

УДК 621.311:658.26

**МЕХАНИЗМ СИНТЕЗА РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КОМПЛЕКСНЫХ
САПР ТП – АСУТП**

Б.В. Палюх, Г.Б. Бурдо

*Кафедра «Технология и автоматизация машиностроения»,
ГОУ ВПО «Тверской государственный технический
университет»; pboris@tstu.tver.ru*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: искусственный интеллект; системный анализ; системы автоматизированного проектирования технологических процессов.

Аннотация: Приведены результаты исследования связей элементов системы автоматизированного проектирования технологических процессов для предприятий единичного и мелкосерийного производств позиций системного подхода.

Эффективность процедур синтеза решений в системах автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) во многом обуславливается обоснованностью входных и выходных информационных потоков каждого ее элемента (подсистемы). Известно, что одним из методов анализа информационных преобразований является теоретико-множественные подходы общей теории систем [1, 2]. Такие исследования крайне важны при разработке математических моделей сложных систем.

Приводятся результаты исследования правил преобразования информации при проектировании ТП в рамках комплексной системы (КС) проектирования автоматизированных систем и управления технологическими процессами (АСУТП) в условиях единичного и мелкосерийного производств.

Были определены основные подсистемы и выявлены взаимосвязи между ними, при этом САПР ТП задавалась множеством элементов (подсистем), каждому из которых соответствует своя операция (функция). Были учтены принципы, реализуемые при создании подобных систем для условий многономенклатурного производства, в частности комплексности, иерархичности, наличия обратных связей, обучения [3]. В соответствии с указанными соображениями представлена системная модель САПР ТП (рис. 1) с элементами обучения и осуществляющая процесс принятия решения на основе учета состояния технологической подсистемы Т_хП. Иерархия процесса принятия решений в САПР ТП представлена слева направо, то есть оператор R₁ обладает высшей иерархией по отношению к R₂ – R₄.

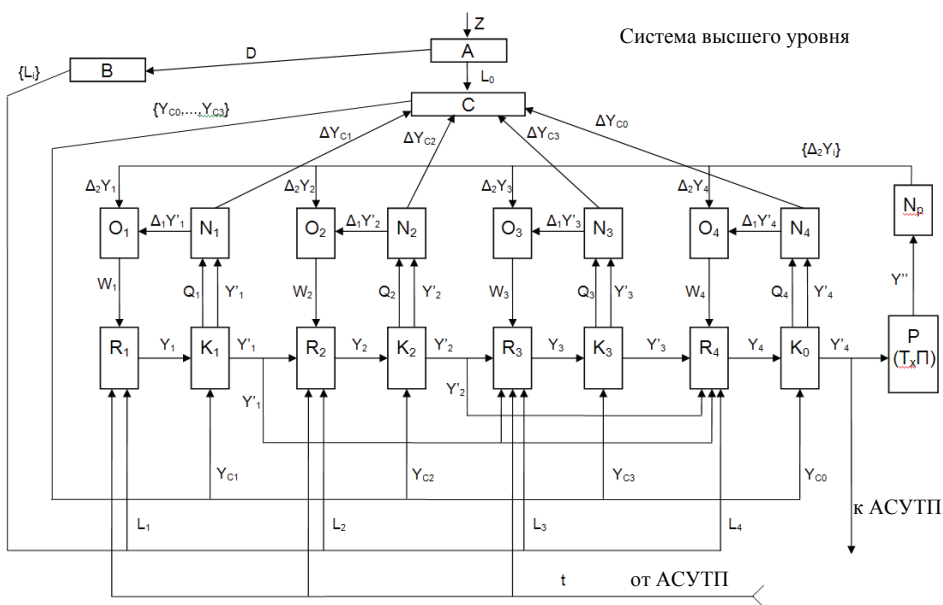


Рис. 1. Системная модель САПР ТП

Иерархия остальных элементов представлена в естественном виде. Операторы $\{O_i\}$ и $\{N_i\}$ имеют высший приоритет по отношению к $\{R_i\}$; C – высший приоритет по отношению к $\{O_i\}$ и $\{N_i\}$; B – по отношению к $\{R_i\}$; A – по отношению к B и C. Операторы $R_1 - R_4$ осуществляют процесс принятия технологических решений (ТР) в САПР ТП.

Оператор R_1 выполняет информационные преобразования, связанные с разработкой укрупненной схемы (УС) технологического маршрута,

$$R_1 : L_1 \times t \times W_1 \rightarrow Y_1, \quad (1)$$

где L_1 – сведения, содержащиеся в исходных данных (в конструкторской документации, различных стандартах, справочных материалах и так далее) и необходимые для синтеза УС; t – множество параметров, определяющих текущее состояние в ТХП, для оператора R_1 здесь же указана очередность разработки технологий; W_1 – множество параметров, определяющих обобщенный опыт проектирования УС; $Y_1 = \{y_{1i}\}$ – множество параметров, определяющих синтезированные УС технологических маршрутов, $j = \overline{1, n_1}$.

Оператор R_2 осуществляет синтез маршрутов (М) обработки детали:

$$R_2 : L_2 \times Y_1' \times t \times W_2 \rightarrow Y_2, \quad (2)$$

где $Y_2 = \{y_{2j}\}$ – множество параметров, определяющих возможные маршруты обработки детали; $j = \overline{1, n_2}$; L_2 – множество параметров, содержащихся в исходных данных, необходимых для синтеза маршрутов обработки; $Y_1' (Y_1' = \{y_{1j}'\}; Y_1' \subset Y_1; j = \overline{1, m_1}, m_1 < n_1)$ – множество параметров, определяющих рациональные варианты УС из числа синтезированных на предыдущем уровне;

W_2 – множество параметров, определяющих обобщенный опыт проектирования маршрутов обработки.

Оператор R_3 синтезирует варианты операционных технологий (ОТ) из числа рациональных ТР, отобранных на предыдущих уровнях,

$$R_3 : L_3 \times Y'_1 \times Y'_2 \times t \times W_3 \rightarrow Y_3, \quad (3)$$

где L_3 – множество параметров, описывающих сведения, содержащиеся в исходных данных, необходимых для синтеза ОТ; $Y'_2 (Y'_2 = \{y_{2j}\}; Y'_2 \subset Y_2; j = \overline{1, m_2}; m_2 < n_2)$ – множество параметров, определяющих рациональные варианты синтезированных маршрутов; W_3 – множество параметров, определяющих обобщенный опыт проектирования ОТ; $Y'_3 = \{y_{3j}\}$ – множество параметров, определяющих возможные варианты синтеза ОТ из числа решений, отобранных на предыдущем уровне, $j = \overline{1, n_3}$.

Оператор R_4 синтезирует управляющие программы (УП) для станков с ЧПУ. Если оборудование такого типа отсутствует, то информация от оператора R_3 адресуется оператору K_0 ,

$$R_4 : L_4 \times Y'_1 \times Y'_2 \times Y'_3 \times t \times W_4 \rightarrow Y_4, \quad (4)$$

где L_4 – множество параметров, описывающих сведения, содержащиеся в исходных данных и необходимые для синтеза УП; $Y'_3 (Y'_3 \subset Y_3; Y'_3 = \{y_{3j}\}; j = \overline{1, m_3}; m_3 < n_3)$ – множество параметров, описывающих рациональные варианты ОТ; W_4 – множество параметров, описывающих обобщенный опыт проектирования УП; $Y_4 = \{Y_{4j}\}$ – множество параметров, характеризующих сведения, содержащиеся в УП, $j = \overline{1, m_4}$.

Операторы $K_1 - K_3$ осуществляют отбор рациональных решений на промежуточных уровнях, а оператор K_6 – оптимального на последнем. Оператором K_1 осуществляются две функции.

Первая функция K_{11} выполняет отбор рациональных вариантов УС технологических процессов из числа синтезированных операторами R_1 ,

$$K_{11} : Y_1 \times Y_{C1} \rightarrow Y'_1, \quad (5)$$

где Y_{C1} – обобщенный опыт по применению критерия на первом уровне с учетом опыта процесса технологического проектирования (ПТП) в целом, их реализации в Т_хП и целевой функции.

Вторая функция K_{12} определяет разброс значений критериев решений, синтезированных R_1 ,

$$K_{12} : \{y_{1j}\} = Y_1 \rightarrow Q_1 = \{q_{1j}\}, \quad (6)$$

где Q_1 – множество параметров критериев выбора, соответствующих решениям $\{y_{1j}\}$.

Функции оператора K_2 :

$$K_{21} : Y_2 \times Y_{C2} \rightarrow Y'_2; \quad K_{22} : \{y_{2j}\} = Y_2 \rightarrow Q_2 = \{q_{2j}\}, \quad (7)$$

где Y_{C2} – обобщенный опыт применения критериев отбора на уровне проектирования М с учетом опыта ПТП в целом, отработки ТР в Т_хП и глобальной целевой функции; $Q_2 = \{q_{2j}\}$ – множество параметров критериев выбора решений на втором уровне, соответствующих Y'_2 .

Функции оператора K_3 :

$$K_{31} : Y_3 \times Y_{C3} \rightarrow Y'_3; \quad K_{32} : \{y_{3j}\} = Y_3 \rightarrow Q_3 = \{q_{3j}\}, \quad (8)$$

где Y_{C3} – обобщенный опыт применения критериев на уровне проектирования ОТ с учетом опыта ПТП в целом, отработки ТР в Т_хП и глобальной целевой функции; $Q_3 = \{q_{3j}\}$ – множество параметров критериев выбора решений на втором уровне, соответствующих Y'_3 .

Функции оператора K_0 :

$$K_{01} : Y_4 \times Y_{C0} \rightarrow Y'_4; \quad K_{02} : Y_4 \rightarrow Q_4 = \{q_{4j}\}, \quad (9)$$

где Y_{C0} – опыт применения глобального критерия выбора ТП в целом и отработки ТР в Т_хП; $Q_4 = \{q_{4j}\}$ – множество параметров целевой функции ТП в целом, соответствующих $Y'_4 = \{y_{4j}\}$, $j = \overline{1, n_4}$; $n_4 < m_4$.

Операторы $N_1 - N_4$ выполняют накопление информации в результате работы операторов $R_1 - R_4$, $K_1 - K_3$ и K_0 .

Оператор N_1 выполняет функции накопления опыта и оценки вариантов проектирования на первом уровне.

Первая функция N_{11}

$$N_{11} : Y'_1 \rightarrow \Delta_1 Y'_1, \quad (10)$$

где $\Delta_1 Y'_1$ – множество параметров, характеризующих новые знания, полученные из отобранных синтезированных вариантов, то есть оригинальные ТР по УС для определенных типов деталей.

Вторая функция N_{12}

$$N_{12} : Q_1 \times Y'_2 \rightarrow \Delta Y_{C1}, \quad (11)$$

где ΔY_{C1} – множество параметров, характеризующих разброс значений критериев для отобранных вариантов оригинальных решений и ТР, являющихся аналогами ранее полученных, в привязке к параметрам решений на данном уровне.

Функция оператора N_2

$$N_{21} : Y'_2 \rightarrow \Delta_1 Y'_2, \quad (12)$$

где $\Delta_1 Y'_2$ – множество параметров, характеризующих новые знания полученные из отобранных на уровне синтезированных вариантов М;

$$N_{22} : Q_2 \times Y'_2 \rightarrow \Delta Y_{C2}, \quad (13)$$

где ΔY_{C2} – множество параметров, характеризующих значения критериев для рациональных оригинальных маршрутов и являющихся аналогами ранее разработанных, в привязке к параметрам решений, отобранным на первом и данном уровнях.

Функция оператора N_3

$$N_{31} : Y'_3 \rightarrow \Delta_1 Y'_3; \quad N_{32} : Q_3 \times Y'_3 \rightarrow \Delta Y_{C3}, \quad (14)$$

где $\Delta_1 Y'_3$ – множество параметров, характеризующих новые оригинальные решения из числа отобранных на уровне ОТ; ΔY_{C3} – множество параметров, характеризующих значения критериев для рациональных оригинальных ОТ, а также для решений, являющихся аналогами ранее принятых, в привязке к параметрам решений, отобранным на первом, втором и данном уровнях.

Функция оператора N_4

$$N_{41} : Y'_4 \rightarrow \Delta_1 Y'_4; \quad N_{42} : Q_4 \times Y'_4 \rightarrow \Delta Y_{C4}, \quad (15)$$

где $\Delta_1 Y'_4$ – множество параметров, определяющих новое оригинальное ТР из числа отобранных на уровне разработки УП; ΔY_{C4} – множество параметров, определяющих значения критериев для новых вариантов УП, и для решений, являющихся аналогами ранее принятых, в привязке к параметрам решений, отобранным на первом, втором, третьем и данном уровнях.

Оператор N_p накапливает информацию по реализованному синтезированному ТР всех уровней в $T_x\Pi$:

$$N_{p1} : Y'' \rightarrow \Delta_2 Y_1; \quad N_{p2} : Y'' \rightarrow \Delta_2 Y_2; \quad N_{p3} : Y'' \rightarrow \Delta_2 Y_3; \quad N_{p4} : Y'' \rightarrow \Delta_2 Y_4, \quad (16)$$

где Y'' – множество параметров, характеризующих фактическое состояние изделия после реализации в $T_x\Pi$ разработанных ТР; $\Delta_2 Y_1, \Delta_2 Y_2, \Delta_2 Y_3, \Delta_2 Y_4$ – множество параметров, характеризующих новые результаты реализации в $T_x\Pi$ решений по определенным классам деталей, а также частоту получения аналогичных результатов по УС, М, ОТ и УП соответственно. По существу, множества $\Delta_2 Y_1 - \Delta_2 Y_4$ характеризуют новые результаты внедрения технологии в производство.

Операторы $O_1 - O_4$ производят обобщение опыта проектирования на уровнях ПТП, исходя из анализа параметров синтезированных ТР и фактического состояния изготавливаемого объекта после прохождения $T_x\Pi$:

$$\begin{aligned} O_1 : \Delta_1 Y'_1 \times \Delta_2 Y_1 &\rightarrow W_1; \quad O_2 : \Delta_1 Y'_2 \times \Delta_2 Y_2 \rightarrow W_2; \\ O_3 : \Delta_1 Y'_3 \times \Delta_2 Y_3 &\rightarrow W_3; \quad O_4 : \Delta_1 Y'_4 \times \Delta_2 Y_4 \rightarrow W_4. \end{aligned} \quad (17)$$

Оператор C устанавливает и обобщает опыт применения критериев на различных уровнях ПТП:

$$\begin{aligned} C_1 : L_0 \times \Delta Y_{C1} &\rightarrow Y_{C1}; \quad C_2 : L_0 \times \Delta Y_{C2} \rightarrow Y_{C2}; \\ C_3 : L_0 \times \Delta Y_{C3} &\rightarrow Y_{C3}; \quad C_4 : L_0 \times \Delta Y_{C4} \rightarrow Y_{C4}, \end{aligned} \quad (18)$$

где L_0 – множество параметров, определяющих целевую функцию и организационно-экономические ограничения для ПТП в САПР ТП.

Функция оператора P состоит в определении множества параметров, определяющих качество изготовленных изделий, полученных при реализации ТП в $T_x\Pi$:

$$P : Y'_4 \rightarrow Y''.$$

Функция оператора В состоит в выделении массивов информации $\{L_i\} = \{L_1, L_2, L_3, L_4\}$, необходимой для синтеза ТР на каждом уровне:

$$B_1 : D \rightarrow L_1; B_2 : D \rightarrow L_2; B_3 : D \rightarrow L_3; B_4 : D \rightarrow L_4, \quad (19)$$

где D – множество параметров, списывающих исходные данные для осуществления синтеза решений; L_1, L_2, L_3, L_4 – множество параметров – исходных данных, необходимых для синтеза УС, М, ОТ и УП соответственно.

Оператор А реализует следующие функции системы управления верхнего уровня:

$$A_1 : Z \rightarrow D; A_2 : Z \rightarrow L_0, \quad (20)$$

где Z – директива на разработку ТП и производство изделий.

Совокупность операторов $R_1 - R_4$ представляет собой механизм или алгоритмы синтеза решений в САПР ТП.

Операторы $N_1 - N_4$ выполняют накопление информации о спроектированных ТП и решений по УС, М, ОТ и УП, а оператор N_p выполняет функцию накопления фактических параметров изделий после реализации ТП. Следовательно, указанные операторы – подсистема накопления информации в САПР ТП.

Операторы $O_1 - O_4$ – подсистема обобщения информации по проектированию и реализации ТП. В совокупности операторы $N_1 - N_4, N_p$ и $O_1 - O_4$ реализуют сторону процесса обучения, связанную с синтезом новых правил проектирования.

Совокупность операторов $K_1 - K_3$ и K_0 – алгоритмы отбора решений на уровнях ПТП. Их совокупность – подсистема оценки отбора решений, построенная на эвристических критериях, которая позволяет резко сузить пространство поиска.

Оператор С служит для обобщения, уточнения и перестройки эвристических критериев отбора, то есть реализует вторую сторону процесса обучения, связанную с оценкой вариантов ТП.

Осуществление связи с АСУТП по параметру t позволяет выполнять проектирование, исходя из сложившейся ситуации в $T_xП$, что отвечает требованиям, предъявляемым к системам искусственного интеллекта.

Оператор В выполняет функцию ввода в САПР ТП исходных данных, необходимых для проектирования. Оператор Р выполняет оценку качества изделий, изготовленных в $T_xП$. Оператор А не относится непосредственно к САПР ТП – это система управления организацией. Операторы $R_1 - R_4, K_0, K_1 - K_3, N_p, N_1 - N_4$ должны выполняться в автоматическом режиме. Операторы $O_1 - O_4, С$ допускают использование диалоговых процедур, оператор Р – работает автоматически, однако информация в него вводится в ручном режиме.

Выводы

Функциональное рассмотрение САПР ТП позволило распределить функции в рамках человеко-машинной системы, оптимизировать проектные процедуры с точки зрения обоснованности информационных преобразований и обеспечить возможность разработки математических моделей принятия решений с элементами искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Волкова, В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб. : Изд-во СПб. гос. техн. ун-та, 1999. – 211 с.

2. Кафаров, В.В. Решение задачи технической диагностики непрерывного производства с помощью интервального анализа / В.В. Кафаров, Б.В. Палюх, В.Л. Петров // Докл. АН СССР. – 1990. – Т. 311, № 3. – С. 677–680.

3. Капустин, Н.М. Принятие и оценка решений при формировании операций механической обработки / Н.М. Капустин, Г.Б. Бурдо // Изв. вузов. машиностроение. – 1980. – № 6. – С. 137–141.

Technique of Solutions Synthesis in Designing of Technology Processes for Complex Systems CAD – PCS

B.V. Palyukh, G.B. Burdo

*Department “Technology and Automation of Engineering”,
Tver State Technical University; pboris@tstu.tver.ru*

Key words and phrases: artificial intelligence; automated design system of technological processes; system analysis.

Abstract: The paper shows the results of the research on the connection between the elements of the technological processes automated design system for small-series production enterprises from the position of the system analysis.

Mechanism der Synthese der Lösungen bei der Projektierung der technologischen Prozesse in den komplexen SAPR TP – ASUTP

Zusammenfassung: Es sind die Ergebnisse der Untersuchung der Verbindungen der Elementen des Systems der automatisierten Projektierung der technologischen Prozesse für die Betriebe der Einzel- und Kleinserienproduktion der Positionen des Systemherangehens angeführt.

Mécanisme de la synthèse des solutions lors de la conception des processus technologiques dans les CAO des processus technologiques des systèmes automatisés et de la commandes des processus technologiques complexes

Résumé: Sont cités les résultats des études des liens des éléments du système de la conception automatisée des processus technologiques pour les entreprises de la production unitaire et en petites séries des positions de l’approche systémique.

Авторы: *Палюх Борис Васильевич* – доктор технических наук, профессор, ректор; *Бурдо Георгий Борисович* – кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология и автоматизация машиностроения», ГОУ ВПО «Тверской государственный технический университет».

Рецензент: *Мешков Владимир Валентинович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и автоматизация машиностроения», ГОУ ВПО «Тверской государственный технический университет».
