

УДК 658.512

Анализ конструкторско-технологических потоков работ в условиях крупного радиотехнического предприятия¹

Design engineering workflow analysis at large radio engineering enterprises

Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Уханова М.Е., Ионова И.С., Елифанов В.В.

A.N. Afanasyev, N.N. Voit, M.E. Ukhanova, I.S. Ionova, V.V. Epifanov

Аннотация

В настоящее время на многих предприятиях радиотехнической отрасли для конструкторско-технологической подготовки производства используется линейка отечественных систем автоматизации проектирования и управления документооборотом КОМПАС, ЛОЦМАН, ВЕРТИКАЛЬ, АЛЬФА. Для разработки потоков работ в этих системах используются диаграммы на специализированных визуальных языках, которые снабжаются текстовой информацией и программными модулями для работы с базами данных, заполнения экранных форм и т.д. Однако вопросы топологического (синтаксического) и семантического анализа и контроля диаграмматических потоков работ в полном объеме не решены. Предлагается автоматный подход для решения указанных проблем.

Abstract

Most of the current radio engineering enterprises use a line of Russian automated document design and management systems called COMPAS, LOODSMAN, VERTICAL, ALPHA for the design and technological preproduction.

¹ Исследования поддержаны грантом Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 2.1615.2017/ПЧ. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области в рамках научного проекта № 16-47-732152.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-07-01417

In order to develop workflows in these systems, specialized visual language diagrams are used. These diagrams are provided by textual information and program modules for working with databases, filling out screen forms, etc. But the issues of topological (syntactic) and semantic analysis and diagrammatic workflow control have not yet been solved in their full completeness. An automaton approach is proposed to solve these problems.

Ключевые слова: потоки работ, диаграммы, анализ, контроль, автоматный подход

Keywords: workflows, diagrams, analysis, control, automaton approach

Реферат

Представление бизнес-процессов крупных промышленных предприятий, в том числе и радиотехнического профиля, в настоящее время производится с помощью потоков работ, в основу которых положено диаграмматическое представление процессов. Дизайнеры такого представления потоков работ имеются в ряде отечественных систем автоматизированного проектирования, например, в ЛОЦМАНе. Однако эффективный синтаксический и семантический анализ и контроль в современных инструментальных средствах отсутствует. Разработаны схема типовых потоков проектных работ промышленного предприятия, а также схема потока работ проектного процесса согласования конструкторско-технологической документации. Топологический анализ схемы потока работ предлагается проводить с помощью авторских автоматных RV-грамматик. Разработана модель проектного процесса согласования на базе сетей Петри, обладающая свойствами живости и безопасности и позволяющая решить задачу достижимости. Будущие направления работ связаны с разработкой механизмов формирования артефактов базы интеллектуальных знаний предприятия на основе анализа диаграмматических моделей потоков работ с использованием RV-грамматик, а также с семантическим анализом программных модулей диаграмм.

Summary

The workflows represent the business processes of large industrial enterprises including the radio engineering enterprises as diagrams.

These workflow designers are available in a number of Russian computer-aided design systems, e.g., in LOODSMAN. But, there is no effective syntactic and semantic analysis and control in today's tools. The scheme of typical design workflows of an industrial enterprise and the scheme of design coordination workflows of the design-technological documentation were developed.

Topological analysis of the workflow scheme is proposed to be carried out using author's automaton RV-grammars.

A design coordination model was developed on the basis of Petri nets. It has the properties of liveness and safety as well as allows a system to solve the reachability problem. Future directions of the research work are related to the mechanisms development for the formation of enterprise's intellectual knowledge base artifacts. The knowledge base will be based on the diagrammatic workflow model analysis using RV-grammars as well as with the semantic analysis of diagrams' program modules.

Введение

Деятельность предприятия можно рассматривать как совокупность процессов, направленных на достижение коллективной цели. В ходе этих процессов исходные данные преобразуются в конечный результат, качество которого зависит от ряда факторов:

- наличие современных средств производства, позволяющих получить максимальный доход от деятельности предприятия при одновременной минимизации расходов;
- использование профессионального программного обеспечения, а также оптимальное соответствие его возможностей решаемым производственным задачам;
- организация и качество управления производственными процессами и ресурсами предприятия (финансовыми, техническими, человеческими);

- количество и квалификация сотрудников.

Первому и последнему пунктам уделяют серьезное внимание, считая их не подлежащими сомнению факторами, с важностью второго пункта сегодня большинство уже согласно. Значимость третьего фактора (организация и качество управления производственными процессами), возможно, пока не столь очевидна.

Одним из условий результативной работы предприятия является эффективное взаимодействие всех составляющих его подразделений и структур. Информационные потоки, отражающие суть производственного процесса, движутся по цепочке. В силу множества причин (организационных, технических, субъективных) скорость и достоверность передачи данных не всегда удовлетворительны. Информация может искажаться, задерживаться, не передаваться вовсе. Все это не лучшим образом сказывается на скорости достижения конечного результата и на его качестве. Снять эти проблемы (хотя бы отчасти) помогает технология потоков работ *workflow*, в основу которой положено визуальное представление потоков в виде связанных диаграмм, имеющих как текстовую, так и программную составляющие.

За последние 20 лет разработано множество программных систем по управлению потоками работ. Большинство из них ориентировано на электронный документооборот (например, 1С [1], DocVision [2]). И только некоторые организации разрабатывают программное обеспечение для управления проектами (например, MS Project [3] или Pilot-Ace компании АСКОН [4], ELMA [5]). Эти системы имеют ряд проблем при разработке *workflow*, которые более подробно будут рассмотрены ниже.

В настоящее время в программных решениях большинства передовых производителей систем управления данными имеется модуль *workflow*: Simens PDM [6], Lotsia PDM [7]. Есть такая разработка и у компании АСКОН: ЛОЦМАН *workflow* является одним из модулей системы управления инженерными данными и жизненным циклом изделия ЛОЦМАН: PLM [8].

Он предназначен для моделирования рабочих процессов и автоматизации управления потоками заданий.

Однако в большинстве систем обработки потоков работ отсутствуют эффективные методы анализа и контроля структур диаграмматических потоков работ и связанных с ними семантическими составляющими в виде текстов и программных модулей.

Статья имеет следующую структуру. В секции 2 сформулирована научно-практическая проблема исследования. Секция 3 содержит уровневую структуру организации бизнес-процессов. В секции 4 представлено моделирование типового бизнес-процесса согласования конструкторско-технологической документации. Секция 5 посвящена разработке автоматного подхода для анализа и контроля структурных особенностей диаграмм потоков работ, представленных на визуальном языке АСКОН. В заключении представлены выводы и дальнейшие направления исследований.

Научно-практическая проблема исследования

Обработка конструкторско-технологических потоков работ в условиях крупного промышленного предприятия требует решения следующих задач.

1. Анализ, систематизацию и построение нормативных диаграмматических моделей потоков работ.
2. Анализ и контроль свойств диаграмматических моделей, в первую очередь топологических.
3. Анализ целостности бизнес-процесса на наличие зависимостей и зацикливаний, а также конечности.
4. Интерпретацию потоков работ, включающую реализацию систем управления потоками работ на основании разработанного бизнес-процесса. Если для разработки схемы бизнес-процесса существует достаточное количество пакет программ, таких как MS Project и пр., то реализацию систем управления потоками работ выполняют большинство крупных разработчиков PDM и ERP систем независимо друг от друга. В эту категорию разработчиков

попадают и разработчики систем по документообороту (1С, DocVision) и систем управления проектами (Pilot-Асе компании АСКОН).

Отсутствие в современной инструментрии обработки указанных потоков работ эффективных методов и средств решения перечисленных задач определяет предмет исследования и его эффективность.

Структура потоков проектных работ крупного проектно-производственного предприятия

Выделим следующие согласованные потоки работ: 6 основных процесса проектирования и 3 процесса поддержки. На рис. 1 разработана схема задач потока «Конструкторско-технологическая подготовка производства», которая является одним из примеров нормативных потоков проектных работ.

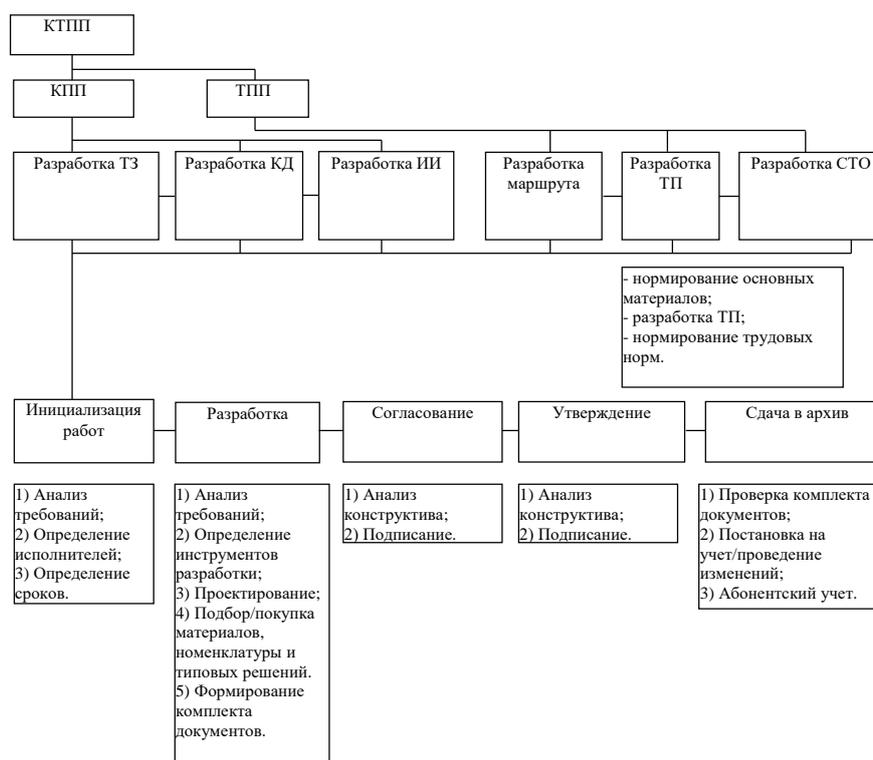


Рис. 1. Потоки работ «Конструкторско-технологическая подготовка производства»

В узлах Конструкторско-Технологическая Подготовка Производства (КТПП), Конструкторская Подготовка Производства (КПП), Технологическая Подготовка Производства (ТПП), Разработка Технического Задания (ТЗ), Разработка Конструкторской Документации (КД), Разработка Извещения об Изменениях (ИИ), Разработка маршрута, Разработка Технологического Процесса (ТП), Разработка Стандарта Организации (СТО) показаны типовые задачи. Например, Разработка ТЗ включает задачи: инициализация работ, разработка, согласование, утверждение, сдача в архив. В свою очередь «Инициализация работ» содержит следующий перечень работ: анализ требований, определение исполнителей, определение сроков.

Модель типового бизнес-процесса согласования конструкторско-технологической документации

Этап согласования конструкторско-технологической документации содержит два типа: верхний (рис. 2) и нижний (рис. 3). Верхний тип представляет собой лабораторное согласование в плане корректности самой схемы (проверка схем электрических, номенклатуры и т.п.). Нижний тип представляет согласование конструктива (технология радиомонтажа и т.п.). Указанные потоки работ представлены на специализированном языке, позволяющем организовать условное и параллельное выполнение работ. Топологическую корректность (особенно в плане удаленных 'И', 'ИЛИ' разветвлений и их слияний) предлагается проводить с помощью авторского аппарата RV-грамматик [9-23], рассмотренного в секции 5. Авторами разработана модель согласования на базе сети Петри (рис. 4), позволяющая провести анализ «в целом», а ее детализация решить проблему целостности бизнес-процесса.

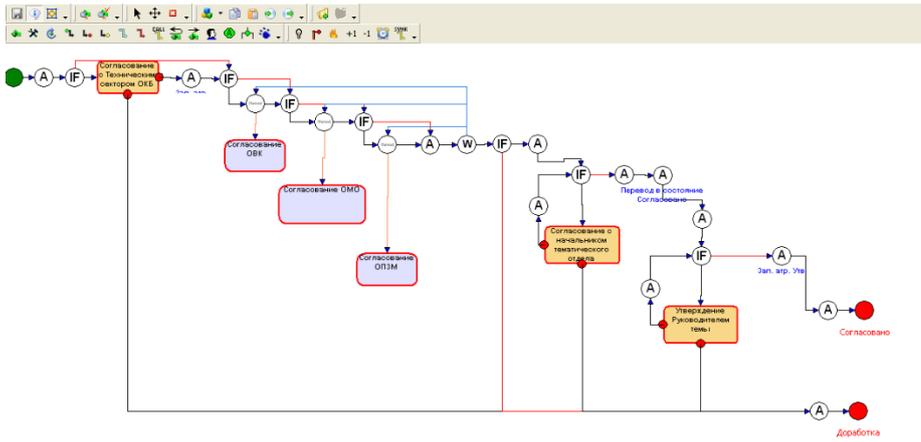


Рис. 2. Верхний тип согласования

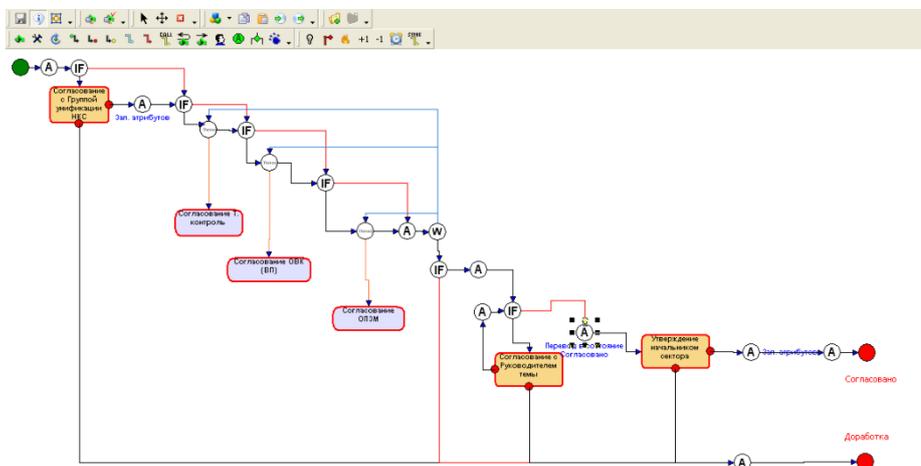


Рис. 3. Нижний тип согласования

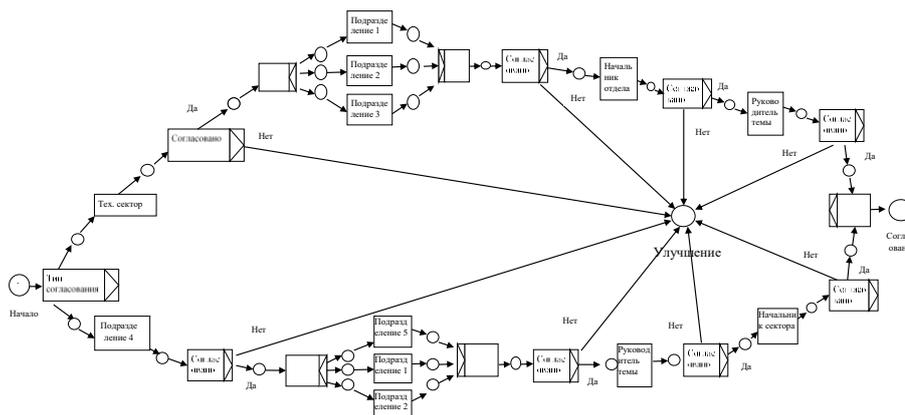


Рис. 4. Динамическая модель этапа согласования на базе сети Петри

Разработка метода анализа и контроля диаграмм потоков работ

Для визуализации потоков работ в виде диаграмм программных продуктов фирмы АСКОН разработан специализированный визуальный язык, позволяющий организовать вложенность процессов за счет нескольких элементов, представляющих собой свернутый подпроцесс. В языке поддерживается создание параллельных потоков. Контроль таких потоков возможен с помощью двух элементов «Событие» и «Семафор», которые работают в паре с элементом «Ожидание» и дополнительным типом связи «Синхродействие». Присутствует элемент «Фантом», который позволяет соединять части диаграммы на разных уровнях вложенности.

В таблице 1 показан ряд графических элементов языка.

Таблица 1. Элементы специализированного языка АСКОН

Название	Отображение	Описание, особенности
Процедура		Свернутый подпроцесс, который возможно вызывать многократно. Имеет только одну входящую связь типа «Перейти в процедуру»
Задание		Свернутый подпроцесс, действие в котором обязательно к выполнению пользователем
Итерация		Свернутый подпроцесс, выполнение которого требуется многократно
Вызов процедуры		Используется совместно с «перейти в процедуру» и блоком «процедура»
Создание потока		Используется совместно с «перейти в процедуру» и блоком «процедура»
Нетранзит		Операция, выполняемая пользователем
Скрипт (автооперация)		
Ветвление		Имеет только две исходящие связи True и false

Фантом		Позволяет соединять части диаграммы на разных уровнях вложенности. По сути является связью
Событие		Используется совместно с «Ожидание». Три входящих, одна из них «Синхродействие», оповещающая о выполнении события
Семафор		Используется совместно с «Ожидание». Три входящих, одна из них «Синхродействие», оповещающая о начале и завершении выполнения событий
Активировать		Имеет две исходящих ветви, одна из них «Синхродействие», оповещающая «Событие» об успешном завершении события
Ожидание		Имеет две исходящих ветви, одна из них «Синхродействие», следящая за статусом выполнения события. Пропускает поток только в случае успешного завершения события
Инкремент		Имеет две исходящих ветви, одна из них «Синхродействие», оповещающая «Семафор» о начале исполнения события
Декремент		Имеет две исходящих ветви, одна из них «Синхродействие», оповещающая «Семафор» о завершении исполнения события

Определение RV-грамматики

RV-грамматика является развитием и расширением R, RS и RG-грамматик [24, 25] и предназначена для синтаксического контроля графических языков, которые могут содержать неструктурированность и элементы параллелизма.

RV-грамматикой языка L (G) называется упорядоченная пятерка непустых множеств

$$G = (V, \Sigma, \tilde{\Sigma}, R, r_0), \text{ где}$$

- $V = \{v_e, e = \overline{1, L}\}$ – вспомогательный алфавит (алфавит операций над внутренней памятью);
- $\Sigma = \{a_t, t = \overline{1, T}\}$ – терминальный алфавит графического языка, являющийся объединением множеств его графических объектов и связей (множество примитивов графического языка);
- $\tilde{\Sigma} = \{\tilde{a}_t, t = \overline{1, \tilde{T}}\}$ – квазитерминальный алфавит, являющийся расширением

терминального алфавита. Алфавит $\tilde{\Sigma}$ включает:

- квазитермы графических объектов;
 - квазитермы графических объектов, имеющих более одного входа;
 - квазитермы связей – меток с определенными для них семантическими различиями. Связью – меткой является каждая связь, исходящая из графического объекта, содержащего более одного входа или выхода. Допустимо одну из связей такого графического объекта не обозначать как связь – метка. Механизм меток используется для возврата к не проанализированным частям графического образа;
 - квазитерм, определяющий отсутствие связей – меток. Квазитерм *no_label*, определяющий отсутствие связей – меток, используется для прекращения анализа диаграммы при условии выполнения операции(ий) над внутренней памятью.
- $R = \{r_i, i = \overline{0, I}\}$ – схема грамматики G (множество имен комплексов продукций, причем каждый комплекс r_i состоит из подмножества P_{ij} продукций $r_i = \{P_{ij}, j = \overline{1, J}\}$);
 - $r_0 \in R$ – аксиома RV – грамматики (имя начального комплекса продукций), $r_k \in R$ – заключительный комплекс продукций.

Продукция $P_{ij} \in r_i$ имеет вид $P_{ij}: \tilde{a}_t \xrightarrow{\Omega_\mu[W_\nu(\gamma_1, \dots, \gamma_n)]} r_m$, где

- $W_\nu(\gamma_1, \dots, \gamma_n)$ – n-арное отношение, определяющее вид операции над внутренней памятью в зависимости от $\nu \in \{0, 1, 2, 3\}$;
- Ω_μ – оператор модификации, определенным образом изменяющий вид операции над памятью, причем $\mu \in \{0, 1, 2\}$;
- $r_m \in R$ – имя комплекса продукции-преемника.

В качестве внутренней памяти предлагается использовать стеки и магазины для обработки графических объектов имеющих более одного выхода (чтобы хранить информации о связях – метках) и эластичные ленты [26] для обработки графических объектов, имеющих более одного входа (чтобы отмечать количество возвратов к данной вершине, а, следовательно, количество входящих дуг). Следует отметить, что ленты позволяют считывать данные из ячеек без уничтожения их содержимого, а ячейки лент могут работать в режиме счетчика целых положительных чисел.

Определим следующую интерпретацию правил RV-грамматики в зависимости от параметров μ и ν .

Пусть $\mu = 0$, тогда $\Omega_0[W_\nu(\gamma_1, \dots, \gamma_n)] \equiv W_\lambda(\gamma_1, \dots, \gamma_n)$, т.е. Ω_0 – пустой оператор.

Отношение $W_\lambda(\gamma_1, \dots, \gamma_n)$ определяет операции над памятью, реализованной моделями стек или магазин.

При $\lambda = 0$ никаких действий над памятью не производится.

При $\lambda = 1$ ($\lambda = 2$) в стек / магазин с номером $S \in \overline{\{1, n\}}$ записывается (стирается) $\gamma_S \in V$, причем если запись производится безусловно, то стирание осуществляется при условии, что γ_S в правиле RV-грамматики и вершине стека / магазина совпадают. В противном случае данное правило считается неприемлемым (стирание не производится).

При $\mu = 1$ оператор Ω_1 имеет вид

$\Omega_1[W_v(\gamma_1, \dots, \gamma_n)] \equiv W_\lambda(\gamma_1^{\alpha_1}, \dots, \gamma_n^{\alpha_n})$, определен для $\lambda = 1, 2, 3$ и задает простую операцию записи, чтения или сравнения над ленточной памятью, где $(\alpha_1(L_1), \dots, \alpha_n(L_n))$ указывают номера ячеек соответствующих эластичных лент $(1, \dots, n)$, куда будут записаны при $\lambda = 1$ (считаны при $\lambda = 2$, сравнены при $\lambda = 3$) символы $\gamma_1, \dots, \gamma_n \in V$.

При $\mu = 2$ оператор Ω_2 имеет вид

$\Omega_2[W_v(\gamma_1, \dots, \gamma_n)] \equiv W_{\lambda_1}(\gamma_1^{\alpha_1}, \dots, \gamma_n^{\alpha_n}) / W_{\lambda_2}(\gamma_1^{\beta_1}, \dots, \gamma_n^{\beta_n})$, определен для $\lambda_1 = 1, 2, \lambda_2 = 2, 3$ и задает условную операцию над ленточной памятью, т.е. операция в числителе выполняется при условии выполнения операции в знаменателе.

Распознавание принадлежности некоторой цепочки языка L , заданному RV-грамматикой, сводится к проверке вхождения первого символа проверяемой цепочки левой части какой-либо продукции комплекса r_0 , в то время как последующие символы должны встречаться в левой части текущего комплекса продукций-преемников, а последний символ цепочки обязательно должен принадлежать продукции с r_k в левой части.

Применение каждой продукции обязательно должно сопровождаться соответствующими действиями над внутренней памятью. В начале процесса порождения и распознавания

внутренняя память должна быть пуста, а по окончанию – состояние памяти должно проверяться операциями продукции с r_k в правой части.

В таблице 2 приведена разработанная автоматная RV-грамматика языка, позволяющая провести анализ топологии диаграмм указанного языка и выявить ошибки.

Таблица 2. RV-грамматика языка АСКОН

Имя комплекса продукции	Квази-терм	Имя комплекса-продукции преемника	Операция с внутренней памятью
r0	A0	r3	o
r1	return	r2	$w_2(b^{4m})$
r2	vA	r1	$w_1(s^{1m}, t^{4m}), \text{CALL } vA$
	vIT	r1	$w_1(s^{1m}, t^{4m}), \text{CALL } vIT$
	Ak	r4	o
	Akm	r5	$w_1(1^{t(1)}, i^{t(2)})/w_2(e^{t(1)})$
	_Akm	r5	$w_1(\text{inc}(m^{t(1)}))/w_3(m^{t(1)} < k^{t(2)} - 1)$
	Akme	r4	$w_1(\text{inc}(m^{t(1)}))/w_3(m^{t(1)} = k^{t(2)} - 1)$
	CL	r6	$w_1(t^{4m})$
	TH	r6	$w_1(1^{t(7)}, i^{t(8)}, t^{4m})$
	SC	r3	o
	SCm	r5	$w_1(1^{t(3)}, i^{t(4)})/w_2(e^{t(3)})$
	_SCm	r5	$w_1(\text{inc}(m^{t(3)}))/w_3(m^{t(3)} < k^{t(4)} - 1)$
	SCme	r3	$w_1(\text{inc}(m^{t(3)}))/w_3(m^{t(3)} = k^{t(4)} - 1)$
	C	r7	$w_1(t^{2m})$
	EV	r3	$w_1(0^{t(5)}, 0^{t(9)}, 0^{t(11)})/w_2(e^{t(5)})$
	S	r3	$w_1(0^{t(6)}, 0^{t(10)}, 0^{t(12)})/w_2(e^{t(6)})$

	F	r11	$w_1(t^{3m})$
	W	r9	$w_1(t^{3m})$
	IN	r11	$w_1(t^{3m})$
	D	r12	$w_1(t^{3m})$
r3	rel	r2	o
r4	no_la- bel	r17	*
r5	labelC	r2	$w_2(b^{2m})$
r6	prel	r13	o
r7	nrel	r2	o
r8	PHsp	r6	o
r9	arel	r14	o
r10	PHsa	r9	o
r11	airel	r15	o
r12	adrel	r16	o
r13	vPR	r1	$w_1(s^{1m}), \text{CALL}(vPR)$
	PHep	r8	o
r14	THa	r2	$w_1(\text{inc}(m^{t(7)}))/w_3(m^{t(7)} < k^{t(8)})$
	PHea	r10	o
	EVa	r2	$w_1(1^{t(9)}), w_2(b^{3m})$
	Sa	r2	$w_1(1^{t(10)}), w_2(b^{3m})$
r15	EVa	r2	$w_1(\text{inc}(m^{t(5)}), 1^{t(11)}), w_2(b^{3m})$
	Sa	r2	$w_1(\text{inc}(m^{t(6)}), 1^{t(12)}), w_2(b^{3m})$

r16	Sa	r2	$w_1(\text{dec}(m^{t(6)}), 1^{t(12)}), w_2(b^{3m})$
-----	----	----	---

Так как нотация языка имеет подпроцессы, то грамматика является иерархической, для организации анализа используются функции CALL и RETURN. Введен глобальный магазин, не зависящий от уровня вложенности, в котором хранится состояние автомата до входа в подпроцесс. Основной тип связи «Перейти» может исходить из некоторых элементов многократно. Все остальные типы связей исходят из элементов единожды. Поэтому при переходе на элементы, использующие разные типы связи, первоначально происходит переход на «нетипичный» с сохранением ссылки на продолжение основного потока.

В грамматике используется 4 магазина и 12 лент.

Назначение магазинов следующее.

1. Глобальный - для хранения состояния перед входом в подпроцесс.
2. Для элемента «Ветвление».
3. Для возврата к элементам после перехода по типу связи «Синхродействие».
4. Для хранения квазитерма, с которого продолжится анализ после возврата из под-

процесса.

Назначение лент следующее.

1. Три - для подсчета проанализированных входящих ветвей элементов «Точка выхода», «Автооперация» и «Создание потока».
2. Три - для хранения общего количества входящих ветвей элементов «Точка выхода», «Автооперация» и «Создание потока».
3. Две - для подсчета статуса событий элементов «Событие» и «Семафор».
4. Две - для контроля связи элементов событий и «Ожидание».
5. Две - для контроля связи, управляющей событиями.

Условием успешного выполнения (*) является.

1. Пустые магазины.

2. Полностью подсчитанные ветви элементов «Точка выхода», «Автооперация» и «Создание потока».

3. Значение 1 у каждого пройденного элемента «Событие» в соответствующей ленте.

4. Значение 0 у каждого пройденного элемента «Семафор» в соответствующей ленте.

5. Значение 1 у каждого пройденного элемента в лентах, выполняющих контроль связей элементов событий.

Разработанная RV-грамматика позволяет определить следующие типы топологических ошибок: отсутствие связи, висячая связь, ошибка передачи управления, недопустимое соединение элементов, «DeadLock», зависание, неопределенность, отсутствие пути потока, нарушения в сложных структурах параллельно-последовательных процессов и др.

Анализ текстовой составляющей блоков диаграмм производится с помощью метода [27], заключающегося в динамическом построении графа понятий и проведении согласования с ним очередной текстовой составляющей.

Заключение и направления дальнейших исследований

В статье проведен анализ бизнес-процессов конструкторско-технологической подготовки производства крупного проектно-производственного предприятия. Разработаны схема типовых потоков проектных работ, а также схема потока работ проектного процесса согласования конструкторско-технологической документации. Топологический анализ схемы потока работ предлагается проводить с помощью авторских автоматных RV-грамматик. Разработана модель проектного процесса согласования на базе сетей Петри, обладающая свойствами живости и безопасности и позволяющая решить задачу достижимости. Будущие направления работ связаны с разработкой механизмов формирования артефактов базы интеллектуальных знаний предприятия на основе анализа диаграмматических моделей потоков работ с использованием RV-грамматик, а также с семантическим анализом программных модулей диаграмм.

Список литературы

1. IC. <http://1c.ru/eng/title.htm>
2. Docvision. <http://www.docsvision.com/eng/>
3. MS Project. <https://products.office.com/en-gb/project/project-management>
4. Pilot-Ace. <http://pilote.ms.com/en/>
5. ELMA. <https://www.elma-bpm.ru>
6. Simens PDM. http://w3.siemens.com/mcmsg/process-control-systems/SiteCollectionDocuments/efiles/pcs7/pdf/76/br_sismatic_pdm_en.pdf
7. Lotsia PDM. <http://www.lotsia.com>
8. LOODSMAN. <http://ascon.net/main/>
9. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Интеллектуальная агентная система анализа моделей потоков проектных работ // Автоматизация процессов управления. – 2015. – № 4 (42). – С. 52-61.
10. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Гайнуллин Р.Ф., Бригаднов С.И., Хородов В.С., Шаров О.Г. Метакомпилятор RV-грамматик // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2016. – № 4 (76). – С. 48-52.
11. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Анализ и контроль динамических распределенных потоков работ при проектировании сложных автоматизированных систем (САС) // В сборнике: Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM - 2016) труды XVI-ой международной молодежной конференции. – 2016. – С. 97-101.
12. Войт Н.Н. Исследование проблем анализа, контроля и планирования бизнес-процессов предприятия // В сборнике: Информатика, моделирование, автоматизация проектирования Сборник научных трудов VII Всероссийской школы-семинара аспирантов, студентов и молодых ученых (ИМАП-2015). – 2015. – С. 39-44.
13. Alexander Afanasyev, Nikolay Voit (2016) Intelligent Agent System to Analysis Manufacturing Process Models. In: Proceedings of the First International Scientific Conference «Intelligent Information Technologies for Industry» (ITI'16), vol. 451 of the series Advances in Intelligent Systems and Computing, pp. 395-403. doi: 10.1007/978-3-319-33816-3_39
14. Alexander Afanasyev, Nikolay Voit, Rinat Gaynullin (2016) The Analysis of Diagrammatic Models of Workflows in Design of the Complex Automated Systems. In: Proceedings of the First International Scientific Conference «Intelligent Information Technologies for Industry» (ITI'16), vol. 450 of the series Advances in Intelligent Systems and Computing, pp. 227-236. doi: 10.1007/978-3-319-33609-1_20
15. A.N. Afanasyev, N.N. Voit, R.F. Gainullin Diagrammatic models processing in designing the complex automated systems // 10th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT) – Baku, Azerbaijan, 2016 – Pp. 441-445.
16. A.N. Afanasyev, N.N. Voit, D.S. Kanev Development of intelligent learning system based on the ontological approach // 10th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT) – Baku, Azerbaijan, 2016 – Pp. – 690-694.
17. Alexander Afanasyev, Nikolay Voit, Dmitry Kanev Intelligent and virtual training environment // Proceedings of International conference on Fuzzy Logic and Intelligent Technologies in Nuclear Science - FLINS2016. – France, 2016. – Pp. 246-251.
18. Alexander Afanasyev and Nikolay Voit (2016) Multi-agent system to analyse manufacturing process models. In: Proceedings of International conference on Fuzzy Logic and Intelligent Technologies in Nuclear Science, pp. 444-449. doi: 10.1142/9789813146976_0072
19. Afanasyev A.N., Voit N.N. Intelligent learning environments for corporations // Proceedings of The 9th IEEE International conference on Application of Information and Communication Technologies: AICT – 2015, 2015 – pp. 107-112.
20. Afanasyev A.N., Voit N.N., Voevodin E.Yu., Gainullin R.F. (2015) Control of UML diagrams in designing automated systems software. In: Proceedings of The 9th IEEE International conference on Application of Information and Communication Technologies: AICT, pp. 285-288. doi: 10.1109/ICAICT.2015.7338564
21. Sharov O.G., Afanas'ev A.N.: (2005) Syntax-directed implementation of visual languages based on automaton graphical grammars. In: Programming and Computer Software, vol. 6. – pp. 56-66. doi: 10.1007/s11086-005-0042-4
22. Sharov O.G., Afanas'ev A. N. (2008) Neutralization of syntax errors in the graphic languages. In: Programming and Computer Software, vol. 1, pp. 61-66.
23. Sharov O.G., Afanas'ev A. N. (2011) Methods and tools for translation of graphical diagrams. Programming and Computer Software, vol. 3, pp. 65-76. doi: 10.1134/S0361768811030042
24. Афанасьев А. Н., Гужавин А. А., Кокаев О. Г. Ассоциативное микропрограммирование. – Саратов: Издательство Саратовского университета, 1991. – 116 с.
25. Контроль информации в системах автоматизации проектирования / А. Н. Афанасьев, А. А. Гужавин, О. Г. Кокаев и др. — Саратов: Издательство Саратовского университета, 1985. — 136 с.
26. Глушков В. М., Цейтлин Г. Е., Ющенко Е. Л. Алгебра. Языки программирования. — Киев: Наукова думка, 1978. — 320 с.
27. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Воеводин Е.Ю., Гайнуллин Р.Ф. Анализ диаграмматических моделей в процессе проектирования автоматизированных систем // Объектные системы. – 2015. – № 10. – С. 124-129.