

ГРАММАТИКО-АЛГЕБРАИЧЕСКИЙ ПОДХОД К КОНТРОЛЮ И АНАЛИЗУ ДЕНОТАТИВНЫХ И СИГНИФИКАТИВНЫХ ОШИБОК В ДИАГРАММАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ПОТОКОВ РАБОТ

А.Н. Афанасьев¹, Н.Н. Войт²

Грамматико-алгебраический подход к контролю на семантические ошибки и анализу динамических диаграмматических моделей потоков работ, содержащий систему из принципов, темпоральной RVTI-грамматики и автомата, онтологии, модели бизнес-процесса, метода контроля и анализа, метода преобразования и авторского средства, представлен в работе. Описаны 23 класса ошибок, в том числе 19 синтаксических, 2 класса являются денотативными и 2 класса являются сигнификативными, а также представлен пример.

Введение

«В настоящее время предприятиям часто приходится динамически перенастраивать свои внутренние процессы, чтобы повысить эффективность бизнес-потока. Однако изменения рабочего процесса обычно приводят к нескольким проблемам (тупикам) с точки зрения степени свободы, полноты и безопасности решений» [1]. Динамическое развитие сложных автоматизированных систем связано с адаптацией рабочих процессов к изменениям в системных требованиях. «Мы считаем гибкость предприятия / бизнеса как свойство предприятия функционировать в динамично развивающемся мире» [2], при этом предприятия реализуют два пути: 1) адаптироваться к изменениям в окружающей среде; 2) открывать новые возможности, постоянно появляющиеся в динамичном мире для запуска совершенно новых продуктов (услуг). Реализация гибкости требует нового подхода, который позволяет менеджерам-проекта обнаруживать изменения и возможности развития сложных автоматизированных систем и влиять на них соответственно. Необходимость разработки такого подхода возникла, когда степень изменения требований развития возросла. Например, в работе [3] автор пишет: «Промышленность и техника движутся слишком быстро, требования меняются по

¹ 432027, Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, УлГТУ, e-mail: a.afanasev@ulstu.ru

² 432027, Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, УлГТУ, e-mail: n.voit@ulstu.ru

темпам, которые ‘топят’ традиционные методы». Корпорации Whitestein Technologies, Magenta Technologies, SkodaAuto, Volkswagen, Saarstahl AG отмечают, что первое поколение статических систем управления жизненным циклом продуктов и рабочих процессов проекта [4] больше не может удовлетворять требованиям многих компаний, подходам и автоматическим инструментам первого поколения проекта, стандартизация рабочего процесса уже исчерпала свои ресурсы, и, как результат, существуют слабо оформленные (некачественные) процессы, стимулирующие рост расходов на их развитие и улучшение. Рабочий процесс, адаптированный к изменениям окружающей среды, считается динамическим [5]. ProBis [6] считается традиционной системой управления рабочими процессами. Динамические системы управления рабочими процессами проекта в соответствии с работами [7-9] представлены YAWL (еще один язык Workflow) и iPB.

Поток работ представляет собой трассу выполнения множества задач бизнес-процесса с учетом ограничений и бизнес-событий, содержит временные ограничения и данные, в котором, чтобы избежать сбоев, необходимо определить и исправить ошибки. Хотя ошибки могут возникать в причинно-следственных зависимостях между задачами, в работе акцентируется внимание на семантических ошибках выполнения потока работ, а именно на денотативной и сигнификативной семантике. Денотативная семантика определяет ошибки антонимии, синонимии слов в событиях потока работ. Сигнификативная семантика выявляет конструкционные ошибки потока работ на основе изоморфизма и гомоморфизма трасс. Как правило, прием Ad-hoc [10] в потоке работ является надстройкой и делает процесс нестрогим (неформализованным), тем самым нарушая канонические правила выполнения процесса. Как следствие выполнение такого потока работ может привести к снижению производительности в проектировании автоматизированных систем, снижению прибыли и расходованию значительного управленческого времени. Таким образом, выявление и устранение ошибок, в том числе денотативных и сигнификативных, в потоках работ имеет важное научно-техническое значение в проектировании автоматизированных систем.

Два принципа сформулированы в работе, являющиеся фундаментальными в разработанных методах контроля, анализа и преобразования диаграмматических моделей потоков работ, а именно принцип ансамбля и принцип адаптивности. Принцип ансамбля гибридных динамических потоков проектных работ, заключающийся в использовании гетерогенных типов и распределенности в пространстве гибридных динамических потоков проектных работ крупного проектного предприятия требует преэмптивности объектно-ориентированного подхода к преобразованию этих работ при композиции оркестровки и хореографии, обеспечивает выразительность диаграмматических языков при проектировании автоматизированных систем, интенсивно использующих время.

Принцип адаптивного проектирования, заключающийся в непрерывном по времени структурно-параметрическом анализе и синтезе гибридных динамических потоков проектных работ крупного предприятия при разработке, внедрении и сопровождении автоматизированных систем обеспечивает повышение эффективности в плане уменьшения времени простоя производства, повышении качества проектных решений с помощью расширения класса ошибок диаграмматических моделей, что способствует повышению успешности предприятия.

Структура статьи следующая. Проблема, актуальность, научная и практическая значимость работы описаны в разделах Введение и Научно-техническая проблема, имеющая важное хозяйственное значение. Математическое обеспечение грамматико-алгебраического подхода представлено темпоральной временной RVTI-грамматикой, моделью бизнес-процесса и онтологией, а также перечнем синтаксических и семантических классов ошибок, описанные в разделе Темпоральная RVTI-грамматика, темпоральный автомат, модель бизнес-процесса, онтология и классы ошибок. Математическое обеспечение подхода в плане методов контроля, анализа и преобразования диаграмматических моделей представлено в разделе Методы контроля и анализа диаграмматических моделей потоков работ, метод преобразования. Детальный пример содержится в разделе Пример контроля и анализа диаграмматической модели согласования конструкторской документации. Заключение содержит выводы и направления дальнейших исследований.

Научно-техническая проблема, имеющая важное хозяйственное значение

Фундаментальной научной проблемы является повышение эффективности обработки диаграмматических моделей потоков проектных работ автоматизированных систем с целью сокращения временных затрат на их разработку, повышение успешности обработки диаграмматических моделей потоков проектных работ, а именно выполнение требования к ресурсным ограничениям, функционалу, финансовой составляющей и срокам исполнения, а также повышение качества диаграмматических моделей в плане контроля ошибок, сужения семантического разрыва между анализом бизнес-процессов и их выполнением. Проблема в техническом плане представлена в работе [19]. Данная работа вносит вклад в разрешение научно-технической проблемы новым грамматико-алгебраическим подходом к контролю и анализу денотативных и сигнификативных семантических ошибок диаграмматических моделей потоков проектных работ, приблизив решение к оптимуму. Поскольку согласно работе [20] невозможно формально определить, что означает «полное отсутствие ошибок» в диаграмматических моделях потоков проектных работ, то под оптимумом понимается контроль и анализ всех известных ошибок динамических моделей потоков работ, включая синтаксические (структурные), семантические (денотативные, сигнификативные и кван-

товые), а также контроль топологических событий, имен и др. (в работе представлено 23 класса ошибок).

Темпоральная RVTI-грамматика, темпоральный автомат, модель бизнес-процесса, онтология и классы ошибок

Темпоральной RVTI-грамматикой языка $L(G)$ называется упорядоченная восьмерка непустых множеств $G = (V, \Sigma, \tilde{\Sigma}, C, E, R, \tau, r_0)$, где $V = \{v_e, e = \overline{1.L}\}$ – вспомогательный алфавит (алфавит операций над внутренней памятью, представленный магазином или эластичной лентой); $\Sigma = \{(a_l, t_l), l = \overline{1.T}\}$ – алфавит событий (мгновений), состоящий из пары графического символа (объекта) и временной метки t_l ; $\tilde{\Sigma} = \{(a_n, t_n), n = \overline{1.\tilde{T}}\}$ – квазiterминальный алфавит, являющийся расширением терминального алфавита Σ ; $C = \{c_i, c_i = c_i + t_{l-1}, i = \overline{1.N}\}$ – множество идентификаторов часов (счетчики), причем начальное значение $c_i = 0$; E – множество темпоральных отношений вида $\{c_i \sim t_l\}$, где переменная c_i (идентификатор часов), отношение $\sim \in \{=, \langle, \leq, \rangle, \geq\}$; $R = \{r_i, i = \overline{0.I}\}$ – схема грамматики G (множество имен комплексов продукций, причем каждый комплекс r_i состоит из подмножества P_{ij} продукций $r_i = \{P_{ij}, j = \overline{1.J}\}$); $\tau = \{t_l \in [0; +\infty], l = \overline{1.T}\}$ – множество временных меток, причем $c_i \in \tau \times \sim \times \tau$; $r_0 \in R$ – аксиома RVTI-грамматики (имя начального комплекса продукций), $r_k \in R$ – заключительный комплекс продукций.

Продукция $P_{ij} \in r_i$ имеет вид $(a_l, t_l) \xrightarrow{\{W_\gamma(v_1, \dots, v_n)E\}} r_m$, где $W_\gamma(v_1, \dots, v_n)$ – n -арное отношение, определяющее вид операции над внутренней памятью в зависимости от $\gamma = \{1, 2, 3\}$ (1 – запись, 2 – чтение, 3 – сравнение); (a_l, t_l) – слова в виде пары события и временной метки; $r_m \in R$ – имя комплекса

продукции-преемника. Язык данной грамматики содержит слова вида (a_l, t_l) и представляет трассу $\sigma = \{a_0, 0\} \rightarrow \{a_l, t_l\} \rightarrow \{a_k, t_T\}$.

С целью интерпретации потока работ в диаграмматической модели в графическом виде разработан темпоральный RVTI-автомат (*RVTI-automaton*), который представлен системой из восьми элементов и имеет следующий вид: $RVTIAutomaton = (V, \Sigma, C, E, \delta, S_0, S, S_k)$, где $V = \{v_e, e = \overline{1.H}\}$ – алфавит операций над внутренней памятью, представленный магазином или эластичной лентой; $\Sigma = \{(a_l, t_l), l = \overline{1.T}\}$ – алфавит событий (мгновений), состоящий из пары графического символа (объекта) и временной метки t_l ; $C = \{c_i, c_i = c_i + t_{l-1}, i \in N\}$ – множество идентификаторов часов (счетчики), причем начальное значение $c_i = 0$; E – множество темпоральных отношений вида $\{c_i \sim t_l\}$, где переменная c_i (идентификатор часов), отношение $\sim \in \{=, <, \leq, >, \geq\}$; t_l является константой; $S = \{S_i, i = \overline{0.I}\}$ – множество состояний, $S_0 \in S$ – начальное состояние, $S_k \in S$ – заключительное состояние; функция перехода $\delta: S_i \times (a_l, t_l) \xrightarrow{\{W_\gamma(v_1, \dots, v_n)\}E} S_m$, где $W_\gamma(v_1, \dots, v_n)$ – n -арное отношение, определяющее вид операции над внутренней памятью в зависимости от $\gamma = \{0, 1, 2, 3\}$ (0 – ничего не выполняется, 1 – запись, 2 – чтение, 3 – сравнение); $v_1, \dots, v_n \in V$; $S_m \in S$ – имя состояния-преемника.

Темпоральный проектный процесс представим в алгебраическом виде как следующую модель:

$$P^{TEMP} = (E, L(G))$$

где $E = \{e_l, l = \overline{1.L}\}$ – множество событий алфавита грамматики Σ ;

$L(G)$ – темпоральный язык, представляющий последовательность темпоральных слов.

N параллельных процессов представим в виде $\prod_{i=1}^N P^{TEMP}$.

Темпоральные процессы i и j эквивалентны, если их языки одинаковы:

$$L(G)_i^{P^{TEMP}} = L(G)_j^{P^{TEMP}}.$$

Синтез нового процесса представляется как преобразование существующего процесса в плане изменения (замены) событий E с соответствующим

изменением языка $L(G)$.

Исследование предметной области в проектировании автоматизированных систем позволит определить семантические (денотативные и сигнификативные) ошибки организации данных. Поскольку онтология является совокупностью схем описания предметной области и правил отнесения данных к этой предметной области, а выделение онтологии является описанием схемы предметной области, характеризующейся определенной логической структурой, то с использованием семантического анализа диаграмматических моделей и набора написанных правил осуществляется наполнение выделенной онтологии. Логическая форма представления онтологии структурирована, поэтому к наполняющим ее данным применима реляционная алгебра. Онтология представлена следующим образом:

$$O = (Class, Property, Relation, Axiom), \quad (1)$$

где *Class* – множество понятий (классов), определенных для конкретной предметной области; *Property* – множество свойств понятия; *Relation* – множество базовых отношений и семантических связей, определенных между понятиями в *Class*. Множеством базовых отношений являются: синонимия, разновидность чего-либо, часть чего-либо (f), экземпляр чего-либо, свойство чего-либо (*property_of*); *Axiom* – множество аксиом. Аксиома – это реальный факт или правило, определяющее причинно-следственную связь.

Описание сути классов синтаксических (структурных) ошибок с 1 по 19 дано в работах [11-18]: 1. Циклическая связь; 2. Взаимоисключающие связи; 3. Множественная связь; 4. Ошибка удаленного контекста; 5. Ошибка передачи управления; 6. Ошибка кратности входов; 7. Ошибка кратности выходов; 8. Недопустимая связь; 9. Ошибка связи; 10. Ошибка уровня доступа; 11. Ошибка передачи сообщения; 12. Ошибка делегирования управления; 13. Количественная ошибка элементов диаграммы; 14. Исключающие связи неверного типа; 15. Вызов направленный в линию жизни объекта; 16. Оборванная связь; 17. Нарушение кратности зависимостей; 18. Взаимоисключающие связи; 19. Синхронный вызов до получения ответа;

Классы денотативных и сигнификативных семантических ошибок:

20. Большая синонимия (денотативная ошибка): темпоральные слова (a_l, t_i) и (a_k, t_j) являются синонимами тогда и только тогда, когда $a_l \neq a_k, a_l \equiv a_k, t_i < t_j$. Будем обозначать их как $(a_l, t_i) \equiv (a_k, t_j)$. Под высокой синонимией в диаграмматических моделях будем понимать интен-

сивное использование синонимов μ . Признак ошибки «Большая синонимия»:

$$\lim_{\substack{i,j \in N \\ l,k \in N}} \left[\frac{1}{\mu(\neg((a_l, t_i) \equiv (a_k, t_j)))} \right] \rightarrow \infty.$$

21. Антонимия объектов (денотативная ошибка): темпоральные слова (a_l, t_i) и (a_k, t_j) являются антонимами тогда и только тогда, когда $a_l = -a_k, t_i < t_j$. Будем обозначать их как $(a_l, t_i) \equiv (-a_l, t_k)$. Под антонимией объектов в диаграмматических моделях будем понимать интенсивное использование антонимов. Как правило, *Начало* и *Конец* в диаграмматике является антонимами.

22. Конверсивность отношений (сигнификативная ошибка);

Заключается в наличие противоположных отношений темпоральных слов.

23. Несогласованность объектов (сигнификативная ошибка).

Заключается в отсутствии отношения между темпоральными словами.

Метод контроля и анализа диаграмматических моделей потоков работ, метод преобразования

Для контроля, анализа и исправления ошибок в диаграмматических моделях на этапе создания RVTI-грамматики в квазиалфавит $\tilde{\Sigma}$ заносятся типы графических объектов, содержащих более одного входа или выхода, экземпляры которых будут использоваться в качестве продолжателей анализа. Такие графические объекты являются «ключевыми», т.к. на них строятся основные графические конструкции. Кроме этого, за счет большого количества исходящих связей они позволяют охватить большую часть диаграммы для анализа. Алгоритм контроля и анализа бизнес-процессов с помощью RVTI-грамматики приведен на рис. 1.

В работе авторов [22] подробно описан метод преобразования.

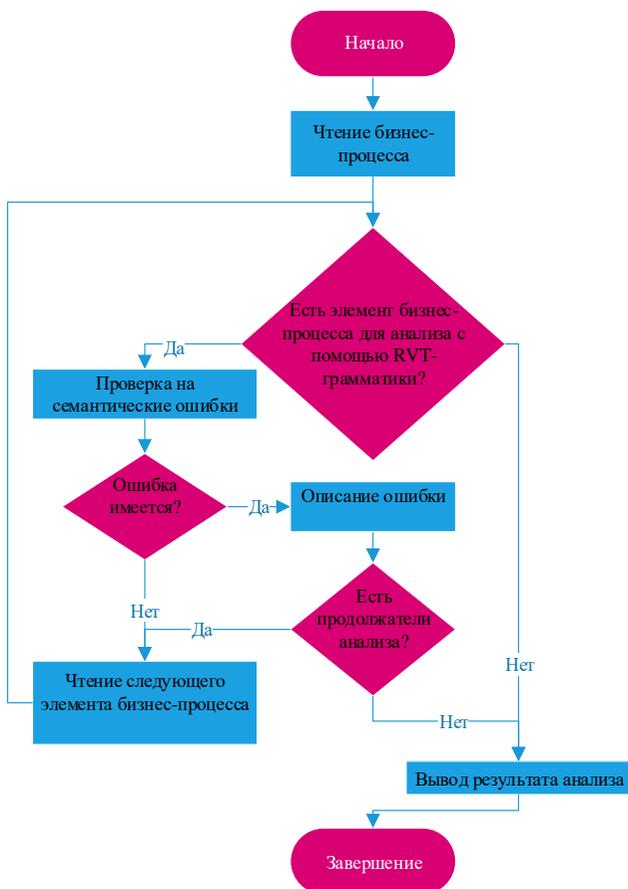


Рис. 1. Алгоритм контроля и анализа бизнес-процессов с помощью RVTI-грамматики

Пример контроля и анализа диаграмматической модели согласования конструкторской документации (КД)

Для построения модели конструкторско-технологических потоков работ выделим одну из задач конструкторской подготовки производства: рассмотрим типовую процессную модель согласования конструкторской документации детально. Для построения модели спроектирован бизнес-процесс разработки и согласования КД, определены правила формирования комплекта КД, выделены задания и определены их исполнители. В качестве инструмента для проектирования модели потока работ, использовано специализированное программное обеспечение Workflow Designer Системы управления проекта-

ми работ (СУПР), разработанное РЦ Аскон-Волга. Построена последовательность прохождения заданий, разработаны скрипты для изменения состояний документов в процессе согласования и заполнения атрибутов согласования в Лоцман:PLM. На рис. 2 представлена модель потока работ разработки и согласования КД на специализированном языке СУПР.

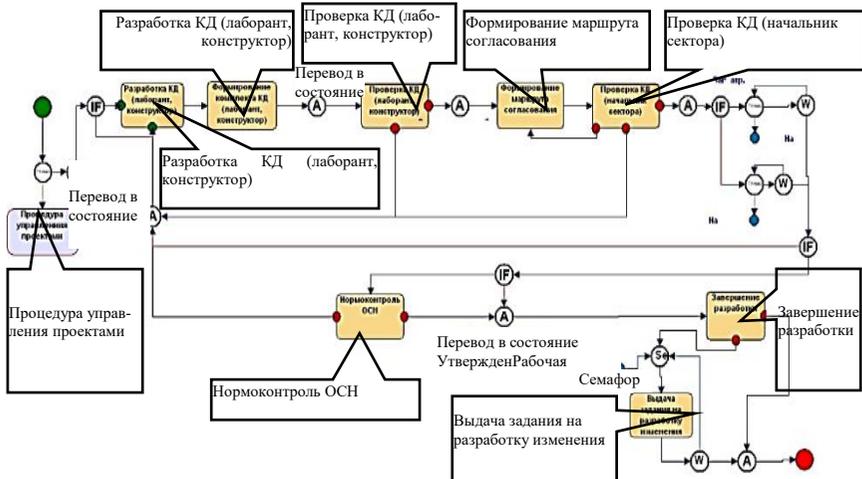


Рис. 2. Модель конструкторского согласования КД на специализированном языке компании АСКОН-Волга

В таблице 1 приведена разработанная автоматная темпоральная RVTI-грамматика языка, позволяющая провести анализ структуры диаграмм указанного языка и выявить 1-19 классы ошибки, остальные 4 класса ошибки определяются с помощью онтологии.

Таблица 1. Темпоральная RVTI-грамматика языка АСКОН

Комплекс-источник	Квазитерм	Комплекс-приемник	Операция с памятью
r_0, t_0	A_0	r_3, t_3	\emptyset / E
r_1, t_1	return	r_2, t_4	$w_2(b^{4m})$
r_2, t_2	vA	r_1, t_1	$w_1(s^{1m}, t^{4m}), CALL vA/E$
	vIT	r_1, t_1	$w_1(s^{1m}, t^{4m}), CALL vIT/E$
	A_k	r_4, t_4	\emptyset
	A_{km}	r_5, t_5	$w_1(1^{t(1)}, i^{t(2)})/w_2(e^{t(1)})/E$
	$_A_{km}$	r_5, t_5	$w_1(inc(m^{t(1)}))/w_3(m^{t(1)} < k^{t(2)} - 1), E$
	A_{kme}	r_4, t_4	$w_1(inc(m^{t(1)}))/w_3(m^{t(1)} = k^{t(2)} - 1), E$
	CL	r_6, t_6	$w_1(t^{4m})$

Комплек- источник	Квазiterм	Комплек- приемник	Операция с памятью
	TH	r_6, t_6	$w_1(1^{t(7)}, i^{t(8)}, t^{4m})$
	SC	r_3, t_3	\emptyset
	SCm	r_5, t_5	$w_1(1^{t(3)}, i^{t(4)})/w_2(e^{t(3)}), E$
	_SCm	r_5, t_5	$w_1(\text{inc}(m^{t(3)}))/w_3(m^{t(3)} < k^{t(4)} - 1), E$
	SCme	r_3, t_3	$w_1(\text{inc}(m^{t(3)}))/w_3(m^{t(3)} = k^{t(4)} - 1), E$
	C	r_7, t_7	$w_1(t^{2m})$
	EV	r_3, t_3	$w_1(0^{t(5)}, 0^{t(9)}, 0^{t(11)})/w_2(e^{t(5)}), E$
	S	r_3, t_3	$w_1(0^{t(6)}, 0^{t(10)}, 0^{t(12)})/w_2(e^{t(6)}), E$
	F	r_{11}, t_{11}	$w_1(t^{3m})$
	W	r_9, t_9	$w_1(t^{3m})$
	IN	r_{11}, t_{11}	$w_1(t^{3m})$
	D	r_{12}, t_{12}	$w_1(t^{3m})$
r_3, t_3	rel	r_2, t_2	\emptyset
r_4, t_4	no_label	r_{17}, t_{17}	*
r_5, t_5	labelC	r_2, t_2	$w_2(b^{2m})$
r_6, t_6	prel	r_{13}, t_{13}	\emptyset
r_7, t_7	nrel	r_2, t_2	\emptyset
r_8, t_8	PHsp	r_6, t_6	\emptyset
r_9, t_9	arel	r_{14}, t_{14}	\emptyset
r_{10}, t_{10}	PHsa	r_9, t_9	\emptyset
r_{11}, t_{11}	airel	r_{15}, t_{15}	\emptyset
r_{12}, t_{12}	adrel	r_{16}, t_{16}	\emptyset
r_{13}, t_{13}	vPR	r_1, t_1	$w_1(s^{1m}), \text{CALL}(vPR)/E$
	PHep	r_8, t_8	\emptyset
r_{14}, t_{14}	THa	r_2, t_2	$w_1(\text{inc}(m^{t(7)}))/w_3(m^{t(7)} < k^{t(8)}), E$
	PHea	r_{10}, t_{10}	\emptyset
	EVa	r_2, t_2	$w_1(1^{t(9)}), w_2(b^{3m})$
	Sa	r_2, t_2	$w_1(1^{t(10)}), w_2(b^{3m})$
r_{15}, t_{15}	EVa	r_2, t_2	$w_1(\text{inc}(m^{t(5)}), 1^{t(11)}), w_2(b^{3m})$
	Sa	r_2, t_2	$w_1(\text{inc}(m^{t(6)}), 1^{t(12)}), w_2(b^{3m})$
r_{16}, t_{16}	Sa	r_2, t_2	$w_1(\text{dec}(m^{t(6)}), 1^{t(12)}), w_2(b^{3m})$

По экземпляру диаграмматической модели (рис. 2) можно построить онтологию, классы которой являются словами (концептами) и имеют следую-

щий вид: $Class_0 = (r_0, t_0), \dots, Class_{17} = (r_{17}, t_{17})$, где пара (r_i, t_i) является темпоральным словом.

Согласно формуле 1 класс имеет свойства, которые для данного пример представим следующим образом: $Property = \{Name, OrientationTime, ProcessingTime\}$, где *Name* – имя поля (наследуется от имени нотации диаграмматической модели); *OrientationTime* – время начала потока; *ProcessingTime* – длительность потока. Экземпляры записи *Property* для классов, извлеченные из темпоральных слов с квази-термами vPR и vA , имеют следующий вид:

$Property_{vPR} = \{\text{Процедура управления проектами}, 0, 1\}$,

$Property_{vA1} = \{\text{Разработка КД (лаборант, конструктор)}, 1, 1\}$,

$Property_{vA2} = \{\text{Формирование комплекта КД (лаборант, конструктор)}, 2, 1\}$,

$Property_{vA3} = \{\text{Проверка КД (лаборант, конструктор)}, 3, 1\}$,

$Property_{vA4} = \{\text{Формирование маршрута согласования}, 4, 1\}$,

$Property_{vA5} = \{\text{Проверка КД (начальник сектора)}, 5, 1\}$, $Property_{vA6} =$

$\{\text{Нормоконтроль ОСН}, 6, 1\}$, $Property_{vA7} =$

$\{\text{Завершение разработки}, 7, 1\}$, $Property_{vA8} =$

$\{\text{Выдача задания на разработку изменения}, 8, 1\}$.

Разработанная авторская компьютерная программа [21] выполнила контроль и анализ диаграмматической модели на наличие ошибок с 1 по 23 класс и вывела результат, что данная диаграмматическая модель не имеет ошибок из указанного перечня.

Заключение

Разработан подход к контролю и анализу потоков проектных работ бизнес-процессов на наличие 23 классов ошибок, в том числе 2 денотативных и 2 сигнификативных согласно перечню классов ошибок. Контролируются и анализируются не только структурные ошибки, но и семантические ошибки, что отличает работу от существующих. Предложенная авторами темпоральная RVTI-грамматика имеют линейную характеристику времени анализа потоков работ, учитывает язык описания процесса и может быть применена для любой диаграммы. Временной автомат позволяет выполнить имитационно моделирование (симуляцию) процесса в наглядной форме. Онтологическая модель является основной для анализа на денотативные и сигнификативные ошибки потоков работ. Авторами доработан перечень структурных и семантических ошибок, встречающихся в потоках работ. В будущих работах авторы предполагают увеличить число примеров применения подхода в промышленности, обучении, киберфизических системах, при разработке автоматизированных систем, а также формально описать признаки сигнификативных семантических ошибок диаграмматических моделей потоков проектных работ. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках

научного проекта № 17-07-01417. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ульяновской области в рамках научного проекта № 18-47-730032.

Список литературы

1. Aguilar J. C. P. et al. Model Checking of BPMN Models for Reconfigurable Workflows // arXiv preprint arXiv:1607.00478. – 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/304788360_Model_Checking_of_BPMN_Models_for_Reconfigurable_Workflows (дата обращения: 10.06.2018)
2. Sherehiy B., Karwowski W., Layer J. K. A review of enterprise agility: Concepts, frameworks, and attributes //International Journal of industrial ergonomics. – 2007. – Т. 37. – №. 5. – С. 445-460.
3. Highsmith J., Orr K., Cockburn A. E-business application delivery, pp 4-17. – 2000. URL: www.cutter.com/freestuff/ead0002.pdf (дата обращения: 10.06.2018)
4. A global Swiss company offering advanced intelligent application software for multiple business sectors, 2016. URL: <http://whitestein.com/> (дата обращения: 10.06.2018)
5. Bider I., Jalali A. Agile business process development: why, how and when -applying Nonaka's theory of knowledge transformation to business process development //Information Systems and e-Business Management. – 2016. – Т. 14. – №. 4. – С. 693-731. URL: <https://www.researchgate.net/publication/266078141> (дата обращения: 10.06.2018)
6. Andersson T., Andersson-Ceder A., Bider I. State flow as a way of analyzing business processes—case studies //Logistics Information Management. – 2002. – Т. 15. – №. 1. – С. 34-45.
7. YAWL Foundation, YAWL. 2004. URL: <http://www.yawlfoundation.org/> (дата обращения: 10.06.2018)
8. Bider I. Analysis of agile software development from the knowledge transformation perspective //International Conference on Business Informatics Research. – Springer, Cham, 2014. – С. 143-157.
9. IbisSoft, “iPB Reference Manual,” 2009. URL: <http://docs.ibissoft.se/node/3> (дата обращения: 10.06.2018)
10. Workflow Handbook 2005 / Layna Fischer (edit or) // Workflow Management Coalition, 2005.
11. Афанасьев, А.Н. Анализ и контроль диаграмматических моделей при проектировании сложных автоматизированных систем / Афанасьев А.Н., Шаров О.Г., Войт Н.Н. – Ульяновск: УлГТУ, 2016. – 125 с.
12. Afanasyev A., Voit N., Gaynullin R. The Analysis of Diagrammatic Models of Workflows in Design of the Complex Automated Systems //Proceedings of the First International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry”(IITI'16). – Springer International Publishing, 2016. – С. 227-236.
13. Afanasyev A. N., Voit N. N., Gainullin R. F. Diagrammatic models processing in designing the complex automated systems //Application of Information and Communication Technologies (AICT), 2016 IEEE 10th International Conference on. – IEEE, 2016. – С. 1-4.
14. Afanasyev A. N. et al. Control of UML diagrams in designing automated systems software //Application of Information and Communication Technologies (AICT), 2015 9th International Conference on. – IEEE, 2015. – С. 285-288.

15. Афанасьев А.Н., Игонин А.Г., Афанасьева Т.В., Войт Н.Н. Использование нейросемантических сетей для автоматизированного проектирования вычислительной техники // Автоматизация. Современные технологии. – 2008. – № 1. – С. 21-24.
16. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Интеллектуальная агентная система анализа моделей потоков проектных работ // Автоматизация процессов управления. – 2015. – № 4. – С. 42.
17. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Автоматная временная грамматика для управления объектами киберфизических систем // В книге: десятая всероссийская мультikonференция по проблемам управления МКПУ-2017 Материалы 10-й Всероссийской мультikonференции. В 3-х томах. Ответственный редактор: И.А. Каляев. – 2017. – С. 20-22.
18. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Уханова М.Е., Ионова И.С., Епифанов В.В. Анализ конструкторско-технологических потоков работ в условиях крупного радиотехнического предприятия // Радиотехника. –2017. – № 6. – С. 49-58.
19. WhiteStein Technologies. <https://www.whitestein.com/lsp-solutions/manufacturing> (дата обращения: 10.06.2018)
20. Карпов Ю. Г. MODEL CHECKING. Верификация параллельных и распределенных программных систем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 560 с.
21. Свидетельство № 2016616685 Российская Федерация. RV-анализатор диаграммного языка BPMN для MS Visio: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Кириллов С.Ю.; заявитель и правообладатель Ульянов. гос. техн. ун-т. – № 2016616685; заявл. 19.04.2016; зарегистр. 16.06.2016.
22. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Грамматико-алгебраический подход к анализу и синтезу диаграмматических моделей гибридных динамических потоков проектных работ // Информационно-измерительные и управляющие системы. - 2017. - №12. - С. 69-78.