УДК 621.757

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

© 2014 О.С. Самсонов, М.О. Шенаев, М.Е. Саутенков, Д.С. Воронцов, А.Н. Петрина

МАТИ-РГТУ ИМ. К.Э. Циолковского, г. Москва

Поступила в редакцию 09.09.2014

Излагаются подходы к формированию и сопровождению технологических баз данных и знаний с использованием комплекса моделей, реализующих интеллектуальную информационную поддержку процессов проектирования технологии сборки изделий авиационное техники на принципах CALS-технологий.

Ключевые слова: *информационная поддержка, информационная среда, модель, технологический процесс, проектирование, информационное обеспечение*

При автоматизированном проектировании технологических процессов обычно выделяют процедуры структурного синтеза формирования состава и последовательности операций и переходов, параметрические расчеты (технологические режимы, трудоемкость, циклы и т.д.), геометрическое моделирование и отработку спроектированного процесса. Эффективность информационной поддержки процессов технологического проектирования определяется:

– функционалом САМ-систем по автоматизированной реализации процедур структурно-параметрического проектирования и геометрического моделирования;

– полнотой и объемом информации, используемой для формирования, оценки и оптимизации конструктивно-технологических и организационных решений сборочного производства (КТиОР).

Самсонов Олег Семенович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технологии проектирования и эксплуатации летательных аппаратов». E-mail: temp@astpp.ru

Шенаев Михаил Олегович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии проектирования и эксплуатации летательных аппаратов»

Саутенков Михаил Евгеньевич, инженер кафедры «Технологии проектирования и эксплуатации летательных аппаратов»

Воронцов Дмитрий Станиславович, инженер-программист кафедры «Технологии проектирования и эксплуатации летательных аппаратов»

Петрина Антон Николаевич, заведующий лабораторией кафедры «Технологии проектирования и эксплуатации летательных аппаратов»

В системах класса «технологический редактор» формирование технологических процессов осуществлялось с использованием шаблонов технологических операций. При этом выбор всех принципиальных решений по структуре технологических процессов, а также расчет технико-экономических параметров осуществлялся пользователем (технологом), а средства системы использовались в основном для формирования технологической документации. Однако уже в 70-80-е годы прошлого века активно проводились исследования по разработке методов формализации технологических знаний и их использования для автоматизации процедур структурно-параметрического синтеза, моделирования и оптимизации. Отдельные направления (аксиоматический подход к проектированию технологии, разработка экспертных систем технологического назначения и др.) носили экспериментальный характер и не нашли широкого промышленного применения. Наибольшее распространение получили системы, основанные на применении следующих методов формализации технологических данных:

1. *Таблицы принятия решений.* Метод основан на представлении технологических данных в виде информационно-логических таблиц, описывающих справочно-нормативные данные и условия принятия решений. При реализации метода для механообрабатывающего производства разработаны классификаторы деталей, их структурных элементов (обрабатываемых поверхностей), а также классификаторы и системы кодирования технологических операций, переходов и элементов производственных систем [1].

2. *Типовые математические модели.* Компоненты иерархической системы математического моделирования «ИСТРА», предназначенные для проектирования технологических процессов:

– табличные модели: для проектирования типовых и групповых технологических процессов линейно-упорядоченной структурой операций и переходов;

– сетевые модели: для проектирования вариантных технологических процессов при описании связей между операторами в виде графа;

– перестановочные: для проектирования вариантных технологических процессов при описании связей между операторами в виде логических условий (для сборки – уравнения базирования и уравнения доступа в зону сборки).

Применение типовых математических моделей для проектирования технологических процессов, а также отработки технологичности деталей и сборочных единиц, регламентировано государственными стандартами и методическими рекомендациями [2, 3]. В 80-е годы система автоматизированного проектирования технологических процессов была разработана в МАТИ и внедрена на ряде предприятий аэрокосмической промышленности. К ним, прежде всего, следует отнести Ульяновский авиационный промышленный комплекс «УАПК», ныне – ЗАО «Авиастар-СП».

3. *Базовые и комплексные технологические модули (БТМ, КТМ)* – представленные в программном виде алгоритмы проектирования технологических операций и переходов. Базовый технологический модуль является первичным структурным элементом информационной среды системы технологического проектирования (ИС ТП) и представляет собой модель проектирования однопереходной типовой технологической операции. Комплексный технологический модуль – модель проектирования многопереходной типовой технологической операции, групп операций либо типового технологического процесса, представленная в виде совокупности БТМ. При классификации видов работ БТМ объединяются в группы по общности конструктивно-технологических свойств изделий и их элементов, а также по способам выполнения работ. Методология разработки информационного обеспечения в виде информационных модулей была положена в основу создания отраслевой технологической информационной базы (ОТИБ), разработка которой была начата отраслевым технологическим институтом авиационной промышленности (НИАТ) совместно с рядом предприятий авиационной промышленности [4]. Этот подход использован и при создании системы автоматизированного проектирования технологических процессов «ТеМП», разработанной специалистами ЗАО «Авиастар-СП» и МАТИ [5]. Информационная среда системы ТеМП включает в себя:

– БД моделей элементов производственной системы;

– БД нормализованных и стандартизованных изделий, применяемых в конструкции самолета;

– Базовые и комплексные технологические модули по основным видам сборочно-монтажных работ.

Методика разработки компонентов информационной среды САПР ТП «ТеМП». Разработка базовых и комплексных технологических модулей должна осуществляться на основании анализа отраслевой нормативно-технической документации по технологическому проектированию изделий АТ, а также ряда международных стандартов. В состав НТД входят отраслевые стандарты (ОСТ), технологические рекомендации (ТР), методические материалы (ММ), руководящие технические материалы (РТМ), производственные инструкции (ПИ), стандарты предприятий (СТП) и типовые технологические процессы (ТТП) [6]. Информация, содержащаяся в НТД, регламентирует проектирование технологических процессов (операций и переходов) по отдельным видам работ в форме таблиц, рекомендаций, расчетных формул, уравнений, номограмм и т.д., на основании которых необходимо разработать алгоритм проектирования и реализовать его в виде программы на языке формализации технологических знаний. Комплекс работ по формализации и алгоритмизации технологических данных включает в себя следующие этапы:

1. Формирование состава технологических решений. В соответствие с ГОСТ Р 50995.3.1-96 [7] технологическое решение – это проектное решение, в котором определены значения параметров технологических процессов изготовления данного объекта в заданных условиях и с заданными характеристиками. Применительно к решаемой задаче технологическое решение (R_i) представляет собой упорядоченную последовательность технологических операторов (τ_i) в составе модели технологического процесса (МТП). Результатом обработки алгоритма принятия технологических решений является иерархический набор записей, содержащих текстовые формулировки технологических операций и переходов, сообщения об ошибках (статическая информация), информацию об изделии и производственной среде, значения параметров процесса (динамическая информация).

На основе матрицы отношений «$\tau_i \times R_i$» формируется граф, описывающий вхождение технологических операторов в состав технологического решения в виде однозначной последовательности (рис. 1).

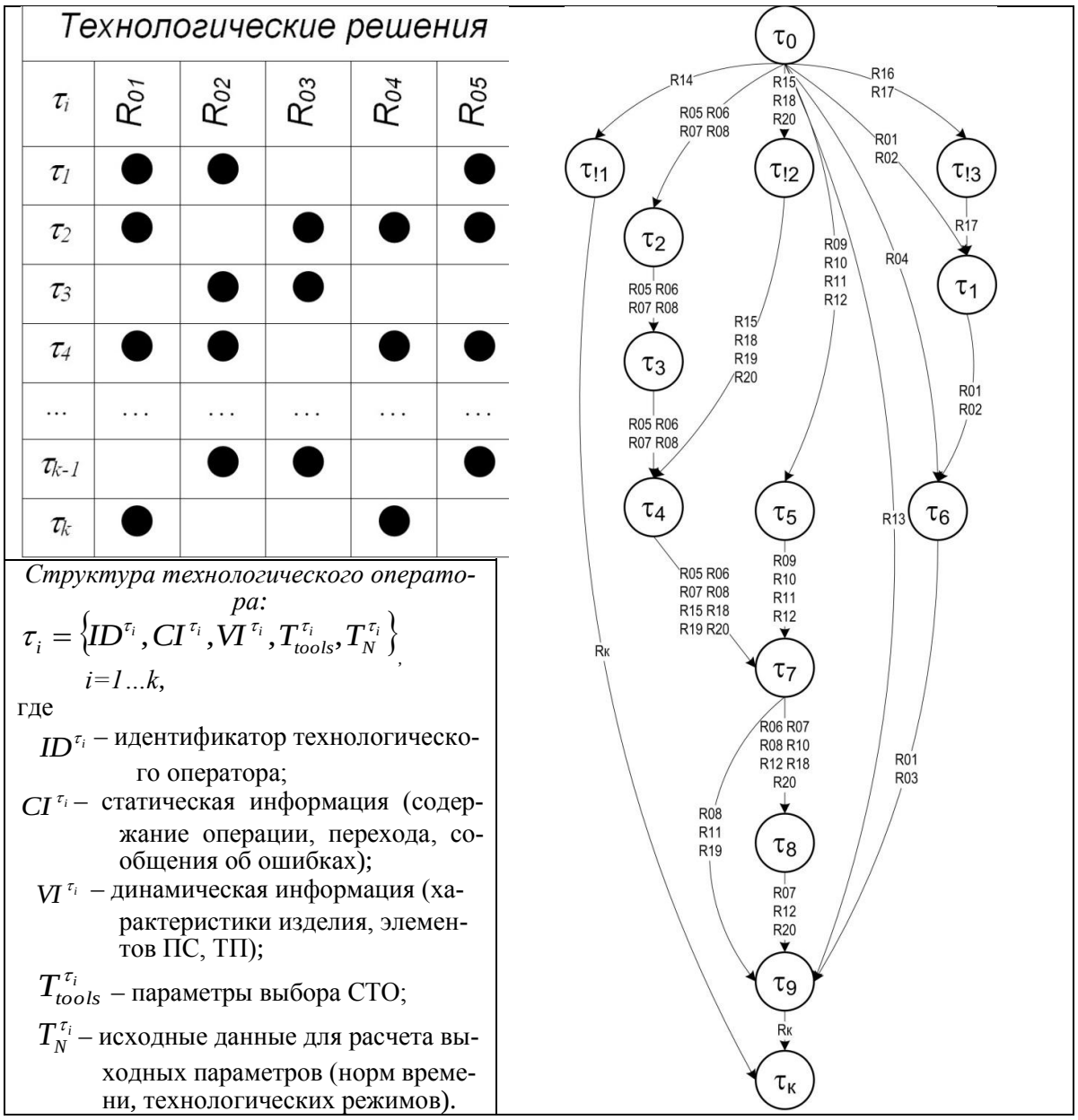

Рис. 1. Формирование состава технологических решений

2. Определение параметров технологических операторов, входящих в состав технологических решений. В набор характеристик технологического оператора (рис. 2) могут входить количественные параметры (количество крепежных точек, габариты элементов конструкции, зазоры между деталями пакета и т.д.) и качественные (марка материала детали, условия выполнения работ, положение корпуса исполнителя и т.д.). Значения характеристик, описывающих технологические операторы, используются в алгоритмах формирования состава и последовательности операторов, нормирования и расчета технологических режимов, определения состава средств технологического оснащения.

3. Формирование моделей выбора средств технологического оснащения. Условием выбора в качестве решения позиции базы данных СТО (π_i) являются параметры выполнения технологической операции или перехода (F_i), которые формируются на основе перечня характеристик, входящих в описание каждого технологического оператора (τ_i) (рис. 3). Расширение БД СТО системы ТеМП выполняется в соответствие с каталогами оборудования и оснастки, применяемых в сборочно-монтажном производстве. БД СТО может дополняться 3D-моделями ряда позиций СТО (резьбозавертывающие, сверлильные машины, насадки и пр.), используемыми при моделировании технологии сборки для проведения анализа рабочих зон на возможность выполнения сборочно-монтажных работ (рис. 4).

4. Формирование вариантной структура комплексного технологического решения, описание взаимосвязей и условий входимости операторов в технологическое решение. В качестве

условий принятия U_i технологических решений R_i выступают наборы количественных и качественных конструктивно-технологические кодов комплексных и базовых технологических модулей ($КТК_{КТМ/БТМ}$). Качественные $КТК_{КТМ}$ (параметры процесса) формируются с использованием каскадных меню, определяющих характеристики выполнения работ. Список возможных условий принятия технологических решений в виде матрицы отношений «Условие» × «Набор $КТК_{КТМ}$» представлен на рис. 5.

τ	Количественные				Качественные		
	x_i	x_{i+1}	x_{i+2}	…	x_{i+n}	x_{i+n+1}	x_{i+n+2}
	$Abbr(x_i)$	$Abbr(x_{i+1})$	$Abbr(x_{i+2})$	…	$Abbr(x_{i+n})$	$Abbr(x_{i+n+1})$	$Abbr(x_{i+n+2})$
τ_i	●		●	…		●	●
τ_{i+1}		●				●	●
…			●	…	●	●	●
τ_m, τ_n	●			…	●		●
область значений	$x_i=f(x_j)$	$x_{i+1}\rightarrow<PDA_j>$	$x_{i+2}=[j]$		$x_{i+n}=1\div n$	$x_{i+n+1}=f(X_{СТО})$	$x_{i+n+2}=k$
ограничения			$x_{i+2}\in СФ_{i+2}$		$x_{i+n}\in СФ_{i+n}$		

Рис. 2. Матрица отношений *«Технологический оператор × Параметр»* ($\tau_i \times x_i$),
где τ_i – технологический оператор; x_i – параметр (характеристика оператора); $Abbr(x_i)$ – описание параметра; $СФ_{i+n}$ – область значений; [j] – характеристика крепежного элемента; PDA_j – указатель на область данных (Pointer_to_Data_Area)

π_i	**Идентификатор позиции БД СТО (ID_iCTO)**	τ_1			τ_2		τ_3			τ_4		τ_{k-1}		τ_{k-1}		
		$F_1=f(x_{01})$	$F_2=f(x_{05})$	$F_3=f(x_n)$	$F_4=f(x_{04})$	$F_5=f(x_n)$	$F_6=f(x_{02})$	$F_7=f(x_{05})$	$F_8=f(x_n)$	$F_9=f(x_{03})$	$F_{10}=f(x_n)$	$F_{11}=f(x_{05})$	$F_{12}=f(x_n)$	$F_{13}=f(x_{01})$	$F_{14}=f(x_{03})$	$F_{15}=f(x_{05})$
π_1	ID_1CTO	●				●						●				●
π_2	ID_2CTO			●					●							
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
π_j	ID_iCTO		●					●						●		

Рис. 3. Матрица отношений *«Элемент списка СТО* (π_i) × *Параметр выбора СТО* (F_i)*»*

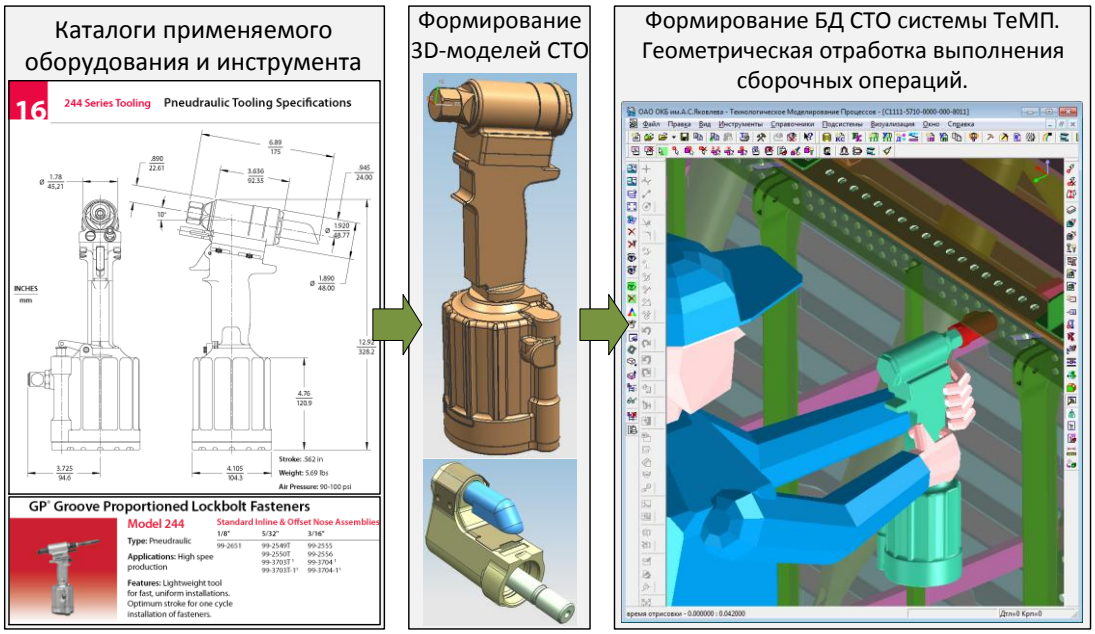

Рис. 4. Разработка БД СТО системы ТеМП. Формирование ЭМ СТО. Геометрическая отработка выполнения сборочных процессов при моделировании ТП сборки изделий АТ

Условие U_i	**Качественные КТК$_{КТМ}$**				**Количественные КТК$_{КТМ/БТМ}$**		
	пункт меню *(Menu_Item$_1$)*	пункт меню *(Menu_Item$_2$)*	…	пункт меню *(Menu_Item$_m$)*	x_i<k	$x_i \geq$k	$x_i \notin \{X_i\}$
U_{01}	●	●	…			●	
U_{02}		●	…	●			●
U_{03}	●		…	●	●		
…	…	…	…	…	…	…	…
U_{n-1}		●	…				●
U_n	●		…	●	●		

Рис. 5. Матрица отношений *«КТК$_{КТМ}$ × U_i»*

На основе матриц «$\tau_i \times R_i$», «*КТК$_{КТМ}$*×U_i», формируется матрица отношений «$U_i \times R_i$» «Условие принятия решения – Технологическое решение (набор технологических операторов)» (рис. 6), описывающая однозначное соответствие каждому из условий определенного технологического решения. Одному условию принятия технологического решения может соответствовать единственное технологическое решение. Для различных условий принятия технологического решения в качестве результата проектирования может выступать одно и то же технологическое решение.

На рис. 7 представлена матрица *«$\tau_I \times G\tau_I L\tau_I \times IDN_I \times x_I \times U_I \times R_I$»*, определяющая структуру комплексного технологического решения и описывающая взаимосвязи технологических операторов в моделях технологических решений R_i.

Условие U_i	Технологические решения			
	R_{01}	R_{02}	R_{03}	R_{04}
U_{01}	●			
U_{02}			●	
U_{03}				●
…		●		
U_n				●

Рис. 6. Матрица отношений «$U_i \times R_i$ *(набор τ_i)*»

τ_i	Идентификатор БТМ ($G\tau_i.L\tau_i$)	Идентификатор модели нормирования (IDN_i)	Характеристики операторов: Количественные				Качественные			Формулы расчета выходных параметров	Технологические решения				
			x_{01}	x_{02}	x_{03}	x_{04}	x_{05}	…	x_n		R_{01}	R_{02}	R_{03}	R_{04}	R_{05}
			$Abbr(x_{01})$	$Abbr(x_{02})$	$Abbr(x_{03})$	$Abbr(x_{04})$	$Abbr(x_{05})$	…	$Abbr(x_n)$						
τ_1	$G\tau_1.L\tau_1$	IDN_1	●				●	…	●	$Tш(\tau_1)=f(x_{01}, x_{05}, x_n, T_N^{\tau_{01}})$	●	●			●
τ_2	$G\tau_2.L\tau_2$	IDN_2				●		…	●	$Tш(\tau_2)=f(x_{04}, x_n, T_N^{\tau_{02}})$	●		●	●	●
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
τ_k	$G\tau_k.L\tau_k$	IDN_k	●		●		●	…		$Tш(\tau_k)=f(x_{01}, x_{03}, x_5, T_N^{\tau_k})$	●			●	
Условия принятия технологических решений										U_{01}	●				
										U_{02}		●			
										…				●	
										U_n					●

Рис. 7. Матрица отношений *«$\tau_i \times G\tau.L\tau_i \times x_i \times R_i \times U_i \times IDN_i$»*, где τ_i – технологический оператор; $G\tau_I.L\tau_I$ – идентификатор модели технологического оператора (БТМ); x_i – параметр (характеристика оператора); $Abbr(x_i)$ – описание параметра; IDN_i – идентификатор модели нормирования БТМ

Дополнением к модели *«$\tau_i \times x_i \times R_i \times U_i$»* может являться матрица, приведенная к виду (1) и описывающая следующие взаимосвязи:

1) Технологический оператор – Характеристика оператора ($\tau_i \times x_i$);
2) Технологическое решение – Состав технологических операторов ($R_i \times \tau_i$);

3) Технологический оператор – Условие входимости в технологическое решение (*«$\tau_i \times U_i$»*);
4) Технологическое решение – Условие принятия решения ($R_i \times U_i$);
5) Технологический оператор – Алгоритм расчета выходных параметров (модель нормирования) ($\tau_i \times IDN_i$);
6) Технологический оператор – БД СТО ($\tau_i \times ID_iCTO$).

$$\begin{bmatrix} [x_i \times U_i] & [R_i \times U_i] & [ID_i CTO] & [IDN_i] \\ & & \times & \times \\ [x_i \times \tau_i] & [R_i \times \tau_i] & [\tau_i] & [\tau_i] \end{bmatrix} \quad (1)$$

Пример сводной матрицы отношений *«$\tau_i \times x_i \times R_i \times U_i \times IDN_i \times ID_iCTO$»* приведен на рис.8. Последовательность формирования технологического решения на основании вектора исходных данных отображена стрелками. Составы технологических операторов и их характеристик, состав условий принятия технологических решений детализируются с учетом дополнительных параметров процесса.

5. <u>Разработка алгоритма проектирования технологической операции и программная реализация модуля</u>. Алгоритм проектирования представляется в виде блок-схемы, включающей в себя расчетные и логические процедуры по преобразованию исходных данных в проектное технологическое решение.

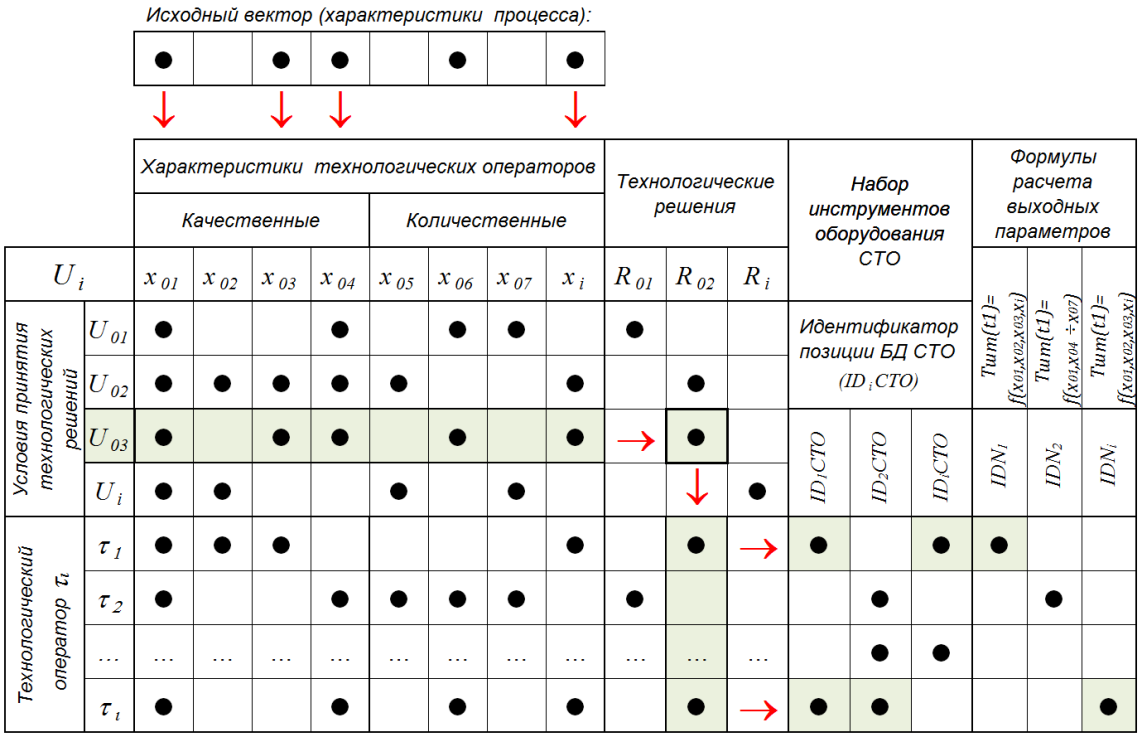

Рис. 7. Матрица отношений *«$\tau_i \times x_i \times R_i \times U_i \times IDN_i \times ID_iCTO$»*, где τ_i – технологический оператор; x_i – параметр (характеристика оператора); R_i – технологическое решение (набор технологических операторов); U_i – условие принятия решения; IDN_i – идентификатор модели нормирования БТМ; ID_iCTO – идентификатор позиции БД СТО

В системе ТеМП программирование информационных модулей осуществляется с использованием языка формализации технологических знаний TKL (*Technological Knowledge Language*), разработанного для формирования и сопровождения технологической части информационного обеспечения. TKL позволяет не только описывать определенные типы алгоритмических моделей, обслуживающих процесс проектирования, но также оперативно модифицировать их в условиях частой смены объекта производства, характерной для ряда предприятий отрасли. Назначение и область применения TKL:

– описание исходной информации для проектирования технологических операций и переходов, формирование системы запросов значений параметров проектирования;
– использование ЭМ изделия в качестве данных для визуализации ТП (моделирование состояний ЭМИ и ЭМ элементов ПС под управлением модели ТП);
– разработка и хранение массивов данных для проектирования и описание процедур доступа к ним;

– описание процедур поиска технологических решений вида: «Последовательность операций и переходов» → «Перечень СТО, инструкций, требований к ТП» → «Расчет технологических режимов и нормативов времени»;

– согласование данных, используемых в комплексе полученных решений.

Компилятор TKL осуществляет перевод технологического алгоритма в исполняемый файл обработки информации в ходе формирования модели технологического процесса (рис. 8).

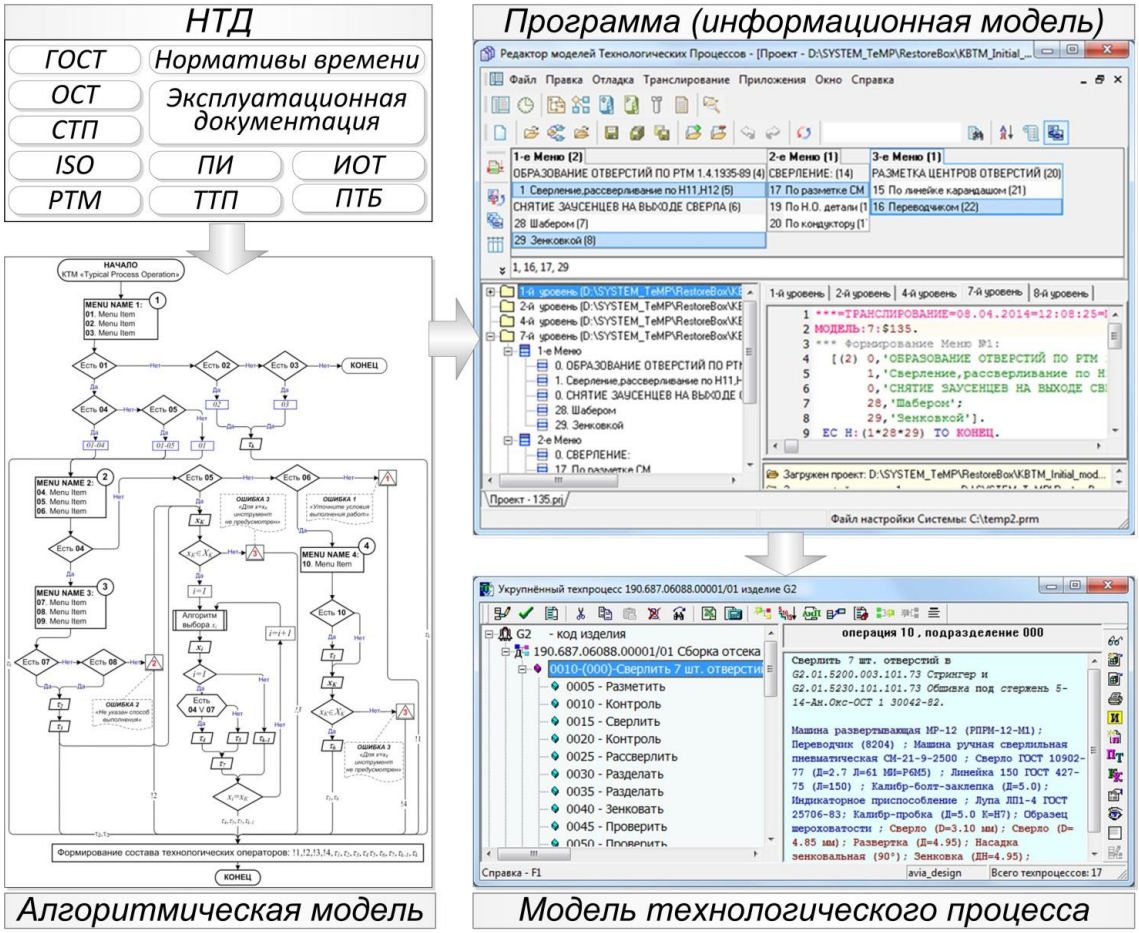

Рис. 8. Формирование алгоритмической модели ТТО, программная реализация и отработка алгоритма формирования комплекса технологических решений

В ходе проектирования ТП состав операций формируется пользователем, а проектирование структуры и параметров операций, а также геометрическое моделирование процессов взаимодействия ЭМИ и элементов ПС реализуется системой в автоматизированном режиме. Результатом исполнения информационного модуля является следующее состояние модели технологического процесса:

1. В состав МТП включена модель технологической операции.
2. Определен состав и последовательность технологических переходов.
3. Выполнен расчет технологических режимов.
4. Определено $T_{шт}$ на выполнение каждого перехода и операции в целом.
5. Сформирован перечень оборудования, оснастки, инструмента, необходимого для выполнения операции.
6. Сформирован состав производственных инструкций и инструкций по охране труда, в соответствии с которыми выполняется данная операция.

Базовое информационное обеспечение системы «ТеМП» по технологии сборочно-монтажных работ носит инвариантный характер и используется для создания рабочего информационного обеспечения конкретного предприятия. При этом выполняется комплекс работ для его адаптации и настройке под заданные производственные условия с учетом действующей на предприятии НТД. В состав базового ИО входит более 7000 БТМ и более 120 КТМ. Изложенная методика формирования информационного обеспечения использована при реализации проектов создания российского транспортного самолета Ил-476, ближнее-среднемагистрального самолета МС-21.

В качестве дальнейшего развития информационной базы планируется разработка информационных модулей для проектирования технологических процессов по другим видам производств. Для этого необходимо адаптировать существующую систему классификации и кодирования объектов технологии (деталей, материалов, сборочных единиц, технологической оснастки, оборудования, инструмента и т.д.) к требованиям современного производства и разработать модель данных, предназначенную для хранения и управления технологической информацией. В настоящее время разрабатывается модуль формирования и оценки конструктивно-технологических и организационных решений, реализация которого позволит выполнять расчет показателей производственной технологичности, включая технологическую себестоимость изделий АТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Цветков, В.Д.* Система автоматизированного проектирования технологических процессов. – М.: «Машиностроение», 1972. 240 с.
2. САПР. Типовые математические модели объектов проектирования в машиностроении. РД 50-464-84. – М.: Издательство стандартов, 1985. 201 с.
3. САПР. Правила разработки и применения типовых математических моделей при проектировании технологических процессов. ГОСТ 23501.605–83. – М.: Издательство стандартов, 1984. 10 с.
4. *Уланов, М.Е.* Создание отраслевой технологической информационной базы / *М.Е. Уланов, Н.П. Вежновец, В.И. Карьков* // Авиационная промышленность. 1982. №12. С.79-81.
5. *Самсонов, О.С.* Комплексное моделирование процессов сборочного производства изделий авиационной техники / *О.С. Самсонов, М.Е. Саутенков, И.И. Толстопятов* // Авиационная промышленность. 2012. №3. С. 51-57.
6. *Кривов, Г.А.* Эффективно организованная электронная технологическая среда – основа компьютерного проекта самолета // Информационные технологии в наукоёмком машиностроении. – Київ: «Техніка», 2001. С. 327-398.
7. ГОСТ Р 50995.3.1-96 «Технологическое обеспечение создания продукции. Технологическая подготовка производства»

DEVELOPMENT OF INFORMATION SUPPORT FOR DESIGN AND MODELING THE ASSEMBLY TECHNOLOGICAL PROCESSES OF AIRCRAFT EQUIPMENT

© 2014 O.S. Samsonov, M.O. Shenayev, M.E. Sautenkov, D.S. Vorontsov, A.N. Petrina

MATI-RSTU named after K.E. Tsiolkovskiy, Moscow

Approaches to formation and maintenance of technological databases and knowledge with use of models complex, realizing intellectual information support of projecting the assembly technological processes of aviation equipment on the principles of CALS technologies are stated.

Key words: *information support, information medium, model, technological process, design, information support*

Oleg Samsonov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Technologies of Aircraft Design and Maintenance". E-mail: temp@astpp.ru
Mikhail Shenaev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department "Technologies of Aircraft Design and Maintenance"
Mikhail Sautenkov, Engineer at the Department "Technologies of Aircraft Design and Maintenance"
Dmitriy Vorontsov, Software Engineer at the Department "Technologies of Aircraft Design and Maintenance"
Anton Petrina, Chief of the Laboratory at the Department "Technologies of Aircraft Design and Maintenance"