COMPUTER-AIDED ENGINEERING

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 658.512

Н.Н. Войт

ЭКЗЕМПЛЯР АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ ПОТОКОВ ПРОЕКТНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА¹

Войт Николай Николаевич, кандидат технических наук, доцент, окончил факультет информационных систем и технологий Ульяновского государственного технического университета, доцент кафедры «Вычислительная техника» УлГТУ. Имеет статьи в области интеллектуальных САПР, Case-, Cals-технологий. Область научных интересов: автоматизация проектирования потоков работ в базе графических языков, формальные языки, грамматики и автоматы, контроль и анализ бизнес-процессов, интеллектуальные системы обработки workflows, инженерия онтологий, автоматизированные среды обучения. [e-mail: n.voit@ulstu.ru].

Аннотация

В настоящей работе содержится описание экземпляра аналитической модели потоков проектных работ на примере проектной процедуры согласования в конструкторской и технологической подготовке производства, разработанной на основе данных крупной радиотехнической промышленной организации. Настоящий экземпляр помогает системному аналитику, в том числе инженеру-конструктору, инженеру-технологу и проектировщику, в области управления бизнес-процессами выявить системные ошибки (например, место дедлок, «узкого горлышка» и пр.) при анализе существующих (синтезе новых) потоков проектных работ в базе графических языков, например, UML-языка, BPMN-языка, IDEF0-языка и др.

Настоящая статья является одной из последующих работ на тему методологии обработки потоков проектных работ в базе графических языков.

Ключевые слова: диаграмматика, бизнес-процессы, графические языки, потоки проектных работ, анализ и синтез.

doi: 10.35752/1991-2927-2020-4-62-118-130

THE INSTANCE OF ANALYTICAL MODEL FOR ORGANIZATION IN DESIGN WORKFLOWS

Nikolai Nikolaevich Voit, Candidate of Sciences in Engineering, Associate Professor; graduated from the Faculty of Information Systems and Technologies of Ulyanovsk State Technical University; Associate Professor of the Department of Computer Engineering of UlSTU; an author of articles in the field of intelligent CAD, Case-, Cals-technologies; research interests are in the field of workflow design automation in the basis of graphic languages,

formal languages, grammars, and automata, control and analysis of business processes, intelligent workflow processing systems, ontology engineering, automated learning environments. e-mail: n.voit@ulstu.ru.

Abstract

This paper describes an instance of the analytical model of project workflows on the example of the project approval procedure in the design and technological preparation of production, developed on the basis of data from a large radio engineering industrial organization. This instance helps a system analyst, including a design engineer, process engineer, and designer, in the field of business process management to identify system errors (for example, the location of deadlocks, bottlenecks, etc.) when analyzing the existing (synthesizing new) project work flows in the basis of graphic languages, for example, UML-language, BPML-language, IDEF0-language, etc.

This article is one of the follow-ups works on the methodology for processing design workflows in the basis of graphic languages.

Keywords: diagrammatics, business processes, graphical languages, project workflows, analysis and synthesis.

ВВЕДЕНИЕ

Статья является развитием темы работы, опубликованной в предыдущем номере журнала [1]. В данной статье описан экземпляр аналитической модели организации потоков проектных работ на примере согласования конструкторской и технологической документации в базе графического языка потоков проектных работ в крупной радиотехнической организации при разработке сложного технического изделия. Причем под сложным техническим изделием будем понимать изделие, которое наряду с конструктивной составляющей имеет и схемотехническую, и в составе которого более 100 000 номенклатурных позиций. Представленная структурно-функциональная диаграмма организации потоков проектных работ может быть определена в аналитическом виде с помощью теоретико-множественного обоснования с целью анализа и моделирования ее в САПР на предмет выявления структурно-семантических ошибок [2–13], что обеспечивает повышение качества проектного процесса в условиях цифрового производства. Специально выделены и определены роли, потоки проектных работ в аналитической модели организации процесса согласования [1,13], а также описана возможность взаимодействия (обмена) с учетом хореографии и оркестровки.

1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКЗЕМПЛЯРА АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ ПОТОКОВ ПРОЕКТНЫХ РАБОТ СОГЛАСОВАНИЯ КОНСТРУКТОРСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Рисунок 1 содержит типовые проектные процедуры при согласовании конструкторской и технологической документации при производстве сложных технических изделий в условиях цифрового производства в базе графического языка. На основе рисунка 1 представим экземпляр аналитической модели CM [1] согласования конструкторской документации.

Экземпляр аналитической модели имеет следующие роли: начальник – $\rho_{department manager}$, исполнители –

$\rho_{the junior executives}$, руководитель темы – $\rho_{Head of a topic}$, начальник сектора – $\rho_{chief of a sector}$

Для каждой роли определена **оркестровка** – множество потоков проектных работ ow и rr :

$$\begin{aligned} \delta_{department manager} = & \\ = \{ & (problem\ definition\ Control\ Center, ow), \\ & (Approval, rr), (OSN, rr), \\ & (The\ End\ of\ Agreed\ upn\ documents, ow), \\ & (departmental\ manager\ Checking, rr) \}, \end{aligned}$$

где *problem definition Control Center* – постановка задачи начальником, *Approval* – утверждение конструкторской документации начальником, *OSN* – передача документации для нормирования материалов и трудовых ресурсов, *The End of Aggredd upn documents* – завершение этапа согласования конструкторской документации, *department manager Checking* – контроль *OVK, OPZM, OMO*.

$$\begin{aligned} \delta_{the junior executives} = & \\ = \{ & (development, rr), (quire, rr), \\ & (checking, rr), (route, rr), \\ & (remarks, rr), (rework, rr) \}, \end{aligned}$$

где *development* – разработка конструкторской документации; *quire* – анализ требований, определение исполнителей; *checking* – контроль конструкторской документации; *route* – маршрутизация, т. е. выбор маршрута изготовления изделий; *remarks* – составление замечаний к конструкторской документации; *reworks* – внесение изменений в конструкторскую документацию.

Рис. 1. Структурно-функциональная диаграмма организации потоков проектных работ согласования конструкторской и технологической документации при производстве сложных технических изделий

$$\delta_{Head\ of\ a\ topic} = \delta_{the\ junior\ executives} \cup \\ \cup \{(NKS, rr), (checking, rr), (TControl, rr), \\ (OVK, rr), (OPZM, rr), \\ (Head\ of\ a\ topic\ Checking, rr), \\ (Technical\ sector, rr), (OMO, rr)\}$$

где *NKS* – составление ведомости покупных изделий нормативно-конструкторского сектора; *checking* – контроль ведомости покупных изделий; *TControl* – про-

верка на технологичность (технологический контроль), т. е. определение, можно ли сделать на предприятии; *OVK* – выполнение закупок в отделе внешней комплектации; *OPZM* – закупка материалов (проволока, резина и т. п.); *Head of a topic Checking* – контроль начальником темы *NKS*, *TControl*, *OVK*, *OPZM*; *Technical sector* – получение разрешения к использованию деталей в отделе надежности (например, на использование электрорадиоизделий); *OMO* – выполнение метрологических замеров в отделе метрологического обеспечения.

$$\delta_{chief\ of\ a\ sector} = \{(agree, rr), (Design\ and\ Laboratory\ Return, rr), \\ (Select\ a\ document\ type, rr), (Design\ \&\ Laboratory\ Checking, rr), \\ (Exit\ from\ a\ Route\ Checking, rr), (Desgin\ and\ Laboratory\ Exit, ow), \\ (Head\ of\ a\ sector, rr)\},$$

где *agree* – запрос на согласование конструкторской документации с начальником сектора; *Design and Laboratory Return* – согласование конструкторской документации с начальником сектора; *Select a document type* – определение вида документации (для конструкторов, для схемотехников); *Design&Laboratory Checking* – контроль конструкторской документации начальником сектора; *Exit from a Route Checking* – принятие решения по результатам контроля; *Desgin and Laboratory Exit* – завершение формирования конструкторской документации начальником сектора; *Head of a sector* – контроль *NKS*, *TControl*, *OVK*, *OPZM* начальником сектора для конструкторов.

Для каждой роли определим множество переменных.

$$Variable_{department\ manager}^{\sim} = \langle issue, dse ::= \\ ::= \{3DModels, specifications, schemes\} \rangle,$$

где *issue* – техническое задание; *dse* – множество детали-сборочных единиц (ДСЕ), состоящее из *3DModels* – множество моделей, *specifications* – множество спецификаций, *schemes* – множество чертежей.

$$Variable_{Head\ of\ a\ topic}^{\sim} \equiv Variable_{department\ manager}^{\sim} \equiv \\ \equiv Variable_{chief\ of\ a\ sector}^{\sim}$$

такая запись означает, что множество переменных руководителя темы, начальника и начальника сектора тождественны при согласовании конструкторской документации, т. е. техническое задание, ДСЕ: 3D-модели, спецификации, чертежи и схемы доступны им для работы.

Далее определим хореографию (обмены), а именно потоки проектных работ в виде пар (например, $::= wf1$, $::= wf2$; $wf3$, $::= wf16$; $wf3$ и пр.):

$$ProblemDefinition ::= wf1 = \\ = \{(p_{department\ manager}, p_{the\ junior\ executives}, \\ (problem\ definition\ Control\ Center, ow), issue, \downarrow)\}.$$

Односторонний поток проектных работ означает постановку задачи начальником исполнителям.

$$DevelopmentReq1 ::= wf2; wf3 = \\ = \{(p_{department\ manager}, p_{the\ junior\ executives}, \\ (development, rr), dse, \uparrow); \\ (p_{the\ junior\ executives}, p_{department\ manager}, \\ (development, rr), dse, \downarrow)\}.$$

Этот гибридный динамический поток проектных работ вида запрос-ответ идет между начальником и исполнителями, в том числе руководителем темы, в котором

идет запрос от начальника к исполнителям на анализ технического задания. Руководитель темы, в свою очередь, формирует комплект документации (ДСЕ, 3D-модели, спецификации, сборочные чертежи и т. п.).

$$\begin{aligned} DevelopmentReq2 &::= wf16; wf3 = \\ &= \left\{ \left(\rho_{Head\ of\ a\ topic}, \rho_{chief\ of\ a\ sector}, \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (development, rr), dse, \uparrow \right); \right. \\ &\quad \left. \left(\rho_{Head\ of\ a\ topic}, \rho_{the\ junior\ executives}, \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (development, rr), dse, \downarrow \right) \right\}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *DevelopmentReq2* означает, что доработка выполнена и необходимо формировать с учетом доработки новый комплект документов (ДСЕ, 3D-модели, спецификации, сборочные чертежи и т. п.).

$$\begin{aligned} QuireReq &::= wf4; wf5 = \\ &= \left\{ \left(\rho_{the\ junior\ executives}, \rho_{Head\ of\ a\ topic}, \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (quire, rr), dse, \uparrow \right); \right. \\ &\quad \left. \left(\rho_{Head\ of\ a\ topic}, \rho_{the\ junior\ executives}, \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (quire, rr), dse, \downarrow \right) \right\}. \end{aligned}$$

Поток проектных работ вида запрос-ответ *QuireReq* определяет исполнителей, сроки, требования к изделию, инструментам разработки, подбору/покупке материалов, номенклатуре и типовым решениям, формированию комплекта документов.

$$\begin{aligned} CheckingReq &::= wf6; wf7 = \\ &= \left\{ \left(\rho_{the\ junior\ executives}, \rho_{Head\ of\ a\ topic}, \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (checking, rr), dse, \uparrow \right); \right. \\ &\quad \left. \left(\rho_{Head\ of\ a\ topic}, \rho_{the\ junior\ executives}, \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (checking, rr), dse, \downarrow \right) \right\}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *CheckingReg* означает контроль формирования комплекта документов.

$$\begin{aligned} RouteReq1 &::= wf8; wf9 = \\ &= \left\{ \left(\rho_{Head\ of\ a\ topic}, \rho_{the\ junior\ executives}, \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (route, rr), dse, \uparrow \right); \right. \\ &\quad \left. \left(\rho_{Head\ of\ a\ topic}, \rho_{chief\ of\ a\ sector}, \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (route, rr), dse, \downarrow \right) \right\}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *RouteReg1* означает передачу комплекта документации начальнику сектора.

$$\begin{aligned} RouteReq2 &::= wf8; wf10 = \\ &= \left\{ \left(\rho_{Head\ of\ a\ topic}, \rho_{the\ junior\ executives}, \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (route, rr), dse, \uparrow \right); \right. \\ &\quad \left. \left(\rho_{Head\ of\ a\ topic}, \rho_{the\ junior\ executives}, \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (route, rr), dse, \downarrow \right) \right\}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *RouteReq2* означает передачу комплекта документации на доработку.

$$\begin{aligned} AgreeReq1 &::= wf12; wf18 = \\ &= \left\{ \left(\rho_{Head\ of\ a\ topic}, \rho_{chief\ of\ a\ sector}, \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (agree, rr), dse, \uparrow \right); \right. \\ &\quad \left. \left(\rho_{Head\ of\ a\ topic}, \rho_{the\ junior\ executives}, \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (agree, rr), dse, \downarrow \right) \right\}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *AgreeReq1* означает согласование комплекта документов с начальником сектора и отправка этого комплекта на доработку.

$$\begin{aligned} AgreeReq2 &::= wf12; wf17 = \\ &= \left\{ \left(\rho_{Head\ of\ a\ topic}, \rho_{chief\ of\ a\ sector}, \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (agree, rr), dse, \uparrow \right); \right. \\ &\quad \left. \left(\rho_{chief\ of\ a\ sector}, \rho_{the\ junior\ executives}, \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (agree, rr), dse, \downarrow \right) \right\}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *AgreeReq2* означает согласование комплекта документов с начальником сектора и отправка этого комплекта на дальнейшее согласование конструкторам и схемотехникам.

$$\begin{aligned} Design\ and\ Laboratory\ ReturnReq1 &::= \\ &::= wf67; wf70 = \\ &= \left\{ \left(\rho_{Head\ of\ a\ topic}, \rho_{chief\ of\ a\ sector}, \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (Design\ and\ Laboratory\ Return, rr), dse, \uparrow \right); \right. \\ &\quad \left. \left(\rho_{Head\ of\ a\ topic}, \rho_{chief\ of\ a\ sector}, \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (Design\ and\ Laboratory\ Return, rr), dse, \downarrow \right) \right\}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *Design and Laboratory ReturnReq1* означает подготовку комплекта документов начальником сектора для руководителя темы.

$$\begin{aligned} \text{Design and Laboratory ReturnReq2} &::= \\ &::= wf67; wf71 = \\ &= \left\{ \left(\rho_{the\ junior\ executives}, \rho_{chief\ of\ a\ sector}, \right. \right. \\ &\quad \left(\text{Design and Laboratory Return}, rr \right), dse, \uparrow \Big); \\ &\quad \left(\rho_{chief\ of\ a\ sector}, \rho_{the\ junior\ executives}, \right. \\ &\quad \left. \left(\text{Design and Laboratory Return}, rr \right), dse, \downarrow \right) \Big\}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *Design and Laboratory ReturnReq2* означает подготовку комплекта документов начальником сектора на доработку исполнителям.

$$\begin{aligned} \text{RemarksReq1} &::= wf72; wf13 = \\ &= \left\{ \left(\rho_{department\ manager}, \rho_{Head\ of\ a\ topic}, \right. \right. \\ &\quad \left(remarks, rr \right), dse, \uparrow \Big); \\ &\quad \left(\rho_{Head\ of\ a\ topic}, \rho_{the\ junior\ executives}, \right. \\ &\quad \left. \left(remarks, rr \right), dse, \downarrow \right) \Big\}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *RemarksReq1* означает, что контроль комплекта документов начальником не пройден и этот комплект документов направлен на доработку исполнителям.

$$\begin{aligned} \text{RemarksReq2} &::= wf19; wf13 = \\ &= \left\{ \left(\rho_{chief\ of\ a\ sector}, \rho_{Head\ of\ a\ topic}, \right. \right. \\ &\quad \left(remarks, rr \right), dse, \uparrow \Big); \\ &\quad \left(\rho_{Head\ of\ a\ topic}, \rho_{the\ junior\ executives}, \right. \\ &\quad \left. \left(remarks, rr \right), dse, \downarrow \right) \Big\}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *RemarksReq2* означает, что контроль комплекта документов руководителем темы не пройден и этот комплект документов направлен на доработку исполнителям.

$$\begin{aligned} \text{RemarksReq3} &::= wf11; wf13 = \\ &= \left\{ \left(\rho_{chief\ of\ a\ sector}, \rho_{Head\ of\ a\ topic}, \right. \right. \\ &\quad \left(remarks, rr \right), dse, \uparrow \Big); \\ &\quad \left(\rho_{chief\ of\ a\ sector}, \rho_{the\ junior\ executives}, \right. \\ &\quad \left. \left(remarks, rr \right), dse, \downarrow \right) \Big\}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *RemarksReq3* означает, что контроль комплекта документов начальником сектора не пройден и этот комплект документов направлен на доработку исполнителям.

$$\begin{aligned} \text{RemarksReq4} &::= wf76; wf13 = \\ &= \left\{ \left(\rho_{Head\ of\ a\ topic}, \rho_{chief\ of\ a\ sector}, \right. \right. \\ &\quad \left(remarks, rr \right), dse, \uparrow \Big); \\ &\quad \left(\rho_{chief\ of\ a\ sector}, \rho_{the\ junior\ executives}, \right. \\ &\quad \left. \left(remarks, rr \right), dse, \downarrow \right) \Big\}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *RemarksReq4* означает, что контроль комплекта документов начальником не пройден и этот комплект документов направлен на доработку исполнителям.

$$\begin{aligned} \text{RemarksReq5} &::= wf80; wf13 = \\ &= \left\{ \left(\rho_{department\ manager}, \rho_{Head\ of\ a\ topic}, \right. \right. \\ &\quad \left(remarks, rr \right), dse, \uparrow \Big); \\ &\quad \left(\rho_{Head\ of\ a\ topic}, \rho_{the\ junior\ executives}, \right. \\ &\quad \left. \left(remarks, rr \right), dse, \downarrow \right) \Big\}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *RemarksReq5* означает, что контроль комплекта документов не пройден при контроле на соблюдение оформления по стандартам и этот комплект документов направлен на доработку исполнителям.

$$\begin{aligned} \text{ReworkReq} &::= wf14; wf15 = \\ &= \left\{ \left(\rho_{Head\ of\ a\ topic}, \rho_{chief\ of\ a\ sector}, \right. \right. \\ &\quad \left(rework, rr \right), dse, \uparrow \Big); \\ &\quad \left(\rho_{chief\ of\ a\ sector}, \rho_{the\ junior\ executives}, \right. \\ &\quad \left. \left(rework, rr \right), dse, \downarrow \right) \Big\}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *ReworkReq* означает, что доработка комплекта документации выполнена и этот комплект отдан руководителю темы.

$$\begin{aligned} ApprovalReq1 &::= wf73; wf74 = \\ &= \{ (p_{Head\ of\ a\ topic}, p_{department\ manager}, \\ &\quad (Approval, rr), dse, \uparrow); \\ &\quad (p_{department\ manager}, p_{Head\ of\ a\ topic}, \\ &\quad (Approval, rr), dse, \downarrow) \}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *ApprovalReq1* означает, что комплект конструкторской документации сформирован проверен, утвержден начальником и передан в отдел стандартизации и нормоконтроля.

$$\begin{aligned} ApprovalReq2 &::= wf73; wf75 = \\ &= \{ (p_{Head\ of\ a\ topic}, p_{department\ manager}, \\ &\quad (Approval, rr), dse, \uparrow); \\ &\quad (p_{Head\ of\ a\ topic}, p_{the\ junior\ executives}, \\ &\quad (Approval, rr), dse, \downarrow) \}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *ApprovalReq2* означает, что комплект конструкторской документации не прошел контроль начальником и этот комплект передан на доработку исполнителям.

$$\begin{aligned} OSNReq1 &::= wf77; wf78 = \\ &= \{ (p_{department\ manager}, p_{the\ junior\ executives}, \\ &\quad (OSN, rr), dse, \uparrow); \\ &\quad (p_{the\ junior\ executives}, p_{Head\ of\ a\ topic}, \\ &\quad (OSN, rr), dse, \downarrow) \}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *OSNReq1* означает, что контроль на соблюдение стандартов в оформлении комплекта документов пройден успешно.

$$\begin{aligned} OSNReq2 &::= wf77; wf79 = \\ &= \{ (p_{department\ manager}, p_{Head\ of\ a\ topic}, \\ &\quad (OSN, rr), dse, \uparrow); \\ &\quad (p_{Head\ of\ a\ topic}, p_{the\ junior\ executives}, \\ &\quad (OSN, rr), dse, \downarrow) \}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *OSNReq2* означает, что контроль на соблюдение стандартов в оформлении комплекта документов не пройден и комплект документов отдан на доработку исполнителям.

$$\begin{aligned} The\ End\ of\ Agreed\ upn\ documents &::= wf105 = \\ &= \{ (p_{Head\ of\ a\ topic}, p_{department\ manager}, dse, \uparrow) \}. \end{aligned}$$

Гибридный динамический поток проектных работ *The End of Agreed upn documents* означает, что согласованный комплект документов передан начальнику руководителем темы.

Распределение потоков проектных работ **во времени** (динамический характер) в оркестровке и хореографии экземпляра данной аналитической модели представлено через темпоральные параметры в виде пары из процедуры проектирования и интервала времени, затраченного на выполнение этой процедуры, например, (*Done1*, 3). На рисунке 1 темпоральная характеристика представлена в виде префиксной записи символа «@» и значения времени, например, @3 для *Done1*.

Распределение потоков проектных работ **в проектном пространстве** представлено в ансамбле экземпляра аналитической модели размером (объемом) потоков проектных работ, определяемых причинно-следственными проектными отношениями, в том числе параллельными, свернутыми потоками проектных работ, а именно:

Ensemble =

$$= \left\{ \begin{array}{l} (Done1,3), (Done5,3), (Done2,3), \left(\sum_{i=0}^1 (Done6,3) ? \uparrow 1; \uparrow 0 \right), \\ \downarrow 0 (Failed Done1,0), \\ (Done4,3), (Done3,3), \downarrow 1 \left(\sum_{i=1}^1 (Successfully Done1,0) ? \uparrow 1; \uparrow 0 \right), \\ \downarrow 0 (Failed Done2,0), \downarrow w (Done4,3), (Done3,3) \blacksquare \downarrow 1 \\ \left(\sum_{i=0}^1 (Design and Laboratory,0) ? \uparrow 1; \uparrow 0 \right), \\ \downarrow 0 (Design and Laboratory Failed Done,0), \uparrow w, \\ \downarrow 1 \left(\sum_{i=0}^1 (Design and Laboratory Successfully Done,0) ? \uparrow 1; \uparrow 0 \right), \\ \downarrow 0 (Approved Failed,0), \uparrow w, \\ \downarrow 1 \left(\sum_{i=0}^1 (Approved Successfully,0) ? \uparrow 1; \uparrow 0 \right), \downarrow 0 (OSN Failed,0), \uparrow w, \\ (OSN Successfully,0) \blacksquare. \end{array} \right.$$

Свернутым потоком проектных работ является *Design and Laboratory, Design Done, Laboratory Done*, элементы которого имеют следующую организацию:

Design and Laboratory =

$$= \left\{ \begin{array}{l} \left(\sum_{i=0}^1 (Successfully Done2,0) ? \uparrow 2; \uparrow 1 \right), \downarrow 2 (Design Done,0) \uparrow w, \\ \downarrow 1 (Laboratory Done,0), \downarrow w \left(\sum_{i=0}^1 (Exit from a Route,0) ? \uparrow 1; \uparrow 0 \right), \\ \downarrow 0 (Exit from a Route Failed Done,0) \blacksquare, \\ \downarrow 1 (Exit from a Route Successfully Done) \blacksquare. \end{array} \right.$$

Design Done =

$$= \left\{ \begin{array}{l} (Design Done,3), (NKS Done,3), (Failed Done,0), \\ (NKS Successfully Done,0), (Fork 'AND'), (T.Control Done,0), \\ (OVK Done,0), (OPZM Done,0), (Join 'AND'), \\ (Head of a topic Failed Done,0), \\ (Head of a topic Successfully Done,0), \\ (Head of a sector Failed Done,0), \\ (Head of a sector Successfully Done,0). \end{array} \right.$$

Laboratory Done =

$$= \left\{ \begin{array}{l} (Laboratory Done,5), (Technical sector Done,0), \\ (Fork 'AND'), (Laboratory OVK Done,0), (Laboratory OMO Done,0), \\ (Join 'AND'), (OVK OPZM OMO Failed Done,0), (for Remarks,0), \\ (OVK OPZM OMO Successfully Done,0), (DM Failed Done,0), \\ (Department manager Checking Successfully Done,0), \\ (head of a topic Failed Done,0), (Head of a topic Successfully Done,0). \end{array} \right.$$

На рисунках 2–4 даны соответственно их графовые представления.

Далее дадим пояснение к настоящему экземпляру аналитической модели организации потоков проектных работ в условиях цифрового производства, иллюстрирующее применение предложенной модели для обеспечения повышения качества организации потоков проектных работ в системах автоматизации проектирования (САПР) и автоматизированных системах технологической подготовки производства (АСТПП).

Началом выполнения гибридных динамических потоков проектных работ по согласованию конструкторской документации является вход с меткой и с ролью исполнителя – начальник (*department manager*), формулирующий задачи конструкторской подготовки производства. На схеме такой поток проектных работ представлена как wf1. Завершение постановки задачи начальником представлено в блоке *Done1*. Поток проектных работ wf2 является входом для исполнителей (*the junior executives*). Далее следует разработка технического задания (*development*) исполнителями в виде потока проектных работ wf3. Блок *Done5* является завершением разработки технического задания, при этом формируется поток wf4, являющийся входом для формирования комплекта конструкторской документации – *quire*. Поток проектных работ wf5 формирует комплект документов. Блок *Done2* является завершением формирования комплекта документов и создается поток wf6, являющийся входом в блок для проверки конструкторской документации – *checking*. Поток проектных работ wf7 выполняет проверку (контроль) документации и является входом в блок *Done6*, завершающий проверку. Формируется поток проектных работ wf8 для составления маршрута изготовления сложной автоматизированной системы. Этот маршрут формируется в блоке *route*, в котором оцениваются замечания контроля и, в случае приемлемого результата оценки, формируется поток проектных работ wf9, входящий в блок *Successfully Done1*, а если оценка является неудовлетворительной для пропуска далее, то создается поток проектных работ wf10, входящий в блок *Failed Done1*. Поток проектных работ wf12 является входом в блок согласования конструкторской документации – *agree* с начальником сектора – *chief of a sector*, где, в случае успешного согласования, формируется поток проектных работ wf17, являющийся входом для блока согласования технической документации конструкторами и схемотехниками соответственно *Design and Laboratory*, а если есть ошибки, замечания, то создается поток проектных работ wf18, являющийся входом для блока *Failed Done2*. Потоки проектных работ wf11, wf19 входят в блок оформления замечаний *remarks*,

из которого выходит поток проектных работ wf13, являющийся входом в блок *Done4*, где представлены все замечания. Поток проектных работ wf14 является входом для блока доработки конструкторской документации *rework*, в котором формируется поток проектных работ wf15, означающий завершение изменений в документации и входящий в блок *Done3*. Поток проектных работ wf16 сообщает руководителю темы и исполнителям *the junior executives* о внесении изменений в конструкторскую документацию.

Конструкторы и схемотехники сектора выполняют потоки проектных работ по решению поставленной задачи в блоке *Design and Laboratory*, который декомпозирует на уровень детализации. Выходной поток проектных работ wf67 входит в блок принятия решения *Design and Laboratory Return*. В случае успешно выполненных потоков проектных работ конструкторами и схемотехниками формируется поток проектных работ wf70, являющийся входом в блок *Design and Laboratory Successfully Done*, а если имеются недочеты, ошибки, замечания, то создается поток wf71, являющийся входом в блок *Design and Laboratory Failed Done*. Поток проектных работ wf72 означает формирование замечаний и является входом в блок *Remarks*.

Поток проектных работ wf73 формирует комплект конструкторской документации на подпись начальнику и является входом в блок *Approval*. Формируется поток wf75 в случае наличия неустраненных замечаний. Он является входом в блок *Approved Failed*, из которого выходит поток проектных работ wf76, входящий в блок *Remarks*. Поток проектных работ wf74 создается если конструкторская документация утверждена. Этот поток входит в блок *Approved Successfully*. Поток проектных работ wf77 входит в блок *OSN*, в котором контролируется оформление по стандарту, и, в случае успеха, формируется поток проектных работ wf78, входящий в блок *OSN Successfully*. Если имеются замечания в блоке *OSN*, то создается поток проектных работ wf79, следующий в блок *OSN Failed*, из которого в свою очередь исходит поток wf80, входящий в блок *Remarks*. Завершающим потоком проектных работ является wf105, входящий в блок *The End of Agreed upn documents*, являющийся выходом *out*.

Повышение качества в САПР и АСТПП обеспечивается за счет выявления структурно-семантических ошибок (например, место «узкого горлышка») при анализе, имитационном моделировании (проведении эксперимента) настоящего экземпляра аналитической модели организации потоков проектных работ (например, в среде *CPN Tools*). Результаты таких экспериментов были приведены в предыдущей статье [1].

Рис. 2. Диаграмма организации потоков проектных работ *Design and Laboratory*

Рис. 3. Диаграмма организации потоков проектных работ *Design Done*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автором предложен экземпляр аналитической модели организации потоков проектных работ с учетом хореографии и оркестровки, обеспечивающей повышение качества организации потоков проектных работ в САПР и АСПП.

Приведенный экземпляр отличается от существующих аналогов тем, что учитывает гибридный характер потоков проектных работ, а также распределенные во времени (динамический характер), в пространстве потоки проектных работ в базисе графических языков.

Предложенный экземпляр аналитической модели организации потоков проектных работ полностью интегрирован в компьютерную систему управления потоками проектных работ (СУППР) в АО «Ульяновский механический завод» в рамках выполнения договора НИР № Д31/31 «Разработка и исследование новых инструментальных средств повышения эффективности подготовки специалистов управления информационных технологий (УИТ), экспериментального программно-информационного обеспечения по интеллектуальной базе опыта и управлению динамическими потоками проектных работ предприятия» (№ гос. рег. АААА-А17-117031410037-2, 2017 г.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Войт Н.Н. Принцип «Ансамбль» и аналитическая модель организации потоков проектных работ // Автоматизация процессов управления. 2020. № 3 (61). С. 124–137.
2. Сапожкова Т.Е. Сравнительный анализ подходов к моделированию бизнес-процессов // Прикладная информатика. 2012. № 1 (37). С. 14–19.
3. Виролайнен А.В. Моделирование бизнес-процессов // Лучшая научная статья 2019 : сб. ст. XXIV Междунар. науч.-исслед. конкурса. Пенза : Издательство: «Наука и Просвещение», 2019. С. 82–86.
4. Чернышов А.С. Анализ методов моделирования автоматизированных систем // Информационные технологии и автоматизации управления: матер X Всерос. научн.-практ. конф. студ., аспирантов, работников образования и промышленности (Омск, 15–16 мая 2019). Омск : Изд-во ОмГТУ, 2019. С. 363–370.
5. Копп А.М., Орловский Д.Л. Подход к анализу и оптимизации моделей бизнес-процессов в нотации BPMN // Радіоелектроніка, інформатика, управління. 2018. № 2 (45). С. 108–116.
6. Сергиевский М.В., Кирпичникова К.К. Валидация и оптимизация диаграмм классов uml // Cloud of science. 2018. Т. 5, № 2. С. 367–378.
7. Богдан И., Задорожний А. Классификация ошибок на UML-диаграммах, возникающих в ходе разработки IT-проектов // Технічні науки та технології. 2018. № 1. С. 68–78.
8. Копп А.М., Орловский Д.Л. Аналіз та оптимізація моделей бізнес-процесів у нотациях ерс та bpmn // Технічні науки та технології. 2018. № 4 (14). С. 145–152.
9. Design Time Validation for the Correct Execution of BPMN Collaborations / J. Anseeuw et al. // CLOSER (1). 2016. pp. 49–58.
10. A Pattern Based Method for Simplifying a BPMN Process Model / M. Ramos-Merino et al. // Applied Sciences. 2019. Vol. 9, № 11. P. 2322.
11. Claes J., Vandecaveye G. The impact of confusion on syntax errors in simple sequence flow models in BPMN // International Conference on Advanced Information Systems Engineering. Springer, Cham, 2019. pp. 5–16.
12. Lima L., Tavares A., Nogueira S.C. A framework for verifying deadlock and nondeterminism in UML activity diagrams based on CSP // Science of Computer Programming. 2020. 102497.
13. van der Aalst W.M.P. Everything You Always Wanted to Know About Petri Nets, but Were Afraid to Ask // International Conference on Business Process Management. Springer, Cham, 2019. pp. 3–9.
14. Анализ конструкторско-технологических потоков работ в условиях крупного радиотехнического предприятия / А. Н. Афанасьев, Н.Н. Войт, М.Е. Уханова, И.С. Ионова, В.В. Епифанов // Радиотехника. 2017. № 6. С. 49–58.

REFERENCES

1. Voit N.N. Printsip "Ansaml" i analiticheskaia model organizatsii potokov proektnykh rabot [The Ensemble Principle and Analytical Model of Project Workflow Organization]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2020, no. 3 (61), pp. 124–137.
2. Sapozhkova T.E. Sravnitelnyi analiz podkhodov k modelirovaniu biznes-protssessov [Comparative Analysis of Approaches to Business Process Modeling]. *Prikladnaia informatika* [Applied Informatics], 2012, no. 1 (37), pp. 14–19.
3. Virolainen A.V. Modelirovanie biznes-protssessov [Business Process Modeling]. *Luchshaia nauchnaia statia 2019. Sb. st. XXIV Mezhdunar. nauch.-issled. konkursa* [Proc. of the 24th Int. Sci. and Research Comp. The Best Research Paper in 2019]. Penza, Nauka i Prosveshchenie Publ., 2019, pp. 82–86.
4. Chernyshov A.S. Analiz metodov modelirovaniia avtomatizirovannykh sistem [Analysis of Modeling Computer-Aided Systems]. *Informatsionnye tekhnologii i avtomatizatsiia upravleniia. Mater X Vseros. nauchn.-prakt. konf. stud., aspirantov, rabotnikov obrazovaniia i promyshlennosti* (Omsk, 15–16 maia 2019) [Proc. of 10th Russ. Sci.- Pract. Conf. on Information Technologies and Management Automation for Students, Postgraduate, Educators and Factory Specialists]. Omsk, OmSTU Publ., 2019, pp. 363–370.
5. Kopp A.M., Orlovskii D.L. Podkhod k analizu i optimizatsii modelei biznes-protssessov v notatsii BPMN [Design Automation of Easy-Tested Digital Finite State Machines]. *Radioelektronika, informatika, upravlinnia* [Radio Electronics, Computer Science, Control], 2018, no. 2 (45), pp. 108–116.

6. Sergievskii M.V., Kirpichnikova K.K. Validatsiia i optimizatsiia diagramm klassov UML [Validating and Optimizing UML Class Diagrams]. *Cloud of Science*, 2018, vol. 5, no. 2, pp. 367–378.
7. Bogdan I., Zadorozhnii A. Klassifikatsiia oshibok na UML-diagrammakh, voznikaiushchikh v khode razrabotki IT-proektov [The Classification of Errors on UML-Diagrams Occurring in the Development of IT-Projects]. *Tekhnichni nauki ta tekhnologii* [Technical Sciences and Technologies], 2018, no. 1, pp. 68–78.
8. Kopp A.M., Orlovskii D.L. Analiz ta optimizatsiia modelei biznes-protsesiv u notatsiiakh EPC ta BPMN [Analysis and Optimization of EPC and BPMN Business Process Models]. *Tekhnichni nauki ta tekhnologii* [Technical Sciences and Technologies], 2018, no. 4 (14), pp. 145–152.
9. Anseeuw J. et al. Design Time Validation for the Correct Execution of BPMN Collaborations. *CLOSER* (1), 2016, pp. 49–58.
10. Ramos-Merino M. et al. A Pattern Based Method for Simplifying a BPMN Process Model. *Applied Sciences*, 2019, vol. 9, no. 11, p. 2322.
11. Claes J., Vandecaveye G. The Impact of Confusion on Syntax Errors in Simple Sequence Flow Models in BPMN. *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*. Springer, Cham, 2019, pp. 5–16.
12. Lima L., Tavares A., Nogueira S.C. A Framework for Verifying Deadlock and Nondeterminism in UML Activity Diagrams Based on CSP. *Science of Computer Programming*, 2020, 102497.
13. Van der Aalst W.M.P. Everything You Always Wanted to Know About Petri Nets, but Were Afraid to Ask. *International Conference on Business Process Management*. Springer, Cham, 2019, pp. 3–9.
14. Afanasev A.N., Voit N.N., Ukhanova M.E., Ionova I.S., Epifanov V.V. Analiz konstruktorsko-tekhnologicheskikh potokov rabot v usloviakh krupnogo radiotekhnicheskogo predpriatiia [Design Engineering Workflow Analysis at Large Radio Engineering Enterprises]. *Radiotekhnika* [Radioengineering], 2017, no. 6, pp. 49–58.