных рядов характеристик анализируемых ТС (рис. 1, блок 15; табл. 9).

Соотношение величин $N_{ид1}$ и $N_{ид2}$ в общем случае может быть различным и определяется свойствами БИД1, в том числе ограниченностью, некомплектностью и противоречивостью исходных данных. При экспериментальном прогнозировании развития ТСО $N_{ид2} < N_{ид1}$.

В табл. 10 приведен фрагмент БИД для прогнозирования развития периметровых ТСО, при этом в верхней строке таблицы приведены условные обозначения характеристик ТСО, в левом столбце — условные обозначения образцов периметровых ТСО. В табл. 10 символ "-" означает отсутствие данных в БИД.

Поскольку $N_{ид2} \neq N_{ид1}$, $Q_{ид2} \leq Q_{ид1}$, постольку преобразование БИД1→БИД2 приводит к модификации БИД1 и признакового пространства исследований, выбранного при выполнении процедур блока 4 (см. рис.1).

В ходе преобразования БИД1→БИД2 устраняется некомплектность но сохраняется противоречивость данных в БИД2. С помощью программы ZET блока анализа данных [11] в режиме "редактирование таблиц" в ходе рецензирования данных в БИД2 осуществляется устранение противоречивости данных. В результате формируется база исходных данных для прогнозирования (версия 3 — БИД3) размером $N_{ид3} \times Q_{ид3}$, где $Q_{ид3} \leq Q_{ид2}$.

В ходе преобразования БИД2→БИД3 также выполняются описанные выше процедуры ввода в БИД2 подходящих "чужих" и устранения "лишних своих" образцов анализируемых ТС. Эти процедуры повышают надежность прогнозов.

В табл.11 приведен фрагмент БИД3, полученный в ходе выполнения процедур БИД1→БИД2→БИД3 на основе преобразования фрагмента БИД1, приведенного в табл. 10. В ходе преобразования было удалено 7 "своих" строк и добавлено 4 "чужих" строки.

Поскольку в общем случае $N_{ид3} \neq N_{ид2}$, $Q_{ид3} \leq Q_{ид2}$, постольку преобразование БИД2→БИД3 приводит к модификации признакового пространства исследований в БИД2. Для приведенного в табл.10-11 случая БИД имела 170 строк и 148 столбцов. В результате "лечения" БИД размерность исходных данных сократилась: БИД3 имеет 75 строк и 21 столбец.

Технология реализации процедур БИД→БИД1→БИД2→БИД3 по существу является автоматизированной технологией подготовки баз исходных данных к обоснованию, прогнозированию и планированию развития анализируемых ТС на длительную перспективу. Технология включает процедуры заполнения пробелов экспертным путем, восстановление данных с помощью базы моделей, базы знаний и базы данных, таксономическое и экспертное исследование взаимного влияния данных, устранение "лишних своих" строк и столбцов данных, введение "чужих" строк данных, заполнение оставшихся пробелов в базе данных с помощью блока анализа данных [11].

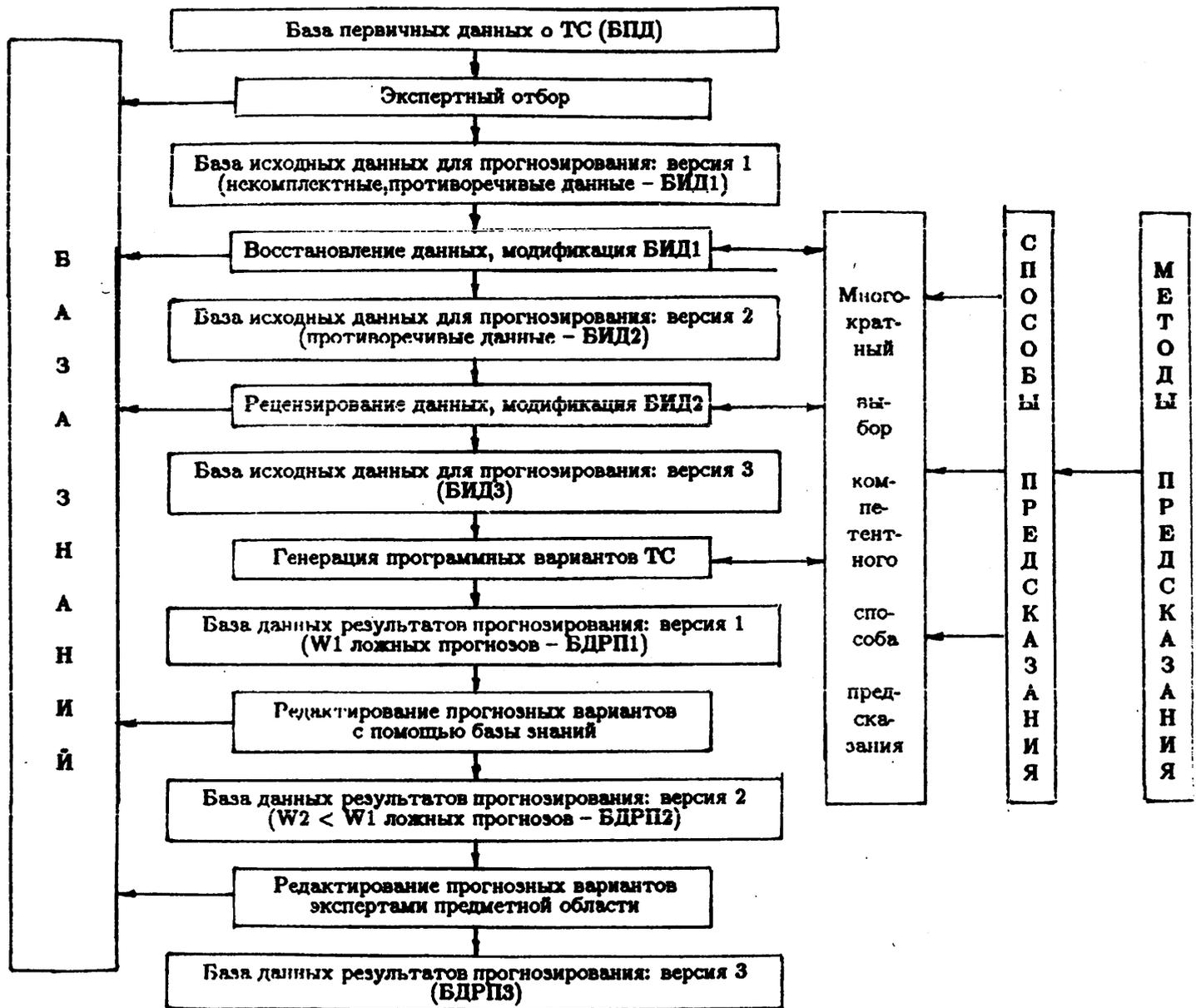


Рис.2. Концепция автоматизированного программирования развития ТС на длительную перспективу в условиях ограниченных, неполных и противоречивых данных.

Настройка инструментальных средств обработки данных на выбранную предметную область исследований и проведение многоступенчатых процедур преобразования баз исходных данных в соответствии с изложенной концепцией осуществляется на основе использования приоритетного ряда характеристик, пример которого приведен в табл.9.

В отличие от ранее практиковавшихся и успешно работавших в других предметных областях подходов развиваемый в [4] научно-технический подход принципиально основан на том, что центр тяжести всех усилий по обеспечению требуемого значения ожидаемой погрешности прогноза находится на этапах подготовки баз данных к процедуре прогнозирования.

Помимо указанных в [4-5] применений (получение заданного числа прогнозных вариантов для долгосрочного планирования развития анализируемых ТС) технология, изложенная в [4], дополнительно позволяет долгосрочно прогнозировать значения стоимостных, эффективности, вероятностных, точностных, временных, массо-габаритных и других характеристик в выбранном признаковом пространстве исследований.

При использовании технологии прогнозирования в комплексе с другими взаимосвязанными технологиями, изложенными в [1-5], рассматриваемая в [4] технология позволяет долгосрочно прогнозировать помимо указанных выше характеристик ТС, условия, ограничения и требования, которые будут предъявляться к ТС в перспективе. Существует возможность сопоставления результатов планирования и прогнозирования ТС на одном и том же плановом промежутке времени (обе технологии освещают одну и ту же перспективу).

Данные в БИДЗ являются комплектными и непротиворечивыми. Эти данные являются исходными для последующей процедуры прогнозирования (см. рис.2).

Выбиравшиеся в ходе процедур БИД→БИД1→БИД2→→БИДЗ компетенционные способы предсказания используются при генерации прогнозных вариантов образцов ТС на основе данных БИДЗ; данных, полученных, при выполнении процедур блоков 4-7 (см. рис.1) и сценария проведения экспериментального прогнозирования [4].

В ходе прогнозирования осуществляется преобразование БИДЗ в базу данных результатов прогнозирования (версия 1 — БДРП1) размером $N_{п1} \times Q_{идз}$, $N_{п1} > N_{тр}$, где $N_{тр}$ — требуемое число прогнозных вариантов анализируемых ТС. Качество прогнозирования определяется числом W_1 ложных прогнозов в $N_{п1}$ или вероятностью правильного прогноза $P_{пп1} = (N_{п1} - W_1)/N_{п1}$.

Новым в процедуре преобразования БИДЗ → БДРП1 является [4] использование строки предельно допустимых значений прогнозируемых характеристик и оригинальные сценарии прогнозирования в каждой предметной области исследований.

С помощью базы знаний, формируемой поэтапно (см. рис.2) в ходе всего процесса автоматизированного прогнозирования развития ТС, осуществляется редактирование прогнозных вариантов БДРП1 и преобразование БДРП1 в базу данных результатов прогнозирования (версия 2 — БДРП2) размером $N_{п2} \times Q_{идз}$, $N_{п2} < N_{п1}$, числом ложных прогнозов $W_2 < W_1$ и вероятностью правильного прогноза $P_{пп2} > P_{пп1}$. Величины $W_2 - W_1$ и $P_{пп2} - P_{пп1}$ характеризуют эффективность применения базы знаний при фильтрации ложных прогнозов.

С помощью экспертов предметной области исследований осуществляется редактирование прогнозных вариантов БДРП2 и преобразование БДРП2 в базу данных результатов прогнозирования (версия 3 — БДРП3) размером $N_{п3} \times Q_{идз}$, $N_{п3} < N_{п2}$, в общем случае с числом ложных прогнозов $W_3 < W_2$ вероятностью правильного прогноза $P_{пп3} > P_{пп2}$. Величины $W_3 - W_2$ и $P_{пп3} - P_{пп2}$ характеризуют эффективность процедуры использования знаний экспертов предметной области исследования при фильтрации ложных прогнозов. Последнее определяется компетентностью экспертов и числом $N_{п3} = N_{тр}$ заказанных прогнозов.

Определение условий, при которых $P_{пп3} \rightarrow 1$, — предмет самостоятельных исследований.

3. Интеллектуальные системы "ПАРТНЕР"

Приведенные в пп.1-2 концепции автоматизированного обоснования и прогнозирования развития ТС на длительную пер-

спективу в условиях ограниченных, некомплектных и противоречивых данных реализованы в семействе интеллектуальных систем "ПАРТНЕР" и экспериментально апробированы в нескольких предметных областях.

Семейство интеллектуальных систем "ПАРТНЕР" создано при непосредственном участии и под руководством автора. В основу работы систем "ПАРТНЕР" положены [6] изложенные в [1,2,4,5] автоматизированные технологии прогнозирования, планирования и обоснования развития ТС на длительную перспективу, принципы построения и научно-методические основы применения инструментальных средств, выполняющих отдельные этапы технологий.

При создании, отладке и экспериментальном применении указанных выше систем автором для каждой предметной области исследований:

- *определены*: признаковое пространство исследований; перечень и содержание исходных данных и конечных результатов; требования к базовым компонентам системы, исходным данным и конечным результатам;

- *получены*: расчетные данные для прогнозирования, планирования и обоснования перспектив развития заданного заказчиком класса ТС;

- *разработаны*: структурная схема и алгоритм взаимодействия различных модулей системы; перечень, содержание и порядок выполнения функциональных задач, решаемых системой; алгоритм работы с системой пользователей (заказчиков); процедуры управления системой при выполнении всех автоматизированных этапов процессов прогнозирования, планирования и обоснования развития ТС; методика настройки системы на выбранную предметную область исследования; структура, содержание и образцы входных и выходных файлов данных и управления процессом работы системы; методики подготовки исходных данных и анализа конечных результатов; структуры и базы первичных данных для прогнозирования, планирования и обоснования развития заданного заказчиком класса ТС;

- *осуществлено* преобразование баз первичных данных в базы исходных данных; выбраны цели, разработаны сценарии и

определена тактика проведения экспериментального прогнозирования, ежегодного и перспективного планирования и обоснования развития ТС; подготовлены входные файлы данных и проведен весь цикл экспериментальных исследований возможностей разработанных технологий;

• выполнен анализ результатов экспериментального прогнозирования, планирования и обоснования развития заданного заказчикам в различных предметных областях класса ТС.

В семействе интеллектуальных систем "ПАРТНЕР":

а) устранение некомплектности и противоречивости исходных данных, преобразование входных файлов данных в выходные файлы результатов при прогнозировании развития ТС, фильтрация ложных прогнозов (с использованием базы знаний) осуществляется методами ZET и WANGA с помощью программных модулей, алгоритм работы которых основан на передовом научном заделе в области обработки данных [8-14] и построения экспертных систем [15-22], созданном в научном коллективе Института математики СО РАН под руководством д.т.н., профессора Н.Г.Загоруйко;

б) преобразование входных файлов данных в выходные файлы результатов при ежегодном и перспективном планировании развития ТС осуществляется с помощью программных модулей, алгоритм работы которых основан на новом научном заделе в области решения задач частично-целочисленного программирования [23-27], созданном в научном коллективе Института математики СО РАН под руководством д.ф.-м.н., профессора В.Л.Береснева.

При разработке семейства систем "ПАРТНЕР" удалось в едином проекте интегрировать:

- возможности взаимосвязанных многоэтапных и многовариантных технологий автоматизированного обоснования программ развития ТС, соединяющих процессы прогнозирования и планирования в один цикл исследований;

- передовой научный задел в области обработки данных и построения экспертных систем;

- новый научный задел в области решения задач частично-целочисленного программирования;

-- возможности специально разработанной СУБД, реализующей алгоритм применения систем.

Разработанный [6] алгоритм работы с системой "ПАРТНЕР", включающий 55 типовых действий, обеспечивает возможность многовариантности работы пользователя с системой и многорежимность ее применения. По запросу пользователя система выдает в реальном времени редактируемые и не редактируемые данные в виде 97 иллюстраций в табличной и произвольной формах.

В ходе комплексных теоретических и экспериментальных исследований в рамках 12 НИР с помощью технологий [1-7] и семейства систем "ПАРТНЕР" [6] получены результаты, на основе которых сформулировано более 200 предложений и рекомендаций по вопросам устойчивого развития технических систем различных видов.

З а к л ю ч е н и е

Предложенные в статье концепции и изложенные в [1-7] и апробированные в нескольких предметных областях технологии представляют новое перспективное научно-техническое направление в области систем обработки информации и управления, используемых при разработке федеральных долгосрочных программ развития технических систем.

В ходе многолетних исследований решен комплекс научно-технических задач в рамках единой концепции устойчивого развития технических систем в условиях конфликта требований, ресурсов и данных, позволяющий автоматизированным путем в едином признаковом пространстве разрабатывать, анализировать, обосновывать и оперативно корректировать долгосрочные программы их развития.

Методологическое значение разработанного комплекса взаимосвязанных технологий состоит в том, что они позволяют находить условия устойчивого развития ТС на всей анализируемой перспективе в пространстве меняющихся требований, ресурсов и данных, т.е. в признаковом пространстве, не доступном для существующих математических моделей. По существу разработанный комплекс взаимосвязанных технологий -- симбиоз различных, в том числе аналитических, моделей, эвристических решений и экспертных суждений.

Разработанные технологии многовариантны и предусматривают выбор по специальным критериям в пространстве методов, способов, стратегий, режимов, тактик наиболее компетентных моделей для решения задач отдельных этапов обоснования перспектив развития ТС. Технологии открыты для применения любых методов, в том числе как известных и опубликованных, так и тех, разработка которых будет завершена в будущем.

В соответствии с концепцией разработанные технологии поддерживают решение любых вопросов, возникающих как при подготовке и проведении, так и при применении результатов обоснования программ развития ТС. Появление новых аспектов будет отражаться на этапах разработки сценария эксперимента, подготовки исходных данных и не потребует изменения технологий.

Предложенные концепции и технологии разработаны на основе анализа потребностей практики, носят универсальный характер, имеют двойное назначение, являются ресурсосберегающими и относятся к классу наукоемких информационных технологий. Они применимы: при решении научно-технических вопросов разработки, создания, испытания и эксплуатации ТС и научно-техническом сопровождении изделий ТС на всех этапах их жизненного цикла; при анализе и обосновании программ развития ТС любого назначения в различных предметных областях на любом иерархическом уровне планирования (федеральном, в субъекте Российской Федерации, региональном, областном).

Положительные результаты многочисленных (тысячи) комплексных экспериментальных исследований работоспособности и возможностей разработанных технологий [1-7], соответствие полученных с помощью них результатов условиям, ограниченным и требованиям заказчиков, научная новизна, обоснованность и достоверность полученных в ходе выполнения более десяти НИР подтверждены заказчиками при приемке этих НИР.

Л и т е р а т у р а

1. УСТЮГОВ Ю.А. Технология автоматизированного обоснования перспектив развития технических систем // Искусственный интеллект и экспертные системы. — Новосибирск, 1996. — Вып. 157: Вычислительные системы. — С. 181-217.

2. УСТЮГОВ Ю.А. Ресурсосберегающая технология технико-экономической оценки вариантов построения технических систем //Прикладные системы искусственного интеллекта. — Новосибирск, 1995. — Вып. 153: Вычислительные системы. — С. 127-163.

3. УСТЮГОВ Ю.А. Технология определения эффективности функционирования сложных технических систем с помощью аппарата полумарковских процессов //Искусственный интеллект и экспертные системы. — Новосибирск, 1997. — Вып. 161: Вычислительные системы. — С. 95-123.

4. УСТЮГОВ Ю.А. Технология прогнозирования развития технических средств и систем на длительную перспективу при существенно ограниченной обучающей выборке //Анализ последовательностей и таблиц данных. — Новосибирск, 1994. — Вып. 150: Вычислительные системы. — С. 71-93.

5. УСТЮГОВ Ю.А. Технология долгосрочного планирования НИОКР, серийного производства и эксплуатации технических систем на основе прогнозирования их развития с учетом ресурсных ограничений и меняющихся во времени требований //Там же. — С. 45-70.

6. УСТЮГОВ Ю.А. Проблемы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решения при обосновании долгосрочных федеральных программ развития технических систем //Второй Сибирский Конгресс по прикладной и индустриальной математике (ИРПМ-96, г.Новосибирск, 25-30 июня 1996 г.). Тез.докл. — Новосибирск, Ин-т математики СО РАН, 1996. — С. 170.

7. УСТЮГОВ Ю.А. Технология аппаратурного спектрального анализа в реальном масштабе времени СВЧ случайных сигналов, произвольно распределенных в пространстве, во времени и по частоте //Прикладные системы искусственного интеллекта. — Новосибирск, 1995. — Вып. 153: Вычислительные системы. — С. 171-199.

8. ЗАГОРУЙКО Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. — Новосибирск: изд-во Ин-та математики СО РАН, 1999. — 270 с.

9. ЗАГОРУЙКО Н.Г. Алгоритм WANGA-CUB //Прикладные системы искусственного интеллекта. — Новосибирск, 1995. — Вып. 153: Вычислительные системы. — С. 164-170.

10. ЗАГОРУЙКО Н.Г., ЁЛКИНА В.Н., ТИМЕРКАЕВ В.С. Алгоритм заполнения пропусков в эмпирических таблицах (алгоритм ZET) //Вычислительные системы. — Новосибирск, 1981. Вып. 61: Эмпирическое предсказание и распознавание образов. — С. 3-27.
11. ЗАГОРУЙКО Н.Г., ЁЛКИНА В.Н. и др. Пакет прикладных программ ОТЭКС. — М.: Финансы и статистика, 1986.
12. ЁЛКИНА В.Н., ЗАГОРУЙКО Н.Г. Блок анализа данных в экспертной системе ЭКСНА //Экспертные системы и анализ данных. — Новосибирск, 1991. — Вып. 144: Вычислительные системы. — С. 54-175.
13. ЗАГОРУЙКО Н.Г., УЛЬЯНОВ Г.В. Локальные методы заполнения пробелов в эмпирических таблицах //Экспертные системы и распознавание образов. — Новосибирск, 1988. — Вып. 126: Вычислительные системы. — С. 75-103.
14. ЗАГОРУЙКО Н.Г., ЁЛКИНА В.Н., ЛБОВ Г.С. Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей. — Новосибирск: Наука, 1985. — 110 с.
15. ЗАГОРУЙКО Н.Г. Анализ данных и анализ знаний //Анализ последовательностей и таблиц данных. — Новосибирск, 1994. — Вып. 150: Вычислительные системы. — С. 3-16.
16. ЗАГОРУЙКО Н.Г. Партнерские системы //Анализ данных в экспертных системах. — Новосибирск, 1990. — Вып. 134: Вычислительные системы. — С. 3-18.
17. ЗАГОРУЙКО Н.Г., БУШУЕВ М.В. Мера расстояния в пространстве знаний //Анализ знаний в экспертных системах. — Новосибирск, 1986. — Вып. 117: Вычислительные системы. — С. 3-19.
18. ЗАГОРУЙКО Н.Г. Методы распознавания и их применение. — М.: Сов.Радио, 1972.
19. БУШУЕВ М.В., ЗАГОРУЙКО Н.Г. Инструментальная экспертная система ЭКСНА //Тр.Международного симпозиума "Экспертные системы в обучении". — Прага: Технический университет, 1989. — С. 26-31.
20. ЁЛКИНА В.Н., ЗАГОРУЙКО Н.Г. Применение ZET-метода в экспертных системах //Анализ разнотипных данных.

— Новосибирск, 1983. — Вып. 99: Вычислительные системы. — С. 73–88.

21. ЗАГОРУЙКО Н.Г., ПИЧУЕВА А.Г. Сравнение иерархических структур // Искусственный интеллект и экспертные системы. — Новосибирск, 1996. — Вып. 157: Вычислительные системы. — С. 101–111.

22. БУШУЕВ М.В., ЁЛКИНА В.И., ЗАГОРУЙКО Н.Г. и др. Блок анализа знаний в инструментальной экспертной системе ЭКСНА // Методы и системы искусственного интеллекта. — Новосибирск, 1992. — Вып. 145: Вычислительные системы. — С. 29–79.

23. БЕРЕСНЕВ В.Л., ГИМАДИ Э.Х., ДЕМЕНТЬЕВ В.Т. Экстремальные задачи стандартизации. — Новосибирск: Наука, 1978. — 333 с.

24. БЕРЕСНЕВ В.Л., ИБРАГИМОВ Г.И., КОЧЕТОВ Ю.А. Алгоритмы решения задачи оптимального выбора динамического ряда изделий // Задачи поиска оптимальных решений. (Управляемые системы). — Новосибирск, 1984. — Вып. 24. — С. 3–19.

25. БЕРЕСНЕВ В.Л. О задаче выбора оптимальных рядов изделий и комплектующих узлов I // Оптимальные процессы. (Управляемые системы). — Новосибирск, 1977. — Вып. 16. — С. 35–46.

26. КОЧЕТОВ Ю.А., ПАЩЕНКО М.Г. Лагранжевые релаксации в задаче выбора оптимального состава систем технических средств // Оптимизация дискретных структур (Управляемые системы). — Новосибирск, 1993. — Вып. 31. — С. 26–39.

27. КОЧЕТОВ Ю.А., ПАЩЕНКО М.Г. Динамические задачи выбора оптимального состава системы технических средств // Дискретный анализ и исследование операций. Новосибирск, 1995. — Т. 1, № 1. — С. 36–49 (ИМ СО РАН).

28. КОЧЕТОВ Ю.А., ПАЩЕНКО М.Г. Нижние границы для задачи выбора состава двухуровневой системы технических средств // Дискретный анализ и исследование операций. — Новосибирск, 1995. — Т. 2, № 1. — С. 3–12 (ИМ СО РАН).

Поступила в редакцию
30 марта 2000 года